

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра теплоенергетики

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: «Використання відновлюваних джерел енергії в системі теплопостачання адміністративної будівлі»

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ–20м  
спеціальності 144 – теплоенергетика  
(шифр і назва спеціальності)

Дземух О.О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к. т. н., доцент каф. ТЕ

Резидент Н.В.  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. БМГА

Сердюк В.Р.  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Допущено до захисту**

В.о. завідувача кафедри ТЕ

к.т.н., доц. Степанов Д.В.  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання  
Кафедра теплоенергетики  
Рівень вищої освіти II (магістерський)  
Галузь знань 14 – Електрична інженерія  
Спеціальність 144 – Теплоенергетика  
Освітньо-професійна програма Теплоенергетика

### ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри ТЕ

\_\_\_\_\_ Степанов Д.В.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року

## **З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Дземуху Олександру Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Використання відновлюваних джерел енергії в системі теплопостачання адміністративної будівлі  
керівник роботи Резидент Наталія Володимирівна, к.т.н., доц. каф. ТЕ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом вищого навчального закладу від 24.09.2021 року № 277
2. Строк подання студентом роботи 10.12.2021
3. Вхідні дані до роботи: теплова потужність котельні – 100 кВт; температурний графік існуючої системи теплопостачання 80/60°C; паливо – природний газ, пелети, тріска деревини, інші джерела енергії; тривалість опалювального періоду 189 діб; існуюча тепла схема котельні.
4. Зміст текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз джерел енергії сучасних систем теплопостачання будівель; показники роботи котельні адміністративної будівлі з відновлюваними та традиційними джерелами енергії; режими роботи теплонасосної установки типу «повітря – вода»; організаційно-технологічне забезпечення реалізації проектних рішень; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; економічна частина.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): план існуючої котельні на відм. 0.000; схема котельні модернізована принципова тепла; план котельні на відм. 0.000 після модернізації; розріз котельні на відм. 0.000 після модернізації; схема монтажна аксонометрична; календарний план, функціональна схема автоматизації котельні; залежність коефіцієнта перетворення від температури повітря на виході з випарника та конденсатора; залежність коефіцієнта перетворення від середньотермодинамічних температур теплоносіїв в конденсаторі та випарнику теплового насоса; залежність ексергетичного ККД теплового насоса від середньотермодинамічної температури відведеної з конденсатора.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв
1-4	Резидент Н. В., к.т.н., доц. кафедри ТЕ		
5	Кобилянська І.М. к.п.н., доц. кафедри БЖДПБ		
6	Лялюк О.Г., к.т.н, доц. кафедри БМГА		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз джерел енергії сучасних систем теплопостачання будівель	28.09.21...10.10.21	
2	Показники роботи котельні адміністративної будівлі з відновлюваними та традиційними джерелами енергії	11.10.21...21.10.21	
3	Режими роботи теплонасосної установки типу «повітря – вода»	22.10.21...05.11.21	
4	Організаційно-технологічне забезпечення реалізації проектних рішень	06.11.21...22.11.21	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	23.11.21...29.11.21	
6	Економічна частина	30.11.21...05.12.21	
7	Оформлення МКР	06.12.21...10.12.21	

Студент

\_\_\_\_\_ Дземух О. О.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Резидент Н. В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.1

Дземух О. О. Використання відновлюваних джерел енергії в системі теплопостачання адміністративної будівлі. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – теплоенергетика, освітня програма – теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2021. 117 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 112 назв; рис.: 18; табл. 22.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено теплову схему водогрійної котельні з використанням відновлюваних джерел енергії. Проаналізовано джерела енергії сучасних систем теплопостачання будівель. Виконано розрахунки існуючої теплової схеми котельні. Виконано варіантний аналіз джерел енергії для теплопостачання адміністративної будівлі, в ході якого запропоновано рішення спрямовані на заміщення використання традиційних джерел енергії, а саме природного газу, відновлюваними джерелами енергії задля зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище та зменшення собівартості виробництва теплової енергії комунальними котельнями. Розраховано потужності та підбір теплонасосної установки та котла на біомасі. Виконано техніко-економічне обґрунтування обраного варіанту. Досліджено режими роботи теплонасосної установки типу «повітря-вода». Розроблено технологію монтажу котла на біомасі із системою відведення димових газів. Підібрано основне та допоміжне обладнання. Розроблено календарний план виконання монтажних робіт. Розроблено функціональну схему автоматизації водогрійної котельні та підібрані засоби для автоматизації котла на біомасі на теплового насоса. Графічна частина складається з 9 плакатів. Розроблено заходи з охорони праці. Складено локальний кошторис на влаштування обладнання.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, тепловий насос, твердопаливний котел, альтернативні види палива.

## ABSTRACT

Dzemukh OO The use of renewable energy sources in the heating system of an office building. Master's degree in specialty 144 - heat power engineering, educational program - heat power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2021. 117 p.

In Ukrainian language. Bibliogr. : 112 titles; fig. : 18; table 22.

In the master's qualification work the thermal scheme of a water-heating boiler room with use of renewable energy sources is developed. Energy sources of modern heating systems of buildings are analyzed. Calculations of the existing thermal scheme of the boiler house have been performed. A variant analysis of energy sources for heat supply of the administrative building was performed, during which solutions aimed at replacing the use of traditional energy sources, namely natural gas, renewable energy sources to reduce man-made load on the environment and reduce the cost of heat production by municipal boilers. Capacities and selection of heat pump installation and biomass boiler are calculated. Feasibility study of the chosen option is performed. The modes of operation of the air-to-water heat pump installation are studied. The technology of biomass boiler installation with flue gas exhaust system has been developed. The main and auxiliary equipment is selected. A calendar plan for installation work has been developed. The functional scheme of automation of a water-heating boiler room is developed and means for automation of a boiler on biomass on the heat pump are selected. The graphic part consists of 9 posters. Occupational safety measures have been developed. A local estimate for the installation of equipment has been made.

Key words: renewable energy sources, heat pump, solid fuel boiler, alternative fuels

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>1 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТА- ЧАННЯ БУДІВЕЛЬ</b> .....	6
1.1 Використання традиційних джерел енергії в системах теплопостачання .....	6
1.2 Види, переваги та недоліки твердопаливних котелень .....	7
1.3 Різновиди джерел енергії для твердопаливних котелень .....	11
1.4 Впровадження відновлюваних джерел енергії .....	12
1.5 Вплив теплоенергетики на навколишнє середовище .....	15
1.6 Висновки до розділу .....	16
<b>2 ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КОТЕЛЬНОЇ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ТА ТРАДИЦІЙНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ</b> .....	17
2.1 Загальна характеристика котельні .....	17
2.2 Розрахунок існуючої теплової схеми котельні .....	18
2.3 Варіантний аналіз та техніко-економічне обґрунтування модернізації котельні .....	22
2.4 Підбір потужності теплового насоса для бівалентного режиму роботи .....	24
2.5 Принцип роботи теплового насоса типу «повітря-вода» .....	28
2.6 Вибір теплоаккумулятора для системи опалення .....	31
2.7 Техніко-економічне обґрунтування .....	32
2.8 Висновки до розділу .....	40
<b>3 РЕЖИМИ РОБОТИ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ТИПУ «ПОВІТРЯ-ВОДА»</b> .....	41
3.1 Математична модель і розрахунок коефіцієнта перетворення ТНУ .....	41
3.2 Математична модель і розрахунок ексергетичного ККД ТНУ .....	47
3.3 Висновки до розділу .....	49
<b>4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ</b> .....	50
4.1 Технологія монтажу котла на біомасі .....	50
4.2 Принципові рішення з автоматизації котельні з ТНУ .....	66
4.3 Висновки до розділу .....	76

<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> .....	78
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту .....	79
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії .....	83
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Оцінка можливих наслідків вибуху природного газу в разі виходу з ладу котла ТЕЦ .....	90
5.4 Висновки до розділу .....	95
<b>6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	96
6.1 Локальний кошторис на влаштування обладнання .....	96
6.2 Висновки до розділу .....	103
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	104
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	106
Додаток А (обовязковий). Технічне завдання .....	117
Додаток Б (обовязковий). Ілюстративна частина .....	121

## ВСТУП

*Актуальність теми.* З кожним днем темпи заміщення невідновлюваних джерел енергії відновлюваними та впровадження останніх у світовій енергетиці зростають. Впровадження відновлюваних джерел енергії та енергоефективних технологій є актуальним практично для всіх галузей економіки. Головним споживачем енергії завжди вважалась промисловість, але в опалювальних котельнях, які призначені для теплопостачання адміністративних та житлових будинків також споживається чимало природних ресурсів. Природна тепла енергія може використовуватися як безпосередньо, так і в теплових насосах. Вибір типу теплонасосної установки для систем теплопостачання залежить від місцевих природно-кліматичних умов, наявності дешевого та доступного низькотемпературного джерела енергії. Тому проведення досліджень використання теплонасосної установки, як джерела теплоти та режимів її роботи в системі теплопостачання адміністративної будівлі є актуальним.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.* Робота виконана відповідно до законів України: «Про енергетичну ефективність» (2021); «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (2021) – Енергетика та енергоефективність, а також підрозділу кафедральної науково-дослідної роботи: «Аналіз та синтез комбінованих теплоенергетичних установок, теплотехнологічних систем та устаткування».

*Мета і завдання роботи.*

*Мета роботи* – заміщення викопних видів палива шляхом впровадження системи теплопостачання адміністративної будівлі з відновлюваним джерелом енергії та дослідження режимів його роботи.

*Завдання роботи:*

- виконати аналіз джерел інформації шляхів заміщення природного газу в опалювальних котельнях;
- виконати варіантний аналіз джерел теплопостачання адміністративної будівлі;
- запропонувати систему теплопостачання з відновлюваними джерелами енергії;



- розробити математичну модель для дослідження режимів роботи теплового насоса (ТН), провести оцінку впливу температур підведення і відведення теплоти та температури навколишнього середовища на показники ефективності роботи ТНУ на холодоагенті R410a;
- визначити потужність теплового насоса, підібрати допоміжне обладнання;
- розробити заходи з охорони праці;
- виконати техніко-економічні розрахунки вибраного варіанта.

*Об'єкт дослідження.* Процеси виробництва теплоти в системі тепlopостачання адміністративно будівлі.

*Предмет дослідження.* Режим роботи теплового насоса «повітря – вода» в системі тепlopостачання адміністративної будівлі.

*Новизна одержаних результатів.* Виконано математичне моделювання та проведена оцінка впливу зовнішніх умов на ефективність роботи ТНУ для тепlopостачання адміністративної будівлі з метою встановлення доцільних режимів роботи теплового насоса.

*Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.* Основні результати роботи доповідались і обговорювались на: Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України – 2021».

*Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи.* Результати роботи опубліковані в матеріалах конференції «Енергоефективність в галузях економіки України – 2021» Резидент Н. В., Дземух О.О., Кордонський Н. В. Впровадження відновлюваних джерел енергії в опалювальних котельнях. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2021/paper/view/14052>

# 1 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ

## 1.1 Використання традиційних джерел енергії в системах теплопостачання

Не є новизною той факт, що використання тепловою енергетикою традиційних джерел енергії переважає над відновлюваними в нашій країні. Але, проблема в тому, що корисні копалини: нафта, природний газ, вугілля, які розуміють під традиційними джерелами енергії, відносяться до невідновлюваних природних ресурсів. Для України дана проблема є досить гострою та потребує її найшвидшого вирішення. Адже через суттєве подорожчання природного газу та інших традиційних видів палива значно зросла собівартість теплової енергії. Згідно енергобалансу, обсяг споживання природного газу в Україні складає 32,3 млрд. м<sup>3</sup>, з яких 10,8 млрд. м<sup>3</sup> споживається котельнями та тепловими пунктами. А власний видобуток становить лише 19,9 млрд. м<sup>3</sup> [1]. Тобто власних ресурсів держави не вистачає для забезпечення усіх потреб. Імпортна частина природного газу за 2018 р. становила 32% від загальних потреб, що негативно впливає на «енергонезалежність» країни [2].

Об'єктами теплоенергетики виступають усі комунальні та промислові котельні, що забезпечують процеси нагрівання або охолодження [3]. На даний момент, усі вони, перебувають в досить скрутному становищі через незадовільний технічний стан котелень та опалювальних пунктів і високі тарифи на традиційні види палива.

Для вирішення досить актуальних проблем слід здійснити детальний аналіз самої проблеми та розробити шляхи її вирішення. Наприклад, зменшення витрати палива шляхом модернізації котельні більш сучасним обладнанням. Адже багато котелень використовують застарілі котли з низьким ККД. Але, це лише є частковим вирішенням проблеми. Перехід на альтернативні джерела енергії істотно може змінити ситуацію.

До альтернативних джерел енергії відносяться усі відновлювані джерела енергії, такі як енергії сонця, вітру, води та біопаливо. Суттєвими перевагами відновлюваних джерел енергії є невичерпність даного енергетичного ресурсу та значно менший шкідливий вплив на навколишнє середовище. Слід зазначити, що виробництво та використання біопалива, одного із видів відновлюваних джерел енергії, є сприятливою можливістю для економічного розвитку України, зокрема це дасть змогу для створення нових робочих місць та покращення екологічної ситуації в цілому [4].

Отже, впровадження відновлюваних джерел енергії та розвиток альтернативної енергетики України дозволять позбутися «енергетичної залежності», постійного зростання цін на енергоносії. Що в свою чергу сприятиме підвищенню рівня виробництва країни та соціально-економічному розвитку.

## 1.2 Види, переваги та недоліки твердопаливних котелень

На сьогоднішній день існує багато видів котелень, які мають свої переваги та недоліки. Наприклад, газові, твердопаливні та парові котельні, а також системи повітряного та електричного опалення. Розглянемо твердопаливні котельні, які перш за все є недорогим та економічним джерелом теплової енергії. Вони можуть бути призначені для тепlopостачання промислових, адміністративно-побутових об'єктів, житлових будинків і споруд [5]. Котельні з'єднуються зі споживачами за допомогою теплотраси і/або паропроводів. Ізоляція труби для теплотраси забезпечує тепловий захист та захист від пошкоджень труби, розміщеної всередині від зовнішніх факторів [6]. Твердопаливні котельні можуть застосовуватись як тимчасові, постійні, а також мобільні (пересувні) джерела тепlopостачання [7].

Газові котельні працюють на природному газі, який у свою чергу є невідновлюваним видом палива [8]. На твердопаливних котельнях використовуються спеціальні котли, які працюють на твердому паливі [9]. На сьогоднішній день різноманітність твердопаливних котлів досить велика. Вони

можуть відрізнятися між собою за матеріалом, конструкцією, принципом роботи, від протікання процесу спалювання палива. Виготовляються твердопаливні котли зазвичай з чавуну або сталі [10]. Перевагою сталевих твердопаливних котлів є відмінна ремонтпридатність, легка модернізація обладнання тощо [11]. До недоліків слід віднести сприйнятливність до корозії та неможливість нарощення потужності (на відміну від чавунних, де є можливість додавання секцій, що збільшує їх потужність) [12]. До переваг твердопаливного чавунного котла відносяться: дешевизна палива, використання в конструкції легованого чавуну, який має високу міцність і стійкість до корозії, теплообмінник з чавуну більш стійкий до утворення конденсату на внутрішніх стінках камери згоряння палива [13]. До недоліків належить велика вага і висока вартість у порівнянні зі сталевими котлами, через свою крихкість – вимогливий до різниці температур між подаючим та зворотнім трубопроводом [14]. Залежно від протікання процесу спалювання в котлі вони бувають: класичні твердопаливні котли, котли тривалого горіння та піролізні [15]. Класичні твердопаливні котли мають чавунний або сталевий теплообмінник, топка знаходиться в нижній частині котла. Горіння палива відбувається весь час в одному місці, а матеріал топки схильний до поступового вигорання [16]. Твердопаливні котли тривалого горіння досить практичні та мінімізують втручання людини в процес опалення, оскільки за рахунок верхнього принципу горіння, на одній закладці палива котел може працювати близько 5 діб [17]. Головними перевагами якого є високий рівень ККД, доступність і дешевизна палива та простота конструкції [18]. В основу роботи піролізного (газогенераторного) котла покладений принцип піролізного спалювання палива, суть якого полягає в тому, що під дією високої температури в умовах нестачі кисню суха деревина розкладається на летючу частину – так званий піролізний газ і твердий залишок – деревне вугілля (кокс) [19]. Перевагою піролізних котлів, перш за все, є більший цикл згоряння палива, до 24 годин (у звичайних котлів до 6 годин). Піролізні котли краще регулюються по температурі, вони менш інерційні та утворюють менше сажі та попелу [20]. Тому, незалежно від типу котла, твердопаливні котли досить актуальні для застосування завдяки: економічній

витраті палива, можливості спорудження приміщення для зберігання палива, високій ефективності та відносній простоті використання обладнання [21].

Димові гази, які утворюються при роботі котлів, відводяться за допомогою димових труб [22]. Тяга є основним параметром системи газоходів. Вона відображає швидкість руху димових газів та виникає через різницю температур (тепле повітря піднімається) і різниці тиску в приміщенні та на вулиці [23]. Існує кілька видів димоходів, які відрізняються між собою за матеріалами та конструкцією. Кожен вид димоходу має свої плюси та мінуси [24]. Димові труби можуть виготовлятися з «нержавійки» та «оцинковки», рідше з керамічного матеріалу [25].

При проектуванні і монтажі опалювального обладнання необхідно суворо керуватися вимогами будівельних норм та правил до приміщень котелень та топкових [26]. Будь-який вид котельного обладнання – газові, електричні, твердопаливні, рідкопаливні котли – вимагають певних умов для їх установки. Етапи виконання робіт з проектування: розробка схеми розстановки опалювальних приладів; розрахунок тепловтрат; розрахунок водоспоживання та водовідведення; облік вимог до проектування; техніко-економічне обґрунтування проекту; робочий проект. Узгодження і реєстрація проекту в відповідних державних органах тощо [27]. Котельня повинна бути обладнана каналом для припливу свіжого повітря для нормального процесу горіння, припливною і витяжною вентиляцією. Обов'язковою умовою є наявність каналу природної припливно-витяжної вентиляції з природною циркуляцією повітря для горіння [28]. Улаштування приміщень та горищних перекриттів над котлами не допускається. При встановленні котлів всередині виробничих приміщень, місце встановлення відокремлюється перегородками на всю висоту котла, але не нижче 2 м, з улаштуванням дверей. Місце розташування та напрямки відчинення дверей визначаються проектною організацією. Перегородки виконуються з негорючих матеріалів. В будівлях котельної розміщуються побутові та службові приміщення для обслуговуючого персоналу відповідно до санітарних норм. Розміщення будь-яких інших приміщень, а також майстерні, які не призначені для ремонту коте-

льного устаткування, забороняється. На кожному поверсі приміщення котельної має бути зроблено не менше двох виходів, розміщених в протилежних боках приміщення. Допускається один вихід, якщо площа поверху є меншою  $200 \text{ м}^2$  та має бути другий евакуаційний вихід на зовнішні стаціонарні сходи, а в одноповерхових котельних - при довжині приміщення по фронту котлів не більше 22 м. Виходом із приміщення котельні вважається як безпосередній вихід назовні, так і вихід через сходову клітку чи тамбур [29]. Незалежно від розміщення приміщення котельні — у підвалі, на цокольному поверсі або в окремій будівлі, вона повинна містити вікно. Розміри якого розраховуються, виходячи з площі будівлі, тобто на  $1 \text{ м}^3$  простору має бути  $0,03 \text{ м}^2$  скла. Вдень повинно бути достатньо природного світла. У темний час доби необхідно використовувати штучне освітлення [30].

Будь-яку опалювальну техніку, пов'язану з обігрівом житлових приміщень, неможливо уявити без автоматики. Оснащеність нагрівальних приладів певних механізмами, пристроями і пристосуваннями не тільки підвищують ефективність роботи котельного обладнання, а й забезпечують безпеку експлуатації котельного обладнання [31]. Зазвичай робота стандартного комплексу автоматики, що складається з блоку керування та вентилятора наддуву (турбіни), полягає в оптимізації подачі повітря в зону горіння [32]. Автоматичні системи для твердопаливних котлів здатні здійснювати повний контроль за роботою обладнання, генерацією тепла та процесом обігріву приміщення [33]. Проводиться монтаж автоматики для твердопаливного котла повинно лише фахівцем-монтажником, а налаштування автоматики повинно проводитися на виробництві [34]. Система безпеки котла також може бути автоматизованою. На котлі можуть встановлюватися всі необхідні датчики, які контролюють показники роботи. Як тільки буде спостерігатися вихід з ладу одного з конструктивних елементів, про що буде свідчити різкий стрибок тиску і температури води на виході з котла, зниження розрідження в топці, тиску повітря після вентилятора, котел зупинить свою роботу самостійно [35]. Переваги автоматичного контролю твердопаливних котельних наступні: простота управління, ефективність, автономна робота котла, ав-

томатичне підпалювання палива, своєчасне завантаження палива в котел, абсолютна безпека [36].

Ще однією вагомою перевагою є значне заощадження коштів через меншу витрату палива [37]. Це досягається за рахунок роботи контролера, який підтримує оптимальні робочі параметри для забезпечення економічного опалення. Забезпечення комфортного опалення, тобто підтримка температури на постійному заданому користувачем рівні та підтримка її протягом тривалого часу [38]. Основними критеріями для вибору автоматики для котла наступні: особливості керування, потужність, діапазон вимірювання температури, точність показників, доступні функції та габаритні розміри [39].

Задля зменшення інерційності котлів та усунення утворення конденсату потрібно правильно організувати обв'язку котла з обов'язковими елементами: група безпеки (манометр, розповітрявач, запобіжний клапан), розширювальний бак, буферний бак та змішувальний триходовий клапан [40]. Основні схеми підключення: система відкритого типу; підключення твердопаливного котла через колекторну гребінку; підключення через гідрострілку; підключення до системи опалення бойлера непрямого нагрівання гарячої води; підключення через теплоаккумулятор [41].

### 1.3 Різновиди джерел енергії для твердопаливних котелень

Існує велика кількість видів твердого палива, так само як і варіантів переобладнання котелень під різне паливо [42]. Сучасні твердопаливні котли мають змогу працювати на дровах, тирсі, щепі, паливних гранулах (пелетах), викопному вугіллі, деревних брикетах, лушпинні соняшнику та рису, стеблах соняшнику або кукурудзи, виноградній лозі, костриці льону тощо [43]. Які у свою чергу мають різну теплоту згоряння палива [44]. Тому правильний вибір палива допоможе заощадити кошти та довше зберегти обладнання працездатним [45].

Пелети та брикети виготовляються з відходів, які найчастіше просто викидаються, звалюються на перегниття чи спалювання. Наприклад, стружка, гілки, хворі дерева тощо. Таким чином можна значно оптимізувати вирубку дерев та збільшити їх відновлення [46]. Дрова є найбільш популярним видом палива для твердопаливних котлів. Головною їх перевагою є доступність та ціна [47]. Тріска створюється в процесі переробки відходів деревообробних підприємств. До переваг можна віднести відносну екологічну чистоту, легку утилізацію та невинне, практично безвідходне виробництво [48]. Паливні гранули (пелети) – це біопаливо, яке отримується із торфу, вугілля, деревних відходів і відходів сільського господарства. Великою перевагою цього виду палива є те, що вони є досить екологічним видом палива, адже при спалюванні гранул в атмосферу викидається рівно стільки CO<sub>2</sub>, скільки було поглинено рослиною під час зростання [49]. Висхідне вугілля поділяється на буре, кам'яне та антрацити. Буре вугілля містить багато вологи, з'єднується легко з киснем повітря і при тривалому зберіганні на повітрі сильно вивітрюється та розсипається в порошок. Кам'яне вугілля більш щільне та малопористе і містить менше зовнішньої вологи ніж буре вугілля [50]. Антрацит – це різновид кам'яного вугілля, щільний і найкращий серед всіх різновидів вугілля на планеті, має високий ступінь вуглефікації (>95%) та низький вміст сірки і вологи [51]. Соняшникове лушпиння – побічний продукт під час переробки соняшника на олію. Кількість соняшnikового лушпиння при промисловій переробці насіння соняшника становить значну частину – 17-20% до маси насіння [52]. Перевагою при використанні соняшnikового лушпиння є те, що він має досить велику тривалість горіння, зручний в експлуатації та безпечний для екології [53].

#### 1.4 Впровадження використання відновлюваних джерел енергії

З кожним днем проблема заміщення невідновлюваних джерел енергії відновлюваними та впровадження останніх в опалювальних котельнях набирає своєї важливості та актуальності. Щорічно збільшується споживання людством природних ресурсів нашої планети, які згодом вичерпнуться. Взагалі, під невід-



новлюваними природними ресурсами розуміють мінеральну сировину та викопне паливо, наприклад, вугілля, горючі сланці, гідрат метану, торф, нафта та природний газ, який особливо широко застосовується у різних сферах людської діяльності по всьому світі.

Згідно з даними міжнародного аналітичного центру «Римського клубу», дослідження яких було проведено в 2001 році, поклади алюмінієвих руд будуть вичерпані за наступні 55 років, хрому – за 154 роки, заліза – за 173 років, вугілля – за 150 років, нафти та природного газу – за 49 років [54]. Для наочності на рисунку 1.1 показана динаміка вичерпання природних ресурсів.

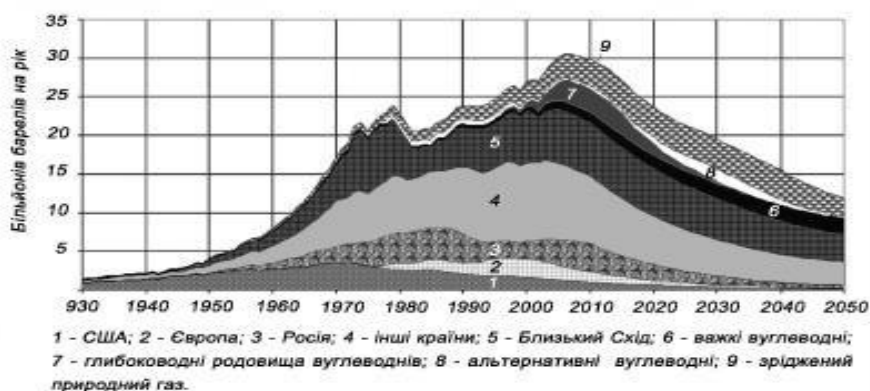


Рисунок 1.1 – Вичерпання вуглеводнів планети.

Тому висвітлення цієї проблеми є досить актуальною темою на сьогоднішній день.

Завдяки сучасним методам дослідження та високо сучасним технологіям опалювальні котельні можуть використовувати відновлювані джерела енергії. До яких відносяться вітрова енергетика, гідроенергетика, сонячна та геотермальна енергетика, біопаливо.

Сонячні колектори досить розповсюджені у наш час, вони являють собою пристрій для збору енергії випромінювання Сонця у видимому та інфрачервоному спектрі. Поділяються на плоскі та вакуумні [55]. Найбільш поширеними є саме плоскі сонячні колектори, адже вони нескладні у своїй конструкції і відносно недорого коштують. Великою перевагою є їх здатність вловлювати не тільки пряму, а й розсіяну сонячну енергію [56]. Плоскі колектори прості і надійні, термін їх роботи може досягати 50 років. Вони

являють собою прямокутні панелі, розмір кожної близько 2 м<sup>2</sup>. Їх ціна прийнятна, а ККД за умови високоселективного покриття досягає 50 % [57]. Недоліками плоских сонячних колекторів є значні тепловтрати та максимальна кількість енергії отримується в полудень [58]. Вакуумні сонячні колектори складаються з теплових трубок і скляних вакуумних трубок [59]. До переваг слід віднести незначні втрати тепла при роботі та низька залежність ККД обладнання від перепадів температур [60]. А недоліками є вища вартість та складність монтажу [61].

Вітроенергетика являє собою галузь відновлюваної енергетики, яка спеціалізується на використанні кінетичної енергії вітру, вітер як джерело енергії є непрямою формою сонячної енергії, тому його можна віднести до відновлюваних джерел енергії [62]. Вона використовує перетворення кінетичної енергії рухомих повітряних мас в електричну енергію. Кілька десятків вітрогенераторів, об'єднані в одну мережу, утворюють вітрову електростанцію [63]. Але вітрова енергетика має і низку негативних чинників, до яких відносяться нестабільність роботи, відносно невисокий вихід електроенергії, висока вартість, певна небезпека для дикої природи, шумове забруднення тощо [64].

Геотермальна енергія – це тепло, отримане з надр Землі. Таке тепло виходить на земну поверхню у вигляді пари та гарячої води, і його можна використовувати для виробництва електроенергії та теплопостачання [65]. Наша країна має певний потенціал розвитку геотермальної енергетики. Це обумовлено термогеологічними особливостями рельєфу та особливостями геотермальних ресурсів країни [66]. До переваг слід віднести можливість постійного енергопостачання, відновлюване та стійке джерело і відносна екологічна чистота [67].

Тепловий насос являє собою систему, яка в свою чергу примножує теплову енергію, отриману з альтернативних джерел [68]. Поділяються теплові насоси на [69]:

- компресійні (споживають механічну енергію);

- теплоізолюючі (споживають теплову енергію джерел тепла з температурою вище навколишнього середовища);
- термоелектричні (використовують електричну енергію).

За видом теплоносія у вхідному і вихідному контурах теплові насоси поділяються на: «грунт-вода», «вода-вода», «повітря-вода», «грунт-повітря», «вода-повітря», «повітря-повітря» [70].

Перевагою теплових насосів є сприяння зменшенню використання органічного палива шляхом заміщення первинної енергії вторинними енергетичними ресурсами [71]. Теплові насоси використовуються як для опалення, так і для охолодження та гарячого водопостачання [72]. Теплові насоси характеризуються теплоенергетичним потенціалом систем теплопостачання на основі енергії навколишнього середовища, тобто включають в себе як теплоту, отриману за рахунок трансформації теплоти низькопотенційного джерела енергії, так і теплоту, отриману шляхом його стиснення в компресорі [73]. Відмінною рисою усіх теплових насосів є коефіцієнт перетворення енергії. Для експлуатації теплових насосів використовується електроенергія. Тому через відсутність потреби у паливі, теплові насоси не забруднюють навколишнє середовище шкідливими речовинами [74].

Останній фактор є дуже важливим на сьогоднішній день, адже теплоенергетика має досить великий вплив на навколишнє середовище.

### 1.5 Вплив теплоенергетики на навколишнє середовище

Щодня опалювальні котельні і теплові пункти негативно впливають на навколишнє середовище та якість життя загалом. Забезпечуючи потреби в необхідній тепловій або електричній енергії, експлуатація енергетичних об'єктів призводить до серйозної шкоди екології планети [75].

ТЕС викидають у атмосферу близько 30% загального обсягу всіх шкідливих промислових відходів. Залежно від типу палива, яке спалюється, наприклад

при спалюванні твердого палива на ТЕС в атмосферу викидаються летка зола з частинками палива, оксиди азоту і вуглецю, фтористі сполуки; при спалюванні рідкого палива, зокрема мазуту, виділяється сірчистий і сірчаний ангідриди, сполуки ванадію, солей натрію та інші; при спалюванні природного газу великий забруднюючий вплив має оксид азоту [76]. Вони істотно впливають на навколишнє середовище місцевості їх розташування і на стан біосфери загалом [77]. Паливно-енергетичний комплекс, енергетика, транспорт і промисловість, де переважають процеси, засновані на горінні, є головними джерелами антропогенного забруднення навколишнього середовища [78]. Незважаючи на очевидні переваги, відновлювані джерела енергії також мають свої недоліки. Наприклад, недоліки сонячних колекторів це нерівномірність одержуваної потужності протягом дня або ночі; вітрових енергетичних установок – наявність шуму; гідроенергетики – висока вартість обладнання і обмеженість можливих місць встановлення; біопалива – досить тривалий термін відновлення (вирощування вихідної сировини) [79]. Сучасні технології виробництва теплової і електричної енергії повинні бути такими, щоб зменшити до мінімуму техногенне навантаження на навколишнє середовище.

## 1.6 Висновки до розділу

Із аналізу інформаційних джерел можна зробити висновок, що через вичерпність викопних видів палива та їх негативний вплив на навколишнє середовище, потрібно заміщувати їх відновлюваними джерел енергії такими як енергія сонця, води, вітру та біопаливо.

Зважаючи на викладене вище, мета роботи – заміщення природного газу, як викопного виду палива, шляхом впровадження системи теплопостачання адміністративної будівлі з відновлюваним джерелом енергії та дослідження режимів його роботи.

## 2 ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КОТЕЛЬНОЇ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ТА ТРАДИЦІЙНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

### 2.1 Характеристика котельні адміністративної будівлі

Котельня знаходиться по вул. Г. Успенського 83 в м. Вінниця, яка запроєктована для теплопостачання адміністративної будівлі. В котельні встановлене наступне обладнання:

- 2 модульних котли МН-100еко фірми «Укрінтерм» (1 із яких працює в резерві);
- пристрій водопідготовки DHF-30/1-F;
- компенсатори об'єму.

Модулі нагріву являють собою проточні безінерційні газові апарати (водонагрівачі) в шкафному виконанні, здійснюють нагрівання води в системі опалення. В них використовуються спеціальний пальник і теплообмінник, що дозволяє збільшити теплову потужність, коефіцієнт корисної дії, а також значно знизити викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище. Технічні характеристики модулів нагріву показані в таблиці [80]:

Таблиця – Технічні характеристики модулів нагріву МН-100

Назва параметру	Одиниця виміру	Значення для		
		МН-80е	МН-100е	МН-120е
Номінальна теплопродуктивність	кВт	80	100	120
Коефіцієнт корисної дії	%	92		
Тип газу	-	Природний		
Номінальний тиск газу	Па	1960		
Максимальний робочий тиск теплоносія	МПа (бар)	0,6 (6)		
Максимальна температура теплоносія	°С	95		
Температура продуктів згорання на виході з модуля, не менше >	°С	110		
Характеристика електроживлення	В/Гц	220 <sup>+10%</sup> -15% <sup>/50</sup> -1		
Максимальна електрична потужність	Вт	300	400	400
Вміст в продуктах згорання, не більше: -оксиди вуглецю СО/оксиди азоту NO <sub>x</sub>	мг/м <sup>3</sup>	40/20		

Теплоносій в системі тепlopостачання – вода з температурами 80/60 °С. Заповнення і підживлення системи тепlopостачання здійснюється хімоочищеною водою від ХВО. Номінальна потужність котельні  $Q = 100$  кВт.

Розрахунки виконані для температурного режиму 80/60 °С і опалювального періоду ( $t_{\text{нс}} = -21^{\circ}\text{C}$ ).

## 2.2 Розрахунки існуючої теплової схеми котельні

Початкові дані:

- необхідна теплова потужність для потреб опалення  $Q_{\text{оп}} = 100$  кВт;
- коефіцієнт корисної дії котлів  $\eta_{\text{к}} = 0,89$ ;
- ККД теплообмінників  $\eta_{\text{то}} = 0,96$ ;
- температура прямої мережної води  $t_{\text{пмв}} = 80$  °С;
- температура зворотної мережної води  $t_{\text{зmv}} = 60$  °С;
- температура сирі води  $t_{\text{св}} = 5$  °С;
- температура додаткової води  $t_{\text{дв}} = 58$  °С.

Теплову схему розраховуємо за методикою, яка приведена в [97].

Витрата мережної води

$$G_{\text{тм}} = Q_{\text{оп}} / [c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{пр}}' - t_{\text{зв}}') \cdot \eta_{\text{то}}], \quad (2.1)$$

$$G_{\text{тм}} = 100 / [4,19 \cdot (80 - 60) \cdot 0,96] = 1,24 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата додаткової води

$$G_{\text{дв}} = G_{\text{тм}} \cdot \alpha_{\text{втр}}, \quad (2.2)$$

$$G_{дв} = 1,24 \cdot 0,02 = 0,0248 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата підживлювальної води

$$G_{пм} = G_{дв}, \quad (2.3)$$

$$G_{пм} = 0,0069 = 0,00695 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата сирії води

$$G_{св} = G_{дв} \cdot 1,2, \quad (2.4)$$

$$G_{св} = 0,049 \cdot 1,2 = 0,00834 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата мережної води перед мережним насосом МН

$$G_{мн} = G_{тм} \cdot (1 - \alpha_{втр}) + G_{пм}, \quad (2.5)$$

$$G_{мн} = 1,24 \cdot (1 - 0,02) + 0,00695 = 1,22 \text{ (кг/с)}.$$

Температура води перед мережним насосом

$$t_{мн} = [G_{тм} \cdot (1 - \alpha_{втр}) \cdot t_{зв} + G_{пм} \cdot t_{пм}] / G_{мн}, \quad (2.6)$$

$$t_{мн} = [1,24 \cdot (1 - 0,02) \cdot 60 + 0,00695 \cdot 5] / 1,22 = 59,8 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Витрата води в лінії рециркуляції

$$G_{рец} = (G_{мн} \cdot (t_k' - t_{мн})) / (t_k'' - t_k') = 0. \quad (2.7)$$

Витрата мережної води в котлі

$$G_k = G_{\text{MH}} + G_{\text{рец}}, \quad (2.8)$$

$$G_k = 1,22 + 0 = 1,22 \text{ (кг/с)}.$$

Теплова потужність котельні

$$Q_k = G_k \cdot c_v \cdot (t_k'' - t_k') \cdot 10^{-3}, \quad (2.9)$$

$$Q_k = 1,22 \cdot 4,19 \cdot (80 - 60) \cdot 10^{-3} = 0,104 \text{ (МВт)}.$$

Витрата умовного палива

$$B_y = Q_k / (Q_{\text{H}^p_y} \cdot \eta), \quad (2.10)$$

$$B_y = 0,104 / (29,3 \cdot 0,89) = 0,0039 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата робочого палива

$$B_p = Q_k / (Q_{\text{H}^c} \cdot \eta), \quad (2.11)$$

$$B_p = 0,104 / (17,17 \cdot 0,89) = 0,0068 \text{ (кг/с)}.$$

ККД системи тепlopостачання по відпуску теплоти

$$\eta_{\text{кот}} = (Q_{\text{оп}} / (B_y \cdot Q_{\text{H}^p_y})), \quad (2.12)$$

$$\eta_{\text{кот}} = 0,1 / (0,0039 \cdot 29,3) = 0,87.$$

Теплова потужність котельні для середньоопалювального періоду



$$Q_{\text{ср.оп}} = Q_{\text{оп}} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - (-1)}{t_{\text{вн}} - (-20)}, \quad (2.13)$$

$$Q_{\text{ср.оп}} = 100 \cdot \frac{17 - (-1)}{17 - (-20)} = 48,6 \text{ (МВт)}.$$

Результати розрахунків теплової схеми котельні для середньоопалювального періоду показані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники роботи котельні в опалювальний та середньоопалювальний періоди року.

Величина	Позначення	Розмірність	Опалювальний $t_{\text{нс}} = -21^{\circ}\text{C}$	Середньо-опалювальний $t_{\text{нс}} = -1^{\circ}\text{C}$
Теплова потужність котельні	Q	МВт	0,1	0,05
Витрата мережної води	G <sub>тм</sub>	кг/с	1,24	0,62
Витрата додаткової води	G <sub>дв</sub>	кг/с	0,0248	0,0124
Витрата підживлювальної води	G <sub>пм</sub>	кг/с	0,00695	0,00348
Витрата сирієї води	G <sub>св</sub>	кг/с	0,00834	0,00417
Витрата мережної води перед мережним насосом	G <sub>мн</sub>	кг/с	1,22	0,61
Температура води перед мережним насосом	t <sub>мн</sub>	°C	59,8	59,8

Продовження таблиці 2.1

Витрата води в лінії ре-циркуляції	$G_{\text{рец}}$	кг/с	0	0
Витрата мережної води в котлі	$G_{\text{к}}$	кг/с	1,22	0,61
Теплова потужність котельні	$Q_{\text{к}}$	МВт	0,104	0,052
Витрата умовного палива в котлі	$B_{\text{у}}$	кг/с	0,0039	0,00199
Витрата робочого палива в котлі	$B_{\text{р}}$	кг/с	0,0068	0,0034
ККД системи теплопостачання по відпуску теплоти	$\eta_{\text{кот}}$	%	87	87

### 2.3 Варіантний аналіз та техніко-економічне обґрунтування модернізації котельні

На сьогоднішній день, твердопаливні котли активно застосовуються в різних сферах. Їх можна зустріти в якості джерела тепла в невеликих будинках, квартирах, як головна система обігріву виробничих площ. Для вибору необхідного котлоагрегату, необхідно враховувати потужність котла, опалювальну здатність та інші фактори.

Твердопаливні котли досить актуальні для застосування завдяки [81]:

- економічній витраті палива;
- можливості спорудити кімнату для зберігання сировини;
- високій ефективності;
- відносній простоті використання;

Спектр вибору виду палива для твердопаливного котла досить широкий. Тому для розрахунків відбиралися такі види палива із теплотою згорання [82]:

- природний газ – 33,5 МДж/м<sup>3</sup>.

- деревні пелети – 17,17 МДж/кг.
- тріска – 10,93 МДж/кг.
- вугілля – 27,4 МДж/кг.

Паливна тріска - тріска, яка використовується в якості палива. Виробництвом паливної тріски займаються спеціальні заводи: для досягнення ефективності паливо повинне бути однорідним по фракції, підготовленим за вологості, а також відповідати основним екологічним вимогам. Також вона використовується як сировинна база для виробництва паливних гранул. Тріска всіх порід дерев має подібний хімічний склад і містить близько 50% вуглецю.

Тому теплота згоряння тріски різних порід в абсолютно сухому стані в розрахунку на 1 кг однакова: близько 18800 кДж (4500 ккал) з відхиленнями не більше 3-5%. Для порівняння, за теплою згоряння 100 кг сухої тріски відповідають 31 кг нафтових залишків, 43 кг кам'яного вугілля, 50 кг сухого і 120 кг напівсухого торфу [83].

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що найдоцільнішим вибором палива буде біомаса, тобто паливна тріска або деревні пелети. Так як саме вони є найбільш економічними вигідними видами палива. Відповідно до цього, підібрано твердопаливний котел УЕАС-100, потужність якого дорівнює 100 кВт та який працюватиме на біомасі. Щороку в наших лісах росте на 1/3 більше дерев, ніж ми використовуємо. Тому паливна тріска та деревні пелети відносяться до «кризостійкого» паливного матеріалу. Для виробництва тріски, перш за все, використовуються дерева, пошкоджені під час штормів, гілки, а також відходи деревообробної галузі. Для виготовлення тріски використовуються сучасні автоматизовані дробильні верстати. Тому потреба у спеціалізованому процесі зрубу дерев відпадає.

На рисунку 2.1 показано існуючу теплову схему котельні.

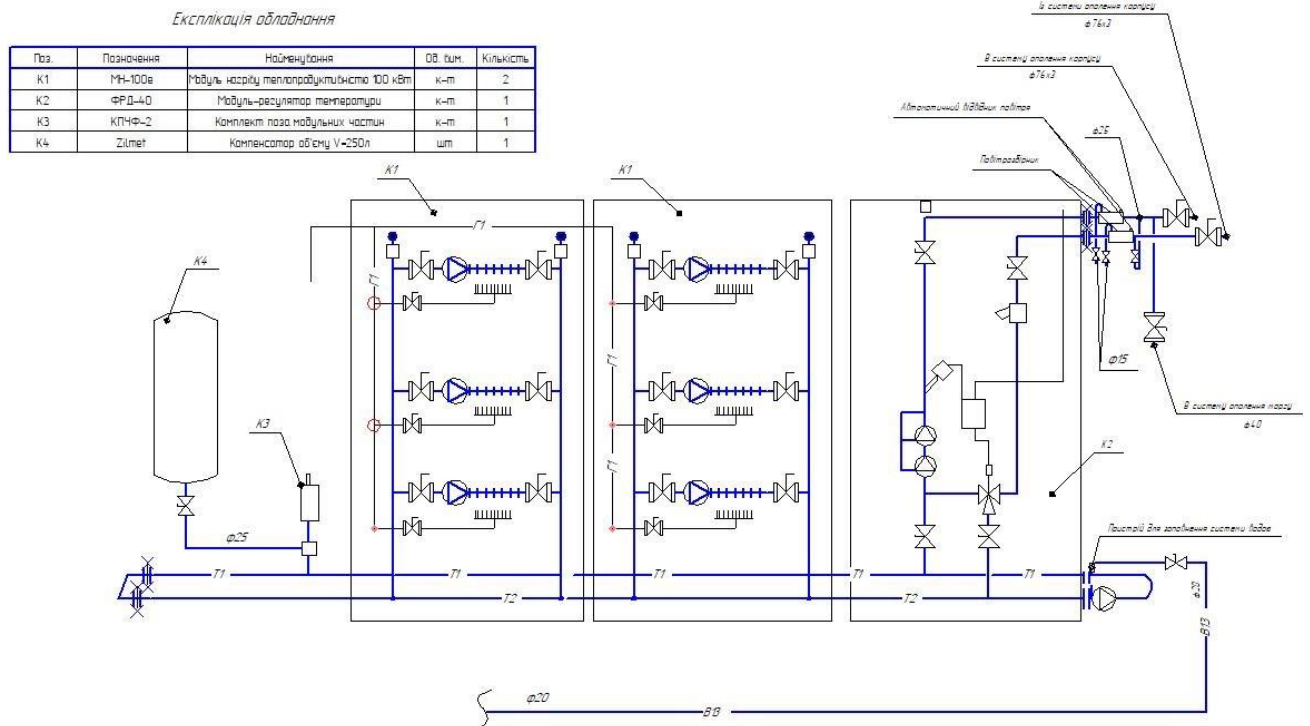


Рисунок 2.1 – Існуюча теплова схема котельні

## 2.4 Підбір потужності теплового насоса для бівалентного режиму роботи

Попередньо було обрано бівалентний альтернативний режим роботи системи теплопостачання на базі твердопаливного котла та ТНУ, тому коли температура зовнішнього повітря буде опускатись нижче температури бівалентності, яка дорівнює  $t_{бів} = 6^{\circ}\text{C}$ , ТНУ буде відключатись автоматикою. Теплові навантаження будуть покриватись за рахунок котла. Отже, дійсна необхідна потужність ТН

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{бів}} = Q_{\text{ТН}}^{\text{монов}} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{бів}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.0}}} \quad (2.14)$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{бів}} = 100 \frac{21 - (-6)}{21 - (-21)} = 64,3 \text{ кВт.}$$

Вибираємо ТНУ типу «повітря-вода» з модельного ряду виробника COOPER&HUNTER [84]. На підставі технічних рішень обрано ТЕПЛОВий

НАСОС ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ, ОПАЛЕННЯ ТА ГВП ТНУ модель SN-HP65UIMNM тепловою потужністю 65 кВт (потужність на охолодження 60 кВт), електричне споживання 20,2 кВт для нагрівання і 21,9 кВт для виробництва холоду. Характеристика теплового насоса показана в табл. 2.1 [84].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики теплового насоса.

Продуктивність	Тепло	кВт	65
	Холод	кВт	60
Споживана потужність	Тепло	кВт	20.20
	Холод	кВт	21.90
COP			3.22
EER			2.74
Встановлюваний діапазон температур гарячої води		°C	35-50
Циркуляційний об'єм води		м³/год	10,3
Гідрравлічний опір теплообмінника		кПа	55
Джерело живлення			~380-415В/50Гц/3ф
Автоматичний вимикач		A	63
Параметри силового кабелю			5 (Ø 16 мм²)
Тип холодоагенту			R-410a
Об'єм зарядки холодоагенту		кг	7.8x2
Тип компресору			Inverter Rotary
Кількість компресорів		шт	2
Температурний діапазон роботи	Тепло	°C	-20 ... + 40
	Холод	°C	-15 ... +52
Діаметр труб, що підключаються		мм	DN 50
Рівень звукового тиску		дБ (A)	68
Вага	Нетто	кг	689
	Брутто	кг	725

Важливим чинником для аналізу роботи ТНУ в бівалентному режимі є визначення часу роботи теплового насоса і твердопаливного котла.

Визначимо яку частину опалювального періоду буде працювати система нижче бівалентної температури, тобто температура навколишнього повітря буде нижче -6 °C. В діапазоні температур зовнішнього повітря від -7 °C до -21 °C працюватиме твердопаливний котел.

Статистичні дані температури зовнішнього повітря для місяців опалювального періоду в м. Вінниця за 2020-2021 рік [85] показані в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Діапазони температур навколишнього середовища, які спостерігались протягом опалювального періоду в 2020-2021 рр., та їх тривалість для м. Вінниця

Температура навколишнього середовища, °С	Тривалість годин за рік, год	Температура навколишнього середовища, °С	Тривалість годин за рік, год
+ 25...+ 30	-//-	0...+ 8	1560
+ 20...+ 24	-//-	- 7...0	1044
+ 15...+ 19	216	- 8...- 10	156
+ 10...+14	480	- 11...- 15	72
+ 5...+ 9	768	- 14...- 21	72

З таблиці видно, що протягом опалювального сезону температура зовнішнього повітря не опускалася нижче  $-6^{\circ}\text{C}$ , тобто джерелом системи теплопостачання протягом опалювального періоду з такими температурами буде ТН. Зовнішня температура повітря від  $+8^{\circ}\text{C}$  до  $-3^{\circ}\text{C}$  становить 60% часу опалювального періоду. В цей період теплові навантаження покриваються ТН. Твердопаливний котел буде працювати в температурному діапазоні від  $-6^{\circ}\text{C}$  до  $-18^{\circ}\text{C}$ , який становить 8 % часу опалювального періоду. Температура зовнішнього повітря вище  $+8^{\circ}\text{C}$ , складає 20% часу опалювального сезону.

Отже, твердопаливний котел за температурних умов 2020-2021 року працюватиме  $\tau_{\text{кот}} = 300$  годин. Тривалість годин роботи системи опалення, становить  $\tau_{\Sigma} = 3672$  годин, тривалість роботи теплового насоса  $\tau_{\text{ТН}} = 3372$  годин.

Відносні витрати енергії на опалення, що покриваються за рахунок роботи ТН

$$Q_{\text{в}}^{\text{ТН}} = \frac{\tau_{\text{ТН}}}{\tau_{\Sigma}} \cdot 100, \quad (2.15)$$

$$Q_{\text{в}}^{\text{ТН}} = \frac{3372}{3672} \cdot 100 = 91,8\% .$$

Відносні витрати енергії на опалення, що покриваються за рахунок роботи твердопаливного котла

$$Q_{\text{в}}^{\text{кот}} = \frac{\tau_{\text{кот}}}{\tau_{\Sigma}} \cdot 100, \quad (2.16)$$

$$Q_{\text{в}}^{\text{кот}} = \frac{300}{3672} \cdot 100 = 8,2\% .$$

де  $\tau_{\text{кот}}$  – кількість годин з температурою зовнішнього повітря, яка нижче ( $-6^{\circ}\text{C}$ );

Отже, з аналізу кліматичних умов для м. Вінниця за опалювальний період 2020-2021 року можна прогнозувати, що тепловий насос працюватиме 91,8% річного опалювального навантаження, а 8,2% буде покривати котел на твердому паливі.

Згідно отриманих даних з щоденника погоди [85] з періоду з 15.10.2020 року по 15.04.2021 року опалювальний період становить 182 дні (4368 годин) з яких котельня не працюватиме 29 днів (696 годин), оскільки температура протягом цього періоду вища  $+10^{\circ}\text{C}$  і необхідності в опалюванні будівлі немає. Опалювання котельні теплонасосною установкою буде здійснюватися наступні 140,5 дні (3372 годин), оскільки температура навколишнього середовища становить від  $+10^{\circ}\text{C}$  до  $-6^{\circ}\text{C}$ . За температур навколишнього середовища вищих ніж  $-6^{\circ}\text{C}$  навантаження на опалення буде сприйматися твердопаливним котлом, який працюватиме 12,5 днів (300 годин).

Для порівняння було також досліджено діапазони температур навколишнього середовища протягом 2019-2020 рр., які показані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Діапазони температур навколишнього середовища, які спостерігались протягом опалювального періоду в 2019-2020 рр., та їх тривалість для м. Вінниця

Температура навколишнього середовища, °С	Тривалість годин за рік, год	Температура навколишнього середовища, °С	Тривалість годин за рік, год
+ 25...+ 30	-//-	0...+ 8	1644
+ 20...+ 24	96	- 7...0	732
+ 15...+ 19	228	- 8...- 10	-//-
+ 10...+14	624	- 11...- 15	-//-
+ 5...+ 9	1044	- 14...- 21	-//-

## 2.5 Принцип роботи теплового насоса типу «повітря-вода»

Теплові насоси типу «повітря-вода» призначені для систем опалення та кондиціювання та можуть працювати при низьких зовнішніх температурах до  $-20^{\circ}\text{C}$  на опалення та до  $+53^{\circ}\text{C}$  на охолодження [86]. Сам тепловий насос оснащений інвенторним двигуном, який забезпечує широкий діапазон роботи з відносно низьким рівнем шуму [87]. На відміну від твердопаливних котлів, які працюють на традиційних видах палива та забруднюють навколишнє середовище, тепловий насос при роботі не викидає в атмосферу шкідливі речовини, тому він вважається екологічним джерелом теплової енергії [88]. До того ж, холодоагент R410A, який використовується в теплових насосів даного типу, є озонобезпечним та екологічно-нешкідливим [89]. На рисунку 2.2 показаний сам тепловий насос.



Рисунок 2.2 – Тепловий насос фірми Cooper&Hunter типу «повітря-вода»



Схематично принцип роботи теплового насоса зображено на рисунку 2.3.

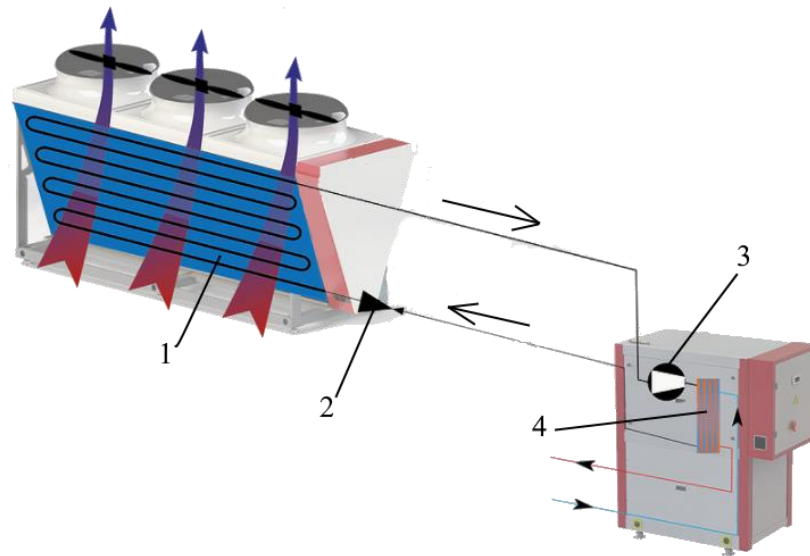


Рисунок 2.3 – Принцип роботи теплового насоса

Під номером 1 показаний випарник, який знаходиться в зовнішньому блоці теплового насоса, він відбирає теплоту з зовнішнього повітря, та через вентилятори видуває вже холодніше повітря. Відбирання теплоти з повітря у випарнику відбувається за рахунок різкого зменшення тиску холодоагента, що призводить до закипання холодоагента і відбору теплоти з повітря, яке проходить через випарник. Після цього холодоагент переходить з рідкого стану в газоподібний та рухається до компресора (номер 3). У свою чергу компресор перекачує газоподібний холодоагент з зони низького тиску (випарник) в зону високого тиску (конденсатор). Після чого, конденсатор (номер 4) конденсує прибутий газоподібний холодоагент назад в рідкий стан. В процесі стиснення виділяється велика кількість тепла, яке і нагріває воду. Далі зконденсований рідкий холодоагент рухається до випарника, перед яким стоїть терморозширювальний вентиль (номер 2), який призначений для різкого зменшення тиску рідкого холодоагента.

За своєю конструкцією тепловий насос складається з зовнішнього та внутрішнього блоків із системою управління.

Основною метою роботи зовнішнього блоку є енергообмін між навколишнім середовищем і опалювальним приміщенням. Тобто зовнішній блок відбирає

низькопотенційне тепло з зовнішнього повітря і за рахунок теплоносія, передає його в приміщення [90]. Зовнішній блок теплового насоса складається з:

- інвентарного компресора;
- вентиляторної групи;
- теплообмінника;
- системи фреонорозподілу;
- систем контролю та обігріву піддону зливу конденсату та картера компресора.

Призначенням внутрішнього блоку (гідромодуля) є забезпечення теплообміну між водою і холодоагентом, управління загальною системою теплового насоса та циркуляцією води в системі опалення. Завдяки високоефективному пластинчастому теплообміннику досягається максимальний теплообмін між водою та холодоагентом [90]. Внутрішній блок теплового насоса складається з:

- циркуляційний насос;
- центральний блок управління;
- теплообмінник «вода-фреон»;
- вентиляторна група;
- резервні електричні нагрівачі (при екстрених ситуаціях) та система управління 2-х та 3-х ходовими клапанами.

## 2.6 Вибір теплоаккумулятора для системи опалення

Теплоаккумулятор (буферна ємність) встановлюється для покращення ефективності системи опалення. Теплоаккумулятор являє собою теплоізований бак циліндричної форми, який накопичує (акумулює) в собі надлишки теплової енергії. Основною задачею теплоаккумулятора є оптимізація теплового режиму системи опалення. Буферна ємність накопичує теплову енергію, і при припиненні роботи теплового насоса або твердопаливного котла – віддає ту саму накопичену теплову енергію в систему опалення, підтримуючи необхідну температуру. Завдяки цьому досягається ефект зниження витрат на опалення.

Необхідний об'єм теплоакумулятора розраховується за спрощеною методикою зі співвідношення

$$V = Q \cdot (25 \dots 50 \text{л}) \text{ л}$$

де  $V$  – об'єм теплоакумулятора, л;

$Q$  – теплова потужність джерела тепла, кВт;

(20...50л) – рекомендований об'єм теплоакумулятора на одиницю потужності котла, л;

В проєктованій системі опалення працюватимуть тепловий насос потужністю 65 кВт та твердопаливний котел потужністю 100 кВт, теплове навантаження розподіляється на систему опалення. Приймаємо  $Q_{\text{оп}} = 1000$  л.

Принцип роботи теплоакумулятора досить простий. За рахунок роботи теплового насоса або твердопаливного котла вода в середині буферної ємності нагрівається, так як у неї надходять надлишки тепла і у разі необхідності накопичене тепло розподіляється по радіаторам, тим самим забезпечуючи комфортні умови в будівлі.

За визначеним об'ємом та необхідними параметрами теплоносія обираємо теплоакумулятор (буферну ємність) фірми «Bizon» на 1000 літрів [91], який зображений на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Теплоакумулятор для системи опалення: а – не теплоізолюю-

ваний; б – теплоізолюваний.

## 2.7 Техніко-економічне обґрунтування вибраного варіанту

Експлуатаційні витрати для варіанту: твердопаливний котел на пелетах і тепловий насос

Експлуатаційні витрати на відпуск котельнею теплової енергії у вигляді пари чи гарячої води залежать від витрат на роботу обладнання, експлуатацію будівлі та споруд, заробітну плату й витрат, безпосередньо пов'язаних з виробництвом теплоти.

Витрати на паливо для твердопаливного котла

Ці витрати визначаються за річною витратою палива і його вартістю.

Робоча витрата палива

$$V_p = Q_k / (Q_{H^c} \cdot \eta), \quad (2.17)$$

$$V_p = 0,104 / (17,17 \cdot 0,89) = 0,0068(\text{кг/с}).$$

Витрата умовного палива

$$V_y = Q_k / (Q_{H^p_y} \cdot \eta), \quad (2.18)$$

$$V_y = 0,104 / (29,3 \cdot 0,89) = 0,0039(\text{кг/с}).$$

Річна витрата палива

$$V_{\text{річ}} = V_p \cdot K_{\text{вп}} \cdot 24 \cdot \tau_{\text{соп}}, \quad (2.19)$$

де  $K_{\text{вп}}$  – коефіцієнт, яким враховують втрати палива, для твердого палива

орієнтовно  $K_{вп} = 1,015$ .

$$V_{річ} = 0,0068 \cdot 3,6 \cdot 1,015 \cdot 24 \cdot 12,5 = 7,45 \text{ (тис.кг/рік)}.$$

Річні витрати на паливо

$$C_{п} = V_{річ} \cdot Ц_{п}, \quad (2.20)$$

де  $Ц_{п} = 6500$  (грн/т) – вартість палива [92].

$$C_{п} = 7,45 \cdot 6500 = 48425 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на електричну енергію

Їх можна визначити за встановленою потужністю електродвигунів, числом годин їх роботи і коефіцієнтом використання встановленої потужності. Витрати на освітлення та інші потреби звичайно входять в інші витрати.

Загальна витрата електричної енергії

- для твердопаливного котла

$$E_{річ} = N_{вп} \cdot 24 \cdot 12,5,$$

$$(2.21)$$

$$E_{річ} = 5 \cdot 24 \cdot 12,5 = 1500 \text{ (кВт \cdot год/рік)}.$$

- для теплового насоса

$$E_{\text{річ}} = 20,2 \cdot 24 \cdot 140,5 = 68114,4 \text{ (кВт} \cdot \text{год/рік)}.$$

Витрати на електричну енергію

$$C_{\text{e.e}} = C_{\text{ел}} \cdot E_{\text{річ}}, \quad (2.22)$$

де  $C_{\text{ел}} = 4,76$  (грн/(кВт·год)) – ціна електричної енергії [93].

- для твердопаливного котла

$$C_{\text{e.e}} = 4,76 \cdot 1500 = 7140 \text{ (грн/рік)}.$$

- для теплового насоса

$$C_{\text{e.e}} = 4,76 \cdot 68114,4 = 324224,5 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на воду

Ці витрати встановлюються за витратою води та її ціною, яку орієнтовано приймаємо 12 грн. 58 коп. за 1 м<sup>3</sup> води [94].

Річна витрата води

$$G_{\text{в.річ}} = G_{\text{св}} \cdot 3,6 \cdot \tau_{\text{оп}}, \quad (2.23)$$

де  $\tau_{\text{оп}}$  – опалювальний період, год

- для твердопаливного котла

$$G_{\text{в.річ}} = 0,00834 \cdot 3,6 \cdot 300 = 9,01 \text{ (м}^3\text{/рік)}.$$

- для теплового насоса

$$G_{\text{в.річ}} = 0,00834 \cdot 3,6 \cdot 3372 = 101,24 \text{ (м}^3\text{/рік)}.$$

Витрати на воду

$$C_{\text{в}} = G_{\text{в.річ}} \cdot \text{Ц}_{\text{в}} \cdot 10^{-3}, \quad (2.24)$$

- для твердопаливного котла

$$C_{\text{в}} = 9,01 \cdot 12,58 \cdot 10^{-3} = 0,113 \text{ (тис.грн/рік)}.$$

- для теплового насоса

$$C_{\text{в}} = 101,24 \cdot 12,58 \cdot 10^{-3} = 1,273 \text{ (тис.грн/рік)}.$$

Річний відпуск теплоти

$$Q_{\text{рік}} = (Q_{\text{кот}} \cdot \tau_{\text{макс}} + Q_{\text{сер}} + \tau_{\text{сер}} + Q_{\text{між}} \cdot \tau_{\text{між}}) \cdot 3600, \quad (2.25)$$

$$Q_{\text{рік}} = (104 \cdot 24 \cdot 153 \cdot 3600) \cdot 10^{-6} = 1374,8 \text{ (ГДж/рік)}.$$

Амортизаційні відрахування

Витрати на амортизацію

$$C_{\text{а}} = k_{\text{в}} \cdot K, \quad (2.26)$$

де  $K$  – загальні капіталовкладення у разі встановлення теплового насоса та твердопаливного котла на деревних пелетах,  $K = 677625$  грн [95,96].

$$C_a = 0,075 \cdot 562500 = 50821,8 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові витрати коштів на поточний ремонт

Витрати на поточний ремонт розраховуються як 20% від амортизаційних відрахувань.

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot C_a, \quad (2.27)$$

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot 50821,8 = 10164,3 \text{ (грн./рік)}.$$

Витрати коштів на заробітну плату

Середньомісячний фонд заробітної плати на одного працівника

$$\Phi = 6000 \text{ грн.}$$

Норми відрахувань:

- до пенсійного фонду – 33,2 %;
- до фонду соціального страхування у зв'язку із тимчасовою втратою працездатності – 2,9 %;
- до фонду соціального страхування на випадок безробіття 1,6 %;
- до фонду соціального страхування внаслідок нещасного випадку – 2,42 %.

Загальна кількість працівників  $Z = 1$

Річні витрати на заробітну плату



$$C_{зп} = Z \cdot \Phi \cdot 12 \cdot (1 + 0,332 + 0,029 + 0,016 + 0,0242), \quad (2.28)$$

$$C_{зп} = 1 \cdot 6000 \cdot 12 \cdot (1 + 0,332 + 0,029 + 0,016 + 0,0242) = 100886,4 \text{ (грн/рік)}.$$

Інші витрати

$$C_{ін} = 0,02 \cdot (C_a + C_{зп} + C_{пр} + C_{еє} + C_{п} + C_{в}), \quad (2.29)$$

$$C_{ін} = 0,02 \cdot (50821,8 + 100886,4 + 10164,3 + 331364,5 + 48425 + 1386) = \\ = 10861 \text{ (грн./рік)}.$$

Річні експлуатаційні витрати коштів

$$C_{річ} = C_a + C_{зп} + C_{пр} + C_{еє} + C_{п} + C_{в} + C_{ін}, \quad (2.30)$$

$$C_{річ \text{ ТН+пел}} = 50821,8 + 100886,4 + 10164,3 + 331364,5 + 48425 + 1386 + 10861 = \\ = 553909 \text{ (грн/рік)}.$$

Собівартість виробництва теплової енергії

$$C_{в} = C_{річ} / Q_{річ} \quad (2.31)$$

$$C_{в} = 553909 / 1374,8 = 402,9 \text{ (грн/ГДж)}.$$

Термін окупності джерела теплоти для варіанту котельні з котлом на пелетах та тепловим насосом

Термін окупності

$$T = \frac{K}{C_{річ.пг} - C_{річ.ТН+пел}}, \quad (2.32)$$

$$T = \frac{900912,5}{857951,8 - 553909} = 2,96,$$

де К – загальні капіталовкладення з тепловим насосом та твердопаливним котлом, К = 900912,5 (грн.).

Результати розрахунків для інших видів палива показані в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Показники роботи котельні на різних джерелах енергії

Найменування	Умовне позначення	Розмірність	Природний газ	Деревні пелети	Тріска	Вугілля	Електричний котел	Тепловий насос	Котел на пелетах + ТН	Котел на трісці + ТН
Річна витрата палива	$V_{річ}$	тис.м <sup>3</sup> /рік тис.кг/рік	43,88	91,24	143,56	56,35	-//-	-//-	7,45	11,7
Річні витрати на паливо	$C_{п}$	грн/рік	714366	593060	559884	563500	-//-	-//-	48425	45630
Загальна витрата електричної енергії	$E_{річ}$	кВт·год/рік	1836	18360	18360	18360	367200	74174,4	69614	69614
Витрати на електричну енергію	$C_{е.е.}$	грн/рік	8739	87394	87394	87394	1747872	353070	331364	331364
Витрати на воду	$C_{в}$	грн/рік	1386	1386	1386	1386	1386	1386	1386	1386
Річні експлуатаційні витрати коштів	$C_{річ}$	грн/рік	857952	825921	776990	788665	1892014	517970	553909	551058
Річний відпуск теплоти	$Q_{річ}$	ГДж·рік	1375	1375	1375	1375	1375	1375	1375	1375
Собівартість виробництва теплової енергії	$СВ$	грн/ГДж	624,0	600,7	565,2	573,7	1376,2	376,8	402,9	400,8
Термін окупності	$T$	рік	-//-	9,36	1,67	3,21	-0,051	1,71	2,96	2,93

На рисунку 2.5 показано порівняльну характеристику різних джерел енергії за річними експлуатаційними витратами коштів.

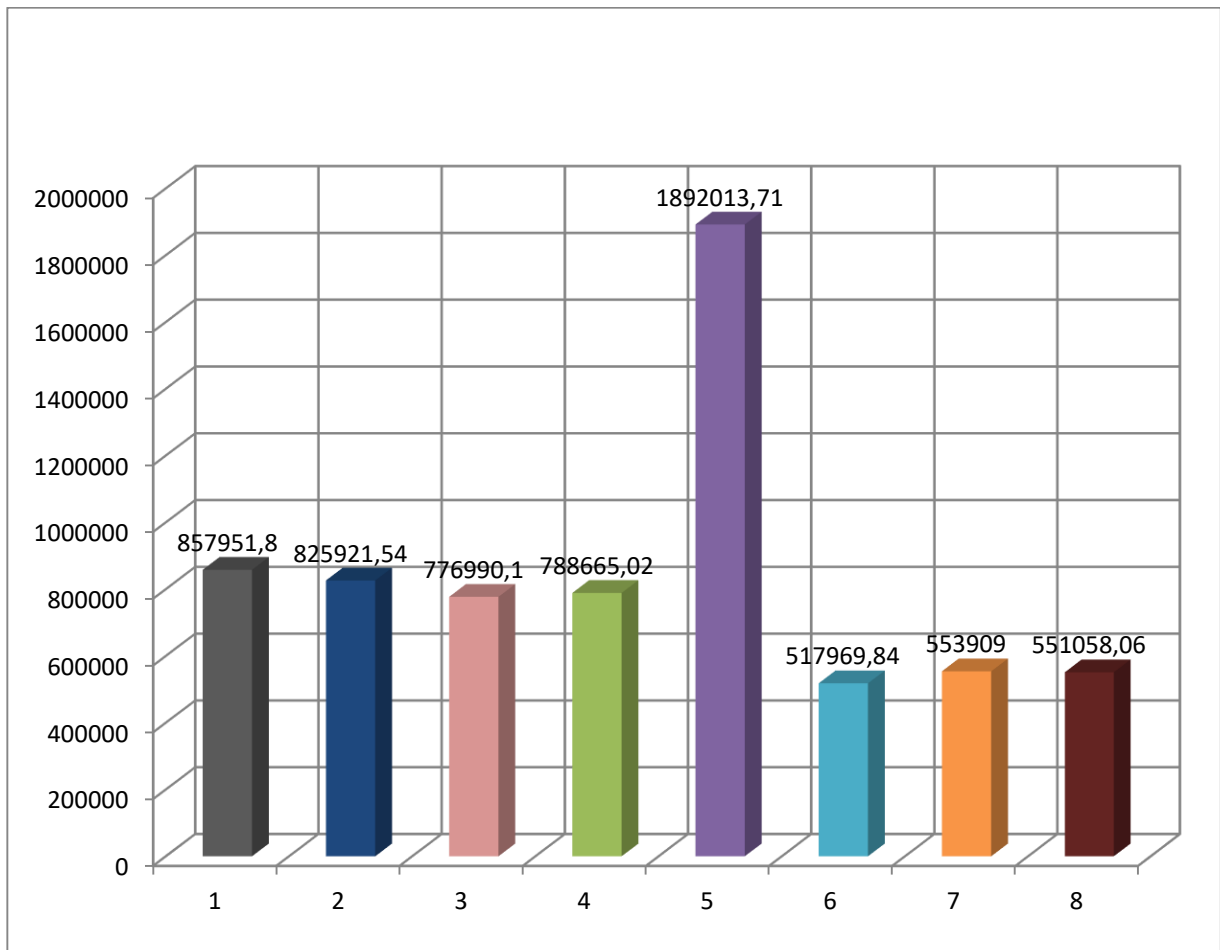


Рисунок 2.5 – Порівняння різних джерел енергії за річними експлуатаційними коштами: 1 – природний газ; 2 – деревні пелети; 3– тріска; 3 – вугілля; 5 – електричний котел; 6 – тепловий насос; 7 – твердопаливний котел на пелетах і тепловий насос; 8 – твердопаливний котел на трісці і тепловий насос.

## 2.8 Висновки до розділу

В даному розділі були виконані теплотехнічні розрахунки для температурного режиму 80/60 °C і опалювального періоду ( $t_{nc} = -21^{\circ}C$ ). Визначено витрати мережної, сирієї та додаткової води, теплову потужність котельні, витрати умовного та робочого палива. Визначено показники роботи котельні в опалювальний та середньоопалювальний періоди року.

В розділі виконано варіантний аналіз джерел енергії для опалювальної котельні потужністю 100 кВт. Визначено техніко-економічні показники роботи водогрійної котельні для теплопостачання адміністративної будівлі від різних джерел енергії: природний газ, деревні пелети, тріска, вугілля, електричний котел, тепловий насос, твердопаливний котел на деревних пелетах і тепловий насос, твердопаливний котел на трісці і тепловий насос. За результатами аналізу запропоновано замінити модулі нагріву на природному газі водогрійним котлом на біомасі та тепловим насосом, який працюватиме в бівалентному режимі. Підібрано основне та допоміжне обладнання котельні: котел на біомасі УЕАС-100, тепловий насос потужністю 65 кВт, теплоаккумулятор об'ємом в 1000 літрів.

### 3 РЕЖИМИ РОБОТИ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ТИПУ «ПОВІТРЯ-ВОДА»

#### 3.1 Математична модель і розрахунок коефіцієнта перетворення

Вхідні дані:

- температура низько потенційного джерела на вході у випарник  $t'_{нт} = 10^{\circ}\text{C}$  ;
- температура низько потенційного джерела на виході у випарник  $t''_{нт} = 0^{\circ}\text{C}$  ;
- температура води на вході у конденсатор  $t'_в = 35^{\circ}\text{C}$  ;
- температура води на виході у конденсатора  $t''_{св} = 50^{\circ}\text{C}$  ;
- внутрішній ККД компресора  $\eta_{км} = 0,85$  ;
- ККД привода компресора  $\eta_{пр} = 0,98$  .

Розрахункова теплова схема теплового насоса показана на рисунку 3.1.

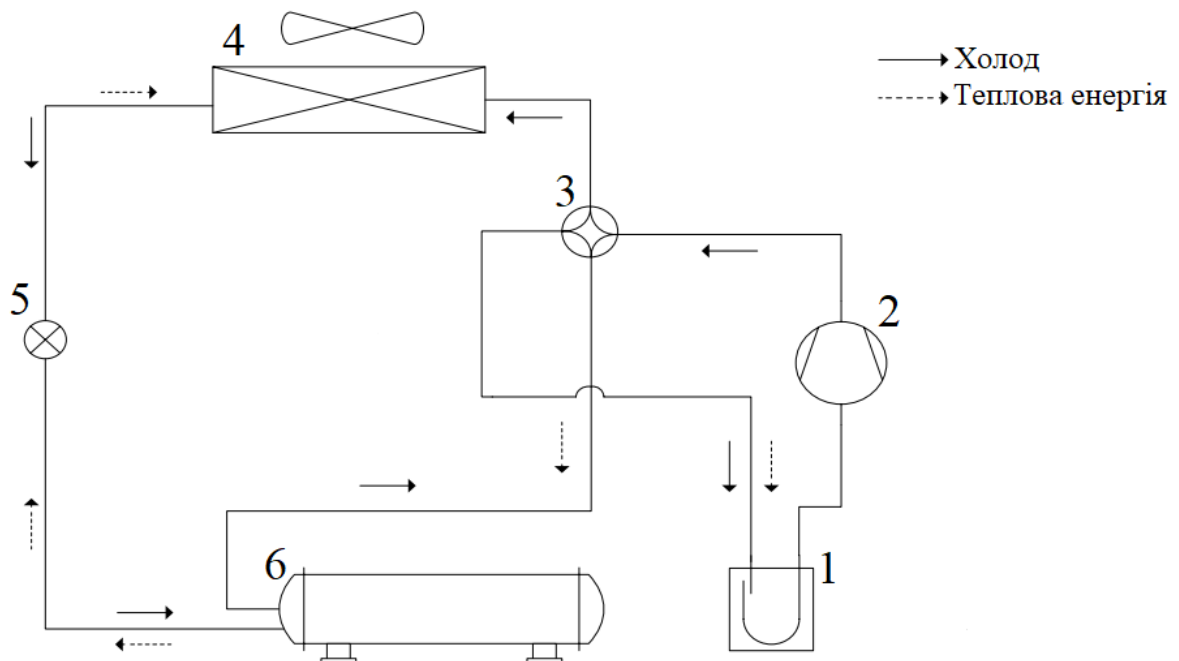


Рисунок 3.1 – Теплова схема теплового насоса: 1 – парорідинний сепаратор (випарник); 2 – компресор; 3 – 4 – х ходовий клапан; 4 – оребрений теплообмінник; 5 – електростатичний розширювальний клапан; 6 – кожухотрубний теплообмінник.

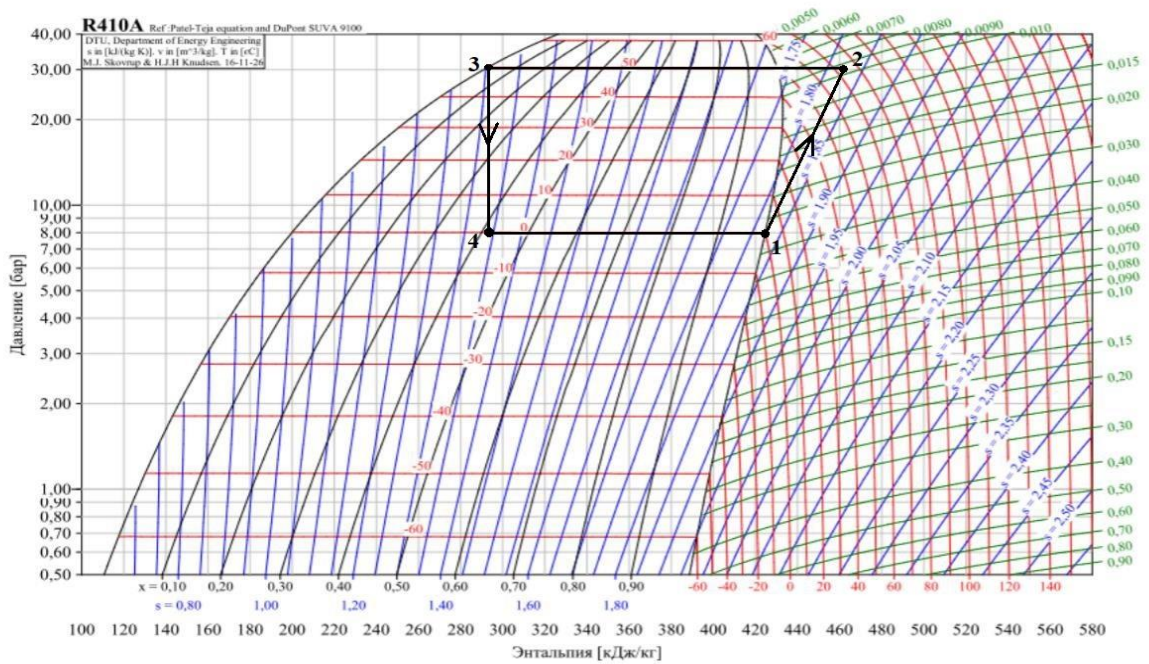


Рисунок 3.2 – Зображення циклу теплового насоса в P-h-координатах.

Ентальпії, визначені з діаграми холодоагента R410A:

$$h_1=430(\text{кДж/кг});$$

$$h_2=460(\text{кДж/кг});$$

$$h_3=h_4=295(\text{кДж/кг}).$$

Температура випаровування холодоагента [98]

$$t_B = t''_{HT} - \theta, \quad (3.1)$$

$$t_B = 0 - 3 = -3^\circ\text{C}.$$

Температура конденсації холодоагента

$$t_K = t''_{CB} + \theta, \quad (3.2)$$

$$t_K = 50 + 3 = 53^\circ\text{C}.$$

Питома теплота, що підведена до холодоагента у випарнику

$$q_B = h_1 - h_4, \quad (3.3)$$

$$q_B = 430 - 295 = 135 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Питома робота компресора

$$l_{\text{км}} = \frac{(h_2 - h_1)}{\eta_{\text{км}}}, \quad (3.4)$$

$$l_{\text{км}} = \frac{(460 - 430)}{0,85} = 35,29 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Питома робота, яка витрачається на привод компресора

$$l_{\text{пр}} = \frac{l_{\text{км}}}{\eta_{\text{пр}}}, \quad (3.5)$$

$$l_{\text{пр}} = \frac{35,29}{0,98} = 36,01 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Питома теплота холодоагента, віддана воді з системи опалення в конденсаторі

$$q_K = h_2 - h_3 = q_B + l_{\text{км}}, \quad (3.6)$$

$$q_K = 135 + 35,29 = 170,29 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right).$$

Коефіцієнт перетворення

$$\varphi = \frac{q_k}{l_{np}}, \quad (3.7)$$

$$\varphi = \frac{170,29}{36,01} = 4,72.$$

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків для різних температурних режимів

Найменування	-5°C	-2°C	0°C	4°C	10°C	15°C
Температура випаровування холодоагента	-8	-5	-3	1	7	12
Температура конденсації холодоагента	53	53	53	53	53	53
Питома теплота, що підведена до холодоагента у випарнику	130	133	134	130	136	140
Питома робота компресора	55,29	48,23	44,7	41,17	31,76	28,23
Питома робота, яка витрачається на привід компресора	56,41	49,21	45,61	42,01	32,4	28,8



Продовження таблиці 3.2

Питома теплота холодоагента, віддана воді з системи опалення в конденсаторі	185,29	181,23	178,7	171,17	167,76	168,23
Коефіцієнт перетворення	3,28	3,68	3,92	4,07	5,17	5,84

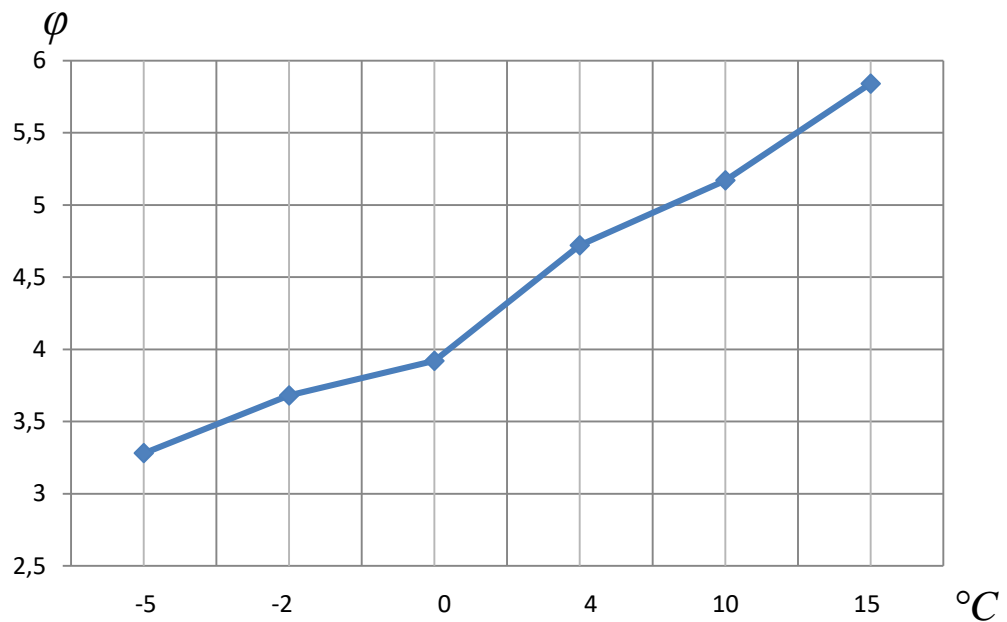


Рисунок 3.3 – Залежність коефіцієнта перетворення від температури повітря на виході з випарника за умови  $t_k'' = 50^\circ\text{C} = \text{const}$

З графіка, що представлений на рисунку 3.3 можна зробити висновок що, чим більша температура повітря на виході з випарника тим більший коефіцієнт перетворення ТН.

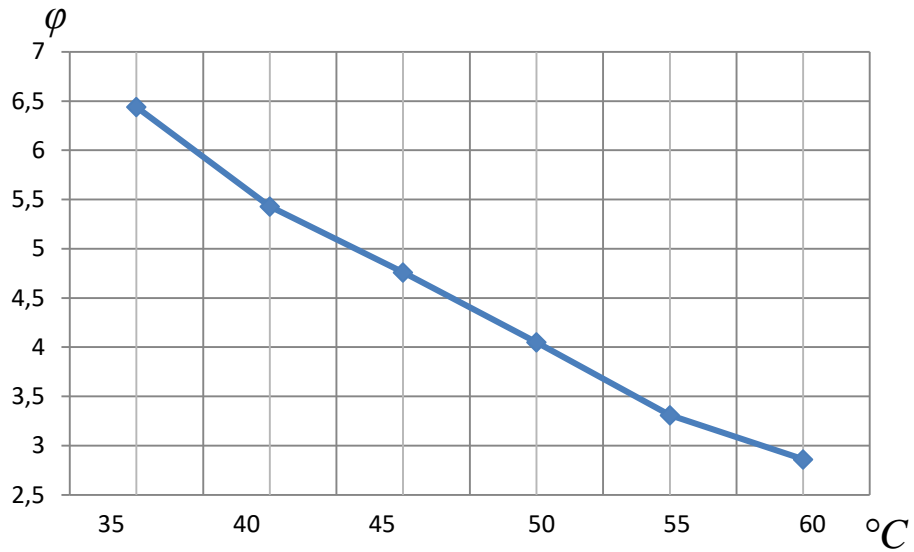


Рисунок 3.4 – Залежність коефіцієнта перетворення від температури на виході з конденсатора за умови  $t''_{\text{вп}} = 3^\circ \text{C} = \text{const}$

З рисунка 3.4 видно, що чим більша температура води на виході з конденсатора, тим менший коефіцієнт перетворення.

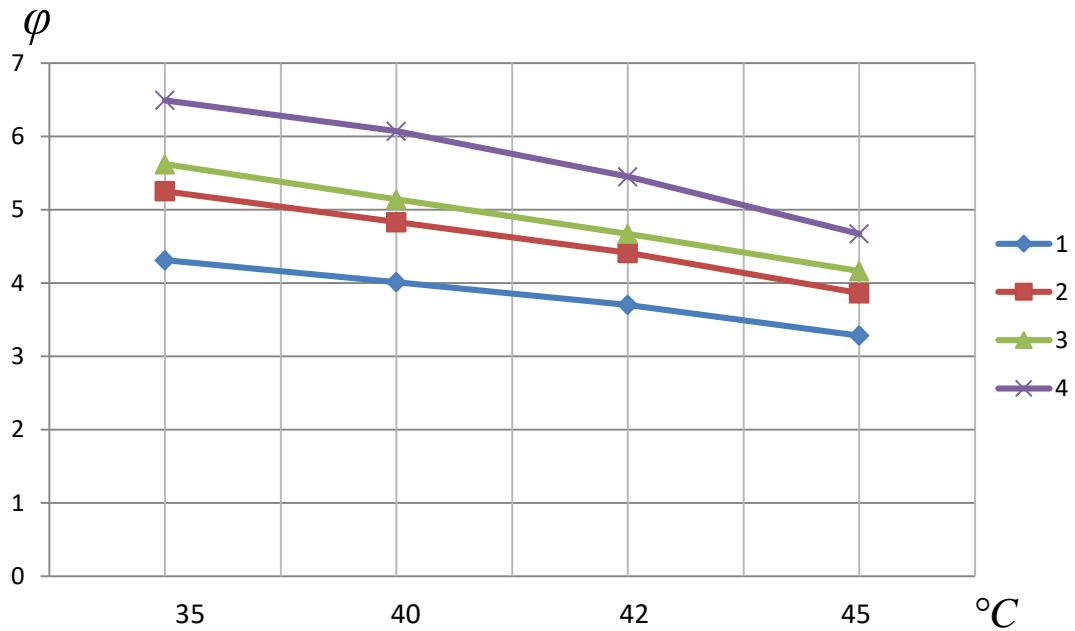


Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнта перетворення від середньотермодинамічних температур теплоносіїв в конденсаторі та випарнику ТН: 1 –  $T^{\text{cp}}_{\text{в}} = -5^\circ \text{C}$ ; 2 –  $0^\circ \text{C}$ ; 3 –  $4^\circ \text{C}$ ; 4 –  $10^\circ \text{C}$ ;

Із залежностей, які показані на рисунку 3.5 впливає загальне правило: чим менша різниця температур джерела теплоти (повітря) і температурою в системі опалення, тим вищий коефіцієнт перетворення теплового насоса. Тому для системи опалення потрібно використовувати сучасні алюмінієві радіатори та теплу підлогу.

Дійсні коефіцієнти перетворення будуть дещо меншими від розрахункових, оскільки під час розрахунків не враховані коефіцієнт відновлення повного тиску у трубопроводі, теплообміннику, недорекуперація теплообмінників, втрати в клапані, вологість повітря, тобто в дійсному циклі ТНУ є незворотність процесів стиснення, розширення і тепломасообміну.

### 3.2 Математична модель та розрахунок ексергетичного ККД ТНУ

Фактор Карно для підведеної теплоти у випарнику

$$\eta_c^B = 1 - \frac{T_{nc}}{T_{cp}^B}, \quad (3.8)$$

де  $T_{nc}$  – температура навколишнього середовища К;

$T_{cp}^B$  – середньотермодинамічна температура підведення теплоти у випарнику К.

$$\eta_c^B = 1 - \frac{263}{282} = 0,067.$$

Фактор Карно для відведеної теплоти у конденсаторі

$$\eta_c^K = 1 - \frac{T_{nc}}{T_{cp}^K}, \quad (3.9)$$

де  $T_{cp}^K$  – середньотермодинамічна температура відведення теплоти у конденсаторі, К.

$$\eta_c^k = 1 - \frac{263}{308} = 0,146.$$

Ексергетичний ККД

$$\eta_e = \eta_c^k \cdot \varphi / (1 + \eta_c^b \cdot (\varphi + \eta_{пр})), \quad (3.10)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт перетворення теплового насоса;

$\eta_{пр}$  – ККД привода компресора.

$$\eta_e = 0,146 \cdot 4,72 / (1 + 0,067 \cdot (4,72 + 0,98)) = 0,498.$$

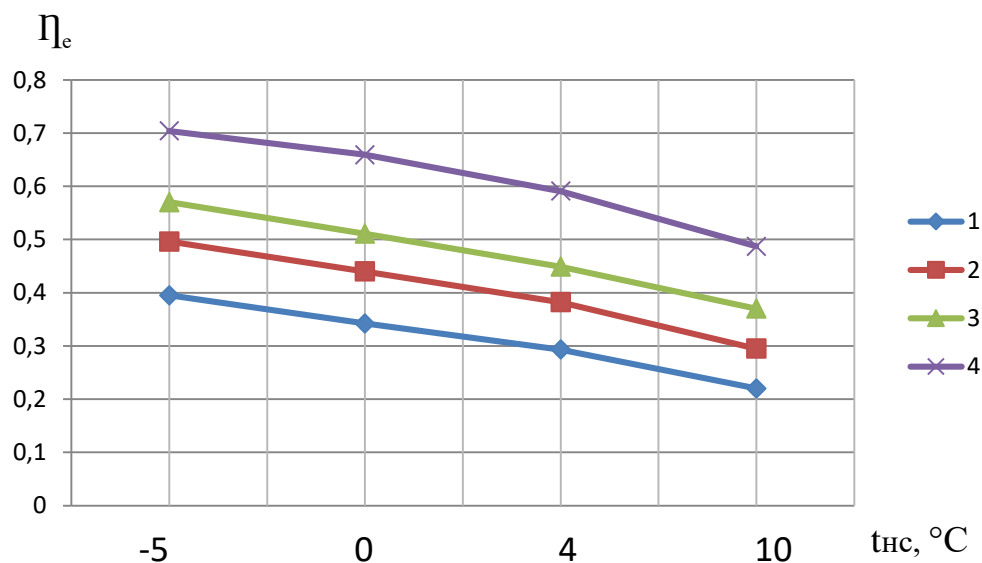


Рисунок 3.6 – Залежність ексергетичного ККД ТНУ від температури навколишнього середовища: 1 –  $t_{пмв}/t_{змв}=40/20$  °C; 2 – 42/25; 3 – 45/30; 4 – 50/35

З рисунку 3.6 видно, що значення ексергетичного ККД ТНУ зростають зі зменшенням температури зовнішнього середовища та з підвищенням температурного режиму підігрівання мережної води.

### 3.3 Висновки до розділу

Отже, для вибраної теплонасосної установки, яка працює на холодоагенті R410A, виявлено, що в діапазоні температур повітря на виході з випарника  $5...+15^{\circ}\text{C}$  коефіцієнт перетворення  $\phi$  змінюється в межах  $3...6$ . Якщо температура води на виході з конденсатора змінюється в межах  $35...60^{\circ}\text{C}$ , то  $\phi = 2,5...6,5$ . Для виконання розрахунків вибрані температури  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $-2^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $4^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$  – на випарнику, при сталій температурі на конденсаторі  $50^{\circ}\text{C}$ .

Ексергетичний ККД ТНУ в разі зміни температур навколишнього середовища  $t_{\text{nc}} = -5...+10^{\circ}\text{C}$  складає  $\eta_e = 0,2...0,7$  в залежності від температурного графіка теплової мережі.

Із залежностей, які показані в розділі можна сформулювати загальне правило: чим менша різниця температур джерела теплоти (повітря) і температурою в системі опалення, тим вищий коефіцієнт перетворення теплового насоса. Тому для системи опалення потрібно використовувати сучасні алюмінієві радіатори, фанкойли, стінові панелі та теплу підлогу.

## 4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

### 4.1 Технологія монтажу котла на біомасі

#### 4.1.1 Технологія монтажних робіт.

Робочий проект системи відведення димових газів котла на біомасі, виконаний з врахуванням забезпечення обслуговуючого персоналу нормативними умовами з охорони праці згідно вимог НПАОП 0.00–1.26–96 «Правила будови і безпечної експлуатації парових котлів з тиском пари не більше 0,07МПа (0,7кгс/см<sup>2</sup>), водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою нагріву води не вище 115 °С». Конструкція твердопаливних котлів та їх частин повинна забезпечувати надійність та довговічність під час експлуатації, ремонтпридатність і монтаж для розрахункових параметрів протягом ресурсу безпечної роботи обладнання. Будова газоходів повинна бути такою, щоб не відбувалося утворення вибухонебезпечної концентрації газів, забезпечувати умови для очищення газоходів від відкладень продуктів згорання.

#### 4.1.2 Необхідна документація для системи теплопостачання

Робочий проект має містити основні рішення щодо систем теплогазопостачання (ТГП), специфікації та опитувальні листи від замовника, які потрібні для розміщення замовлень на обладнання, зведені відомості на інші серійні обладнання, матеріали, арматуру і прилади контролю. Креслення робочої документації або робочих проектів повинні містити: пояснювальну записку, плани поверхонь і розміри з нанесеними на них системами ТГП, а також схеми цих систем та вузлів.

Проектно-кошторисна документація містить робочі креслення та кошториси. Робочі креслення трубопроводів з монтажно-технологічних схем та монтажних креслень трубопроводів. Розміри прив'язки, ухили трубопроводів та висотні

позначки обов'язково мають бути наявні в монтажних кресленнях. Проект виконання робіт (ПВР) на весь комплекс робіт по об'єкту включно з підготовчим періодом розробляється генеральною підрядною організацією. ПВР складається з: пояснювальної записки з короткою характеристикою об'єкта; будівельного генерального плану, на якому нанесені усі шляхи подачі устаткування, конструкції і основні матеріали; схеми та способи монтажу технологічного обладнання і трубопроводів.

#### 4.1.3 Розрахунок та комплектування основних і допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей

Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Відомість витрат матеріалів

№ п.п	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Потреба в основних матеріалах					
1	Газохід сталевий діаметром 0,4 м	м	4,05	6,1	24,7
2	Перехід	шт	1	4,2	4,2
3	Котел з газогенератором	шт	1	525	525
4	Вентилятор подачі повітря №2,5	шт	1	26	26
5	Бункер для палива	шт	1	170	170
6	Шнековий транспортер	шт	1	220	220
					970

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Потреба у допоміжних матеріалах					
Монтаж вентилятора [99]					
7	Поковки з квадратних заготовок, маса 1,8 кг	т	0,01		10
8	Електроди, діаметр 4 мм, марка Е50А	т	0,00005		0,05
9	Порошок графітовий	кг	0,6		0,6
Монтаж шнеку [100]					
10	Картон будівельний прокладковий, марка А	кг	1		1
11	Резина листова вулканізованої кольорова	кг	1		1
12	Мастило, солідол жировий «Ж»	кг	2		2
13	Тонколистовий прокат із сталі вуглецевої звичайної якості та якісної, гарячекатаний з обрізів крайками, товщина 3,9 мм	кг	14		14
14	Болти будівельні з гайками та шайбами	кг	5,64		5,64
15	Труби сталеві електрозварні прямошовні із сталі марки 20, зовнішній діаметр 57 мм, товщина стінки 2,5 мм	м	3	3,36	10,08
16	Канат спіральний, тип ТК, без покриття, з дроту марки В, маркувальна	10м	0,004	105	0,42
Монтаж газоходів та переходів [101]					
17	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметр 8 – 10 мм	т	0,0012		1,2
18	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	0,21		0,21
19	Мастика герметизуючи нетвердіюча «Гелан»	т	0,00012		0,12
20	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,0004		0,42
21	Електроди ЕА-400	т	0,00001		0,01



## Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Монтаж котла опалювального на генераторному газі [101]					
22	Азбестовий картон загального призначення [КАОН–1], товщина 2 мм	т	0,0027		2,7
23	Масло індустриальне І–20А	т	0,00005		0,05
24	Електроди, діаметр 4 мм, марка Е42	т	0,0138		13,8
25	Оліфа натуральна	кг	0,04		0,04
26	Прокладки гумові [пластина технічна пресована]	кг	0,25		0,25
27	Болти з гайками та шайбами, діаметр 16 мм	т	0,00802		8,02
28	Очіс льняний	т	0,00004		0,04
29	Пароніт	т	0,00031		0,31
30	Сурик свинцевий	т	0,00008		0,08
Монтаж бункера палива [102]					
1	2	3	4	5	6
31	Болти із шестигранною головкою оцинковані, діаметр різьблення 12– [14] мм	т	0,000075		0,075
32	Цвяхи будівельні з плоскою головкою 1,6 х50 мм	т	0,000002		0,002
33	Канати прядив'яні просочені		0,000017		0,017
34	Катанка гарячекатана в мотках, діаметр 6,3–6,5 мм	т	0,000051		0,051
35	Швелер N 40 з гарячекатаного прокату зі сталівуглецевої звичайної якості, марка Ст0	т	0,00033		0,33
36	Електроди, діаметр 2 мм, марка Е42	т	0,000068		0,068
37	Бруски обрізні з хвойних порід, довжина 4–6,5 м, ширина 75–150 мм, товщина 40–75 мм, І сорт	м <sup>3</sup>	0,000175	255	0,0446

## Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
38	Грунтовка ГФ–021 червоно-коричнева	т	0,00005		0,05
39	Розчинник, марка Р–4	т	0,000002		0,002
40	Канат подвійного звивання, тип ТК, оцинкований, з дроту марки В, маркувальна група 1770 Н / мм <sup>2</sup> , діаметр 5,5 мм	10м	0,0032	2,1	0,006
Сума					72,7

Загальна маса всіх вантажів дорівнює сумі мас основного та допоміжного обладнання, всіх пристроїв та інструментів.

Загальна маса

$$\sum_{\text{заг}} = \sum_{\text{осн.обл.}} + \sum_{\text{доп.обл.}} ,$$

$$\sum_{\text{заг}} = 970 + 72,7 = 1042,7 \text{ (кг)}.$$

4.1.4 Визначення складу і об'єму робіт. Вибір типів машин, механізмів, пристосувань і конструкцій та визначення трудомісткості виконання монтажних робіт.

Визначення складу і об'ємів робіт.

Склад робіт.

1. Доставка деталей до місця монтажу.
2. Розмітка місць прокладання газоходів.
3. Монтаж котла опалювального на генераторному газі.
4. Монтаж бункера палива.

5. Монтаж шнекового транспортера.
6. Монтаж вентилятора.
7. Прокладання газоходів.
8. Монтаж переходу.
9. Випробування газоходів.

Об'єми робіт.

1. Доставка деталей до місця монтажу. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна вага усіх деталей 1042,7 кг. Вибираємо об'єм  $V=1,04$  т.
2. Розмітка місць прокладання газоходів. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всієї мережі трубопроводу складає  $L=4,05$  м. Вибираємо  $V=0,04$ .
3. Монтаж котла опалювального на генераторному газі. Одиниці вимірювання в шт. Вибираємо  $V=1$  шт.
4. Монтаж бункера палива. Одиниці вимірювання в шт. Вибираємо  $V=1$  шт.
5. Монтаж шнекового транспортера. Одиниці вимірювання в шт. Вибираємо  $V=1$  шт.
6. Монтаж вентилятора. Одиниці вимірювання в шт. Вибираємо  $V=1$  шт.
7. Прокладання трубопроводів газоходів. Одиниці вимірювання в  $100\text{м}^2$ . Довжина труб складає 4,05 м, площа поверхні 5,08, отже, приймаємо  $V=0,05$ .
8. Монтаж переходу газоходу. Одиниці вимірювання  $100\text{м}^2$ . Кількість  $1,1\text{ м}^2$ . Отже, об'єм становить  $V=0,01$ .
9. Випробування газоходів. Одиниці вимірювання 100 п.м. Об'єм приймається як загальна довжина газоходів становить  $V=0,04$ .

Підбір машин, механізмів, пристосувань

Обладнання, конструкції, трубопроводи і деталі та для систем теплопоста-

чання доставляються вантажним автомобілем Mercedes–Benz AXOR 1829. Оскільки загальна вага усіх деталей становить 1,04 т, тому доставка деталей та обладнання до місця монтажу виконується за один раз. Технічні характеристики вантажного автомобіля наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики Mercedes–Benz AXOR1829[103]

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Довжина платформи	м	8,45
Вантажопідйомність	т	9,8
Габарити: Довжина Ширина Висота	м	8,45 2,45 2,3
Маса	т	19

Для встановлення обладнання використовуємо автокран КС-55713[104] технічна характеристика якого наведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічна характеристика автокрана КС-55713

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Вантажопідйомність	т	25
Довжина стріли	м	21,7
Коля коліс: передніх задніх	м	2,03 1,79
Маса	т	20,5
Потужність	к.с.	219

Для зварювання стиків трубопроводу використовується електродугове зварювання постійним струмом. Використовуємо апарат Tesla Weld MIG/MAG/MMA 287, характеристики якого показані в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Характеристики зварювального апарату Tesla Weld MIG/MAG/MMA287 [105]

Величина	Одиниці ви- мірювання	Значення
Напруга	В	190-240
Діаметр електрода	мм	1,4–4,0
Потужність	кВт	6,7
Напруга холостого ходу	В	50
Маса	кг	19

Для установки кріплень трубопроводів та кронштейнів використовують перфоратор WRH13-26DFR з технічними характеристиками [106]:

- енергія удару – 3,2 Дж;
- число ударів при номінал. числі обертів – 5800 уд/хв ;
- потужність – 1250 Вт;
- вага – 3,6 кг.

Труби подавальних та зворотних магістралей зв'язуються в пакети, які в свою чергу мають відповідне маркування, що виключає наявність помилок. Трубні заготовки комплектуються по гілках, оскільки фасонні частини трубопроводів зібрані вже в готовому вигляді, тому є потреба лише в монтажних інструментах та шліфувальних кругах для кутової шліфувальної машини.

Таблиця 4.5 – Набір інструментів та пристосувань для монтажників

Найменування	ГОСТ, марка	Кількість, шт.	Загальна маса, кг
1	2	3	4
Ключ гайковий двосторонній М17х19мм, М19х22 мм	ГОСТ2839–80	8	1,2

## Продовження таблиці 4.5

Плоскогубці комбіновані	ГОСТ 5547–75	8	2,13
Викрутки	ГОСТ 5423 – 79	8	0,41
Зубило слюсарне довжиною 200 мм	ГОСТ 7211–72	8	2,8
Молоток слюсарний	ГОСТ 2310–77	8	2,4
Стрічка вимірювальна, 20 м	ГОСТ 7502 – 61	8	0,16
Молоток гумовий		8	2,53
Рівень металевий	ГОСТ 7948–80	4	0,44
Висок	ГОСТ 7948–80	4	0,4
Ящик переносний для інструменту		16	4,2
Круги армовані абразивні зачисні, діаметр 180х6 мм		1,66	0,62
Всього:			17,29

Загальна маса всіх інструментів і пристосувань складає:

$$\Sigma_{\text{інст.}}=19+3,6+17,29=39,89 \text{ (кг)}.$$

Витрата паливних та енергетичних ресурсів.

Витрата пального для доставки матеріалів та виробів:

- відстань 120(км);
- кількість ходок  $n=1$ ;
- витрата пального  $Q=18$  (л/100км).

Необхідна кількість пального для доставки труб визначається за рівнянням

$$Q_{\text{п}}=Q \cdot 2 \cdot n \cdot l, \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{п}}=0,18 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 120=43,2 \text{ л.}$$

Труби, деталі та конструкції завозяться централізовано автомашиною КС-55713. Технічні характеристики автомашини наведені в табл. 4.3.

Витрата маш-год на роботу автокрана:

1. Монтаж шнека – 3,3.
2. Прокладання газоходів, 400 мм – 2,2.
3. Встановлення вентилятора – 2,8.
4. Монтаж бункера – 1,34.
5. Монтажкотла – 5,13.

Загальна тривалість роботи автокрана 14,77 маш-год.

Витрата палива

$$Q = N \cdot q / (1000 \cdot R \cdot k_1), \quad (4.2)$$

де  $q$  – питома витрата палива;

$N$  – потужність двигуна, к.с., (Вт),

$R$  – густина дизпалива, 0,85 кг/дм<sup>3</sup>,

$k_1$  – співвідношення часу роботи при частоті обертання, виражене у відсотках.

$$Q = 298 \cdot 265 / (1000 \cdot 0,85 \cdot 2,3) = 40,4 \text{ (л/маш-год)}.$$

Загальна витрата палива становитиме  $14,77 \cdot 40,4 = 569,7$  л.

Витрати енергії на електрозварювання та свердлильні машини.

Загальна витрата маш-год для установок електричного зварювання становить 10,1 маш-год, для свердлильних машин 11,8 маш-год.

Отже, для виконання всіх зварних з'єднань необхідно витратити  $4,3 \cdot 0,33 \cdot 10,1 = 14,3$  кВт·год електричної енергії. Для зачищення матеріалів кутова шліфувальна машина витрачає  $1,25 \cdot 11,8 \cdot 0,65 = 9,6$  кВт·год.

#### 4.1.5 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Трудомісткість монтажних робіт

$$Q = \frac{V \cdot H_{\text{ч}}}{B}, \quad (4.3)$$

де  $V$  – об'єм робіт,

$H_{\text{ч}}$  – норма часу на одиницю виміру, люд-год;

$B$  – кількість годин в зміні, год.

Тривалість монтажних робіт

$$T = \frac{Q}{n}, \quad (4.4)$$

де  $Q$  – трудомісткість монтажних робіт, люд-дні

$n$  – кількість робітників, люд.

Результати розрахунків показані в таблиці 4.6.



Таблиця 4.6 – Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Найменування робіт	Од. вимірюв.	Об'єм робіт	Норма часу, люд-год	Трудоміст. люд-дні	Виконавці		Тривалість, дні
					кількість	Склад бригади	
1	2	3	4	5	6	7	8
Доставка деталей до місць монтажу та їх складування	т	1,04	1	0,13	6	1 робітник, 1 водій	0,02
Розмітка місць прокладання трубопроводу	100 м	0,04	1,3	0,0065	2	Слюсар 4 розряду	0,0035
Монтаж котла опалювального	шт	1	70,73	8,84	6	Слюсар 4розр., зварювальник 5, 6 розр.	1,47
Монтаж бункера палива	шт	1	95,84	11,98	6	Слюсар 4 розр., зварювальник 5, 6 розр.	1,99
Монтаж шнекового транспортера	шт	1	53,2	6,65	6	--/--	1,1
Монтаж вентилятора	шт	1	37,8	4,725	6	--/--	0,785
Прокладання трубопроводів газоходів	100 м <sup>2</sup>	0,05	301,07	1,88	4	Слюсар 2, 4 розряду	0,47
Монтаж переходу	100 м <sup>2</sup>	0,01	301,07	0,376	4	Слюсар 2, 4 розряду	0,09
Робоча перевірка системи в цілому	100м	0,04	2,9	0,0145	4	Слюсар-сантехнік 5 розряду	0,004
Кінцева перевірка системи і здавання в експлуатацію	100м	0,04	2,4	0,012	4	Слюсар-сантехнік 5 розряду	0,003

#### 4.1.6 Техніка безпеки під час монтажу котлів.

Під час виконання монтажних робіт необхідно дотримуватись техніки безпеки. Всі роботи виконуються за наявності наряду-допуску та відповідно до графіка монтажних робіт [107–110].

- Не дозволяється виконання інших робіт на території, де відбуваються монтажні роботи.
- Піднімання збірних залізобетонних конструкцій без монтажних петель або міток не дозволений.
- Елементи конструкцій під час переміщення повинні утримуватися від розгойдування і обертання гнучкими відтяжками.
- Перебування будь-яких осіб на елементах конструкцій та обладнання під час їх підймання або переміщення заборонене.
- Для пересування монтажників по конструкціях необхідно застосовувати трапи, які мають відгородження, драбини та перехідні містки.
- Елементи конструкцій або обладнання повинні бути надійно закріплені.
- Заборонене перебування людей під елементами конструкцій та устаткування, які демонтуються.
- Під час демонтування конструкцій або обладнання повинні виконуватися вимоги, які висуваються до монтажних робіт.
- Під час проведення монтажних або демонтажних робіт діючі електромережі або інші інженерні системи потрібно закортити або вимкнути.
- Під час переміщення конструкції або обладнання лебідками, їх вантажопідйомність повинна співпадати з вантажопідйомністю тягових елементів.

- Якщо монтажні роботи виконуються в умовах вибухонебезпечного середовища необхідно виключити можливість виникнення іскри або полум'я.
- Обладнання, яке монтується за допомогою домкратів не повинно бути перекошеним задля виключення можливості перекидання домкрата.
- Використовувати механічний інструмент з драбин, а також перенесення інструменту з місця на місце у ввімкненому режимі не дозволяється.

#### 4.1.7. Монтажене регулювання та здавання системи в експлуатацію.

Загальні положення про випробування газоходів.

Під час вивірення рами, встановлення окремо або разом з агрегатом обладнання, повинні дотримуватися такі допуски:

- відхилення осей рами або агрегату від проектного положення в плані і по висоті не більше 5 мм;
- відхилення від горизонтального положення 0,1 мм на 1 пог. м;
- підкладки під фундаментні рами агрегатів повинні виступати за кромки опорних балок однаково в обидві сторони, але не більше ніж на 20 мм.

Під час встановлення агрегату на міжповерхових перекриттях повинні застосовуватися віброізолюючі пристрої і компенсуючі вставки, що з'єднують вентилятор з повітроводом, а димосос з газоходами.

Газоходи, повітропроводи і матеріалопроводи повинні бути надійно закріплені на своїх постійних опорах і не допускати передачі навантаження від них на агрегат. В опорах і підвісках не повинно бути зсувів і перекосів, а у фланцевих з'єднаннях – натягу.

Не співвісність всмоктувальних воронки і робочого колеса не повинна перевищувати 5 мм.

Місця проходу валів через торцеві кришки підшипників повинні бути ущільнені щоб уникнути протікання масла.

Обертання від руки роторів в зібраних агрегатах повинно бути плавним без зачіплювання і без заїдання, при цьому осьове відхиленнявала допускається до 0,1 мм.

Пускові пристосування для електродвигунів повинні встановлюватися в зручному для управління місці.

Болти, що кріплять агрегат до фундаментної плити, а також фундаментні болти повинні мати контргайки.

На всмоктуючому отворі вентилятора повинна встановлюватися решітка з осередками розміром 25–50 мм, якщо вентилятор не приєднується до повітропроводу, і знімний патрубок довжиною не менше ширини кожуха вентилятора, якщо вентилятор приєднується до повітропроводу.

Зазори між ротором і кожухом повинні перевірятися перед закриттям кожуха агрегату з занесенням в монтажний формуляр.

Після закінчення монтажу агрегат повинен бути пофарбований разом з прилеглими до нього газоходами та повітропроводами або матеріалопроводами.

Під час монтування вентиляторів обов'язковим є дотримання наступних умов:

- розбіжність осі кожуха вентилятора з осями підвідного каналу і дифузора не повинна перевищувати 5 мм, перекіс осей не повинен бути більше 3 мм на 1 п. м;

- відхилення перпендикулярності осей рам кожуха і підшипників, а також розбіжність їхніх осей не повинні перевищувати 3 мм, а відхилення розміру між рамами по висоті не повинно бути більше 1 мм;

- верхні фланці кожуха повинні знаходитися у горизонтальній площині з допустимим відхиленням не більше 0,5 мм і 1 пог. м;

- ухил вала за рівнем повинен бути спрямований до середини ротора і однаковий з обох його сторін;

- напрямні апарати і вхідні труби повинні бути встановлені співвісно. Розбіжність осей допускається не більше 5 мм. Після встановлення напрямного апа-

рату має бути перевірено обертання його лопаток від ручного і моторного приводу.

Під час монтажу вентиляторів одностороннього всмоктування осьовий зазор між кільцем ущільнювача робочого колеса і ущільнювача сектором вхідної труби повинен бути в межах від 2 до 4 мм для будь-якого положення робочого колеса; осьовий зазор між обтічником і робочим колесом не повинен бути більше 15 – 20 мм.

#### 4.1.8.Визначення складу бригад.

Склад бригад та середній розряд робітників для виконання монтажних робіт визначається згідно нормативних документів.

Доставка деталей до місць монтажу та їх складування. Четверо робітників, два водія.

Розмітка місць прокладання трубопроводу. Двоє монтажників 5 розряду і 3 розряду.

Монтаж котла опалювального. Чотири робітники 4, 2 розряду, два електрозварювальники 5, і 6 розряду.

Монтаж бункера палива. Чотири робітники 4, 2 розряду, два електрозварювальники 5, і 6 розряду.

Монтаж шнекового транспортера. Чотири робітники 4, 2 розряду, два електрозварювальники 5, і 6 розряду.

Монтаж вентилятора. Чотири робітники 4, 2 розряду, два електрозварника 5, і 6 розряду.

Прокладання трубопроводів газоходів. Чотири монтажники 4, 2 розряду.

Монтаж переходу. Чотири монтажники 4, 2 розряду.

Робоча перевірка системи в цілому. Чотири слюсаря–сантехніка 5 розряду.

Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Четверо слюсарів–сантехніків 5 розряду.

## 4.2 Принципові рішення з автоматизації котельні з ТНУ

### 4.2.1 Характеристика технологічного обладнання.

Об'єкт автоматизації водогрійної котельні це установка енергетична УЕАС-100, яка працює біомасі – паливній трісці або пелетах. Водогрійний котел – це система, в якій енергоносії завантажують у спеціальний відсік котла – топку і підпалюють. Теплота, вироблена в процесі горіння, нагріває воду, яка в свою чергу обігріває будинок, циркулюючи по трубах.

Установка енергетична УЕАС-100 призначена для систем гарячого водопостачання, водяного опалення приміщень, сушильних камер, теплиць та забезпечення теплом технологічних процесів. Складається з котла відповідної теплопродуктивності та системи автоматичного спалювання (САС). При відключенні електроенергії або в інших аварійних випадках для підтримання технологічного процесу в режимі можливе спалювання кускових відходів, брикетів, вугілля або його сумішей в топці котла.

Температура води на виході з котла може досягати 95 °С, робочий тиск води – до 2,5 атм., котли випробовуються під тиском 3 атм. Також їх особливістю є те, що котли можуть використовуватись як в складі установки енергетичної так і самостійно. Система автоматичного спалювання САС може бути під'єднана до вже діючого котла.

### 4.2.2. Опис технологічного процесу

Принцип роботи установки енергетичної УЕАС-100 показано на рис. 4.1.

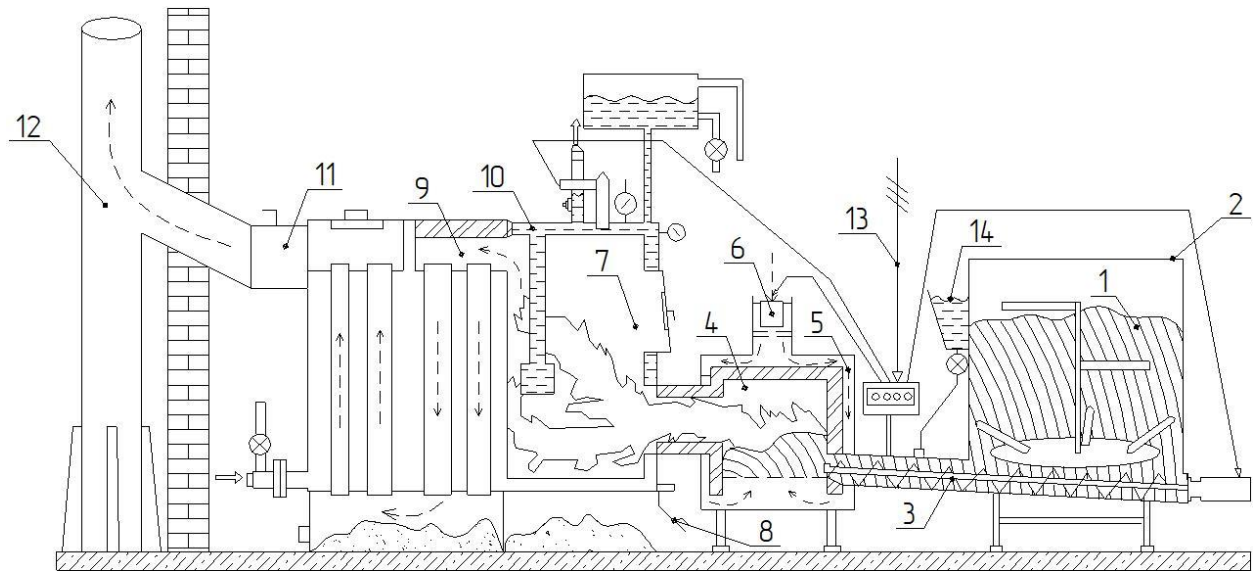


Рисунок 4.1 – Принципова схема технологічного процесу

Паливо 1 з бункера 2 подається шнеком 3 у камеру попереднього спалювання 4. Повітря 5 для горіння у камері подається вентилятором піддування 6. Недопалені продукти згорання разом із попелом у факелі вогню поступають в топку котла 7, де і догорають. Вторинне повітря для догорання регулюється дверцятами піддування топки котла 8. Топка котла також може використовуватись для спалювання кускових відходів деревини. Гарячі гази 9 нагрівають воду у теплообміннику 10. Тяга котла регулюється поворотним шибером 11, розміщеним в газоході котла, через який відхідні гази поступають в димову трубу 12 і відводяться в атмосферу.

Електронний пульт керування 13 забезпечує правильне взаємне функціонування всіх елементів установки енергетичної. Основною функцією пульта є підтримання заданої температури води на виході з котла.

Система пожежогасіння зворотного вогню в коробі шнека складається з ємності з водою 14 з вентилям і шлангом. Тому необхідно передбачити зберігання і накопичення палива, а також систему подачі палива у випадку використання установок енергетичних великої потужності.

4.2.3 Обґрунтування вибору величин, які регулюються та каналів регулюючого впливу

Схеми автоматичного регулювання.

Відомо, що на інтенсивність горіння твердого палива впливає кисень, який подається в котел через піддувало. Отже керувати процесом роботи котла можна відкриваючи або закриваючи піддувало. Але такий процес не є практичним та зручним. Тому в дверцята піддувала можна вмонтувати електричний вентилятор. А керувати його швидкістю обертання можна за рахунок автоматизації. Тому автоматика для вентилятора твердопаливного котла включає в себе нагнітаючий вентилятор, його як правило встановлюють в дверцята піддувала або в окремий отвір для нього. Для керування частотою обертів застосовується спеціальний контролер. На контролері задається необхідна температура теплоносія – коли вода в системі нагрівається до заданої позначки, спрацьовує датчик, і автоматика відключає вентилятор. Якщо кисень перестає надходити в топку котла, то вогонь згасає. І, навпаки, як тільки температура теплоносія падає нижче певного значення, датчик подає сигнал контролеру, який запускає вентилятор – велика кількість повітря в топці розпалює полум'я.

Спочатку необхідно заповнити систему опалення теплоносієм і спустити повітря з системи. Потім потрібно виконати запуснути циркуляційний насос. Коли теплоносій в системі почне циркулювати, потрібно перевірити показники на термостатах, а також перевірити рівень води і тиск в системі опалення. Далі можна розпалювати котел. Автоматика має свої особливості запуску, тому на даному етапі потрібно дотримуватися вимог, які описані в інструкції експлуатації пристрою. Коли розпалювання котла відбулося, тоді потрібно встановити необхідні для користувача параметри роботи.

АСР паливо – повітря.

Однією з основних проблем на котельнях, як в економічному, так і в екологічному питанні, є та обставина, що не регулюється співвідношення «паливо-повітря». Двигуни весь час працюють на максимальній потужності, а оператор котельні для регулювання подачі повітря та видалення відхідних газів вручну відкриває або закриває шибер. Внаслідок такої системи управління



швидше зношуються двигуни, мають місце шкідливі викиди в атмосферу через брак повітря, а також знижується ККД через надлишок повітря. Ідеальне співвідношення для горіння паливо/повітря –  $1/10$ , але реально використовують  $1/8-1/7$ , а через ручне налаштування воно може збиватися до  $1/3$ , що призводить до великих перевитрат палива і до підвищення вмісту шкідливих газів у викидах. Схему АСР «паливо-повітря» показано на рис. 4.2.

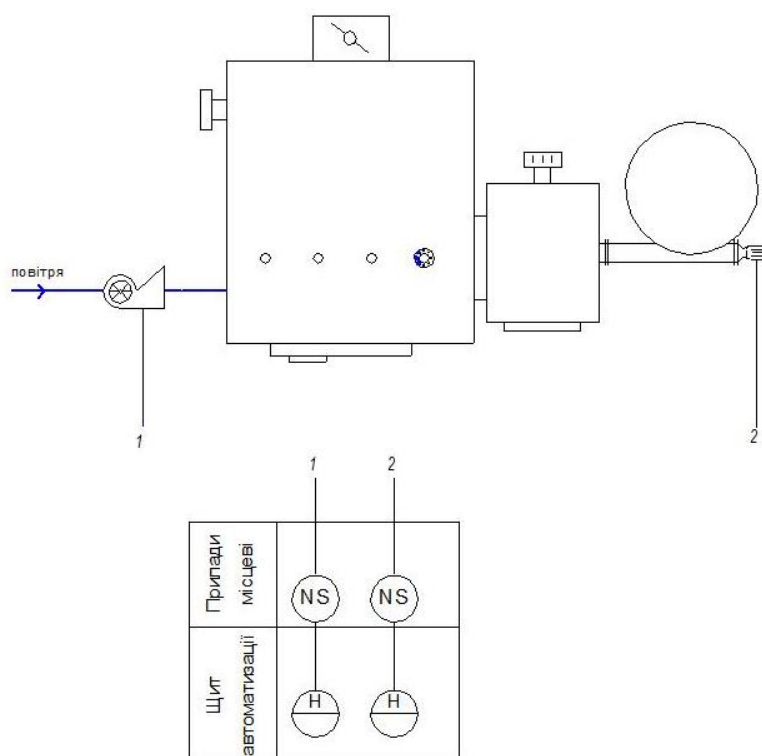


Рисунок 4.2 – АСР «паливо-повітря»

Одним з найефективніших способів енергозбереження при цьому є створення автоматичної системи регулювання подачі палива і повітря в топку котла, яка дозволить оптимізувати процеси горіння палива, що дозволить підвищити економічність роботи котла і істотно знизити шкідливі викиди в атмосферу. Для конкретних умов згорання палива встановлене конкретне значення коефіцієнта надлишку повітря, яке відповідає мінімальним втратам теплоти. Значення коефіцієнта надлишку повітря для сучасних котлів становить приблизно 1.4, тому діапазон його зміни, в межах яких можливе бездимне згорання палива, досить

малий. Тому співвідношення подачі повітря і палива в топку зобов'язане підтримуватися за допомогою автоматичної системи регулювання (АСР) з великою точністю, яка допоможе забезпечити максимальний ККД котла, а також мінімізацію втрат теплоти.

АСР температури води на виході з котла.

АСР температури води на виході з котла забезпечується за допомогою встановлення дуттєвого вентилятора, який направляє потік повітря в топку котла. Завдяки цьому зберігається правильне співвідношення величин «паливо-повітря», паливо в свою чергу подається механізованою системою автоматичної подачі палива.

Досягається цей процес завдяки АСР частоти обертів електродвигуна. Тому на вході в котел встановлений циркуляційний насос, який автоматично включається або виключається в залежності від потреби в подачі води. Далі прилади автоматично заміряють витрату води та її температуру та передають потрібну інформацію на контролер. Спостерігати АСР температури гарячої води на виході з котла можна на рис. 4.3.

Завдяки цим параметрам досягається потрібна температура вже підігрітої води на виході з котла, де стоїть прилади для контрольного заміру температури води на виході з котла. Якщо знята температура не є достатньою для споживача, АСР збільшує частоту обертів електродвигуна і цим самим, збільшує подачу палива в котел, паралельно також система автоматично запускає вентилятор, тим самим збільшуючи потік повітря, який поступає в топку. Завдяки цьому і досягається потрібна температура гарячої води на виході з котла.

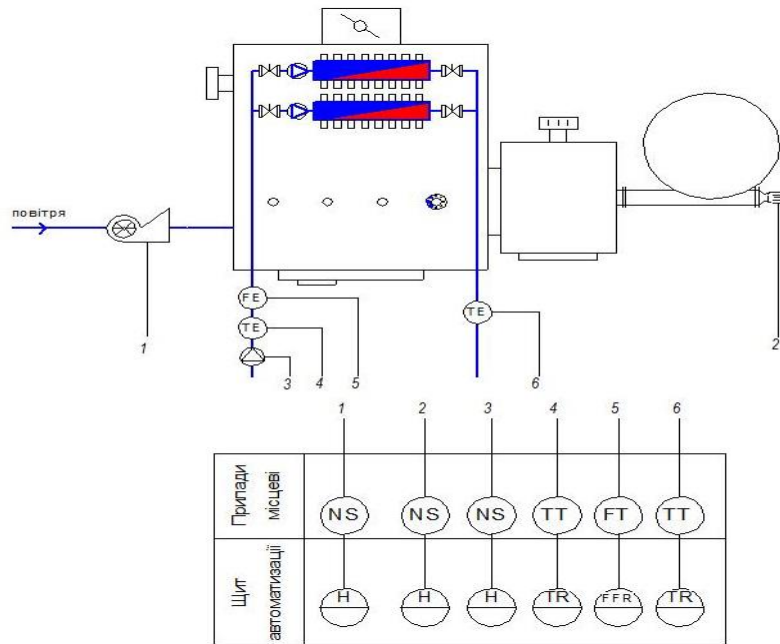


Рисунок 4.3 – АСР температури води на виході з котла

АСР температури прямої мережної води.

Регулюючим параметром являється температура теплоносія  $t_r$ , який в свою чергу подається в систему опалення в залежності від змін температури зовнішнього повітря  $t_n$ . Збурення складаються з зовнішніх збурень (коливання температури зовнішнього повітря) і внутрішніх теплових збурень від зміни теплового навантаження системи опалення. Регулятор температури теплоносія включає в себе регулюючий пристрій, виконавчий пристрій і датчик регулювання температури теплоносія. Керуючий сигнал для виконавчого пристрою формується регулятором температури (ПД-регулятором) в залежності від величини неузгодженості між виміряною температурою  $t_r$ , контрольованої датчиком, і заданою температурою  $t_r$ , значення якої формується пристроєм. Виконавчий пристрій складається з відповідних один одному за своїми характеристиками триходового змішувального клапана (регулюючий орган) і електричного сервоприводу (виконавчий механізм).

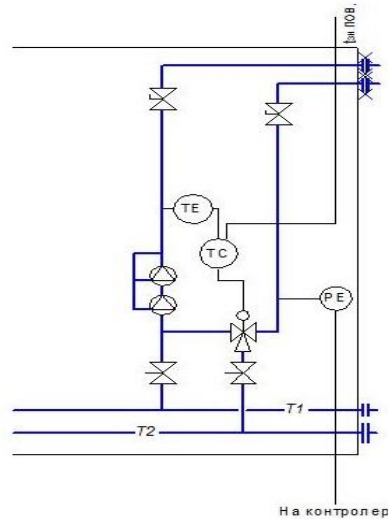


Рисунок 4.4 – АСР температури прямої мережної води

#### 4.2.4 Вибір та обґрунтування засобів автоматизації

Основними вузлами для автоматизації роботи твердопаливних котлів є вентилятори і блоки управління. Тому ми вибрали комплект автоматики фірми «АТОС». Автоматика «АТОС» призначена для управління вентилятором в котлах систем центрального опалення, а також для підключення циркуляційного насоса. Кімнатний термостат досліджує температуру в приміщенні. На її основі регулюється температура в котлі. Після підключення кімнатний контролер отримує вищий пріоритет. Кімнатний термостат підключається за допомогою двожильного проводу. Зв'язок між обладнанням здійснюється за принципом замикання або розмикання стиків. Розірвані - якщо температура, задана на термостаті, вище температури в приміщенні. Зімкнуті - якщо температура досягнута [111]. Блок управління з гніздом під кімнатний термостат показаний на рис. 4.5.



Рисунок 4.5 – Блок управління «АТОС»

Піддування повітря в топку твердопаливного котла здійснюється за допомогою вентилятора WPA-120, який показаний на рис. 4.6.



Рисунок 4.6 – Вентилятор WPA-120

Нагнітальний вентилятор М + М WPA-120 ZW оснащений асинхронним однофазним двигуном. Гравітаційна заслінка, розташована на фланці, запобігає надходженню надлишкової тяги при вимкненому вентиляторі а також перешкоджає попаданню продуктів горіння палива в приміщення. Вентилятор працює при температурі навколишнього середовища від 0 до 40 °С. Конструкція вентилятора ZW складається з двох частин: алюмінієвий корпус, який кріпиться до зовнішнього ротора двигуна. Крильчатка вентилятора виготовлена з термостійкого пластика і кріпиться безпосередньо до валу двигуна. Вхідний отвір захищений сіткою. Випускний отвір закінчується прямокутним фланцем з отворами для кріплення.

Технічні характеристики вентилятора WPA-120:

- тип мотора: R2E120-AR38-40;
- максимальний тиск 345 Па;
- максимальна продуктивність 255 м<sup>3</sup>/год;
- число обертів 2500 об/хв;
- споживана потужність 83 W;
- температура навколишнього середовища 0 – 400 °С.

#### 4.2.5 Розрахунок регулювальних органів

Коефіцієнт пропускної здатності (м<sup>3</sup>/год)

$$k_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{1000 \cdot \Delta P}}, \quad (4.5)$$

$$k_v = 2,48 \sqrt{\frac{997}{1000 \cdot 0,25}} = 4,95 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2, \quad (4.6)$$

$$\Delta P = 0,25 \text{ бар,}$$

де Q – витрата рідини, м<sup>3</sup>/год;

ρ – густина рідини, кг/м<sup>3</sup> ;

p1 – тиск на вході, бар;

p2 – тиск на виході, бар;

Δp – перепад тиску на клапані, бар.

Максимальна умовна пропускна здатність

$$K_{vs} = 1,3 \cdot K_v, \quad (4.7)$$

$$K_{vs} = 1,3 \cdot 4,95 = 6,43 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Визначаємо мінімальний діаметр d<sub>y</sub>, мм для якого буде допустимий рівень шуму на даному клапані

$$d_y = 18,8 \sqrt{\frac{Q}{w}}, \quad (4.8)$$

де  $w$  – рекомендована швидкість,  $w=1$  м/с для рідини.

$$d_y = 18,8 \sqrt{\frac{2,48}{1}} = 29,6 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $d_y = 32$  мм для триходового клапана.

За найбільшим  $d_y$  і  $k_{vs}$  з каталога вибираємо триходовий регулюючий клапан HERZ-TEPLOMIX DN 32 [112]. Характеристики:

- різьбовий тип з'єднання;
- матеріал – латунь;
- максимальний тиск  $P_y=1,6$ МПа;
- максимальна робоча температура  $T=110^0$ С;
- $K_{vs}= 14$  м<sup>3</sup>/год.

В розрахунках потрібно враховувати умови можливого виникнення кавітації і перевірити допустимий перепад тиску

$$\Delta P = 0,6 \cdot P_1,$$

$$\Delta P = 0,6 \cdot 0,25 = 0,15 \text{ Па.}$$

Максимальна величина пропускної здатності  $K_{vs}$ , яка відповідає максимальному переміщенню затвору і називається умовною пропускною здатністю. Умовним проходом регулюючого органу є номінальний діаметр прохідного перерізу в під'єднувальних фланцях.

#### 4.2.6 Технологічний контроль

Автоматика котла забезпечує контроль і автоматичне регулювання наступних величин:

- контроль і регулювання тиску в котлі;
- контроль і регулювання розрідження в топці;
- контроль і регулювання температури води на вході і виході з котла;
- контроль температури в топці;
- контроль витрати палива;
- контроль і регулювання частоти обертів дуттьового вентилятора;
- контроль і регулювання роботи циркуляційних насосів.

#### 4.3 Висновки до розділу

В даному розділі виконано розробку документації на монтаж енергетичної установки УЕАС-100 із системою відведення димових газів. Виконано компоновку обладнання, схеми прокладення трубопроводів, враховані відомості по виконанню робіт. Загальна маса всіх вантажів становить  $M_{\text{заг}} = 1042,7$  кг, загальна маса основного обладнання становить 970 кг. Загальна тривалість виконання монтажних робіт складає 5,93 дні, а загальна трудомісткість – 34,6 люд.–дні. Визначено необхідну кількість виробів та матеріалів для монтажу системи, потребу в допоміжних матеріалах, підібрані машин, механізми та пристосування для виконання монтажних робіт. Після проведення необхідних розрахунків розроблені план та розріз для виконання монтажних робіт, аксонометричну схему трубопроводів. Показано особливості технологічного процесу роботи установки енергетичної УЕАС-100.

Розроблена функціональна схема автоматизації установки енергетичної УЕАС-100, яка дозволила визначити склад необхідного обладнання автоматизації і кількість каналів передавання даних і сигналів. Підібрано апаратурно-технічні засоби для реалізації автоматизованої системи. Розроблена автоматизована система керування установкою енергетичною відповідає вимогам до системи автоматизації, має високу гнучкість, що дозволяє покращувати дану автома-



тизовану систему у відповідності з вимогами, які підвищуватимуться впродовж терміну експлуатації котла. За результатами розрахунків підібрано триходовий регулюючий клапан HERZ-ТЕПЛОМІХ DN 32;  $d_y = 32$  мм;  $K_{vs} = 14$  м<sup>3</sup>/год; максимальний тиск  $P_y = 1,6$  МПа.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випусковій кваліфікаційній роботі досліджуються можливості використання відновлювальних джерел енергії в системі тепlopостачання адміністративної будівлі.

В котельні адміністративної будівлі передбачається створення належного температурного режиму, який забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні норми праці і виробництва продовольчих товарів. Усі металеві неструмопровідні частини (корпуса електродвигунів, шаф, світильників, тощо), які можуть опинитися під напругою в наслідок пошкодження ізоляції, заземлюються шляхом приєднання до нульового проводу живлячої мережі.

На будівельно-монтажний персонал, який здійснює будівництво та монтаж обладнання енергоефективної спеціалізованої системи тепlopостачання з використанням відновлювальних джерел енергії, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори за ГОСТ 12.0.003-74:

фізичні:

- рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якої може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- підвищена та понижена рухливість повітря;
- гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання;

- розташування робочого місця на значній висоті відносно поверхні землі (підлоги);
- психофізіологічні;
- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

## 5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

### 5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць при виконанні будівельних і монтажних робіт

Під час виконання покрівельних робіт необхідно вживати заходів із запобігання впливу на працівників таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- розташування робочого місця поблизу перепаду по висоті 1,3 м і більше;
- підвищена загазованість повітря робочої зони;
- підвищена чи знижена температура поверхонь устаткування, матеріалів, повітря робочої зони;
- гострі крайки, шорстка поверхня устаткування, матеріалів;
- підвищена напруга в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини.

За наявності небезпечних і шкідливих виробничих факторів, зазначених у вступі, безпека покрівельних робіт повинна бути забезпечена відповідно до вимог безпеки, зазначених у проектно-технологічній документації (ПОБ, ПВР тощо), і зокрема:

- організацією безпечних робочих місць на висоті, улаштуванням безпечних шляхів проходу робітників на робочі місця, вжиттям особливих заходів безпеки під час робіт на покрівлях з ухилом;
- вжиттям заходів безпеки під час приготування і транспортування гарячих мастик і матеріалів;
- визначенням методів і засобів для піднімання на покрівлю матеріалів та

інструменту, порядку їх складування, послідовності виконання робіт.

Виконання покрівельних робіт газополуменевим способом необхідно здійснювати за нарядом-допуском, у якому передбачено заходи безпеки, та згідно з ДСТУ Б А.3.2-11. Застосування у конструкції покрівлі горючих і важкогорючих утеплювачів, наклеювання бітумних рулонних матеріалів газо-полуменевим способом дозволяється тільки по улаштованій цементно-піщаній або асфальтовій стяжці.

Під час організації робочих місць і забезпечення безпеки праці необхідно виконувати такі вимоги. Місця виконання покрівельних робіт газополуменевим способом повинні бути забезпечені не менше ніж двома евакуаційними виходами(сходами), а також первинними засобами пожежогасіння відповідно до ДБН В.1.1.7. Підніматися на покрівлю і спускатися з неї необхідно тільки по сходових маршах і обладнаних для піднімання на дах драбинах. Використовувати для цього пожежні сходи забороняється.

Під час виконання робіт на плоских дахах, що не мають постійної огорожі (парапета), робочі місця повинні бути огорожені відповідно до вимог ГОСТ 23407. Для проходу робітників, які виконують роботи на дахах з уклоном понад  $20^\circ$ , а також на дахах з покриттям, що не розраховано на навантаження від ваги працюючих, повинні бути застосовані трапи шириною не менше ніж 0,3 м з поперечними планками для упору ніг. Трапи на час роботи необхідно закріпити.

Під час виконання робіт на даху з уклоном більше ніж  $20^\circ$  робітники повинні використовувати запобіжні пояси.

Крани малої вантажопідіймальності, що застосовуються для подавання матеріалів під час улаштування покрівель, необхідно встановлювати й експлуатувати відповідно до інструкцій заводів-виробників. Підіймання вантажу необхідно здійснювати в контейнері. Поблизу будівель у місцях підіймання вантажів та виконання покрівельних робіт повинні бути визначені та позначені небезпечні зони, межі яких визначаються згідно з додатком Е цих норм.

Розміщувати на даху матеріали можна тільки в місцях, передбачених ПВР, та вживати заходів, що запобігають їх падінню, зокрема під дією вітру. Запас

матеріалів не повинен перевищувати змінної потреби. Під час перерв у роботі інструмент, технологічні пристрої, матеріали повинні бути закріплені або прибрані з покрівлі.

Порядок виконання робіт.

Порядок виконання робіт із застосуванням гарячих мастик повинен бути визначений в ПВР з урахуванням таких вимог.

Елементи і деталі покрівель, зокрема компенсатори у швах, захисні фартухи, ланки водозливних труб, ринви, зливи, звиси тощо перед подаванням на робочі місця повинні бути підготовлені до монтажу. Заготовлення зазначених елементів і деталей безпосередньо на даху не допускається. Встановлення (підвішування) готових водостоків, жолобів, ринв, а також ковпаків і парасолей на димові і вентиляційні труби, покриття парапетів, оброблених піддаш необхідно здійснювати із застосуванням риштувань, засобів підмоцнення відповідно до ГОСТ 24258. Використовувати для зазначених робіт приставні драбини забороняється.

Під час виконання покрівельних робіт газополуменевим способом необхідно дотримуватись таких вимог безпеки:

- балони повинні бути встановлені вертикально та закріплені в спеціальних стояках;

- візки-стояки з газовими балонами дозволяється встановлювати на поверхнях даху, що мають ухил до 20°. Під час виконання робіт на дахах із великими уклонами для стояків з балонами повинні бути влаштовані спеціальні площадки;

- під час роботи відстань по горизонталі від пальників до груп балонів з газом повинна бути не менше ніж 10 м, до газопроводів і гумотканинних рукавів – 3 м, до окремих балонів – 5 м.

Забороняється тримати в безпосередній близькості від місця виконання робіт із застосуванням пальників легкозаймисті та вогнебезпечні матеріали.

### 5.1.2 Електробезпека

У приміщеннях будівельної ділянки для живлення обладнання та системи освітлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою

нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях є струмопровідною.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблиці, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги;

ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні для технологічного персоналу встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

Таблиця 5.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	17-29	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		15-24	До 75%	не більше 0,3

### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 5.2– Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню від нього. Тому необхідно здійснювати наступні заходи:

- очищувати пил якнайчастіше.
- щодня протирати гарячі поверхні.

Планувати прибирання так щоб вони приходилось на час, коли устаткування виключене, як, наприклад, у другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

### 5.2.3 Виробниче освітлення

#### Природне освітлення

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: природне освітлення – освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке попадає у приміщення через світлові пройми в зовнішніх огорожуючих конструкціях, і штучне. По своєму спектральному складу природне є



найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО ( $\epsilon$ ). КПО – відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна.

#### Штучне освітлення.

Штучне освітлення буває двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення – освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення – додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення – освітлення, яке створюється світильниками, концентруючими світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Основні нормативні параметри виробничого освітлення наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під- розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

#### 5.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg \left( \frac{P}{P_0} \right) = 20 \cdot \lg \left( \frac{U}{U_0} \right), \quad (5.1)$$

де  $L$  – рівень шуму, дБ;

$P$  – звуковий тиск, Па;

$U_0$  – коливальна швидкість,  $5 \cdot 10^{-8}$  м/с;

$P_0$  – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Основні нормативні параметри виробничого шуму наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати малошумові вентилятори.

### 5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У котельні присутня вібрація типу – За. Тобто технологічна вібрація, яка діє

на персонал котельні, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 5.5.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3^*}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація	-	-	$\frac{2,8}{115}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

\* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с · 10<sup>-2</sup>, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

#### 5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Умови праці технологічного персоналу, який здійснює дослідження стану багатоповерхового будинку, по важкості праці відносяться до категорії ІІа.

При регіональному навантаженні (з переважною участю м'язів рук та плечового суглоба) для чоловіків клас умов праці допустимий (середньої важкості) до 45 Вт.

Маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну для чоловіків складає до 15 кг, що є оптимальними умовами праці.

Статичне навантаження, величина статичного навантаження за зміну при утриманні вантажу, докладанні зусиль складає 36000 кг/с для чоловіків що є оптимальним.

Робоча поза є оптимальна: вільна зручна поза, можливість зміни пози («сидячи – стоячи») за бажанням працівника; перебування в позі «стоячи» до 40% часу зміни.

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом, протягом зміни) складає до 4 км по горизонталі та до 2 км по вертикалі.

Умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією. Сприймання сигналів з наступною корекцією дій та операцій. Характер виконуваної роботи є за індивідуальним планом.

Також на працівника впливають сенсорні навантаження, такі як :

- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни) до 50%;
- навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів);
- розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%.

Всі ці фактори є оптимальними (напруженість праці легкого ступеня).

Монотонність навантажень. Монотонність виробничої обстановки, час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни складає < 75% що є оптимальним.

### 5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Оцінка можливих наслідків вибуху природного газу в разі виходу з ладу котла ТЕЦ

#### 5.3.1 Розрахунок надмірного тиску вибуху газоповітряної суміші

Густина газу при розрахунковій температурі (за завданням  $t_p = 22$  °C) визначається за формулою:

$$\rho_{г.п} = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367t_p)},$$

$$\rho_{г.п} = \frac{16}{22,413(1 + 0,00367 \cdot 22)} = 0,66 \text{ (кг/м}^3\text{)},$$

де  $M$  – молярна маса речовини ( $M(C_xO_yH_z) = x \cdot M_C + y \cdot M_O + z \cdot M_H$ ),  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$  (для  $\text{CH}_4$  –  $M(\text{CH}_4) = 12 + 4 \cdot 1 = 16$ );  $V_0$  – мольний об'єм, що дорівнює  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ .

Стехіометрична концентрація ГГ або парів ЛЗР та ГР, % (об.), що визначається за формулою:

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta},$$

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2} = 9,36,$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції згоряння

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_o}{2},$$

$$\beta = 1 + \frac{4}{4} = 2.$$

При розрахунку  $\beta$  атоми азоту не враховуються.  $n_c = 1$ ,  $n_H = 4$ ,  $n_o = 0$ ,  $n_x = 0$  – число атомів С, Н, О та галогенів у молекулі ГГ або парів ГР (робоче паливо – газ метан).

Об'єм газу, що вийшов з апарата

$$V_a = \frac{P_1}{P_0} \cdot V,$$

$$V_a = 0,01 \cdot P_1 \cdot V,$$

$$V_a = 0,01 \cdot 200 \cdot 0,0152 = 0,0304 \text{ (м}^3\text{)},$$

де  $P_1$  – тиск в апараті, кПа (згідно завдання  $P_1 = 200$  кПа);

$V = 0,0152$  – об'єм апарата,  $\text{м}^3$  (згідно завдання  $V = 0,02 \text{ м}^3$ );

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює  $101,3 \text{ кПа}$ .

Об'єм газу, що вийшов з трубопроводів

$$V_T = V_{1T} + V_{2T},$$

$$V_T = 2,91 + 0,025 = 2,935 \text{ (м}^3\text{)},$$

де  $V_{1T}$  – об'єм газу, що вийшов з трубопроводу до його перекривання,  $\text{м}^3$ ;  
 $V_{2T}$  – об'єм газу, що вийшов з трубопроводу після його перекривання,  $\text{м}^3$ .

$$V_{1T} = q \cdot \tau,$$

$$V_{1T} = 0,0097 \cdot 300 = 2,91 \text{ (м}^3\text{)},$$

де  $q$  – витрата газу,  $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$  (згідно завдання  $q = 0,0097 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ ), яку визначають згідно з технологічним регламентом залежно від тиску у трубопроводі, його діаметру, температури газового середовища тощо;  $\tau = 300 \text{ с}$  – час перекривання у ручному режимі

$$V_{2T} = 0,01\pi \cdot P_2(r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n),$$

$$V_{2T} = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot (0,032^2 \cdot 5,5 + 0,025^2 \cdot 4) = 0,025 \text{ (м}^3\text{)},$$

де  $P_2$  – максимальний тиск у трубопроводі за технологічним регламентом,  $\text{кПа}$  (за завданням  $P_2 = 3 \text{ кПа}$ );  $r_1, r_2$  – внутрішні радіуси трубопроводів,  $\text{м}$  (за завданням  $r_1 = 0,032 \text{ м}$ ,  $r_2 = 0,025 \text{ м}$ );  $L_1, L_2$  – загальна довжина трубопроводів від аварійного апарата до засувки,  $\text{м}$  (за завданням  $L_1 = 5,5 \text{ м}$ ,  $L_2 = 4 \text{ м}$ ).

Масу газу, що потрапив до приміщення під час розрахункової аварії, визначаємо за формулою:

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho_r,$$

$$m = (0,0304 + 2,935) \cdot 0,66 = 1,96 \text{ (кг)}.$$

Надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  для індивідуальних горючих речовин, які складаються з атомів С, Н, О, N, Cl, Br, I, F визначається за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} + V_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн.}} \cdot \rho_{\text{Г.П}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}},$$

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{1,96 \cdot 0,5}{400 \cdot 0,66} \cdot \frac{100}{9,36} \cdot \frac{1}{3} = 10,57 \text{ (кПа)}.$$

де  $P_{\max}$  – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної або пароповітряної суміші у замкнутому об'ємі (приймається 900 кПа);  $P_o$  – початковий тиск, кПа (приймається 101 кПа);  $Z = 0,5$  – коефіцієнт участі ГГ або парів у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілення газів і парів в об'ємі приміщення;  $V$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup> (за завданням  $V_{\text{вільн.}} = 400 \text{ м}^3$ );  $K_{\text{н}}$  – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення й неадиабатичність процесу горіння (приймається  $K_{\text{н}} = 3$ ).

### 5.3.2 Визначення розмірів зони поширення полум'я

Горизонтальні розміри зони, м, які обмежують область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я ( $C_{\text{НКМП}}$ ), обчислюють за формулами:

для горючих газів (ГГ):

$$R_{\text{НКМП}} = 14,5632 \left( \frac{m}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,333},$$

$$R_{\text{НКМП}} = 14,5632 \left( \frac{1,96}{0,66 \cdot 14} \right)^{0,333} = 8,69,$$

де  $m$  – маса ГГ, що надійшли до відкритого простору під час аварійної ситуації, кг;  $\rho_{\text{Г}}$  – густина ГГ при розрахунковій температурі й атмосферному тиску, кг·м<sup>-3</sup>;  $C_{\text{НКМП}}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я ГГ 14 % (об.).

За початок відліку горизонтального розміру зони приймають зовнішні габаритні розміри апаратів, установок, трубопроводів тощо. У всіх випадках значення  $R_{\text{НКМП}}$  повинно бути не менше 0,3 м для ГГ і ЛЗР.



### 5.3.3 Розрахунок інтенсивності теплового випромінювання внаслідок вибуху

Інтенсивність теплового випромінювання розраховуємо для пожежі «вогняна куля».

Ефективний діаметр «вогняної кулі»  $D_s$ , м, визначаємо за формулою:

$$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327},$$

$$D_s = 5,33 \cdot 1,96^{0,327} = 6,64 \text{ (м)}.$$

Висоту центра «вогняної кулі» визначаємо

$$H = D_s / 2,$$

$$H = 6,64 / 2 = 3,32 \text{ (м)}.$$

Час існування «вогняної кулі»  $t_s$ , с, визначаємо за формулою

$$t_s = 0,92 m^{0,303},$$

$$t_s = 0,92 \cdot 1,96^{0,303} = 1,13 \text{ (с)}.$$

Відстань від зовнішніх меж кулі до точки на поверхні землі безпосередньо під центром «вогняної кулі»

$$r = \sqrt{D_s^2 + H^2},$$

$$r = \sqrt{6,64^2 + 3,32^2} = 7,42 \text{ (м)}.$$

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу  $\psi$  розраховуємо за формулою:

$$\psi = \exp \left[ -7 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \sqrt{r^2 + H^2} \right) - D_s / 2 \right],$$

$$\psi = \exp \left[ -7 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \sqrt{7,42^2 + 3,32^2} \right) - 6,64 / 2 \right] = 0,97.$$

Кутовий коефіцієнт опромінення

$$F_q = \frac{H / D_s + 0,5}{4 \cdot \left[ (H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2 \right]^{1,5}},$$

$$F_q = \frac{3,32 / 6,64 + 0,5}{4 \cdot \left[ (3,32 / 6,64 + 0,5)^2 + (7,42 / 6,64)^2 \right]^{1,5}} = 0,075.$$

Інтенсивність теплового випромінювання обчислюємо за формулою:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi,$$

$$q = 450 \cdot 0,075 \cdot 0,97 = 32,73 \text{ (кВт}\cdot\text{м}^{-2}\text{)},$$

де  $E_f$  – середньоповерхнева густина теплового потоку випромінювання полум'я, кВт·м<sup>-2</sup>, величину  $E_f$  приймаємо рівною 450 кВт·м<sup>-2</sup>.

Внаслідок прогнозованого вибуху газоповітряної суміші у випадку аварії надмірний тиск ударної хвилі буде достатнім для руйнування вікон, дверей та легких будівельних конструкцій. Для запобігання виникнення подібних ситуацій та мінімізації можливих наслідків необхідно:

- забезпечити дотримання норм та інструкцій експлуатації обладнання;
- забезпечити дотримання всіх норм та інструкцій пожежної безпеки;
- встановити додаткові системи запобігання витоку газу з трубопроводів;
- в межах зони поширення полум'я не розміщувати горючі матеріали;
- спроектувати конструкцію будівлі так щоб надмірний тиск ударної хвилі компенсувався за рахунок руйнування даху та віконних прорізів.

#### 5.4 Висновки до розділу

Досліджено вплив небезпечних та шкідливих факторів на будівельно-монтажний персонал. Розроблено технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту та запобігання електротравм. Розроблено технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії. Виконані необхідні розрахунки для визначення

складу повітря робочої зони; виробничого освітлення; виробничого шуму та вібрації. Досліджено психофізіологічні фактори.

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для розрахунку кошторисної вартості влаштування обладнання дотримувалися вимог ДСТУ Б Д 1.1.1 – 2013 «Правила визначення вартості будівництва» і використовували кошторисну програму «АВК».

Для визначення кошторисної вартості влаштування обладнання розробляємо локальний кошторисний документ за допомогою програмного комплексу АВК (табл.8.1) на основі: ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН, ДБН Д.2.2 - 2000); збірника єдиних середніх кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції загальновиробничі витрати розраховані відповідно до усереднених показників додатка 3 до ДСТУ Б Д.1.1 – 1 – 2013.

Кошторисна вартість влаштування конструкцій враховує трудовитрати та заробітну плату будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатацію будівельних машин та механізмів. Кошторисна вартість влаштування конструкцій визначається як сума прямих та загально виробничих витрат.

Прямі витрати (ПВ) враховують в своєму складі заробітну плату робочих, вартість експлуатації будівельних машин та механізмів, вартість матеріалів, виробів та конструкцій.

Загальновиробничі витрати (ЗВВ) – це витрати будівельно-монтажної організації, які входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Усі затрати, які відносяться до ЗВВ, згруповані в три групи.

### 6.1 Локальний кошторис на влаштування обладнання

Таблиця 6.1 - Локальний кошторис на влаштування обладнання

Основа:  
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість  
Кошторисна трудомісткість  
Кошторисна заробітна плата  
Середній розряд робіт

731,220 тис. грн.  
0,314 тис.люд.-год.  
6,493 тис. грн.  
3,6 розряд

Складений в поточних цінах станом на "3 грудня" 2021р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	незайнятих обслуговуванням машин	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
					на одиницю	всього					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	E18-2-10	Установлення УЕАС-100 твердопаливного котла	шт	1	<u>314672,94</u> 2919,20	<u>1026,17</u> 310,57	314673	2919	<u>1026</u> 311	<u>146,62</u> 18,2031	<u>146,62</u> 18,2
2	E18-13-5	Установлення Теплового насосу типу "повітря-вода" (65 кВт)	шт	2	<u>1694,25</u> 1023,92	<u>170,71</u> 49,77	3389	2048	<u>341</u> 100	<u>50,84</u> 2,8779	<u>101,68</u> 5,76
3	C130-513 варіант 2	Тепловий насос	шт	1	<u>385220,42</u> -	-	385220	-	-	-	-
4	E18-10-17	Установлення теплоаккумулятора (буферної ємкості) 1000 л	шт	1	<u>3590,93</u> 346,19	<u>35,99</u> 10,94	3591	346	<u>36</u> 11	<u>18,04</u> 0,6224	<u>18,04</u> 0,62
5	C130-18 варіант 1	Теплоаккумулятор (буферна ємність)Cooper&Hunter CH-HP65UIMNM	шт	1	<u>20380,66</u> -	-	20381	-	-	-	-
		Разом прями витрати по кошторису					727254	5313	<u>1403</u> 422		<u>266,34</u> 24,58
		Разом будівельні роботи, грн.					727254				

в тому числі:											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн					720538				
		всього заробітна плата, грн.					5735				
		Загальновиробничі витрати, грн.					3966				
		трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год.					23,47				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					758				
		<b>Всього будівельні роботи, грн.</b>					<b>731220</b>				
		-----									
		<b>Всього по кошторису</b>					<b>731220</b>				
		Кошторисна трудоємність, люд.год.					314				
		Кошторисна заробітна плата, грн.					6493				

Склав

---

*[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]*

Перевірив

---

*[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]*

Загальні витрати інноваційного проекту представлені в таблиці 6.2, розраховуються у відсотках від кошторисної вартості влаштування обладнання (значення приймається з локального кошторису таблиці 6.1).

Таблиця 6.2 – Перелік інноваційних витрат

Орієнтовна робота	Питома вага вартості роботи, %	Термін виконання роботи, міс.	Загальна вартість виконання роботи, тис. грн.
Формування інноваційної ідеї проекту	1	1	7,31
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	1,46
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	10,97
Проектування	2,5	4	18,28
Експертиза інноваційного рішення	1	1	7,31
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	14,62
Виготовлення нового виробу	100	6	731,22
Витрати на пускаконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	21,94
Витрати на підготовку кадрів	5	2	36,56
Всього		21	849,68

## Показники комерційної ефективності проекту (таблиця 6.3).

Таблиця 6.3 – Показники комерційної ефективності проекту, тис. грн.

№	Показники	Рік						
		-1	0	1	2	3	4	5
1	Потік реальних грошей	-59,96	-920,718	699,06	358,86	341,87	2592,89	3258,26
2	Сальдо реальних грошей	-59,96	-451,698	699,06	316,63	299,64	2554,78	3224,27
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	-59,96	-511,658	187,40	504,02	803,67	3358,45	6582,72
4	Коефіцієнт дисконтування при нормі дисконту 16%	1,16	1,00	0,86	0,74	0,64	0,55	0,48
5	Чиста поточна вартість	-69,55	-920,72	602,63	266,69	219,02	1432,03	1551,30
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п 5 ((t)+(t-1))	-69,55	-990,27	-387,64	-120,95	98,07	1530,11	3081,41

З таблиці 6.3 видно додатне сальдо накопичених реальних грошей на третьому році реалізації проекту.

Оцінювання економічної ефективності інноваційного проекту.

Чистими грошовими надходженнями визначаються за формулою:

$$NV = \sum_{t=0}^{Tp} NCF_t = \sum_{t=0}^{Tp} R_t - Z_t - N_t - K_t, \quad (6.1)$$



де  $NCF_t$  – чистий грошовий потік на  $t$  – ому році;  $R_t$  – результат виручки у  $t$  – й рік;  $Z_t$  – витрати у  $t$ –й рік;  $N_t$  – податки у  $t$ –й рік;  $K_t$  – інвестиції у  $t$ –й рік;  $T_p$  – розрахунковий період.

$$NV = 6270,26 \text{ тис. грн.}$$

Чиста поточна вартість

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_p} NCF_t \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{T_p} (R_t - Z_t - N_t - K_t) \cdot \eta_t, \quad (6.2)$$

де  $\eta_t$  – коефіцієнт дисконтування.

$$NPV = 3081,41 \text{ тис. грн}$$

Якщо  $NPV > 0$ , то проект можна рекомендувати до реалізації;

якщо  $NPV < 0$ , то проект необхідно відхилити;

$NPV = 0$ , то в разі прийняття рішення про реалізацію проекту інвестори не отримують доходів на вкладений капітал.

Оскільки  $NV$  є додатними, тобто за розрахунковий період грошові надходження перевищують суму капітальних вкладень, що призведе до зростання доходів інвестора, то проект вважається ефективним.  $NPV$  є від'ємним за п'ять років.

Термін окупності інвестицій

$$\sum_{t=0}^{T_p} (P_t - B_t) \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{T_p} K_t \cdot \eta_t, \quad (6.3)$$

Розрахунок терміну окупності кумулятивним методом.

Кумулятивний метод передбачає знаходження періоду окупності за формулою:

$$T = t + \frac{COF_t}{CIF_{t+1}}, \quad (6.4)$$

де  $COF_t$  – залишок інвестиційних витрат, не забезпечених доходами на початок  $t$  – го періоду, грн.,  $CIF_t$  – чисті грошові надходження  $(t + 1)$ –го періоду, грн.

Результати розрахунку показані в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Розрахунок простого терміну окупності кумулятивним методом, тис. грн.

Показник	Номер кроку розрахункового періоду						
	-1	0	1	2	3	4	5
Потік реальних грошей	- 59,96004	-920,718	699,06	358,86	341,87	2592,89	3258,26
Кумулятивна	- 59,96004	-980,678	-281,62	77,23	419,11	3012,00	6270,26

Як видно з таблиці 6.4 за показником залишку інвестиційних витрат, строк окупності даного проекту знаходиться між 1 та 2 роком (перехід від від'ємного до додатного залишку). Відповідно, за формулою (6.4) термін окупності буде дорівнювати:  $T = 1 + 281,62/358,86 = 1,78$  року.

## 6.2 Висновки до розділу

Складено кошторисний документ – локальний кошторис. В локальному кошторисі пораховано:

- кошторисна вартість  $K_v = 731,22$  тис.грн;
- кошторисна заробітна плата ЗП = 6,493 тис.грн;
- кошторисна трудомісткість  $T = 0,314$  тис. люд –год,
- вартість матеріалів – 720,538 тис. грн.

Розраховали основні показники ефективності інвестицій в інноваційний проект:

- чисті грошові надходження – 6270,26 тис. грн.;
- чиста поточна вартість – 3081,41 тис. грн.;

Термін окупності, розрахований кумулятивним методом та методом усереднених параметрів – 1,78 роки.

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі отримані результати, які спрямовані на використання відновлюваних джерел енергії та заміщення природного газу, як викопного виду палива. На основі проведеного огляду джерел інформації, показані недоліки та наслідки використання традиційних джерел енергії, вплив об'єктів теплоенергетики на навколишнє середовище, типи та будову твердопаливних котлів, переваги та недоліки використання різних видів палива та переваги використання відновлюваних джерел енергії.

Визначені показники роботи котельні за існуючою тепловою схемою для максимально зимового та опалювального періодів. Витрата природного газу становить  $V_p = 43,88$  тис.  $m^3/рік$ , річні витрати коштів на природний газ  $C_n = 714366,4$  грн/рік, собівартість виробництва теплової енергії складає 624 грн/ГДж.

Виконано варіантний аналіз джерел енергії для опалювальної котельні потужністю 100 кВт. Визначено техніко-економічні показники роботи водогрійної котельні для теплопостачання адміністративної будівлі від різних джерел енергії: природний газ, деревні пелети, тріска, вугілля, електричний котел, тепловий насос, твердопаливний котел на деревних пелетах і тепловий насос, твердопаливний котел на трісці і тепловий насос. За результатами аналізу запропоновано замінити модулі нагріву на природному газі водогрійним котлом на біомасі та тепловим насосом, який працюватиме в бівалентному режимі. Підібрано основне та допоміжне обладнання котельні: котел на біомасі UEAC-100, тепловий насос потужністю 65 кВт, теплоакумулятор об'ємом в 1000 літрів.

Виконані розрахунки теплової схеми котельні з тепловим насосом, який працює в бівалентному режимі. Визначено витрати мережної, сирової та додаткової води, теплову потужність котельні, річну витрату деревних пелет, яка становить  $V_p = 7,45$  т/рік, а собівартість виробництва теплової енергії складає 402,9 грн/ГДж.

Для вибраної теплонасосної установки типу «повітря-вода», яка працює на холодоагенті R410A, виявлено, що в діапазоні температур повітря на виході з випарника  $5...+15^{\circ}C$  коефіцієнт перетворення  $\phi$  змінюється в межах  $3...6$ . Якщо температура води на виході з конденсатора змінюється в межах  $35...60^{\circ}C$ , то  $\phi = 2,5...6,5$ . Для виконання розрахунків вибрані температури  $-5^{\circ}C$ ,  $-2^{\circ}C$ ,  $0^{\circ}C$ ,  $4^{\circ}C$ ,  $10^{\circ}C$ ,  $15^{\circ}C$  – на випарнику, при сталій температурі на конденсаторі  $50^{\circ}C$ .

Розраховано ексергетичний коефіцієнт корисної дії теплонасосної установки та побудовано графік залежності ексергетичного ККД ТНУ від температури

навколишнього середовища. Ексергетичний ККД ТНУ в разі зміни температур навколишнього середовища  $t_{nc} = -5...+10^{\circ}\text{C}$  змінюється в межах  $\eta_e = 0,2...0,7$  в залежності від температурного графіка теплової мережі. Із залежностей, які показані в розділі 3 можна сформулювати загальне правило: чим менша різниця температур джерела теплоти (повітря) і температурою в системі опалення, тим вищий коефіцієнт перетворення теплового насоса. Тому для системи опалення потрібно використовувати сучасні алюмінієві радіатори, фанкойли, стінові панелі та теплу підлогу.

Проведено розробку документації на монтаж енергетичної установки УЕАС-100 із системою відведення димових газів, виконано компоновку обладнання, схеми прокладення трубопроводів, враховані відомості по виконанню робіт. виконано розробку документації на монтаж енергетичної установки УЕАС-100 із системою відведення димових газів. Виконано компоновку обладнання, схеми прокладення трубопроводів, враховані відомості по виконанню робіт. Загальна маса всіх вантажів становить  $M_{zar} = 1042,7$  кг, загальна маса основного обладнання становить 970 кг. Загальна тривалість виконання монтажних робіт складає 5,93 дні, а загальна трудомісткість – 34,6 люд.–дні. Розроблена функціональна схема автоматизації котельні з котлом на біомасі та тепловим насосом, підібрано апаратурно-технічні засоби для реалізації автоматизованої системи. За результатами розрахунків регулюючих органів підібрано триходовий регулюючий клапан HERZ-TEPLOMIX DN 32;  $d_y = 32$  мм;  $K_{vs} = 14$  м<sup>3</sup>/год; максимальний тиск  $P_y = 1,6$  МПа.

Досліджено вплив небезпечних та шкідливих факторів на будівельно-монтажний персонал. Розроблено технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту та запобігання електротравм. Розроблено технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії. Виконані необхідні розрахунки для визначення складу повітря робочої зони; виробничого освітлення; виробничого шуму та вібрації. Досліджено психофізіологічні фактори.

Складено локальний кошторис, в якому визначено наступні величини: кошторисна вартість  $K_s = 731,22$  тис.грн; кошторисна заробітна плата ЗП = 6,493 тис.грн; кошторисна трудомісткість  $T = 0,314$  тис. люд –год; вартість матеріалів – 720,538 тис. грн. Розраховано основні показники ефективності інвестицій в інноваційний проект: чисті грошові надходження – 6270,26 тис. грн.; чиста поточна вартість – 3081,41 тис. грн. Термін окупності, розрахований кумулятивним методом та методом усереднених параметрів – 1,78 роки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каверцев В. Л., Дягілев В. О. Огляд проблем ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів в промисловому секторі України та можливі оптимальні шляхи їх вирішення. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2017. № 10. С. 92–96.
2. Шпак Н. О., Найчук-Хрущ М. Б., Кулик О. А. Аналіз та тенденції розвитку технологічних інновацій в енергетичній галузі України. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2020. № 4. С. 121–128.
3. Теплоенергетика. Загальні відомості. [Електронний ресурс]. URL: [http://kb.nuos.edu.ua/specialties/Power\\_system.html](http://kb.nuos.edu.ua/specialties/Power_system.html)
4. Побережна Л. В., Скорук О. П. Сучасний стан ринку біопалива в Україні. Економічна доцільність виробництва і споживання біопалива: сучасний стан та перспективи. Збірник тез II-ї Науково-практичної конференції. 2013. С. 111-115. [Електронний ресурс]. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/9736.pdf>
5. Твердопаливні котельні. [Електронний ресурс]. URL: <https://kotek.lviv.ua/kotelni/tverdopalivni-kotelni>
6. Прокладка теплотраси для системи опалення. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.svittepla.com.ua/ua/blog-kompanii/osoblivosti-viboru-teplotrasi-dlia-avtonomnoyi-sistemi-opalennia>
7. Твердопаливні котельні. Котельні на біомасі, газу, комбіновані. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.liv-energo.com.ua/tverdotovlevnye-kotelni-na-biomasse/>
8. Невідновні природні ресурси. [Електронний ресурс]. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Невідновні\\_природні\\_ресурси](https://uk.wikipedia.org/wiki/Невідновні_природні_ресурси)
9. Переваги та недоліки котельні на твердому паливі. [Електронний ресурс]. URL: <http://strport.ru/instrumenty/kotel'naya-na-tverdom-toplive>

10. Твердопаливні котли – види, конструкція, принцип роботи, переваги та недоліки. [Електронний ресурс]. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/10830/>
11. Переваги та недоліки сталевих твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.aquatech.dp.ua/preimushhestva-i-nedostatki-tverdotoplivnyx-kotlov/>
12. Сталевий твердопаливний котел. [Електронний ресурс]. URL: <https://pelletshome.com.ua/uk/kakoy-kotel-vybratj/>
13. Чавунний твердопаливний котел: надійність та довгостроковість. [Електронний ресурс]. URL: <https://opalennya.in.ua/chavunnyi-tverdopalyvnyi-kotel-nadiinist-ta-dovhostrokovist/>
14. Види, переваги та недоліки твердопаливних чавунних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.aton.ua/for-clients-where-buy/articles/2011/11/15/types-advantages-and-disadvantages-of-solid-fuel-boilers/>
15. Види твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://kotel.vitiaz.biz/>
16. Особливості класичних твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://freerain.biz/statti/pro-tverdopalivni-kotly.html>
17. Котли тривалого горіння. Переваги та недоліки. [Електронний ресурс]. URL: <https://teplo-mag.com.ua/g7999032>
18. Головні переваги та недоліки котлів тривалого горіння. [Електронний ресурс]. URL: <https://bigkotel.ru/vidy-kotlov/glavnye-preimushhestva-i-nedostatki-tt-kotlov-dlitelnogo-goreniya#i>
19. Піролізні котли. Опис і принцип роботи котлів. [Електронний ресурс]. URL: <http://drova.if.ua/index.php/pirolizni-kotli-opis-i-printsip-roboti-kotliv>
20. Види, переваги та недоліки твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.aton.ua/for-clients-where-buy/articles/2011/11/15/types-advantages-and-disadvantages-of-solid-fuel-boilers/>

- 21.Сфери застосування твердопаливного котла. [Електронний ресурс]. URL: <https://teploformat.ua/ua/blog/otoplen/tverdopalivni-kotli-dlya-ledariv-yak-virobniki-polegshuyut-robotu-z-obladnannyam.html>
- 22.Вимоги до котельні для твердопаливного котла. [Електронний ресурс].URL: <http://www.profik.com.ua/trebovaniya-k-kotelnoj-topochnoj-dlya-tverdoplivnogo-kotla-na-drovax-ugle-pelletax/>
- 23.Правила підбору та монтажу системи димоходу для твердопаливного котла. [Електронний ресурс].URL: <https://www.svittepla.com.ua/ua/blog-kompanii/dimohid-dlia-tverdopalivnogo-kotla-pravila-montazhu-pidbir>
24. Види димоходів. [Електронний ресурс]. URL: <https://altep.ua/articles/chto-nuzhno-znat-pro-dymohod-dlya-tverdoplivnogo-kotla>
- 25.Димоходи для твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://kotly-marten.com.ua/uk/dymokhody>
- 26.Котельне приміщення для інсталяції твердопаливного котла. [Електронний ресурс].URL: <https://www.svittepla.com.ua/ua/blog-kompanii/kotelnoe-pomeshcheniia-dlia-ustanovki-tverdoplivnogo-kotla>
- 27.Проектно-монтажні роботи систем опалення та котелень установок. [Електронний ресурс]. URL: [https://kotly-idmar.promobud.ua/ua/proektno-montazhni-roboti-sistem-opalennya-ta-kotelen\\_ustan-p1177945.htm](https://kotly-idmar.promobud.ua/ua/proektno-montazhni-roboti-sistem-opalennya-ta-kotelen_ustan-p1177945.htm)
28. Вимоги до котельні на твердому паливі. [Електронний ресурс]. URL: [http://garantus.at.ua/index/vimogi\\_do\\_kotelni\\_dlja\\_tverdopalivnogo\\_kotla/0-163](http://garantus.at.ua/index/vimogi_do_kotelni_dlja_tverdopalivnogo_kotla/0-163)
- 29.Основні вимоги з безпеки праці при експлуатації твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://oppb.com.ua/articles/osnovni-vymogy-z-bezpeky-praci-pry-ekspluataciyi-tverdopalyvnyh-kotliv>
- 30.Котли на деревині. [Електронний ресурс]. URL: <http://rojeklviv.com/index.php?page=1&cid=4&id=40>
- 31.Види і особливості автоматики для твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://taya.com.ua/vidi-i-osoblivosti-avtomatiki-dlja-tverdopalivnih/>

32. Автоматика для твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://xn--e1aamjfh.com.ua/stati-o-komplektuyushih-dlya-otopleniya/avtomatika-dlja-tverdoplivnyh-kotlov>
33. Принцип роботи автоматики для твердопаливного котла. [Електронний ресурс]. URL: <https://altep.ua/ru/articles/kak-rabotaet-avtomatika-dlya-tverdoplivnogo-kotla>
34. Автоматика котельної. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.svittepla.com.ua/ua/blog-kompanii/avtomatika-kotelnoi-kontrollery-tverdoplivnyh-kotlov-i-regulatory-tsirkuliatsionnyh-nasosov>
35. Принцип роботи автоматики для твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://inwarm.ua/navischo-potribna-avtomatika-dlja-tverdopalivnih-kotliv/>
36. Автоматика для твердопаливних котелень. Переваги, види, особливості. [Електронний ресурс]. URL: <https://ecodom069.com.ua/g28121424-avtomatika-dlya-tverdoplivnyh>
37. Контролери для котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://stroydom.com.ua/otoplenie-i-santehnika/kontrollery-upravleniya/avtomatika-dlya-tverdoplivnyh-kotlov/>
38. Автоматика для твердопаливних котлів AIRBIO. [Електронний ресурс]. URL: <https://pelletshome.com.ua/kontrollery/bioprom-air-bio.html>
39. Критерії вибору автоматики для твердопаливних котелень. [Електронний ресурс]. URL: <https://kotelvdome.com.ua/product-category/avtomatika-kotlov/>
40. Схеми підключення та обв'язка твердопаливного котла опалення. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.svittepla.com.ua/ua/blog-kompanii/shemy-podkliucheniia-i-obviazka-tverdoplivnogo-kotla-otopleniia>
41. Обв'язка твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://kotly-marten.com.ua/news/ustanovka-kotla>
42. Тверде паливо для котлів. Вибір і застосування. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.rmnt.ru/story/heating/tverdoe-toplivo-dlja-kotlov-vybor-i-primenenie.994934/>



43. Характеристики і види палива для твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/1655/>
44. Теплотворна здатність деяких видів палива. [Електронний ресурс]. URL: [https://uhbdp.org/images/uhbdp/pdf/library\\_sabo/tablycyu\\_teplovtvornoj\\_zdatnosti.pdf](https://uhbdp.org/images/uhbdp/pdf/library_sabo/tablycyu_teplovtvornoj_zdatnosti.pdf)
45. Тверде паливо для опалювання. [Електронний ресурс]. URL: <https://neftegaz.ru/science/Oborudovanie-uslugi-materialy/331575-vidy-topliva-dlya-tverdotoplivnykh-kotlov-i-sravnitel'naya-tablitsa-ikh-teplotvornoj-sposobnosti/>
46. Види твердого палива для опалювальних котлів. [Електронний ресурс]. URL: <https://vremya-stroiki.net/vidy-tverdogo-topliva-dlya-kotlov-otoplenie-chem-luchshe-i-vygodnee-topit/>
47. Переваги та недоліки дров. [Електронний ресурс]. URL: <https://santech.in.ua/stati-partnerov/drevesnoe-tverdoe-toplivo/>
48. Плюси і мінуси тріски. [Електронний ресурс]. URL: <https://wood.ua/uk/blog/post/derevna-triska-opis-vidi-sferi-zastosuvannya.html>
49. Паливні гранули. [Електронний ресурс]. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Паливні\\_гранули](https://uk.wikipedia.org/wiki/Паливні_гранули)
50. Викопне вугілля. Види, переваги і недоліки. [Електронний ресурс]. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/5568/>
51. Антрацит і його переваги. [Електронний ресурс]. URL: <https://golossokal.com.ua/cikavo/antratsyt-i-yoho-perevahy.html>
52. Соняшникове лушпиння. [Електронний ресурс]. URL: <https://fenix-agro.com/catalog/27/>
53. Переваги лушпиння з соняшнику. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.kronaimpuls.com.ua/uk/perevaga-lushpinnya-z-sonyashniku/>
54. Проблема вичерпання природних ресурсів. [Електронний ресурс]. URL: [https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Проблема\\_вичерпання\\_природних\\_ресурсів](https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Проблема_вичерпання_природних_ресурсів)
55. Сонячні колектори. [Електронний ресурс]. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сонячний\\_колектор](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сонячний_колектор)

56. Дорошенко О. В., Титар С. С., Молчанський Б. Є. Сонячні плоскі метало-полімерні колектори. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2010. № 4. 32 с. [Електронний ресурс]. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/6136/1658.pdf?sequence=3>
57. Особливості плоских сонячних колекторів. [Електронний ресурс]. URL: <https://teploformat.ua/ua/blog/otoplen/osoblivosti-ploskikh-sonyachnikh-kolektoriv.html>
58. Сонячні колектори для опалення. [Електронний ресурс]. URL: <https://derevodim.com.ua/construction/articles/soniachni-kolektory-dlia-opalennia>
59. Особливості застосування вакуумних трубчастих і плоских колекторів. [Електронний ресурс]. URL: <http://tehnovator.com.ua/ua/energy-ua/heliosys-ua/heliosystems-trube-ua.html>
60. Переваги і недоліки вакуумних сонячних колекторів. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.socmart.com.ua/articles/read/perevagi--nedolki-vakuumnih-sonyachnih-kolektorv/>
61. Загальна інформація про сонячні колектори. [Електронний ресурс]. URL: <https://prel.prom.ua/a234066-zagalna-informatsiya-pro.html>
62. Вітроенергетика. [Електронний ресурс]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Вітроенергетика>
63. Альтернативні джерела енергії. [Електронний ресурс]. URL: <https://ecodevelop.ua/alternativni-dzherela-energiyi/>
64. Позитивні та негативні аспекти використання вітроенергетики. [Електронний ресурс]. URL: <https://dpssmk.gov.ua/pozytyvni-ta-nehatyvni-aspekty-vykorystannia-vitroenerhetyky/>
65. Геотермальна енергетика в Україні. [Електронний ресурс]. URL: [https://uz.ligazakon.ua/ua/magazine\\_article/EA014534](https://uz.ligazakon.ua/ua/magazine_article/EA014534)
66. Геотермальна енергія. [Електронний ресурс]. URL: <https://saee.gov.ua/uk/ae/geoenergy>

67. Геотермальні електростанції: переваги та недоліки. [Електронний ресурс]. URL: <https://avenston.com/articles/geothermal-pp-pros-cons/>
68. Теплові насоси. [Електронний ресурс]. URL: <https://mycond-heatpump.com.ua/ua/shho-take-teplovij-nasos/>
69. Типи теплових насосів. [Електронний ресурс]. URL: <https://dimplex.org.ua/blog/typy-teplovih-nasosov-kakie-oni-byvayut>
70. Теплові насоси. Принцип роботи. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.ecosvit.net/ua/teplovij-nasos-vidi-ta-zastosuvannya>
71. Бурцева С. О., Постол Ю. О. Ефективність теплових насосів. Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії. 2020. С. 33-34 с. [Електронний ресурс]. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/11734/1/%D0%91%D0%A3%D0%A0%D0%A6%D0%95%D0%92%D0%90%20%D0%A1.%20%D0%9E.%2C%20%D0%9F%D0%9E%D0%A1%D0%A2%D0%9E%D0%9B%20%D0%AE.%20%D0%9E.%20%D0%95%D0%A4%D0%95%D0%9A%D0%A2%D0%98%D0%92%D0%9D%D0%86%D0%A1%D0%A2%D0%AC%20%D0%A2%D0%95%D0%9F%D0%9B%D0%9E%D0%92%D0%98%D0%A5%20%D0%9D%D0%90%D0%A1%D0%9E%D0%A1%D0%86%D0%92.pdf>
72. Кшевецький О.С. Використання та спалювання палива, теплоенергетичні установки, екологія. Про деякі можливості використання теплових насосів у процесах, які передбачають рух речовини. Теплофізика та теплоенергетика. 2019. №3. С. 70-76. [Електронний ресурс]. URL: <http://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/view/354/295>
- 73.5. Чепурной М. Н., Резидент Н.В. Сравнительная эффективность применения тепловых насосов в низкотемпературных системах теплоснабжения. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2015. №5. С. 87–94.
74. Принцип роботи теплових насосів. [Електронний ресурс]. URL: <https://mycond-heatpump.com.ua/ua/yak-pracyuie-teplovij-nasos/>
75. Vorozhtsova T, Pesterev D, Gleb A. Using intelligent technologies for knowledge formation in research on the impact of power industry on ecology

- andquality of life. E3S Web of Conferences. 2020. P. 1-3. [Електронний ресурс]. URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/69/e3sconf\\_energy-212020\\_02032.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/69/e3sconf_energy-212020_02032.pdf)
76. Чепурний М. М., Резидент Н.В. Застосування парокompресійних теплонасосних установок для утилізації скидної теплоти конденсаторів парових турбін. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2013. № 4. [Електронний ресурс]. URL: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VNTUV\\_2013\\_4\\_10.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VNTUV_2013_4_10.pdf).
77. Енергетика і її вплив на довкілля. [Електронний ресурс]. URL: [https://pidru4niki.com/1157071851718/ekologiya/energetika\\_vpliv\\_dovkillya](https://pidru4niki.com/1157071851718/ekologiya/energetika_vpliv_dovkillya)
78. Енергетика. [Електронний ресурс]. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-1/part-2/section-8/97>
79. Вплив на навколишнє середовище, спричинений виробництвом електричної енергії. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ez.rv.ua/vplyv-na-navkolysnye-seredovyshe-sprychynenyj-vyrobnytstvom-elektrychnoyi-energiyi/>
80. Модулі нагріву МН Еко. [Електронний ресурс]. URL: <https://ukrinterm.com.ua/ua/tovari/21/396/>
81. Види котелень та особливості їх проектування. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.sdom.kiev.ua/news-ua/vidi-kotelen-ta-osoblivosti-ih-proektuvanna/>
82. Теплотворна здатність палива [Електронний ресурс]. URL: [https://uhbdp.org/images/uhbdp/pdf/library\\_sabo/tablycy\\_a\\_teplovtornoj\\_zdatnosti.pdf](https://uhbdp.org/images/uhbdp/pdf/library_sabo/tablycy_a_teplovtornoj_zdatnosti.pdf)
83. Дрова і тріска як паливо. [Електронний ресурс]. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/1591/>
84. Характеристики промислового теплового насоса CH-HP65UIMNM. [Електронний ресурс]. URL: <https://cooperandhunter.ua/ua/product/ch-hp65uimnm/>

85. Щоденник погоди. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.gismeteo.ru/diary/4962/2020/10/>
86. Теплові насоси типу «повітря-вода». [Електронний ресурс]. URL: [http://ch.ks.ua/products-teplovye\\_nasosy.html](http://ch.ks.ua/products-teplovye_nasosy.html)
87. Тепловий насос моноблок Cooper&Hunter. [Електронний ресурс]. URL: <https://skr-group.com/p1474784652-teplovoj-nasos-monoblok.html>
88. Екологічність теплових насосів. [Електронний ресурс]. URL: <https://cooper-hunter.net.ua/shop/warm-pumps/air-water/ch-hp12sinm2-teplovoy-nasos-unithern-2/>
89. Промисловий тепловий насос «повітря-вода» Cooper&Hunter. [Електронний ресурс]. URL: <https://veles-energy.com.ua/product/promyshlennyj-teplovoj-nasos-vozduh-voda-cooper-hunter-ch-hp65uimnm/>
90. Принцип роботи теплових насосів типу «повітря-вода». [Електронний ресурс]. URL: <https://solar-tech.com.ua/solar-power-system/heat-pumps/teplovoi-nasos-cooper-hunter-uniterm-ch-hp12sink.html>
91. Теплоаккумулятор фірми «Bizon». [Електронний ресурс]. URL: [https://ssv.in.ua/opalennya/tproduct/318701490-722580760971-teploakkumulyator-bzon-1000-ltrv?editionuid=503908624791&gclid=Cj0KCQiA7oyNBhDiARIsADtGRZZA8dV5D9IcDaEhdqEXD\\_1MkpNO-tBkY66jbu\\_1qkfRLmBYY93FYd4aAjJyEALw\\_wcB](https://ssv.in.ua/opalennya/tproduct/318701490-722580760971-teploakkumulyator-bzon-1000-ltrv?editionuid=503908624791&gclid=Cj0KCQiA7oyNBhDiARIsADtGRZZA8dV5D9IcDaEhdqEXD_1MkpNO-tBkY66jbu_1qkfRLmBYY93FYd4aAjJyEALw_wcB)
92. Ціна на пелети. [Електронний ресурс]. URL: <https://baza-drov.com.ua/uk/pellety>
93. Енера Вінниця. Тарифи на послуги постачальника універсальних послуг. [Електронний ресурс]. URL: <https://vin.enera.ua/el/tariff>
94. Тарифи на централізоване водопостачання та водовідведення. НКРЕКП. [Електронний ресурс]. URL: [https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/voda/taryfy/taryfy\\_na%20\\_vodopost\\_ta\\_vodovod.pdf](https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/voda/taryfy/taryfy_na%20_vodopost_ta_vodovod.pdf)

95. Ціна твердопаливного котла на деревних пелетах. [Електронний ресурс]. URL: <https://kotly-ttsk.com.ua/pelletnij-kotel-beeterm>
96. Ціна теплового насоса. [Електронний ресурс]. URL: <https://cooperandhunter.ua/ua/catalog/heat-pumps-type-air-water>
97. Боженко М. Ф. Основи проектування промислових та опалювальних котелень. К. : Вища школа, 1992. 280 с.
98. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й., Куть Т. П. Аналіз впливу температур на ефективність роботи теплонасосних установок. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2001. № 4. С. 53-56.
99. ДБН Д.2.3-7-99. Збірник 7. Компресорні установки, насоси, вентилятори. [Чинний від 2000-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999. 47 с.
100. ДБН Д.2.3-30-99. Збірник 30. Обладнання зерносховищ і підприємств по переробці зерна. [Чинний від 2000-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999. 19 с.
101. ДБН Д.2.4-15-2000. Збірник 15. Внутрішні сантехнічні роботи. [Чинний від 2000-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999. 107 с.
102. ДБН Д.2.2-9-99 Збірник 9. Металеві конструкції. [Чинний від 2000-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999. 47 с.
103. Вантажні автомобілі. Каталог. [Електронний ресурс]. URL: <https://avtek.ua/c-furgony>
104. Технічні характеристики автокрану КС-55713. [Електронний ресурс]. URL: <https://kievspecteh.com/catalog/25-tonn/avtokran-ks%E2%80%9355713-6>
105. Каталог обладнання для електричного зварювання. [Електронний ресурс]. URL: [https://teslaweld.com/svarochnyy-poluavtomaticheskyy-apparat-tesla-weld-mig-mag-mma-287?did=504287397&gclid=Cj0KCQiAweaNBhDEARIsAJ5hwbdgoHbBEAE\\_m5WzEqg9qRudUNt6a58M7uE1UI2zqiezhTaoBxab2fmwaAmCIEALw\\_wcB](https://teslaweld.com/svarochnyy-poluavtomaticheskyy-apparat-tesla-weld-mig-mag-mma-287?did=504287397&gclid=Cj0KCQiAweaNBhDEARIsAJ5hwbdgoHbBEAE_m5WzEqg9qRudUNt6a58M7uE1UI2zqiezhTaoBxab2fmwaAmCIEALw_wcB)
106. Каталог будівельних машин і інструментів. [Електронний ресурс]. URL: <https://worcraft.com.ua/products/perforator-wrh13->

[26dfr?gclid=Cj0KCQiAweaNBhDEARIsAJ5hwbFjppKaoY22-Ypdchq0Ym4iocWI95EkJA7diLXJL8rH2CqnoYVDYzUaAuSmEALw\\_wcB](https://www.google.com/search?q=26dfr?gclid=Cj0KCQiAweaNBhDEARIsAJ5hwbFjppKaoY22-Ypdchq0Ym4iocWI95EkJA7diLXJL8rH2CqnoYVDYzUaAuSmEALw_wcB)

107. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. 210 с.
108. Василевский М. В., Зыков Е. Г. Расчет эффективности очистки газа в инерционных аппаратах. Томск: Изд-во ТПУ, 2005. 86 с.
109. ДСТУ Д.1.1–3–99. Указания по применению ресурсных элементных сметных норм на монтаж оборудования. [Чинний від 2000-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999. 18 с.
110. ДБН Д.2.2–16–1999. Збірник 16. Трубопроводи внутрішні. [Чинний від 2000-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2000. 48 с.
111. Комплект автоматики «АТМОС». [Електронний ресурс]. URL: <https://aldentrade.com.ua/blog/mikroprotsessornyi-regulator-temperatury-atos>
112. Регулюючий орган. Триходовий змішувальний клапан. [Електронний ресурс]. URL: <https://voltar.com.ua/shop/trehhodovoi-termosmesitelnyi-klapan-herz-teplomix-dn-32.html>

Додаток А  
(обов'язковий)

УЗГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖЕНО

\_\_\_\_\_  
Керівник або заступник      Назва підприємства або установи

В.о. завідувача кафедри ТЕ

\_\_\_\_\_  
Підпис      Ініціали та прізвище

\_\_\_\_\_ Д. В. Степанов

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 р.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу на тему:

**«Використання відновлюваних джерел енергії в системі тепlopостачання адміністративної будівлі»**

Керівник роботи:

к. т. н. доц.. Резидент Н. В.

Виконавець:

студент гр. ТЕ-20 м

Дземух О.О.



## 1 Найменування та область застосування

Розробка стосується муніципальної теплоенергетики і модернізації водогрійної котельні адміністративної будівлі, яка повинна дозволити її енергетичну ефективність, енергоекономічність та зменшення шкідливих викидів котельні в навколишнє середовище.

## 2 Основа для проведення розробки

Основою для виконання роботи є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, вхідні дані з підприємства, наказ ректора ВНТУ про затвердження теми МКР № 277 від «24» вересня 2021 року.

## 3 Мета та призначення розробки

Заміщення природного газу альтернативними джерелами енергії зокрема відновлюваними, шляхом встановлення котла на біомасі та теплового насоса для зменшення собівартості виробництва теплової енергії, зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище.

## 4 Джерела розробки

Основою для розробки є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, дані літературних та інтернет джерел, інші технічні матеріали щодо застосування альтернативних джерел енергії в опалювальних котельнях.

1. Ткаченко С.Й., Резидент Н.В. Система постачання теплової, електричної енергії і холоду з використанням альтернативних джерел енергії. І-й Всеукраїнський з'їзд екологів: збірник наук. пр. Міжнародної наук.-практичної конф. Вінниця. 2006. С. 194.

2. Резидент Н.В., Громик О.О. Заміщення природного газу відходами деревини в котельні навчального закладу. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2019/paper/view/7639/6417>.

3. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел тепlopостачання. Вінниця : ВНТУ, 2005. 137 с.

4. Чепурний М. М., Резидент Н.В. Застосування парокompресійних теплонасосних установок для утилізації скидної теплоти конденсаторів парових турбін. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2013. № 4. [Електронний ресурс]. URL: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VNTUV\\_2013\\_4\\_10.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VNTUV_2013_4_10.pdf).

5. Чепурной М. Н., Резидент Н.В. Сравнительная эффективность применения тепловых насосов в низкотемпературных системах теплоснабжения. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2015. №5. С. 87–94.

## 5 Технічні вимоги

5.1 Забезпечення споживачів теплотою з визначеними параметрами: потужністю, витратою, температурою, тиском.

5.1.1 Теплова потужність системи опалення.....100 кВт

5.1.2 Температурний графік.....80/60 °С

5.1.3 Паливо:

- природний газ, наявна теплота 33,5 МДж/м<sup>3</sup>;
- деревні пелети, наявна теплота 17,17 МДж/кг;
- паливна тріска, наявна теплота 10,93 МДж/кг;

5.3 Забезпечення зменшення витрати палива.

5.4 Економія природного газу.

## 6 Економічні показники

Створення об'єкту повинно вестись з мінімальними витратами праці та з мінімальними затратами виробництва. Здійснити економічне обґрунтування доцільності заміщення використання природного газу водогрійною котельнею на відновлювані види палива, визначивши річні витрати палива, техніко-економічні показники та термін окупності капіталовкладень у разі встановлення необхідного обладнання.

## 7 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Деталі та вузли обладнання котельні повинні бути по можливості стандартними та уніфікованими, щоб забезпечити можливість швидкого монтажу та можливість їх ремонту чи заміни.

## 8 Вимоги з надійності

На ефективність роботи обладнання котельні впливають якість проекту та якість монтажу. Параметри показників надійності встановлюються у відповідних державних стандартах.

## 9 Стадії та етапи розробки

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз джерел енергії сучасних систем тепlopостачання будівель	28.09.21...10.10.21	
2	Показники роботи котельні адміністративної будівлі з відновлюваними та традиційними джерелами енергії	11.10.21...21.10.21	
3	Режим роботи теплонасосної установки типу «повітря-вода»	22.10.21...05.11.21	
4	Організаційно-технологічне забезпечення реалізації проектних рішень	06.11.21...22.11.21	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	23.11.21...29.11.21	
6	Економічна частина	30.11.21...05.12.21	
7	Оформлення МКР	06.12.21...10.12.21	

Дата видачі завдання «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

Крайні терміни виконання «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## 10 Порядок контролю та приймання

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється керівником МКР згідно з графіком виконання. Захист МКР здійснюється ЕК затвердженою наказом ректора ВНТУ згідно з графіком захисту.

11 Корегування технічного завдання допускається з дозволу керівника МКР.

Додаток Б  
(обов'язковий)

## **ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

**ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ  
В СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ  
АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ**