

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

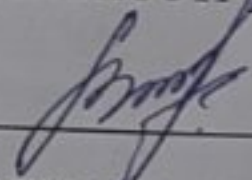
Кафедра теплоенергетики
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності роботи котельні товариства з обмеженою відповідальністю «ABIC»

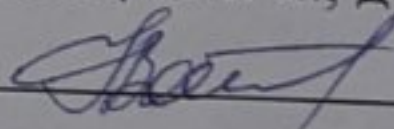
Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ-23 м
спеціальності 144 – Теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)



Чорний В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к. т. н., доцент каф. ТЕ

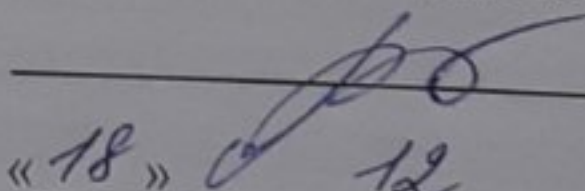


Резидент Н.В.

(прізвище та ініціали)

« 17 » 12 2024 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. БМГА



Бондар А.В.

(прізвище та ініціали)

« 18 » 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ТЕ

К.т.н., доц. Дмитро СТЕЦАНОВ

(прізвище та ініціали)

« 18 » 12 2024 р.



Вінниця ВНТУ – 2024 рік

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



ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чорному Володимиру Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності роботи котельні

товариства з обмеженою відповідальністю «ABIC»

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 17.09.2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи 10.12.2024р.

$D_{cn1} = 0,55 \text{ т/год}$; витрата пари на промислові споживачі 2 $D_{cn2} = 1,25 \text{ т/год}$; параметри пари для промислових споживачів 1 $P_{cn1} = 0,4 \text{ МПа}$, $t_{cn1} = 143 \text{ }^{\circ}\text{C}$; параметри пари для промислових споживачів 2 $P_{cn2} = 0,8 \text{ МПа}$, $t_{cn2} = 170 \text{ }^{\circ}\text{C}$; частка повернення конденсату від промислових споживачів $\alpha = 0,2$; температура зворотного конденсату $t_{зк} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$; температура води після хімводоочистки $t_{хво} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$; температура води після підігрівника додаткової води $t_{пдв} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$; паливо – природний газ, відновлювані види палива; річна тривалість роботи котельні 195 діб.

4. Зміст текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз заходів для підвищення ефективності роботи промислових котелень; показники роботи промислової котельні на різних видах палива; утилізація теплоти відхідних газів котлів в тепловій схемі котельні; технологія монтажу системи очищення відхідних газів парових котлів; економічна частина.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): теплова схема і план котельні після реконструкції; схема монтажна аксонометрична системи очищення відхідних газів котлів; календарний план виконання монтажних робіт; графічні залежності отримані за результатами досліджень.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Резидент Н. В., к.т.н, доц. кафедри ТЕ	<i>[Signature]</i> 26.09.24	<i>[Signature]</i> 17.12.24
5	Лялюк О.Г., к.т.н, доц. кафедри БМГА	<i>[Signature]</i> 26.09.24	<i>[Signature]</i> 12.12.24

7. Дата видачі завдання 26.09.24

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз заходів для підвищення ефективності роботи промислових котелень	14.10.24...20.10.24	<i>вик.</i>
2	Показники роботи промислової котельні на різних видах палива	21.10.24...15.10.24	<i>вик.</i>
3	Утилізація теплоти відхідних газів котлів в тепловій схемі котельні	16.10.24...01.11.24	<i>вик.</i>
4	Технологія монтажу системи очищення відхідних газів парових котлів	02.11.24...18.11.24	<i>вик.</i>
5	Економічна частина	19.11.24...25.11.24	<i>вик.</i>
7	Оформлення МКР	26.11.24...02.12.24	<i>вик.</i>
8	Попередній захист МКР	03.12.24...10.12.24	<i>вик.</i>
9	Захист МКР	11.12.24...26.12.24	<i>вик.</i>

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Чорний В.О.

(прізвище та ініціали)

Резидент Н. В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Чорний В. О. Підвищення ефективності роботи котельні товариства з обмеженою відповідальністю «АВІС». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – Теплоенергетика, освітня програма – Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2024. 77 с.

Бібліогр.: 48 назв; рис.: 8; табл. 18.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблені технічні рішення щодо заміщення природного газу відновлюваними видами палива, зменшення собівартості виробництва теплової енергії, зменшення шкідливого впливу на довкілля. В першому розділі проаналізовані заходи щодо підвищення ефективності роботи промислових котелень. В другому розділі виконані розрахунки теплової схеми котельні, обґрунтовано вид палива для котлів, підібрано обладнання для роботи котлів на відновлюваному виді палива та циклони-утилізатори. В третьому розділі розроблена математична модель розрахунку теплообмінника-утилізатора, визначено ефективність інтенсифікації теплообміну та показники роботи теплообмінника з інтенсифікаторами теплообміну у вигляді кільцевих діафрагм. У технологічній частині розроблено технологію монтажу системи очищення відхідних газів парових котлів, схеми прокладання газопроводів і календарний план виконання робіт. Ілюстративна частина роботи містить 7 аркушів формату А3.

Ключові слова: промислова котельня, відновлювані види палива, біомаса, теплообмінник-утилізатор, інтенсифікація теплообміну.

ABSTRACT

Chorny V.O. Increasing the efficiency of the boiler company with limited liability «AVIS». Master's qualification work on specialty 144 – Thermal power engineering, educational program – Thermal power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2024. 77 p.

Bibliography: 48 titles; Fig.: 8; table 18.

The master's thesis developed technical solutions for replacing natural gas with renewable fuels, reducing the cost of heat energy production, and reducing the harmful impact on the environment. In the first section, measures to improve the efficiency of industrial boiler plants are analyzed. In the second section, calculations of the thermal scheme of the boiler house were performed, the type of fuel for boilers was substantiated, the equipment for the operation of boilers on renewable fuel and cyclones-utilizers were selected. In the third chapter, a mathematical model for heat exchanger-utilizer calculation is developed, the efficiency of heat exchange intensification and performance indicators of the heat exchanger with heat exchange intensifiers in the form of ring diaphragms are determined.

In the technological part, the installation technology of the waste gas cleaning system of steam boilers, gas pipeline laying schemes and the calendar plan of the works have been developed. The illustrative part of the work contains 7 sheets of A3 format.

Key words: industrial boiler house, renewable fuels, biomass, heat exchanger-utilizer, intensification of heat exchange.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ЗАХОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ	
ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПРОМИСЛОВИХ КОТЕЛЕНЬ.....	6
1.1 Сучасний стан використання біомаси, як палива в котельнях.....	6
1.2 Утилізація теплоти відхідних газів котлів як метод підвищення ефективності використання палива	9
1.3 Висновки до розділу	12
2 ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ПРОМИСЛОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ НА	
РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА.....	14
2.1 Загальна характеристика промислової котельні	14
2.2 Розрахунки теплової схеми котельні	17
2.3 Техніко-економічні показники роботи котельні на різних видах палива.....	23
2.4 Підбір основного обладнання, що встановлюється.....	29
2.5 Висновки до розділу	33
3 УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ КОТЛІВ	
В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНОЇ.....	34
3.1 Загальна характеристика обладнання для утилізації теплоти газів	34
3.2 Математична модель теплового розрахунку теплообмінника-утилізатора	35
3.3 Результати моделювання.....	38
3.4 Висновки до розділу	42
4 ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ	
ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ПАРОВИХ КОТЛІВ	43
4.1 Визначення складу і об'ємів робіт	43
4.2 Комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей	45
4.3 Вибір та обґрунтування засобів механізації для монтажних робіт та транспортних засобів	50
4.4 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт.....	55
4.5 Визначення складу ланок для виконання монтажних робіт	57
4.6 Висновки до розділу	59

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	60
5.1 Локальний кошторис	60
5.2 Загальні витрати інноваційного проекту та термін окупності	66
5.3 Висновки до розділу	69
ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	74
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки МКР	78
Додаток Б (обов'язковий). Технічне завдання	79
Додаток В (довідковий). Лістинг програми і результати числового експерименту.....	83
Додаток Г (обов'язковий). Ілюстративна частина	90

ВСТУП

Актуальність теми.

Теплова і електрична енергія, яку сьогодні використовує людство в основному виробляється із викопних видів палива. В найближчому майбутньому запаси викопного палива будуть вичерпані. Зміни клімату в поєднанні з одночасною потребою в енергетичній безпеці та економічній стабільності обумовлюють актуальність переходу на використання відновлюваних джерел енергії та впровадження енергоефективних технологій.

Заміна викопних палив, підвищення енергоефективності, використання енергії із відновлюваних джерел, зниження енергоємності внутрішнього валового продукту та декарбонізація енергетики закріплені в Енергетичній стратегії України до 2035 року. Тому переведення існуючих промислових котелень на відновлювані види палива та підвищення ефективності їх роботи є актуальним напрямом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами. Робота виконана відповідно до науково-дослідної роботи кафедри теплоенергетики ВНТУ.

Мета роботи – підвищення ефективності виробництва теплоти та зменшення шкідливого впливу на довкілля шляхом використання вторинних енергоресурсів та заміщення природного газу відновлюваними видами палива в паровій котельні.

Завдання роботи:

- проаналізувати джерела інформації щодо впровадження відновлюваних видів палива та заходи для підвищення ефективності використання палива в промислових котельнях;
- проаналізувати роботу котельні за існуючою тепловою схемою;
- варіантними розрахунками визначити відновлювані види палива для зменшення собівартості виробленої теплової енергії;

- розробити математичну модель та дослідити показники роботи циклона з теплообмінником-утилізатором і запропонувати рішення для підвищення ефективності його роботи;
- розробити технологію монтажу системи очищення відхідних газів парових котлів;
- визначити економічні показники роботи котельні на відновлюваних видах палива.

Об'єкт дослідження. Процеси виробництва теплової енергії в паровій котельні ТОВ «ABIC».

Предмет дослідження. Методи та засоби підвищення ефективності виробництва теплової енергії паровою котельнею.

Новизна одержаних результатів. Дістали подальшого розвитку методи підвищення ефективності роботи котелень, в результаті чого досягається зменшення споживання викопних видів палива та шкідливого впливу на довкілля.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.

Основні результати роботи доповідались і обговорювались на Міжнародній науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи».

Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи.

Результати роботи опубліковані в матеріалах конференції [1].

1 АНАЛІЗ ЗАХОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПРОМИСЛОВИХ КОТЕЛЕНЬ

1.1 Сучасний стан використання біомаси, як палива в котельнях

Енергія, отримана з викопного палива, робить значний внесок у глобальну зміну клімату, спричиняючи понад 75% глобальних викидів парникових газів і приблизно 90% усіх викидів вуглекислого газу. Для декарбонізації енергетичного сектора необхідно використовувати альтернативну енергію з відновлюваних джерел [2].

Промислові і муніципальні котельні споживають значну кількість викопного палива та електричної енергії, вартість яких суттєво впливає на собівартість продукції. Водночас енергетичний потенціал біомаси в Україні, за оцінками БАУ, складає біля 21,2 млн тонн нафтового еквіваленту на рік, що дорівнює 26 млрд. куб. м газу. В Європі 60% відновлюваної енергії отримують з біомаси, а 40% забезпечує гідроенергія, сонце, вітер та інші джерела. В Україні це співвідношення ще більше – наразі біомаса складає десь 75% від усіх ВДЕ. [3].

Біомаса є відновлюваним джерелом енергії, яке можна використовувати як паливо в котельних установках. Паливна біомаса походить з органічних матеріалів, таких як деревна стружка, гранули, сільськогосподарські відходи та енергетичні культури. Біомаса є стійкою, постійно поповнюється природними процесами та має майже нейтральний вуглецевий слід. Використання біомаси зменшує залежність від обмеженого викопного палива та має такі переваги, як менші витрати на енергію, менші викиди вуглецю, покращена енергетична безпека та економічні вигоди [4]

Паливо з біомаси набуває величезної популярності в сучасному світі, оскільки біомаса є дешевшою та легкодоступною порівняно з іншими видами палива. Людство все більше і більше усвідомлює переваги використання біомаси як палива, у порівнянні з іншими видами палива [5].

В Україні все більше споживачів використовують біопаливо для генерації теплової та електричної енергії. За даними Біоенергетичної асоціації України у 2020 році біомаса замістила біля 5,2 млрд куб. м природного газу, а це приблизно 15% від загального довоєнного споживання. Наразі зі всієї біоенергії, що виробляється в Україні, приблизно 70% отримують саме з твердої біомаси шляхом її спалювання [3]. Використання деревних та інших органічних відходів не тільки зменшує енергетичну залежність України, але й зменшує кількість шкідливих викидів в навколишнє середовище, оскільки деревина є CO_2 – збалансованим паливом .

Поєднання біомаси та ефективних котельних установок може обумовлює зниження витрат на виробництво енергії, зниження вуглецевого сліду, покращення енергетичної безпеки та економічні вигоди. Але є і проблеми під час використання біомаси як палива, наприклад забезпечення постійного постачання біомаси, належне зберігання та поводження, вищі початкові інвестиції порівняно з традиційними котлами та проблеми сталого розвитку, такі як вирубка лісів. Однак, в разі вирішення цих проблеми, біомаса може відігравати значну роль у переході до низьковуглецевого майбутнє [6].

Ефективні котельні установки максимізують ефективність спалювання біомаси за допомогою таких технологій, як економайзери, підігрівники повітря, передові системи автоматизації та контролю процесу горіння. Ці системи також містять технології для мінімізації шкідливих викидів, таких як тверді частинки та оксиди азоту. Контроль викидів може включати циклон або мультициклон, рукавний фільтр або електростатичний фільтр (перераховані в порядку збільшення капітальних витрат і ефективності) для уловлювання твердих часток.

Циклони та мультициклони можна використовувати для видалення більших часток перед рукавним фільтром (тканинні фільтри) або електростатичним фільтром [4].

Найбільшого поширення в системах для первинного очищення від високодисперсної золи відхідних газів котлів на біомасі отримали циклони. Циклони прості у виготовленні, надійні в експлуатації, забезпечують фракційну ефективність очищення від 80% до 95 % для частинок розміром більше 10 мкм. Ефективність очищення газу в циклонах переважно залежить від дисперсного складу та густини частинок, в'язкості газу та його температури.

Циклон-утилізатор (МЦ-У) – це пристрій, що поєднує в собі два важливі процеси: очищення газових викидів від золи та утилізацію теплоти, яка міститься в відхідних газах [7].

Відокремлення золи у циклоні-утилізаторі відбуваються наступним чином: забруднені відхідні гази, які містять золу, потрапляють у циклон під кутом, що створює обертальний рух газового потоку; завдяки обертанню газу, зольні частинки під дією відцентрової сили відкидаються до стінок циклону; частинки золи осідають на стінках і поступово падають вниз у збірник золи, звідки їх можна періодично видаляти; очищений від золи газ піднімається через центральну вихідну трубу і покидає циклон.

Утилізація теплоти відхідних газів відбувається наступним чином: очищені від золи гарячі відхідні гази поступають в теплообмінник, де теплота від газів передається іншому середовищу (воді або повітрю); вода, що протікає через теплообмінник, нагрівається від газів і використовується за призначенням; відхідні гази, віддавши свою теплоту, охолоджуються і поступають в димову трубу.

До переваг циклонів-утилізаторів можна віднести: 1) ефективне очищення – циклонний золовловлювач ефективно видаляє зольні частинки з відхідних газів, що знижує рівень забруднення повітря; 2) енергозбереження –

утилізація теплоти дозволяє використовувати відновлену теплоту, зменшуючи загальні витрати на енергію; 3) зменшення викидів – комбінована система знижує кількість шкідливих викидів у навколишнє середовище, роблячи промислові процеси більш екологічно безпечними; 4) економічна ефективність – використання утилізованої теплоти для інших потреб підвищує загальну економічну ефективність виробництва.

Переведення парових котлів з газу, мазуту або дизельного палива на тверде паливо (дрова, брикети, тріска, сільськогосподарські відходи, лушпиння соняшника, пелети, та ін.) може здійснюватися за рахунок модернізації котла або установки передтопка до котла. Основним принципом роботи передтопків є перетворення твердого палива (деревних і рослинних відходів, які мають порівняно низьку теплоту згорання) в генераторний газ, з подальшим його повним спалюванням в топці котла. Можливе одночасне спалювання різних видів палива і одночасне завантаження вручну і в автоматичному режимі [8].

Природний газ як паливо для котлів можна також замінити мазутом, дизельним паливом або вугіллям. Це несе за собою витрати на заміну основного і допоміжного обладнання котельні. Сьогодні такі види палива як вугілля, мазут, дизельне паливо є дорогими і не завжди доступними, тому для котлів підбирають паливо, яке має доступну ціну і порівняно легко транспортується, зокрема це можуть бути місцеві види палива.

1.2 Утилізація теплоти відхідних газів котлів як метод підвищення ефективності використання палива

Підвищення енергоефективності котелень можна досягти двома шляхами: перший – повна заміна основного і допоміжного обладнання; другий – встановлення додаткового обладнання для підвищення ефективності використання палива. Застосування технології утилізації теплоти відхідних газів котлів є од-

ним із вагомих заходів підвищення ефективності використання палива. Незважаючи на значну кількість досліджень в напрямку розробки ефективних теплоутилізаторів їх впровадження здійснюється відносно повільно [9], оскільки немає універсальних достовірних методик розрахунку і проектування теплоутилізаторів, відсутні типові конструкторські розробки теплоутилізаторів, часто вони є габаритними та металоємними, що обумовлює необхідність застосування методів інтенсифікації теплообміну. Інтенсифікація теплообміну та підвищення енергетичної ефективності теплообмінних апаратів мають велике значення для енергетики та інших галузей промисловості.

Досвід розробки і експлуатації різних теплообмінних апаратів показує, що розроблені методи інтенсифікації теплообміну забезпечують зниження габаритів і металоємності теплообмінників в два і більше разів у порівнянні з аналогічними гладкотрубними теплообмінними апаратами. При цьому теплова потужність і потужність, яка витрачається на перекачування теплоносіїв, залишається однаковою [10].

Ефективним методом інтенсифікації теплообміну є застосування перервних поверхонь, що використовують ефект оновлення граничного шару. У цьому випадку завдання також зводиться до питання про вплив виду поверхні та взаємодії течій [11]. Застосовуються також пристрої, які створюють у потоці інтенсивні коливання та пульсації, зокрема профільні канали, штучна шорсткість, пристрої, що генерують пульсації і т.ін.

Що стосується течії однофазних теплоносіїв, то використовуються такі методи інтенсифікації тепловіддачі: турбулізатори потоку, які закріплені на поверхні; розвинені поверхні внаслідок оребрення; закручування потоку спіральними ребрами, шнековими пристроями, завихрювачами, встановленими на вході в канал; підмішування до потоку рідини газових бульбашок, а до потоку газу через тверді частинки або краплі рідини; вібрація поверхні; пульсація теплоносія; вплив на потік електростатичних полів; відсмоктування потоку з

граничного шару; використання теплових труб; застосування комбінованих методів інтенсифікації теплообміну [11, 12].

З усіх відомих методів інтенсифікації теплообміну в трубах найбільшу увагу як ефективним і технологічно реалізованим приділяється штучної турбулізації потоку кільцевими діафрагмами [13]. Суть запропонованого методу полягає в тому, що на зовнішній поверхні труби накаткою наносяться періодично розташовані кільцеві канавки. При цьому на внутрішній стороні труби утворюються кільцеві діафрагми з плавною конфігурацією. Кільцеві діафрагми та канавки турбулізують потік у граничному шарі та забезпечують інтенсифікацію теплообміну зовні та всередині труб. При цьому не збільшується зовнішній діаметр труб, що дозволяє використовувати дані труби в тісних пучках і не змінювати існуючої технології збирання трубчатих теплообмінних апаратів. Труби з кільцевими турбулізаторами володіють необхідною для практичного застосування універсальністю. Для таких труб характерна знижена забруднюваність. Таким чином, труби з кільцевими турбулізаторами задовольняють всім вимогам, які потрібні для їх широкого практичного використання [10].

Під час розробки різних методів інтенсифікації необхідно прагнути отримати інтенсивну турбулізацію потоку з найменшим відносним збільшенням гідравлічного опору каналу. Тому найбільш наочне порівняння виходить під час порівняння каналів, які мають пристрої для штучної турбулізації потоку, з такими ж гладкими каналами, що не мають цих пристроїв. У цьому випадку, критерієм доцільності методу інтенсифікації теплообміну для розглянутих теплообмінних апаратів буде залежність між відношенням чисел Нуссельта і коефіцієнтами гідравлічних опорів для каналів з інтенсифікацією (Nu , ξ) і для гладких каналів ($Nu_{\text{гл}}$, $\xi_{\text{гл}}$), яке для різних типів теплообмінних апаратів буде різне [14].

Теоретичні та експериментальні дані кінця 50-х років XX століття доводили з точки зору теорії теплообміну, яка була на той час, що досягнення співвідношення $Nu/Nu_{\text{гл}} \geq \xi / \xi_{\text{гл}}$ неможливе. Більш сучасні роботи з експериментальних досліджень даних з опору та локальної тепловіддачі за одиночними діафрагмами в трубі показала, що навіть для кроку діафрагм $t/D=14$ і $d/D \geq 0,9$ можна досягти $Nu/Nu_{\text{гл}} \geq \xi / \xi_{\text{гл}}$ при малих кроках між турбулізаторами [10].

Процес теплообміну в шорстких трубах, а також у трубах з турбулізаторами характеризується високою складністю, тому недостатньо повно розроблена узагальнена теорія.

1.3 Висновки до розділу

Україна володіє значним потенціалом біомас, яка може близько 5,2 млрд куб. м природного газу, що становить приблизно 15% від загального довоєнного споживання. Наразі зі всієї енергії з біомаси, що виробляється в Україні, приблизно 70% отримують саме з твердої біомаси шляхом її спалювання. Використання деревних та інших органічних відходів не тільки зменшує енергетичну залежність України, але й зменшує кількість шкідливих викидів в навколишнє середовище.

Підвищення енергоефективності котелень можна досягти встановленням утилізаторів теплоти відхідних газів котлів. Розробка ефективних утилізаторів теплоти відхідних газів та їх впровадження здійснюється відносно повільно, оскільки немає універсальних достовірних методик розрахунку і проектування теплоутилізаторів, відсутні типові конструкторські розробки теплоутилізаторів, часто вони є габаритними та металоємними, що обумовлює необхідність застосування методів інтенсифікації теплообміну.

Підвищення ефективності виробництва теплоти і зменшення шкідливого впливу на довкілля промислових та муніципальних котелень шляхом заміщення природного газу відновлюваними видами палива та використання вторинних енергоресурсів обумовлює мету роботи.

2 ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ПРОМИСЛОВОЇ КОТЕЛЬНІ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА

2.1 Загальна характеристика промислової котельні

ТОВ «АВІС» забезпечується тепловою енергією від парової котельні, в якій встановлені два робочих парових котли Е-1.0-0.9 (вертикально-водотрубні двобарабанні з природною циркуляцією) та один резервний FERROLI Varoprex HVP 2000, що працюють на газоподібному паливі середнього тиску – природному газі, який подається від ГРП, яка розташована за територією котельні.

В приміщенні розміщені парові котли, щити автоматики та пожежного захисту. В котельні розміщене устаткування хімводоочистки, насоси, побутові приміщення.

Живильна вода після проходження через хімводоочистку подається до котлів з температурою 104 °С. Подача живильної води в котли здійснюється живильними насосами (один робочий, один резервний). Для подачі сирогої і підігрітої додаткової води в котельні встановлені насоси сирогої та додаткової води.

Постачання сирогої води здійснюється від існуючої міської мережі водогону.

Передбачена безперервна і періодична продувки котла. Продувальна вода виливається в продувальний колодязь.

Трубопроводи котельні ізольовані, мають дренаж в найнижчих точках.

Насичена водяна пара від котлів поступає на паровий колектор, звідки розподіляється на промислові споживачі. Конденсат від промислових споживачів повертається частково.

Відхідні гази котлів видаляються в димову трубу димососами.

Парові котли серії «Е», належать до вертикально-водотрубних двобарабанних котлів з природною циркуляцією. Котли призначені для вироблення насиченої водяної пари з абсолютним тиском до 0,9МПа. Паропродуктивність котла до 2,5 тонн пари за годину.

Водотрубна конструкція котлів серії «Е» робить їх конструкцію міцнішою порівняно з аналогами жаротрубних котлів. Водотрубні котли експлуатуються не тільки на підприємствах легкої промисловості, але і на підприємствах, де необхідний тиск пари більше 4,0 МПа, що доводить надійність водотрубною конструкції. Термін служби цих парових котлів більше 20 років, а застосування надійних та економічних комплектуючих європейських виробників, дозволяє досягти надійної та економної роботи даного обладнання.

Парові котли серії «Е» можуть працювати на таких видах палива:

- зріджений газ;
- природний газ;
- рідке паливо (мазут, дизельне паливо);
- біопаливо (пелета, лушпиння соняшника, лушпиння гречки, тріска деревна);
- кам'яне вугілля, буре вугілля.

Технічні характеристики парових котлів серії «Е» на твердому паливі показані в табл. 2.1.

Вибір виду палива для котельні залежить від доступності сировини, ціни на паливо, зручності у використанні, наявності необхідного обладнання.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики парових котлів серії «Е» для роботи на твердому паливі [15]

Найменування показника	Е-1,0-0,9	Е-0,7-0,9Р	Е-1,0-0,9Р	Е-1,2-0,9Р	Е-1,8-0,9Р
Номинальна паропроductивність, т.п./год.	1,0	0,7	1,0	1,2	1,8
Абсолютний тиск пари, МПа, не більше	0,9 (за дод. замовлення 1,4 МПа)				
Розрахункове паливо	Природний та скрапленний газ	Дрова, паливні брикети, біопаливо	Кам'яне та буре вугілля	Біопаливо (пелети, лушпиння насіння)	Біопаливо (пелети, лушпиння насіння)
Розрахункова витрата палива	83,5м ³ /год	Пелети-120кг/год	150кг/год	Пелети-205кг/год	Пелети-310кг/год
ККД, %	91%	75%-ручне подання палива; 82%-автоматична подача (пелети, біопаливо)	75%	82%-автоматична подача (пелети, біопаливо)	82%-автоматична подача (пелети, біопаливо)
Розрахункова температура живильної води, °С	50				
Маса котла, кг, не більше	4300	4300	4300	4900	7500
Габарити котла, м, Д * Ш * В	4,2 * 2,35 * 2,9	4,2 * 2,35 * 2,9 (без передтопка)	4,2 * 2,35 * 2,9	4,2 * 2,45 * 2,9 (без передтопка)	4,9 * 3,8 * 3,6

Принципова теплова схема котельні показана на рис 2.1, а показники її роботи на природному газі в опалювальний, середньоопалювальний та міжопалювальний періоди показані в табл. 2.1. Розрахунки виконані за методикою [16].

2.2 Розрахунки теплової схеми котельні

Початкові дані:

- тиск і температура пари з котлів – $P_{\pi} = 0,8$ МПа, $t_{\pi} = 170$ °С;
- тиск і температура пари на споживач 1 – $P_{\pi} = 0,4$ МПа, $t_{\pi} = 143$ °С;
- тиск і температура пари на споживач 2 – $P_{\pi} = 0,8$ МПа, $t_{\pi} = 170$ °С;
- витрата пари на перший технологічний споживач $D_{\text{сп1}} = 0,55$ т/год;
- витрата пари на другий технологічний споживач $D_{\text{сп2}} = 1,25$ т/год;
- температура зворотного конденсату $t_{\text{зк}} = 45$ °С;
- температура води після хімводоочистки $t_{\text{хво}} = 10$ °С;
- температура води після підігрівника додаткової води $t_{\text{пдв}} = 50$ °С;
- частка повернення зворотного конденсату $\alpha_{\text{зк}} = 0,2$;
- тиск в деаераторі атмосферному – $P_{\text{д}} = 0,12$ МПа, $t_{\text{жв}} = 104$ °С;
- ККД котлів $\eta_{\text{к}} = 90\%$.

Теплова схема котельні показана на рис. 1.1.

Теплова потужність першого споживача

$$Q_{\text{сп1}} = D_{\text{сп1}} \cdot \left[(h_{\text{сп1}} - h_{\text{к}}) + (1 - \alpha_{\text{к}}) \cdot (h_{\text{к}} - h_{\text{хв}}) \right], \quad (2.1)$$

де $h_{\text{сп1}}$ – ентальпія пари на промислові споживачі, кДж/кг;

$h_{\text{к}}$ – ентальпія конденсату від промислових споживачів, кДж/кг;

$h_{\text{хв}}$ – ентальпія холодної води, кДж/кг;

$\alpha_{\text{к}}$ – частка повернення конденсату.

$$Q_{\text{сп1}} = 0,55/3,6 \cdot \left[(2732 - 188,6) + (1 - 0,2) \cdot (188,6 - 41,9) \right] = 406,5 (\text{кВт}).$$

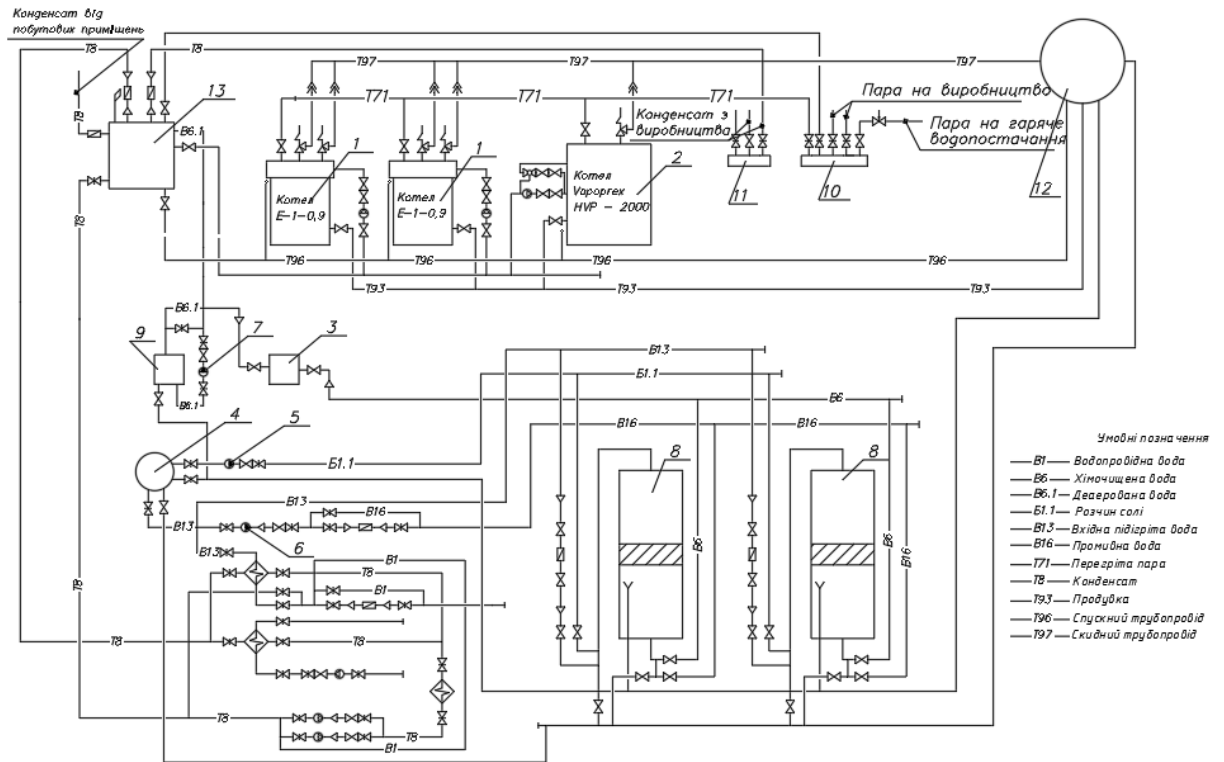


Рисунок 1.1 – Схема котельні існуюча теплова

Теплова потужність другого споживача

$$Q_{\text{сп2}} = D_{\text{сп2}} \cdot \left[(h_{\text{сп2}} - h_{\text{к}}) + (1 - \alpha_{\text{к}}) \cdot (h_{\text{к}} - h_{\text{хв}}) \right], \quad (2.2)$$

$$Q_{\text{сп2}} = 1,25/3,6 \cdot \left[(2769 - 188,6) + (1 - 0,2) \cdot (188,6 - 41,9) \right] = 936,7 \text{ (кВт)}.$$

Витрата пари з котлів

$$D_0 = D_{\text{сп1}} + D_{\text{сп2}} + D_{\text{д}}, \quad (2.3)$$

$$D_0 = 0,15 + 0,35 + D_{\text{д}} = 0,5 + D_{\text{д}} \text{ (кг/с)}.$$

Витрата живильної води

$$G_{\text{жв}} = D_0 + p \cdot D_0 + \alpha_{\text{вп}} \cdot D_0 = D_0 \cdot (1 + p + \alpha_{\text{вп}}), \quad (2.4)$$

$$G_{\text{жв}} = (0,5 + D_{\text{д}}) \cdot (1 + 0,02 + 0,03) = 0,525 + 1,05 \cdot D_{\text{д}} \text{ (кг/с)},$$

де p – частка продувки, $p = 3\% = 0,03$;

$\alpha_{\text{вп}}$ – частка власних потреб, $\alpha_{\text{вп}} = 2\% = 0,02$.

Витрата зворотного конденсату

$$G_{\text{к}} = (D_{\text{сп1}} + D_{\text{сп2}}) \cdot \alpha_{\text{к}}, \quad (2.5)$$

$$G_{\text{к}} = (0,15 + 0,35) \cdot 0,2 = 0,1 \text{ (кг/с)},$$

де $\alpha_{\text{зк}}$ – частка повернення зворотного конденсату, $\alpha_{\text{зк}} = 0,7$.

Витрата додаткової води

$$G_{\text{дв}} = (D_{\text{сп1}} + D_{\text{сп2}}) \cdot \alpha_{\text{дв}}, \quad (2.6)$$

$$G_{\text{дв}} = (0,15 + 0,35) \cdot 0,8 = 0,4 \text{ (кг/с)},$$

де $\alpha_{\text{дв}}$ – частка додаткової води, $\alpha_{\text{дв}} = 1 - 0,2 = 0,8$.

Ентальпія додаткової води після ПДВ

$$h_{\text{пдв}} = C_p \cdot t_{\text{пдв}}, \quad (2.7)$$

$$h_{\text{пдв}} = 4,19 \cdot 50 = 209,5 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right).$$

Тепловий баланс деаератора

$$G_{\text{жв}} \cdot h_{\text{жв}} = D_{\text{д}} \cdot h_{\text{д}}'' + G_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}} + G_{\text{дв}} \cdot h_{\text{пдв}}, \quad (2.8)$$

$$(0,525 + 1,05 \cdot D_{\text{д}}) \cdot 436 = D_{\text{д}} \cdot 2753 + 0,1 \cdot 188,6 + 0,4 \cdot 209,5,$$

$$228,9 + 457,8 D_{\text{д}} = 2753 \cdot D_{\text{д}} + 18,86 + 83,8,$$

$$126,24 = 2295,2 D_{\text{д}},$$

$$D_{\text{д}} = 0,055 \left(\text{кг} / \text{с} \right).$$

Витрата пари після котлів

$$D_0 = 0,5 + D_{\text{д}} = 0,5 + 0,055 = 0,555 \left(\text{кг/с} \right).$$

Витрата живильної води

$$G_{\text{жв}} = 0,525 + 1,05 \cdot D_{\text{д}} = 0,525 + 1,05 \cdot 0,055 = 0,583 \left(\text{кг/с} \right).$$

Теплова потужність парогенераторів

$$Q_{\text{пг}} = \left[D_0 (1 + \alpha_{\text{вп}}) \cdot (h_0 - h_{\text{жв}}) + D_0 \cdot p \cdot (h_{\text{кв}} - h_{\text{жв}}) \right] \cdot 10^{-3}, \quad (2.9)$$

де $h_{\text{кв}}$ – ентальпія котлової води, кДж/кг;

$$Q_{\text{шт}} = \left[\begin{array}{l} 0,555(1+0,03) \cdot (2769 - 436) + \\ + 0,555 \cdot 0,03 \cdot (721 - 436) \end{array} \right] \cdot 10^{-3} = 1,338 \text{ (МВт)}.$$

Витрата робочого палива (природного газу)

$$B_p = \frac{Q_{\text{шт}}}{\eta_{\text{шт}} \cdot Q_{\text{н}}^p}, \quad (2.10)$$

де $Q_{\text{н}}^p$ – нижча теплота згорання робочого палива, $Q_{\text{н.у}}^p = 33,5 \text{ МДж/м}^3$.

$$B_p = \frac{1,338}{0,9 \cdot 33,5} = 0,044 \text{ (м}^3/\text{с)}.$$

Витрата умовного палива

$$B_y = \frac{Q_{\text{шт}}}{\eta_{\text{шт}} \cdot Q_{\text{н.у}}^p}, \quad (2.11)$$

$$B_y = \frac{1,338}{0,9 \cdot 29,3} = 0,051 \text{ (кг/с)},$$

де $Q_{\text{н.у}}^p$ – нижча теплота згорання умовного палива, $Q_{\text{н.у}}^p = 29,3 \text{ МДж/кг}$.

ККД парової котельні

$$\eta_{\text{кот}} = \frac{Q_{\text{сп1}} + Q_{\text{сп2}}}{B_y \cdot Q_{\text{н.у}}^p}, \quad (2.12)$$

$$\eta_{\text{кот}} = \frac{0,4065 + 0,9367}{0,051 \cdot 29,3} = 0,899.$$

Визначимо сумарну електричну потужність власних потреб котельні. Електрична потужність власних потреб котельні розраховується, як сума потужностей вентиляторів, димососів, насосів сирії, живильної та хімічноочищеної води.

Об'ємна подача насоса живильної води

$$Q_{\text{жн}} = \frac{k_3 \cdot G_{\text{жв}} \cdot 3600}{\rho_{\text{жв}}}, \quad (2.14)$$

$$Q_{\text{жн}} = \frac{1,1 \cdot 0,584 \cdot 3600}{955,34} = 2,42 \text{ (м}^3\text{/год)},$$

де $\rho_{\text{жв}}$ – густина живильної води після деаератора. Для $t_{\text{жв}} = 104^\circ\text{C}$, $\rho_{\text{жв}} = 955,34 \text{ кг/м}^3$ [17].

Потужність, яку споживає електропривод живильного насоса

$$N_{\text{жн}} = Q_{\text{жн}} \cdot H_{\text{нжв}} / (3600 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ем}}), \quad (2.15)$$

$$N_{\text{жн}} = 2,42 \cdot 990 / (3600 \cdot 0,65 \cdot 0,96) = 1,07 \text{ (кВт)},$$

де $H_{\text{нжв}}$ – напір насоса, $H_{\text{нжв}} = 990 \text{ кПа}$;

$\eta_{\text{н}}$ – ККД насоса, $\eta_{\text{н}} = 0,65$.

Електричні потужності вентиляторів, димососів, насосів та сумарна потужність власних потреб котельні показані в табл. 2.1.

Таблиця 2.2 – Електричні потужності власних потреб котельні

Найменування показника	Одинична потужність, кВт	Сумарна потужність, кВт
Потужність, яка споживається вентилятором ВД-2,7 для котла Е-1-0,9Г [18]	1,1	2,2
Потужність, яка споживається димососом Д-3,5 [19]	1,1	2,2
Потужність, яку споживає електропривод живильного насоса	1,14	1,14
Потужність, яку споживає електропривод насоса ХВО	0,107	0,107
Потужність, яку споживає електропривод насоса сирови води	0,097	0,097
Потужність власних потреб		5,744
Загальна потужність власних потреб з урахуванням коефіцієнта, що враховує потужність освітлювального обладнання ($k = 1,1$)		6,32

2.3 Техніко–економічні показники роботи котельні на різних видах палива

Для проведення багатоваріантного аналізу розглянемо переведення котельні на такі види палива вугілля; паливні пелети; паливна тріска.

Будівництво котелень, що працюють на відновлюваних джерелах енергії, дозволяє зменшити споживання природного газу, вирішує проблеми утилізації відходів і сприяє поліпшенню екологічної ситуації. Водночас для стимулювання таких проектів потрібне вдосконалення нормативно-правової бази та створення сприятливих умов для інвесторів. Серед перспективних варіантів розвитку – перехід котелень на спалювання паливних гранул і тріски або впровадження когенераційних установок за умови зменшення регуляторних бар'єрів та стабілізації ринку енергоносіїв.

Експлуатація котлів на відновлюваних видах палива набуває все більшої популярності завдяки їх економічній ефективності та екологічним перевагам. Зокрема, використання твердого біопалива, такого як деревна тріска чи паливні гранули, стає актуальним напрямком розвитку енергетики. Твердопаливні котли мають низку переваг: 1) зниження залежності від імпортованих енергоносіїв; 2) доступність місцевої сировини; 3) скорочення викидів парникових газів завдяки відновлюваності палива; 4) утилізація органічних відходів.

Однак, використання біопалива має й певні недоліки. Серед них: 1) низька енергетична щільність у порівнянні з традиційними видами палива; 2) вимоги до умов зберігання, що забезпечують сухість і захист від атмосферних впливів; 3) складність автоматизації процесу подачі палива; 4) необхідність додаткового обладнання для підготовки та подачі біомаси.

Виконаємо оцінку техніко–економічних показників роботи котельні для таких варіантів:

- робота котельні на природному газі;
- реконструкція котлів із встановленням передтопка для спалювання біопалива;
- реконструкція котлів для спалювання вугілля.

Економічні показники роботи котельні на різних видах палива визначимо за методиками [16, 20]. Для розрахунків приймаємо, що сумарна кількість робочих діб парової котельні становить 195 діб. Показники вибраних варіантів порівнюватимуться із показниками вкотельні на природному газі. Для визначення витрат на амортизацію і ремонт задаємо, що величина балансової вартості існуючої котельні становить 12 млн. грн. Для того щоб орієнтовно визначити витрати на амортизацію задаємося, що реконструкція котлів з встановленням передтопка котла та іншого додаткового обладнання для спалювання твердого палива становитиме 1,3 млн.грн (розділ 5).

Показники роботи котельні на природному газі.

Витрата палива за рік

$$V_{\text{річ}} = V_p \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{річ}}, \quad (2.22)$$

де V_p – секундна витрата палива, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\tau_{\text{річ}}$ – тривалість періоду, діб.

Витрати коштів підприємством на паливо

$$C_{\text{пал}} = V_{\text{річ}} \cdot \Pi_{\text{пал}} \cdot K_{\text{вп}}, \quad (2.23)$$

де $K_{\text{вп}}$ – коефіцієнт, який враховує витрату палива на власні потреби;

$\Pi_{\text{пал}}$ – вартість палива [21], (грн./ м^3).

Споживання електричної енергії котельнею за рік

$$E_{\text{річ}} = N_{\text{вп}} \cdot 24 \cdot \tau_{\text{оп}}, \quad (2.24)$$

Витрати коштів підприємством на електричну енергію

$$C_{\text{ее}} = E_{\text{річ}} \cdot \Pi_{\text{ее}}, \quad (2.25)$$

де $\Pi_{\text{ее}}$ – вартість електричної енергії [22], (грн./ м^3).

Річне споживання води

$$G_{\text{в,річ}} = (G_{\text{дв}}/\rho_{\text{в}}) \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{оп}}, \quad (2.26)$$

Витрати на воду

$$C_{\text{в}} = G_{\text{в,річ}} \cdot \Pi_{\text{в}}, \quad (2.27)$$

де $\Pi_{\text{в}}$ – вартість води [23], (грн./ м^3).

Витрати на амортизацію

$$C_{\text{ам}} = K \cdot S_{\text{А}}, \quad (2.28)$$

Витрати на поточний ремонт

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot C_{\text{ам}}, \quad (2.29)$$

Витрати на заробітну плату

$$C_{\text{зп}} = O_p \cdot \text{€СВ} \cdot n \cdot \tau_p, \quad (2.30)$$

де O_p – оклад працівника, грн;

4 – кількість працівників в котельні;

τ_p – кількість місяців роботи котельні в році;

€СВ – єдиний соціальний внесок.

Інші витрати

$$C_{\text{ін}} = 0,06 \cdot (C_{\text{пал}} + C_{\text{ее}} + C_{\text{в}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{зп}}), \quad (2.31)$$

Експлуатаційні витрати підприємством за рік

$$C_{\text{річ}} = C_{\text{пал}} + C_{\text{ее}} + C_{\text{в}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{ін}}, \quad (2.32)$$

Річний відпуск теплоти

$$Q_{\text{річ}} = Q \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{оп}}, \quad (2.33)$$

Собівартість вироблення теплової енергії паровою котельнею

$$\text{СВ}_{\text{теплоти}} = C_{\text{річ}} / Q_{\text{річ}}, \quad (2.34)$$

Визначимо техніко-економічні показники парової котельні на біопаливі, вугіллі. Нижча теплота згорання лушпиння соняшника – $Q^p_n = 19,00$ МДж/кг, паливна тріска – $Q^p_n = 12,00$ МДж/кг, вугілля – $Q^p_n = 27,00$ МДж/кг [24], ККД котлів на вугіллі – 0,75, біомасі – 0,82, природному газі – 0,9 [25]. Витрата робочого палива (пелет з лушпиння соняшника) – $V_p = 0,086$ (кг/с), паливна тріска – $V_p = 0,136$ (кг/с), вугілля – 0,066 (кг/с).

Ціна на паливні гранули і тріску у різних постачальників змінюється в межах 10...12%, тому для розрахунків річних витрат на паливо вибрані середні ціни. За рівняннями (2.20 – 2.30) визначаємо техніко-економічні показники роботи котельні на вугіллі, паливних гранулах та паливній трісці.

Річне споживання електричної енергії в разі роботи котельні на паливних гранулах і деревній трісці збільшиться оскільки додатково споживатимуть електричну енергію циркуляційні насоси контуру циклона, системи паливоподачі, збільшиться потужність димососів. Технічні характеристики насоса Grundfos MAGNA3 40-150F: подача $V = 11,36$ м³/год, напір $H = 10$ м, максимальна споживана потужність $N_{yt} = 0,608$ кВт [26]. Споживання електричної енергії димососом котла зросте на $\Delta N_d = 1,2$ кВт, а системою паливо-подачі $N_{дод} = 1,5$ кВт.

$$E'_{річ} = N_{вп} \cdot 24 \cdot \tau_{оп}, \quad (2.24)$$

$$E'_{річ} = 6,32 + 2 (0,608 + 1,5 + 1,2) \cdot 24 \cdot 195 = 60540,5 \text{ (кВт}\cdot\text{год/рік)}.$$

В таблиці 2.3 наведені результати розрахунків техніко-економічних показників котельні на різних палива.

Таблиця 2.3 – Техніко-економічні показники роботи котельні на різних видах палива

Найменування величини	Види палива			
	Природний газ	Пелети (лушпиння соняшника)	Паливна тріска	Вугілля
Ціна палива, грн/м ³ , грн/кг [27]	19,2	4,1	3,0	20,0
Ціна електричної енергії, грн/(кВт·год)	10,0	10,0	10,0	10,0
Річна витрата палива, млн. м ³ /рік, млн.кг/рік	0,741	1,448928	2,256076	1,111968
Річні витрати на паливо, млн.грн/рік	14,313	5,976	6,809	22,373
Річні витрати на електричну енергію, млн.грн/рік	0,296	0,605	0,605	0,605
Витрати коштів на воду, млн.грн./рік	0,23	0,23	0,23	0,23
Вартість осн.фондів, млн.грн	12	13,3	13,3	13,3
Витрати на амортизацію, млн.грн./рік	0,9	0,998	0,998	0,998
Витрати на поточний ремонт, млн.грн./рік	0,18	0,199	0,199	0,199
Витрати на заробітну плату, млн.грн./рік	0,582	0,582	0,582	0,582
Інші витрати, млн.грн./рік	0,99	0,515	0,565	1,499
Загальні річні експлуатаційні витрати, млн.грн./рік	17,491	9,105	9,988	26,486
Річний відпуск теплоти, ГДж./рік	22542,624			
Собівартість виробництва теплової енергії, грн/ГДж	775,9	403,9	443,1	1174,9

За результатами даних таблиці 2.2 можна зробити висновок, що найменша собівартість виробництва 1 ГДж теплової енергії в разі спалювання паливної

тріски за її вартості 5,2 грн/м³, тому приймаємо для подальшої розробки роботу парових котлів на паливній трісці або пелетах із соняшникового лушпиння. Для цього виконаємо підбір основного обладнання.

2.4 Підбір основного обладнання, що встановлюється

Топка виносна.

Для подальшої розробки приймаємо варіант з реконструкцією парових котлів Е-1,0-0,9 з установленням топки виносної. Спалювання за такої технології проводиться у три етапи [28].

1. Газифікація і часткове спалювання палива в нижній конусній частині топки при температурах 800 ... 950 ° С в киплячому циркулюючому шарі. При цьому високонапірне первинне повітря утримує паливо у зваженому стані, що дає можливість без спікання та злипання газифікувати олії та смоли, спалити великі частинки та частинки з великою питомою вагою.

2. Спалювання залишків вуглецевих частинок і дрібних фракцій палива проводиться в циклонній (середній) частині топки шляхом тангенційного вдування вторинного повітря та додавання рециркуляційних газів, що стабілізує температуру в межах 1050...1150°С виключає плавлення золи.

3. Допалювання горючих газів (СО, Н₂, СН₄) і піролізних смол проводиться в камері допалення (топковому просторі котла) з подачею третинного повітря. Крім того, камера допалювання виконує функцію золоуловлювача – в разі низьких швидкостей відхідних газів відбувається осадження золи в нижній частині з можливістю періодичного видалення золи без зупинки роботи топки.

Принцип роботи передтопка. Паливо, яке знаходиться в бункері, подається шнеком в передтопок, де відбувається процес його газифікації з частковим згоряння в камері. Догорання димових газів здійснюється в амбразурі передтопка з утворенням факела в топці котла. Для забезпечення процесу газифікації киснем, в передтопок подається повітря за допомогою дуттьового вентилятора.

Привод шнека здійснюється електродвигуном через редуктор. При виявленні загоряння палива в коробі шнека і здійсненні відповідних захисних заходів, на верхній стінці коробка, перед передтопком, встановлений датчик температури і вхідний штуцер для підключення джерела води від якого можна було б погасити в коробі шнека паливо, що загорілося. Необхідне управління роботою передтопка здійснює блок автоматичного управління.

Передтопок – це камера, виготовлена з цегли, яка встановлена на рамі. Конструктивно рама має три нахилених ряди колосників і нижній поворотний ряд колосників. Бокові поверхні камери обшиті порожнистим кожухом з листової сталі, який є повітропроводом від вентилятора до камери; повітря, охолоджуючи бічні поверхні камери, подається нагрітим під колосникові ґрати.

Для подачі палива, в задній стінці камери, вмонтовано патрубок, до якого кріпиться короб шнека подачі палива, а на передній стінці камери розташований перехідник для виходу газів в паровий котел.

Під поворотним нижнім рядом колосників вмонтований короб шнека вивантаження золи. Для проведення регламентних робіт і внутрішнього огляду камери в бічній стінці конструктивно передбачено технологічний люк. Для спостереження за процесом горіння на бічній стінці встановлений оглядовий люк.

Бункер зварений з листової сталі прямокутної форми з конічним нахилом в нижній частині. З метою завантаження бункера палива, на верхній поверхні встановлена відкидна кришка. До нижньої частини бункеру приварений короб, в якому розташований шнек подачі палива.

Шнек – це зварна конструкція, вал якої виготовлений з труби, а спіраль шнека з листової сталі. Один кінець шнека встановлений на підшипник, а другий, вихідний кінець шнека залишається вільним. Обертальний рух шнека передається від мотор-редуктора, який закріплений до фланця коробки шнека.

Робота котельні на цих видах палива супроводжується викидами високо-дисперсної золи у довкілля. Тому необхідно передбачити заходи щодо зменшення шкідливого впливу на довкілля.

Циклон-утилізатор.

Початкові дані.

Витрата робочого палива для одного котла – $B_p = 0,035$ кг/с,
 $B_p = 0,068$ кг/с.

Кількість циклонів – 2 шт.

Об'єм газів $V_r = 6,7$ м³/кг.

Частка виносу золи $a_{\text{вин}} = 0,15$.

Температура газів $t_r = 190$ °С.

Необхідна ефективність очищення відхідних газів $\eta = 98$ %.

Дійсний об'єм відхідних газів [25]

$$V_{\text{дг}} = B_p \cdot V_r \cdot \frac{t_r + 273}{273},$$

де t_r – температура газів на виході з котла, °С;

V_r – об'єм відхідних газів, м³/кг.

Дійсний об'єм відхідних газів в разі роботи на соняшниковому лушпинні

$$V_{\text{дг}} = 0,035 \cdot 6,7 \cdot \frac{210 + 273}{273} = 0,415 \text{ (м}^3\text{/с)} = 1494 \text{ (м}^3\text{/Год)}.$$

Дійсний об'єм відхідних газів в разі роботи на трісці з деревини

$$V_{\text{дг}} = 0,068 \cdot 6,7 \cdot \frac{190 + 273}{273} = 0,772 \text{ (м}^3\text{/с)} = 2782 \text{ (м}^3\text{/Год)}.$$

До встановлення приймаємо циклон типу МЦУ-400. Технічні характеристики циклона МЦУ-400 показані в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики циклона МЦУ-400 [7]

Показники	од. вим.	
Продуктивність	м ³ /год	3000
Ефективність очищення газів	%	85...98
Коефіцієнт гідравлічного опору		147
Габаритні розміри:		
— довжина	мм	1158
— ширина	мм	1090
— висота	мм	2646
Маса	кг	260

Добова витрата палива на один паровий котел

$$B_p = 0,069 \cdot 24 \cdot 3600 = 5961,6 \text{ (кг/добу)} = 5,962 \text{ (т/добу)}.$$

Добовий викид золи під час спалювання палива – тріска з деревини

$$G_{\text{зл}} = 0,01 \cdot B_p \cdot \left(A^p + \frac{q_4 \cdot Q_n^p \cdot 238,65}{10000} \cdot \left[1 - a_{\text{вин}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ц}}}{100} \right) \right] \right), \quad (3.45)$$

де $\eta_{\text{ц}}$ – ККД циклона;

10000 – умовна теплота згорання недопалу, кДж/кг;

q_4 – втрати теплоти з механічним недопалом, %;

B_p – добова витрата палива котлом, т/добу;

$a_{\text{вин}}$ – частка золи у виносі;

A^p – зольність палива на робочу масу, %;

Q_n^p – нижча теплота згорання палива, МДж/кг.

$$G_{\text{зл}} = 0,01 \cdot 5,962 \cdot \left(1,8 + \frac{2 \cdot 12,0 \cdot 238,65}{10000} \cdot \left(1 - \frac{0,15(1 - 0,85)}{100} \right) \right) = 0,141 \text{ (т/добу)}.$$

Добовий викид золи двома котлами відповідно становить 0,282 т/добу.

2.5 Висновки до розділу

Виконані розрахунки теплової схеми парової котельні ТОВ «ABIC». Визначені витрати пари та конденсатів, робочого та умовного палива. Виконані розрахунки техніко-економічних показників роботи котельні. Собівартість виробництва теплової енергії котельнею на природному газі для ціни 19,2 грн./м³ становить 775,9 грн./ГДж. Визначені техніко-економічні показники котельні на інших видах палива. Встановлено, що собівартість теплової енергії в разі роботи на пелетах з соняшникового лушпиння і паливній трісці становить відповідно 403,9 грн./ГДж і 443,1 грн./ГДж. З огляду на економічні показники та екологічні ефекти вибраний варіант зі встановленням передтопка до парових котлів та циклона МЦУ-400 з теплообмінником-утилізатором теплоти відхідних газів.

3 УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ КОТЛІВ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНОЇ

3.1 Загальна характеристика обладнання для утилізації теплоти газів

Сучасні системи очищення відхідних газів твердопаливних котлів передбачають використання циклонів-утилізаторів з вбудованим теплообмінником (рис. 3.2). Вбудований теплообмінник в циклон дозволяє твердим часткам, що не догоріли, осаджуватися в бункері циклона, віддавати теплоту теплоносієві системи тепlopостачання в досить тривалому періоді до повного піролізу деревних частинок.

Для утилізації теплоти відхідних газів в циклон вбудований трубчатий теплообмінник (рис. 3.1). В якості гарячого теплоносія виступають високотемпературні відхідні гази парового котла, який працює на твердому паливі, а рідина, що нагрівається за рахунок отриманої теплоти – додаткова вода з температурою 50 °С. Робота циклона-утилізатора в системах димовідведення та очищення відхідних газів підвищує ефективність системи на 5...7% (підсумковий ККД 93%) [7].

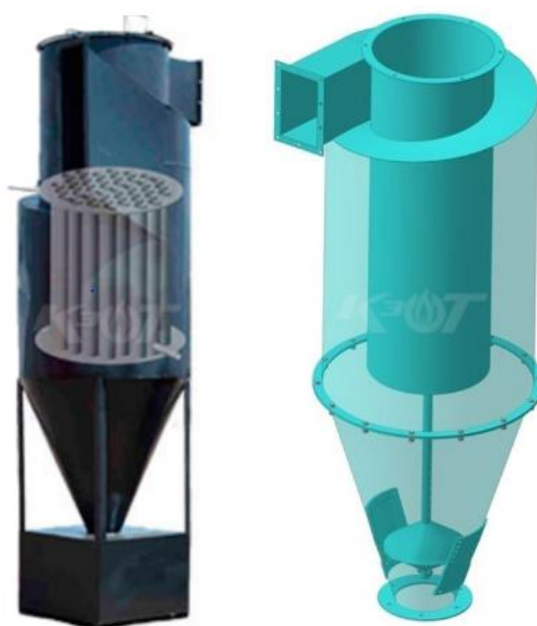


Рисунок 3.1 – Циклон-утилізатор МЦ-У

3.2 Математична модель теплового розрахунку теплообмінника-утилізатора

Математична модель перевірного розрахунку трубчатого теплообмінника-утилізатора для теплоносіїв «відхідні гази котла – вода» реалізована в пакеті MathCAD (додаток Б). Математична модель складається з відомих рівнянь теплопередачі та теплового балансу. Для розрахунків вводяться такі вхідні дані: температура води на вході в теплообмінник-утилізатор t'_2 , °C; температура газів на вході в теплообмінник-утилізатор t'_1 , °C; об'ємна витрата газів V_1 , м³/с; масова витрата води з розрахунків теплової схеми котельні G_2 , кг/с; довжина труби L , м; діаметр труби $d \times \delta_{\text{ст}}$, м; площа поверхні теплообміну. Теплофізичні властивості води і відхідних газів залежно від температури визначаються за інтерполяційними рівняннями.

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{\text{cp}} \\ Q = G_1 C_{p1} (t'_1 - t''_1) = G_2 C_{p2} (t'' - t') \\ Nu_1 = C Re_1^n Pr_1^m \\ \alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{\text{вн}}} \\ Nu_2 = C (Gr_2 \cdot Pr_2)^k \\ \alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{\text{зн}}} \\ k = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \end{array} \right. \quad (3.1)$$

Модулі для визначення інтенсивності теплообміну в разі вимушеного руху газів в круглій трубі α_1 і та визначення інтенсивності тепловіддачі до води в міжтрубному просторі α_2 мають вигляд

$$\alpha_1 := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..N \\ \left| \begin{array}{l} \overrightarrow{Nu}_{1_i} \leftarrow 1.4 \cdot \left(\frac{\overrightarrow{Re}_{1_i} \cdot d_1}{L} \right)^{0.4} \cdot Pr_1^{0.33} \quad \text{if } \overrightarrow{Re}_{1_i} < 2300 \\ \overrightarrow{Nu}_{1_i} \leftarrow 0.008 \left(\overrightarrow{Re}_{1_i} \right)^{0.9} \cdot Pr_1^{0.43} \quad \text{if } 2300 \leq \overrightarrow{Re}_{1_i} \leq 10000 \\ \overrightarrow{Nu}_{1_i} \leftarrow 0.021 \left(\overrightarrow{Re}_{1_i} \right)^{0.8} \cdot Pr_1^{0.43} \quad \text{otherwise} \\ \overrightarrow{Nu}_{1_i} \cdot \lambda_1 \\ \alpha_{1_i} \leftarrow \frac{\overrightarrow{Nu}_{1_i} \cdot \lambda_1}{d_1} \\ \alpha_1 \end{array} \right. \\ \alpha_1 \end{array} \right.$$

$$\alpha_2 := \left| \begin{array}{l} Nu_2 \leftarrow 0.76 \cdot (Ra_2)^{0.25} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{c2}} \right)^{0.25} \quad \text{if } Ra_2 < 10^9 \\ Nu_2 \leftarrow 0.135 (Ra_2)^{0.33} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{c2}} \right)^{0.25} \quad \text{if } 10^9 \leq Ra_2 \leq 10^{13} \\ \alpha_2 \leftarrow \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{L} \\ \alpha_2 \end{array} \right.$$

3.3 Результати моделювання

Зміна температури води на виході з теплообмінника та потужності теплообмінника залежно від витрати газів на виході з теплообмінника показані на рис. 3.2.

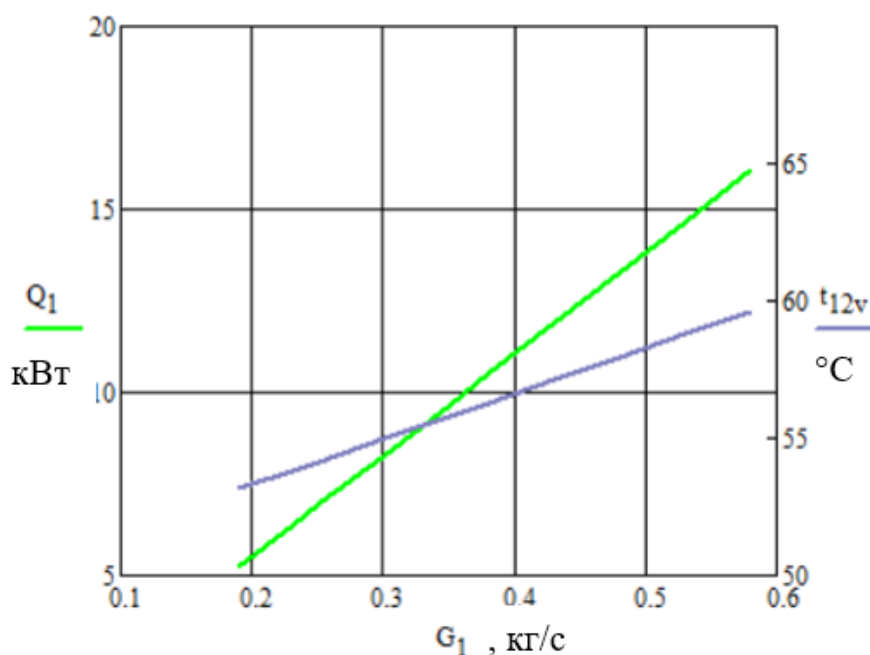


Рисунок 3.2 – Залежність потужності трубчастого ТА Q_1 і температури води на виході з теплообмінника від витрати газів G_1

Із рис. 3.2 видно, що температура води на виході трубчастого теплообмінника з гладкими трубами змінюється від 53 до 59,5°C, а потужність від 6 до 16 кВт в разі зміни навантаження парогенератора і відповідно витрати газів від 0,19 до 0,58 кг/с.

За результатами розрахунків також встановлено, що коефіцієнт теплопередачі в трубчастому теплообмінному апараті з теплоносіями «відхідні гази – вода» не більше 30 Вт/(м²·К), тобто є порівняно низьким. Відомо, що це обумовлено низькою інтенсивністю теплообміну зі сторони газового потоку. Інтенсифікувати теплообмін зі сторони газів доцільно встановленням в теплообміннику труб з кільцевою накаткою (рис. 3.3). З усіх відомих методів цей метод інтенсифікації теплообміну в трубах ефективним і технологічно реалізованим методом. Збільшення інтенсивності теплообміну в таких трубах залежить від висоти діафрагми та їх кроку.

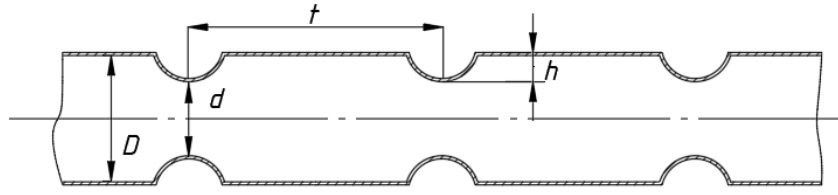


Рисунок 3.3 – Теплообмінна труба з кільцевими діафрагмами

В математичній моделі кожухотрубного теплообмінника з трубами з кільцевою накаткою критерій Нуссельта для турбулентної ($Re > 2100$) течії газів за визначається за рівняннями [10, 29]

$$\frac{Nu}{Nu_0} = \left\{ 1 + \left[2,64 Re^{0,036} \left(\frac{h}{D} \right)^{0,212} \left(\frac{t}{D} \right)^{-0,21} \left(\frac{\alpha}{90} \right)^{0,29} Pr^{-0,024} \right]^7 \right\}^{\frac{1}{7}}, \quad (3.2)$$

$$\frac{Nu}{Nu_0} = \left[1 + \frac{\lg Re - 4,6}{35} \right] \left\{ 3 - 2 \exp \left[\frac{-18,2 \left(1 - \frac{d}{D} \right)^{1,13}}{\left(\frac{t}{D} \right)^{0,326}} \right] \right\} \quad (3.3)$$

де $Re = \frac{w \cdot D}{\nu}$ – критерій Рейнольдса; t – відстань між виступами, мм; D – діаметр труби, мм; h – висота діафрагми, мм; α – кут нахилу діафрагми.

Рівняння (3.3) придатне в межах $d/D = 0,88 \dots 0,98$; $t/D = 0,25 \dots 0,8$.

Коефіцієнт опору для турбулентної течії в трубах з дискретно-шорсткими каналами для $d/D = 0,9 \dots 0,98$; $t/D = 0,5 \dots 10$ [10, 29]

$$\frac{\xi}{\xi_0} = \left[1 + \frac{100(\lg Re - 4,6) \left(1 - \frac{d}{D} \right)^{1,65}}{\exp \left[\left(\frac{t}{D} \right)^{0,3} \right]} \right] \exp \left[\frac{25 \left(1 - \frac{d}{D} \right)^{1,32}}{\left(\frac{t}{D} \right)^{0,75}} \right]$$

Графічні залежності за результатами розрахунків для теплообмінника з трубами з кільцевою накаткою показана на рис. 3.4 – 3.6.

На рис. 3.4 – 3.5 показані залежності ефекту інтенсифікації від висоти діафрагм та їх кроку.

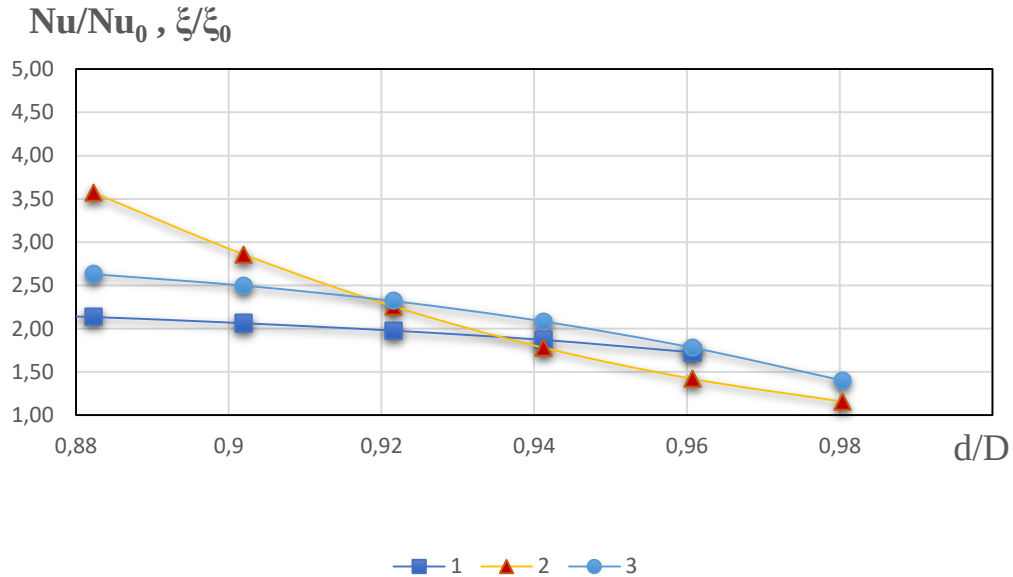


Рисунок 3.4 – Вплив на інтенсифікацію тепловіддачі висоти діафрагми d/D
1 – Nu/Nu_0 за (3.2); 2 – ξ/ξ_0 ; 3 – Nu/Nu_0 за (3.3)

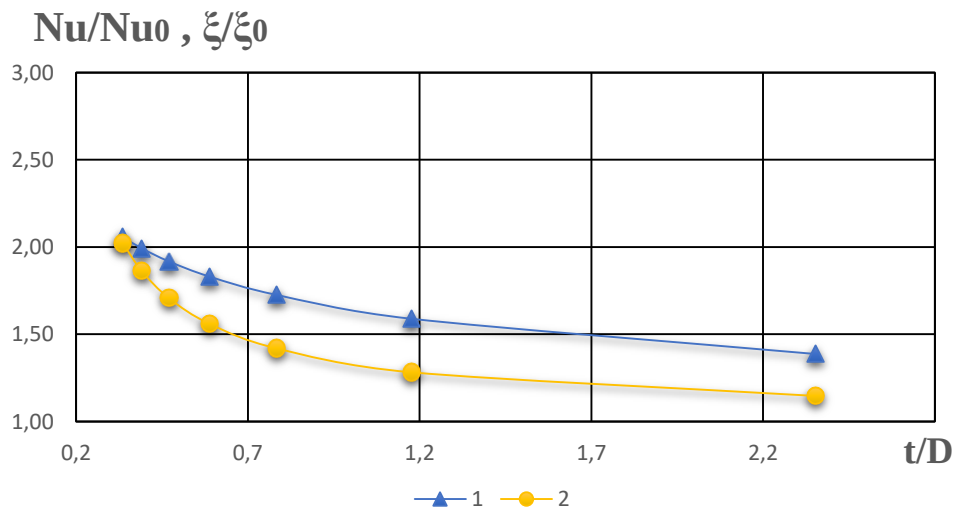


Рисунок 3.5 – Вплив на інтенсифікацію теплообміну кроку діафрагми t/D для $d/D = 0,96$. 1 – ξ/ξ_0 ; 2 – Nu/Nu_0 за (3.2)

Із рис. 3.6 видно, що зі збільшенням висоти діафрагми збільшується ефект інтенсифікації. В діапазоні d/D від 0,88 до 0,98 збільшується ефект інтенсифікації від 1,4 до 2,6. При цьому відносний коефіцієнт опору зменшується від ξ/ξ_0 від 3,6 до 1,15. Для відношення $d/D \geq 0,94$ інтенсифікація теплообміну переважає над збільшенням гідравлічного опору.

В разі збільшення кроку t/D від 0,33 до 2,35 для $d/D = 0,96$ ефект інтенсифікації зменшується в 1,48 разів, а відносний коефіцієнт опору зменшується в 1,75 рази.

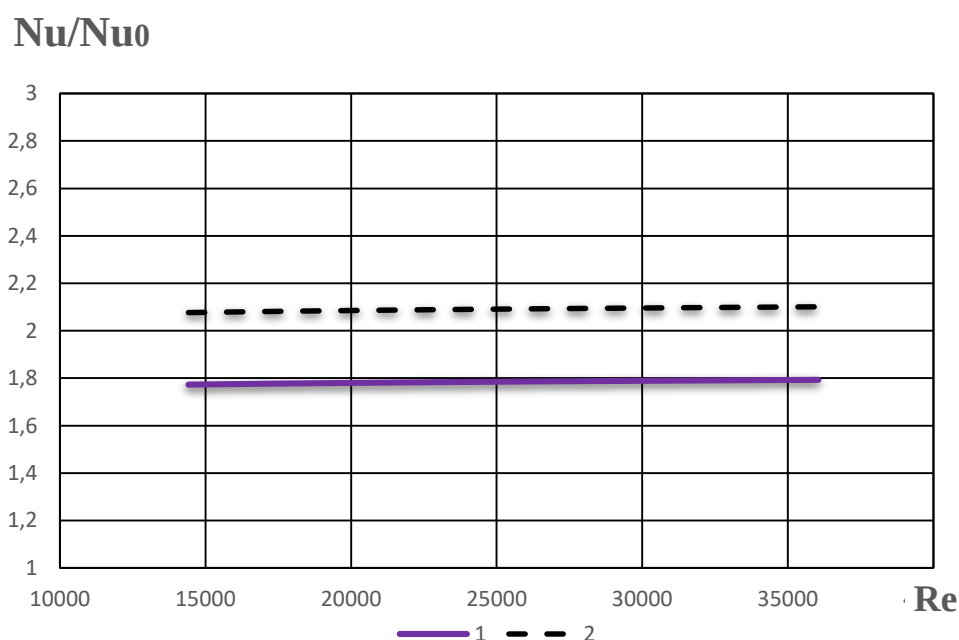


Рисунок 3.6 – Залежність Nu/Nu_0 від Re
висота діафрагми: 1 – $d/D = 0,96$; 2 – $d/D = 0,94$

Із рис. 3.6 видно, що відношення Nu/Nu_0 збільшується на 2% зі збільшенням числа Re в 2,5 рази.

На рис.3.7 показано залежність фактора аналогії Рейнольдса (ФАР), який характеризує відносне збільшення інтенсивності теплообміну в трубі з інтенсифікатором на одиницю додатково витраченої енергії.

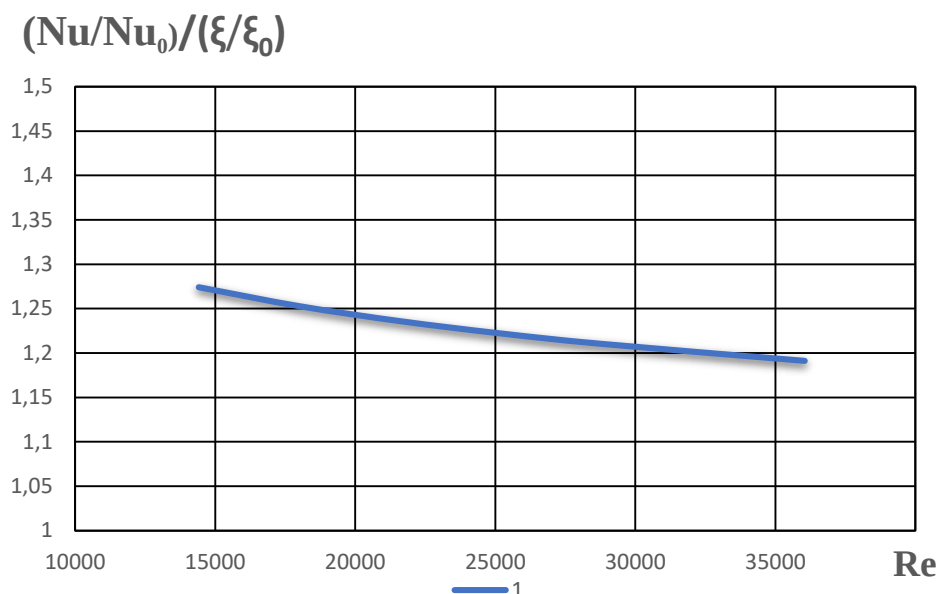


Рисунок 3.7 – Залежність ФАР від Re
висота діафрагми: 1 – $d/D = 0,96$; 2 – $t/D = 0,784$

Наприклад, за результатами математичного моделювання встановлено, що збільшення інтенсивності теплообміну зі сторони газів в 1,7 разів за рахунок встановлення труб з кільцевою накаткою зумовить збільшення коефіцієнта теплопередачі до $43 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$. При цьому тепловий потік становитиме $Q = 26 \text{ кВт}$, тоді температура води після першого теплообмінника-утилізатора становитиме 66°C за тієї ж самої площі поверхні теплообмінника. Температура додаткової води після дво теплообмінника-утилізатора становитиме 79°C .

При цьому зменшиться витрата пари на деаератор і відповідно витрата пари з парогенератора, яка становитиме $0,53 \text{ кг/с}$, потужність $1,278 \text{ МВт}$, а витрата палива на котел зменшиться на $0,003 \text{ кг/с}$. Економія палива та коштів за рік – 50544 кг та $E = 207,23 \text{ тис.грн.}$ відповідно. Крім того зменшиться температура відхідних газів, витрата палива на котли і, відповідно, викиди шкідливих речовин в довкілля.

В разі виготовлення теплообмінного апарата з трубами з кільцевими діафрагмами зменшиться маса і габарити теплообмінного апарату порівняно з гладкотрубним ТА, але при цьому збільшиться його гідравлічний опір на 20%.

3.4 Висновки до розділу

З усіх відомих методів інтенсифікації теплообміну в трубах ефективним і технологічно реалізованим методом є штучна турбулізація потоку кільцевими діафрагмами. Збільшення інтенсивності теплообміну в таких трубах залежить від висоти діафрагми та їх кроку.

Зі збільшенням висоти діафрагми збільшується ефект інтенсифікації, зокрема в діапазоні d/D від 0,88 до 0,98 збільшується ефект інтенсифікації від 1,4 до 2,6. При цьому відносний коефіцієнт опору зменшується від ξ/ξ_0 від 3,6 до 1,15. Для відношення $d/D \geq 0,94$ інтенсифікація теплообміну переважає над збільшенням гідравлічного опору. В разі збільшення кроку t/D від 0,33 до 2,75 для $d/D = 0,96$ ефект інтенсифікації зменшується 1,48 разів, а відносний коефіцієнт опору зменшується в 1,75 рази. Зі збільшенням Re в 2,5 рази відношення Nu/Nu_0 збільшується на 2%.

За рахунок інтенсифікації теплообміну зі сторони газів маса і габарити теплообмінного апарату з трубами з кільцевою накаткою буде меншою порівняно з ТА з гладкими трубами за однакових теплових навантажень. Інтенсифікація теплообміну призведе також до збільшення гідродинамічного опору теплообмінника.

4 ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ПАРОВИХ КОТЛІВ

Розробляється варіант встановлення циклонів-утилізаторів МЦ-У-400 для очищення відхідних газів після парогенераторів Е-1-0,9Г на твердому паливі.

Циклон-утилізатор МЦ-У-400 має продуктивність 3000 м³/год, ефективність очищення газів від золи— 85...98 % і такі габаритні розміри: діаметр 400 мм, висота 2646 мм.

Переміщення відхідних газів від виходу з парогенератора через циклон-утилізатор у димову трубу відбувається за допомогою димососа ДН-5, що має характеристики : повний тиск за робочих параметрів системи 2500 Па, продуктивність до 4250 м³/год, робоча температура не більше 200 °С, габаритні розміри 941×857×726 мм. Привід димососу – двигун АІР100L2 потужністю 5,5 кВт [30].

Циркуляція води через теплообмінники циклонів-утилізаторів відбувається за допомогою циркуляційного насоса Grundfos MAGNA3 40-150 F, характеристиками: подача $V = 11,36$ м³/год, напір $H = 10$ м, максимальна споживана потужність $N_{yt} = 0,608$ кВт [26]. У схемі із двома паралельно встановленими циклонами-утилізаторами працює один насос.

Вода до теплообмінників подається сталевими електрозварними трубами, виконаними за ДСТУ 8943:2019 [31]. Для забезпечення можливості ремонту обладнання передбачені запірні крани (шарові) з фланцевим з'єднанням.

Відхідні гази транспортуються газоходами круглого перерізу із корозійностійкої сталі класу П товщиною 0,6 мм.

Відведення і розсіювання відхідних газів у навколишнє середовище відбувається через димову трубу, що виготовлена із димохідної утепленої труби

з AISI(201/201) Ø 700/760 товщина стінки 0,8 мм, виробника Versia-Lux [32].
Висота димової труби 20 м.

У даному проєкті до обсягу робіт не включені роботи з влаштування фундаменту для димової труби.

4.1 Визначення складу і об'ємів робіт

4.1.1 Склад робіт

1. Доставка обладнання і комунікацій системи очищення відхідних газів до місця монтажу та його складування.
2. Розмітка місць прокладання трубопроводів та газоходів.
3. Монтаж циклонів-утилізаторів МЦ-У-400м.
4. Монтаж димососів ДН-5.
5. Прокладання газоходів і фасонних частин Ø 500 мм.
6. Монтаж дросель-клапанів ДК 500.
7. Монтаж вибухових клапанів Ø500 мм.
8. Монтаж щогли та димової труби Ø 700/760, Н = 20 м.
9. Прокладання трубопроводів діаметром 57×3 мм.
10. Монтаж насоса Grundfos MAGNA3 40-150 F.
11. Встановлення зворотних клапанів та кульових кранів Ду 50.
12. Прокладання трубопроводів діаметром 45×2,5 мм.
13. Встановлення кульових кранів Ду 40.
14. Випробування трубопроводів на міцність та щільність.
15. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію.
16. Повернення засобів механізації на склад.

4.1.2 Об'єми робіт [33 – 37]

1. Доставка обладнання і комунікацій системи очищення відхідних газів до місця монтажу та його складування. Одиниці вимірювання – тони. Загальна вага усіх деталей системи очищення димових газів 4437,43 кг (4,44 т). Приймаємо об'єм $V = 4,44$.

2. Розмітка місць прокладання трубопроводів та газоходів. Одиниці вимірювання – 100 м. Довжина всієї мереж мережі газоходів складає $L_{\text{газ}} = 29,6$ м та трубопроводів – $L_{\text{тр}} = 64$ м. Приймаємо об'єм $V = 0,936$.

3. Монтаж циклонів-утилізаторів МЦ-У-400. Одиниці вимірювання – 10 штук. У системі очищення відхідних газів встановлюється 2 циклони-утилізатори. Приймаємо об'єм $V = 0,2$.

4. Монтаж димососів ДН-5. Одиниці вимірювання – 1 штука. У системі очищення відхідних газів встановлюється 2 димососи. Приймаємо об'єм $V = 2$.

5. Прокладання газоходів і фасонних частин $\varnothing 500$ мм. Одиниці вимірювання – 100 м^2 . У системі очищення димових газів монтується $39,13 \text{ м}^2$ газоходів і фасонних частин $\varnothing 560$ мм. Приймаємо об'єм $V = 0,4913$.

6. Монтаж дросель-клапанів ДК 500. Одиниця вимірювання – 1 шт. У системі очищення відхідних газів встановлюється 2 дросель-клапани діаметром 500 мм. Приймаємо об'єм $V = 2$.

7. Монтаж вибухових клапанів $\varnothing 500$ мм. Одиниця вимірювання – 1 шт. У системі очищення відхідних газів монтується 2 вибухових клапани $\varnothing 500$ мм. Приймаємо об'єм $V = 2$.

8. Монтаж щогли та димової труби $\varnothing 700/760$, $H = 20$ м. Одиниці вимірювання – тони. Деталі щогли і димової труби мають загальну масу 1342,5 кг. Приймаємо об'єм $V = 1,34$.

9. Прокладання трубопроводів діаметром 57×3 мм. Одиниці вимірювання – тони. Маса трубопроводів вказаного типорозміру складає 192 кг. Приймаємо об'єм $V = 0,192$.

10. Монтаж насоса Grundfos MAGNA3 50-180 F. Одиниці вимірювання

– штуки . У системі очищення відхідних газів передбачено 1 насос. Приймаємо об'єм $V = 1$.

11. Встановлення зворотних клапанів та кульових кранів Ду 50. Одиниці вимірювання – 10 шт. У системі очищення відхідних газів передбачено 4 елементи. Приймаємо об'єм $V = 0,4$.

12. Прокладання трубопроводів діаметром 45×2,5 мм. Одиниці вимірювання – тони. Маса трубопроводів вказаного типорозміру складає 41,6 кг. Приймаємо об'єм $V = 0,0416$.

13. Встановлення кульових кранів Ду 40. Одиниці вимірювання – 10 шт. У системі очищення відхідних газів передбачено 4 елементи. Приймаємо об'єм $V = 0,4$.

14. Випробування трубопроводів на міцність та щільність. Одиниці вимірювання – 100 м. Довжина трубопроводів обв'язки циклонів-утилізаторів складає $L_{\text{тр}} = 64$ м. Приймаємо $V = 0,64$.

15. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання – 100 м. Довжина всієї мереж мережі газоходів складає $L_{\text{газ}} = 29,6$ м та трубопроводів – $L_{\text{тр}} = 64$ м. Приймаємо об'єм $V = 0,936$

16. Повернення засобів механізації на склад. Одиниці вимірювання – тони. Загальна маса засобів механізації для монтажних робіт складає 1793,45 кг (1,8 т). Приймаємо об'єм $V = 1,8$.

4.2 Комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей

Розрахунок та комплектування основних матеріалів наведено у таблиці 4.1, а допоміжних матеріалів та виробів – у таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 Комплектувальна відомість основних матеріалів і виробів

№ п\п	Найменування робіт та витрат, одиниця вимірювання	Одиниці вимірювання	Кількість	Вага	
				Одиниця	Всього
1	2	3	4	5	6
1	Циклон–утилізатор МЦ-У-400	шт.	2	260	260
2	Димосос ДН-5	шт.	2	156	312
3	Насос Grundfos MAGNA3 40-150 F	шт	1	17,6	17,6
4	Кран кульовий фланцевий Brandoni B1.000 Ду 40	шт	4	5,4	21,6
5	Кран кульовий фланцевий Brandoni B1.000, Ду 50	шт	3	7,1	21,3
6	Клапан зворотній фланцевий Brandoni F5.002 PN 16, Ду 50	шт	1	5,6	5,6
7	Труба сталева електрозварна ДСТУ 8943:2019 Ду 50 [4]	м	48	4,0	192
8	Труба сталева електрозварна ДСТУ 8943:2019 Ду 40 [4]	м	16	2,6	41,6
9	Дросель-клапан ДК 500		2	6,7	13,4
10	Перехід 795×230 / Ø 500 мм, L = 0,35 м, b = 0,6 мм (0,79 м ²)	шт.	2	3,7	7,4
11	Перехід Ø 500 / 156×666 мм, L = 0,35 м, b = 0,6 мм (0,39 м ²)	шт.	2	1,83	3,66
12	Напіввідвід Ø 500 мм (0,82 м ²)	шт.	4	3,84	15,36
13	Газохід Ø 500 мм, L = 0,988 м, b = 0,6 мм (1,55 м ²)	шт.	2	7,25	14,5
14	Газохід Ø 500 мм, L = 1 м, b = 0,6 мм (1,57 м ²)	шт.	11	7,35	80,85
15	Перехід 446×281 / Ø 500 мм, L = 0,35 м, b = 0,6 мм (0,39м ²)	шт.	2	1,83	3,66
16	Відведення 90°, Ø 500 мм, b = 0,6 мм (1,49 м ²)	шт.	4+4	6,97	55,76
17	Перехід Ø 500 / Ø373 мм, L = 0.35 м, b = 0,6 мм (0,635 м ²)	шт.	2	2,97	5,94
18	Газохід Ø 500 мм, L = 0,635 м, b = 0,6 мм (1 м ²)	шт.	2	4,68	9,36

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
19	Газохід Ø 500 мм, L = 0,5 м, b = 0,6 мм (0,79 м ²)	шт.	4+1+1	3,7	22,2
20	Газохід Ø 500 мм, L = 0,85 м, b = 0,6 мм (1,34м ²)	шт.	1	6,27	6,27
21	Газохід Ø 500 мм, L = 0,25 м, b = 0,6 мм (0,39 м ²)	шт.	1	1,83	1,83
22	Перехід 250×187 / Ø 500 мм, L = 0,35 м, b = 0,6 мм (0,34 м ²)	шт.	2	1,59	3,18
23	Вибуховий клапан	шт.	1	27,9	27,9
24	Кришка вибухового клапана, ø500/560 мм	шт.	1	4,78	4,78
25	Заглушка вибухового клапана, ø500/560 мм	шт.	1	2,02	2,02
26	Труба димохідна утеплена з нержавійки Ø 700/760 товщина стінки 0.8 мм сталь AISI(201/201) довжина 1000 мм Versia-Lux	шт	18	43,7	851,4
27	Трійник 87° утеплений з нержавійки Ø 700/760 товщина стінки 0.8 мм сталь AISI(201/201) довжина 1000 мм Versia-Lux	шт	2	47,03	94,06
28	Щогла для димохода Н = 20 м	шт	1	397	397
				Σ=	2492,23

Таблиця 4.2 Комплектувальна відомість допоміжних матеріалів і виробів

№ п/п	Найменування робіт та витрат, одиниця вимірювання	Одиниці вимірю- вання	Кіль- кість	Маса	
				Одиниця	Всього
1	2	3	4	5	6
Допоміжні матеріали					
монтаж трубопроводів Ду50 [6]					
1	Електроди, діаметр 4 мм, марка Е55	т	0,192	0,006	1,152
2	Круги армовані абразивні зачисні, ді- аметр 180х6 мм	кг	0,192	0,813	0,345*
3	Пароніт	т	0,192	0,007	1,344
Монтаж трубопроводів Ду40 [6]					
4	Дріт зварювальний легований, ді- аметр 2 мм	т	0,0416	0,0023	0,096

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
5	Круги армовані абразивні зачисні, діаметр 180х6 мм	кг	0,0416	0,821	-
6	Пароніт	т	0,0416	0,007	0,291
монтаж шарових кранів та зворотних клапанів [33]					
7	Болти з шестигранною головкою, діаметр різби 12-[14] мм	т	0,4 0,4	0,017 0,017	13,6
8	Пластина гумова рулонна вулканізована	кг	0,4 0,4	0,8 0,6	0,56
9	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1 МПа [10 кгс/см ²], діаметр 50 мм	шт	8	2,06	16,48
10	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1 МПа [10 кгс/см ²], діаметр 40 мм	шт	8	1,71	13,68
монтаж насосу Grundfos MAGNA3 50-180 F [34]					
11	Електроди, діаметр 4 мм, марка Е42	т	1	0,00039	0,39
12	Прокладки гумові (пластина гумова технічна пресована)	кг	1	0,07	0,07
13	Болти з гайками та шайбами, діаметр 16 мм	т	1	0,00127	1,27
14	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1 МПа [10 кгс/см ²], діаметр 40 мм	шт	2	1,71	3,42
монтаж циклонів [34]					
15	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	0,2	2,2	0,44
16	Каболка	т	0,2	0,00001	0,002
17	Оліфа комбінована К-3	т	0,2	0,00001	0,002
18	Електроди, діаметр 5 мм, марка Э42	т	0,2	0,0002	0,04
19	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,2	0,0010	0,2
20	Фарба земляна густотерта олійна, мумія, сурик залізний	т	0,2	0,00002	0,004
монтаж димососів [35]					
21	Поковки із квадратних заготовок, маса 1,8 кг	т	1	0,02	20
22	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э50А	т	1	0,00011	0,11
23	Порошок графітовий	кг	1	0,8	0,8
монтаж газоходів Ø500 [36]					

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
24	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметр 8,0-10,0 мм	т	0,4913	0,0084	4,13
25	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	0,4913	7,58	3,72
26	Мастика герметизувальна нетверднуча "Гелан"	т	0,4913	0,00513	2,52
27	Електроди ЭА-400	т	0,4913	0,00039	0,19
28	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,4913	0,0110	5,4
для монтажу вибухових та дросель-клапанів Ø500 [36]					
	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметр 8,0-10,0 мм	т	4	0,00017	0,68
	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	4	0,3080	1,232
	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	4	0,0002	0,8
для монтажу димової труби [37]					
	Болти з шестигранною головкою, діаметр різьби 10 мм	т	1,34	0,00253	3,39
	Цвяхи будівельні з плоскою головкою 1,8х60 мм	т	1,34	0,00001	0,013
	Канати пенькові просочені	т	1,34	0,0001	0,134
	Розчинник для лакофарбових виробів N 649	т	1,34	0,00006	0,08
	Електроди, діаметр 8 мм, марка Э46	т	1,34	0,0207	27,74
	Дошки обрізні з хвойних порід, довжина 2-3,35 м, ширина 75-150 мм, товщина 16 мм, II гатунок	м ³	1,34	0,001	1,34
	Шпали просочені для залізниці широкої колеї, обрізні і необрізні хвойні, тип II	шт	1,34*0,08	80	8,58
44	Окремі конструктивні елементи з конколистової сталі до 0,5 т	т	1,34	0,0105	14,07
45	Грунтовка ГФ-021 червоно-коричнева	т	1,34	0,00031	0,415
для гідравлічного випробування трубопроводів [34]					
56	Оліфа натуральна	кг	0,64	0,02	0,013
57	Фарба земляна густотерта олійна, мумія, сурик залізний	т	0,64	0,00005	0,032
58	Очіс льняний	т	0,64	0,00002	0,013
59	Вода	м ³	0,64	1	640
				Σ=	788,75

Маса основного обладнання і матеріалів – 2492,23.

Маса допоміжних матеріалів (без води) – 148,75 кг.

Необхідна кількість води – 640 кг.

Маса матеріалів для доставки

$$M_{\text{дост}} = 2492,23 + 148,75 + 1796,45 = 4437,43 \text{ (кг)}.$$

4.3 Вибір та обґрунтування засобів механізації для монтажних робіт та транспортних засобів

Обладнання для очищення димових газів та допоміжні матеріали завозяться централізовано вантажним автомобілем Isuzu NQR 90-М Борт-тент МТ, що має технічні характеристики наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики автомашини Isuzu NQR 90-М Борт-тент МТ [39]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Колісна база	мм	3815
Вантажопідйомність	кг	6050
Габарити борт-тента: Довжина	мм	6300
Ширина		2300
Висота		2300
Витрата пального	л/100 км	15
Споряджена маса шасі	кг	3200

Оскільки витрата пально вантажним автомобілем згідно із технічними характеристиками складає $Q = 15$ л/100 км, а база забезпечення обладнання знаходиться на відстані $l = 45$ км від даної котельні, то необхідна кількість пального для доставки обладнання

$$Q_{\text{п}} = Q \cdot 2 \cdot n \cdot l, \quad (5.1)$$

$$Q_{\text{п}} = 0,15 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 45 = 13,5 \text{ (л)}.$$

Для зварювання використовується зварювальний напівавтомат Sherman MIG 200HD з технічними характеристиками [40]:

- максимальна споживана потужність, кВт – 8;
- максимальний зварювальний струм, А – 315
- напруга мережі живлення, В – 220;
- діаметр електродів, мм – 1,6 – 5,0;
- діаметр використовуваного дроту, мм – 0,6 – 1,0;
- тривалість навантаження, % = 75;
- маса – 10,3 кг.

Затрати електроенергії для роботи зварювального апарату

$$\tau = 52,43 \text{ год; } P = 8 \text{ кВт;}$$

$$E_{\text{за}} = 8 \cdot 52,43 = 419,46 \text{ (кВт·год)}.$$

Для монтажу шліфувальних робіт під час монтажу трубопроводів застосовується кутова шліфмашина INTERTOOL WT-0227 [41], з наступними технічними характеристиками:

- діаметр диска 180 мм;
- потужність 1800 Вт;
- частота обертання 8000 об/хв;
- номінальна напруга 220 В;
- маса 5,4 кг.

Затрати електроенергії для роботи кутової шліфмадини

$$\tau = \text{тр}50 \ 0,192 \cdot 3,2 + \text{тр} \ 40 \ 0,0416 \cdot 5,2 = 0,83 \text{ год; } P = 1,8 \text{ кВт;}$$

$$E_{\text{км}} = 1,8 \cdot 0,83 = 1,5 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Для випробування трубопроводів на міцність та щільність використовуємо насос опресувальний електричний НОЕ 8-40 Детальніше: з характеристиками : створюваний тиск 0 – 40 бар, потужність 750 Вт, продуктивність 8 л/хв., габаритні розміри бака 300x400x300 мм, маса 14 кг [42].

$$\tau = \text{випр} 4,14 \cdot 0,64 \text{ год}; P = 0,75 \text{ кВт};$$

$$E_{\text{за}} = 0,75 \cdot 2,65 = 1,99 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Підйом системи очищення відхідних газів здійснюється за допомогою лебідки з електроприводом ЛМЧ–0,5. Її характеристики вказані в таблиці 4.4.

Затрати електроенергії для роботи лебідки з електроприводом

$$\tau = \text{кл} 4 \cdot 0,85 + \text{кан} 0,4913 \cdot 30,01 + \text{крани} (0,4 \cdot 0,3 + 0,4 \cdot 0,5) + \text{тр} 40$$

$$0,0416 \cdot 17,6 + \text{тр} 50 \quad 0,192 \cdot 16 = 22,27 \text{ год}; P = 2,2 \text{ кВт};$$

$$E_{\text{леб}} = 2,2 \cdot 22,27 = 49 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики лебідки з електроприводом ЛМЧ–1 [43]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Тягове зусилля в канаті	т	0,5
Напруга мережі	В	380
Швидкість навивки каната	м/с	0,25
Діаметр троса	мм	8
Канатоемність	м	80
Потужність двигуна	кВт	2,2
Габаритні розміри: Довжина×Ширина × Висота	мм	700× 800 × 450
Маса	кг	109

Таблиця 4.5 – Набір інструментів та пристосувань для монтажників [44]

Найменування	ГОСТ, марка	Кільк., шт.	Заг. маса, кг
Ключ гайковий двохсторонній М17х19 мм М19х22 мм	ГОСТ2839-80	6 6	0,9 1,2
Плоскогубці комбіновані	ГОСТ 5547-75	6	1,6
Викрутки	ГОСТ 5423 - 79	6	0,31
Молоток слюсарний	ГОСТ 2310-77	6	1,8
Зубило слюсарне довжиною 200 мм	ГОСТ 7211-72	6	2,1
Молоток гумовий		6	1,9
Стрічка вимірювальна, 20 м	ГОСТ 7502 - 61	6	0,12
Рівень металевий	ГОСТ 7948-80	2	0,22
Ящик переносний для інструменту		12	3,2
Всього:			11,75

Для переміщення трубопроводів, фасонних елементів по території котельні використовуємо візок гідравлічний ручний Jungheinrich AM 22 [45]. Його характеристики вказані в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Візок гідравлічний ручний Jungheinrich AM 22 [45]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	т	2,2
Довжина вил	мм	1150
Ширина вил	мм	530
Маса неттл/брутто	кг	58

Для випробування газоходів використовуємо компресор пересувний повітряний поршневий ВКП LB340 10-100 з характеристиками [46]:

- об'єм ресивера 100 л;
- продуктивність на вході 0,34 м³/хв;
- потужність 2,2 кВт;
- робочий тиск 10 бар;
- напруга мережі 230 В;
- маса 85 кг.

Затрати електроенергії для роботи пересувного повітряного компресора

$$\tau = 12,85 \text{ год}; P = 2,2 \text{ кВт};$$

$$E_{\text{пк}} = 2,2 \cdot 12,85 = 28,28 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Для монтажу газоходів використовуємо ножичний підйомник GS 1932 з характеристиками [47]:

- довжина підйомної платформи – 2,54 м;
- ширина підйомної платформи – 810 мм;
- максимальна висота підйому – 7800 мм;
- максимальна вантажопідйомність – 227 кг;
- вага – 1503 кг.

Для підйому елементів димової труби використовуємо автокран КС-45729А-С-02. Його характеристики вказані в таблиці 4.7.

Тривалість роботи автокрану

$$\tau = 6,08 \text{ (год)}.$$

Необхідна кількість палива для вантажних робіт автокраном

$$Q_v = 8,8 \cdot 6,08 = 53,51 \text{ (л)}.$$

Загальна витрата пального

$$Q_{\text{пальн}} = Q_{\text{п}} + Q_v,$$

$$Q_{\text{пальн}} = 13,5 + 53,51 = 67,01 \text{ (л)}.$$

Таблиця 4.7 – Технічні характеристики автокрана КС-45729А-С-02 [48]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	т	16
Висота підйому	м	20,4
Кількість секцій стріли		3
Вантажопідйомність при максимальному вильоті стріли 20,75 м	т	0,6
Швидкість пересування	км/год	60
Габаритні розміри у транспортному положенні		
довжина	мм	10700
ширина	мм	2550
висота	мм	3900

Загальна маса допоміжного обладнання складає 1796,45 кг.

Загальна витрата електроенергії для роботи електроінструменту

$$E_{\Sigma} = 419,46 + 1,5 + 1,99 + 49 + 28,28 = 500,23 \text{ (кВт·год)}.$$

4.4 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Трудомісткість виконання робіт із монтажу теплових насосів і системи транспортування теплоносія визначається на підставі об'ємів робіт, розрахованих у п. 4.1 даної роботи.

Трудомісткість монтажних робіт [38]

$$Q = V \cdot N_{\text{ч}} / B \text{ [люд·дні]}, \quad (4.1)$$

де V – об'єм робіт;

$N_{\text{ч}}$ – норма часу на одиницю виміру, люд/год [33 – 37];

B – кількість годин в зміні, год.

У даній роботі передбачається виконання монтажних робіт у одну зміну. Тривалість зміни визначається у відповідності із трудовим законодавством України і приймається 8 годин.

Тривалість монтажних робіт [38]

$$T = Q/n \text{ [дні]}, \quad (4.2)$$

де Q – трудомісткість монтажних робіт, люд·дні

n – кількість робітників, люд.

Кількість робітників (n), необхідних для виконання певної роботи з монтажу обладнання системи забезпечення паливом парогенератора та їх кваліфікація наведена у розділі 5 даної роботи.

Результати розрахунку за формулами (4.1) та (4.2) наведені в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Найменування робіт	Од. вимір	Об'єм робіт	Норма часу, люд-год	Трудомісткість люд-дні	Виконавці		Тривалість, дні
					кількість	Склад бригади	
Доставка деталей до місця монтажу	т	4,44	4,4	2,442	2	1 робітник 1 водій	1,22
Розмітка місць прокладання трубопроводів і газоходів	100 м	0,936	1,6	0,19	6р-1 3р-1	Монтажники 4,5 розряд	0,094
Монтаж циклонів-утилізаторів МЦ-У-400	10 шт.	0,2	59,84	1,5	6р-1 4р-1 2р-1	Монтажники 4,3 розряд	0,5
Монтаж димососа ДН-5	шт.	2	35	8,75	6р-1 5р-1 4р-1 3р-1	Монтажник 4,5 розряд	2,19
Прокладання газоходів і фасонних частин Ø500 мм	100 м ²	0,4913	231,2	14,2	5р.-1 4р-1 3р-1 2р-1	Монтажники 4,2 розряд	3,55
Монтаж дросель-клапанів ДК 500	шт.	2	2,6	0,65	5р.-1 4р-1 3р-1	Монтажники 3,4 розряд	0,22
Монтаж вибухових клапанів Ø500 мм.	шт.	2	2,13	0,53	5р.-1 4р-1 3р-1	Монтажники 4,2 розряд	0,18

Продовження табл. 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8
Монтаж щогли та димової труби	т	1,34	83,52	13,99	4р-2 3р-2	Монтажники 4,3 розряд	3,5
Прокладання трубопроводів діаметром 57×3 мм	т	0,192	410,2	9,84	4р-1 3р-1 2р-1	Монтажники 4,2 розряд	3,28
Встановлення зворотних клапанів та кульових кранів Ду 50	10 шт.	0,4	64	3,2	4р-1 3р-1	Монтажники 4,2 розряд	1,6
Монтаж насоса Grundfos MAGNA3 40-150 F	шт.	1	24,52	3,065	5р-1 3р-1	Монтажники 4,2 розряд	1,53
Прокладання трубопроводів діаметром 45×2,5 мм	т	0,0416	486	2,53	4р-1 3р-1 2р-1	Монтажники 4,2 розряд	0,84
Встановлення кульових кранів Ду 40	10 шт.	0,4	48	2,4	4р-1 3р-1	Монтажники 4,2 розряд	1,2
Випробування трубопроводів на міцність та щільність	100 м	0,64	8,22	0,66	5р.-1 4р-1 3р-1	Монтажники 4,2 розряд	0,22
Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію	100 м	0,936	2,4	0,28	6р-1 5р.-1	Монтажники 4,2 розряд	0,14
Повернення засобів механізації на склад	т	1,8	4,4	0,99	2	1 робітник 1 водій	0,5

4.5 Визначення складу ланок для виконання монтажних робіт

Склад бригад та середній розряд робітників для виконання монтажних робіт визначається згідно нормативних документів [33 – 37].

1. Доставка обладнання і комунікацій системи очищення відхідних газів до місця монтажу та його складування. Водій і робітник.

2. Розмітка місць прокладання трубопроводів та газоходів. Два монтажника 6 і 3 розрядів.

3. Монтаж циклонів-утилізаторів МЦ-У-400. Монтажники: 6 розряду – 1 людина, 4 розряду – 1 людина, 2 розряду – 1 людина. .

4. Монтаж димососів ДН-5. Монтажники : 6 розряду – 1 людина, 5 розряду – 1 людина, 4 розряду – 1 людина, 3 розряду – 1 людина.

5. Прокладання газоходів і фасонних частин Ø 500 мм. Монтажники : 5 розряду – 1 людина, 4 розряду – 1 людина, 3 розряду – 1 людина, 2 розряду – 1 людина.

6. Монтаж дросель-клапанів ДК 500. Монтажники : 5 розряду – 1 людина , 4 розряду – 1 людини, 3 розряду – 1 людини.

7. Монтаж вибухових клапанів Ø500 мм. Монтажники : 5 розряду – 1 людина , 4 розряду – 1 людини, 3 розряду – 1 людини..

8. Монтаж щогли та димової труби Ø 700/760, Н = 20 м. Монтажники : 4 розряду – 2 людини, 3 розряду – 2 людини.

9. Прокладання трубопроводів діаметром 57×3 мм. Монтажники : 4 розряду – 1 людина, 3 розряду – 1 людина, 2 розряду – 1 людина.

10. Монтаж насоса Grundfos MAGNA3 50-180 F. Монтажники : 5 розряду – 1 людина, 3 розряду – 1 людина.

11. Встановлення зворотних клапанів та кульових кранів Ду 50. Монтажники : 3 розряду – 1 людина і 4 розряду – 1 людина.

12. Прокладання трубопроводів діаметром 45×2,5 мм Монтажники : 4 розряду – 1 людина, 3 розряду – 1 людина, 2 розряду – 1 людина.

13. Встановлення кульових кранів Ду 40. Монтажники : 3 розряду – 1 людина і 4 розряду – 1 людина.

14. Випробування трубопроводів на міцність та щільність. Три монтажники 3, 4 і 5 розрядів.

15. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Два монтажника 6,5 розряд.

19. Повернення засобів механізації на склад. Водій і робітник.

4.7 Висновки до розділу

Розроблено технологію монтажу системи очищення відхідних газів після парогенераторів Е-1-0,9Г з використанням циклонів-утилізаторів МЦ-У-400. Розроблено монтажну схему системи очищення відхідних газів.

Складено відомість основних та допоміжних матеріалів, необхідних для монтажу циклонів-утилізаторів, нагнітального обладнання із комунікаціями. При цьому основного обладнання і матеріалів склала 2492,23 кг, а допоміжного – 148,75 кг.

Також визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах. Так для транспортування матеріалів використовується автомашина Isuzu NQR 90-М Борт-тент МТ, для зварювання використовується зварювальний напівавтомат Sherman MIG 200HD, для шліфувальних робіт під час монтажу трубопроводів застосовується кутова шліфмашина INTERTOOL WT-0227, для монтажу газоходів – ножичний підйомник GS 1932, для випробування газоходів на міцність та щільність – компресор пересувний повітряний ВКП LB340 10-100, для гідравлічних випробувань водопроводів – опресувальний насос електричний НОЕ 8-40, для підйому обладнання та газоходів – лебідку з електроприводом ЛМЧ-0,5 та автокран КС-45729А-С-02, для переміщення вантажу – візок гідравлічний ручний Jungheinrich AM 22.

Вибрано допоміжне обладнання для монтажу системи. Загальна маса обладнання – 1796,45 кг.

Визначено затрати паливно-енергетичних ресурсів для виконання монтажних робіт. Так витрата електроенергії на роботу електроінструменту складає 500,23 кВт год, а витрата пального для доставки та підйомних робіт вантажу 67,01 л.

Визначено трудомісткість і тривалість виконання монтажних робіт. Так загальна трудомісткість складає 65,22 люд.-дні. Розроблено календарний план виконання монтажних робіт, згідно з яким загальна тривалість виконання монтажних робіт складає 18,4 доби.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В цьому розділі оцінимо економічну ефективність інвестицій у влаштування нового обладнання у паровій котельні.

5.1 Локальний кошторис

Для розрахунку кошторисної вартості влаштування обладнання дотримувалися вимог КНУ Настанова з визначення вартості будівництва і використовували кошторисну програму «АВК».

Для визначення кошторисної вартості влаштування обладнання розробляємо локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, об'єктний коштрис за допомогою програмного комплексу АВК (табл.5.1-5.3) на основі: ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН), на монтаж обладнання; поточних кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції, загально виробничі витрати розраховані відповідно до настанови.

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 загальновиробничих 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.

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.1 - Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 1

на _____
(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:	Кошторисна вартість	87.069 тис. грн.
креслення(специфікації)№	Кошторисна трудомісткість	0.48463 тис. люд.-год
	Кошторисна заробітна плата	39.653 тис. грн.
	Середній розряд робіт	4.3 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайня- тих обслугову- ванням машин	
					Всього	експлуа- тації машин	Всього	за- робітної плати	експлуа- тації машин	тих, що обслугову- ють машини	
					за- робітної плати	в тому числі за- робітної плати			в тому числі за- робітної плати		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	на оди- ницю	всього

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ20-39-2	Установлення циклонів ма- сою до 0,5 т	10 шт циклонів	0.2	22129.24	13748.55	4426	1360	2750	87.3800	17.48
					6801.66	2974.60			595	31.6642	6.33
2	КБ18-1-4	Установлення котлів	1 котел	2.0	20365.07	2610.50	40730	21648	5221	137.1000	274.20
					10824.05	684.24			1368	8.9916	17.98
3	КМ6-4-15	Монтаж топки	т	0.5	51283.15	13401.98	25642	8809	6701	229.6000	114.80
					17617.21	3428.51			1714	35.5786	17.79
		Разом прямих витрат по кошторису					70798	31817	14672		406.48
									3677		42.10
		Разом прямі витрати				грн.	70798				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	24309				
		вартість ЕММ				грн.	14672				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		3677			
		заробітна плата робітників				грн.		31817			
		всього заробітна плата				грн.		35494			
		Загальновиробничі витрати				грн.	16271				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					36.05
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		4159			
		Всього по кошторису				грн.	87069				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					484.63
		Кошторисна заробітна плата				грн.		39653			

Керівник
проектної ор-
ганізації

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.2 - Локальний кошторисний розрахунок на придбання устаткування, меблів та інвентарю № 2

(вид устаткування, меблів, інвентарю і робіт, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА: креслення(специфікації) № _____, відомості тощо
Кошторисна вартість 1 199,609 тис. грн.
Складений в поточних цінах станом на 2024 р.

№ Ч.ч.	Документ, що обґрунтовує ціну	Найменування і характеристика устаткування, меблів та інвентарю, маса одиниці устаткування	Одиниця виміру	Кількість	Вартість оди- ниці, грн.	Загальна вартість, грн.
1	2	3	4	5	6	7
1	2309-1002	Циклон ЦН-400	шт	2.0	45744.73	91489
2	2108-305	Котел паровий Е-1-0,9	шт	2.0	442321.48	884643
3	1905-1015	Топка	шт	2.0	89074.15	178148
Разом						1154280
Транспортні та заготівельно-складські витрати						45329
Всього по кошторису						1199609

Склав _____
[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив _____
[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.3 - Об'єктний кошторис № 1

на будівництво

Теплообмінник циклон

(найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

Кошторисна вартість 1286.678 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0.48463 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 39.653 тис. грн.
Вимірник одиничної вартості

Складений в поточних цінах станом на 2024 р.

№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудо-місткість, тис. люд.год	Кошторисна заробітна плата, тис.грн.	Показники одиничної вартості
			будівельних робіт	устаткування, меблів та ін-вентарю	всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	11-001-001	придбання обладнання		1199.609	1199.609	-		
2	11-001-002	монтаж обладнання	87.069		87.069	0.48463	39.653	
		Всього по кошторису	87.069	1199.609	1286.678	0.48463	39.653	

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

5.2 Загальні витрати інноваційного проекту та термін окупності

Загальні витрати інноваційного проекту представлені в табл. 5.4, розраховуються у відсотках від кошторисної вартості будівельно-монтажних робіт (значення приймається з локального кошторису табл. 5.3).

Таблиця 5.4 – Перелік інноваційних витрат

Орієновна робота	Питома вага вартості роботи, %	Термін виконання роботи, місяців	Загальна вартість виконання роботи, тис. грн.
Формування інноваційної ідеї проекту	1	1	12,87
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	2,57
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	19,30
Проектування	2,5	4	32,17
Експертиза інноваційного рішення	1	1	12,87
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	25,74
Виготовлення нового виробу	100	6	1286,768
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	38,60
Витрати на підготовку кадрів	5	2	64,34
Всього		21	1495,22

Показники комерційної ефективності проекту (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Показники комерційної ефективності проекту, тис. грн.

№	Показники	Рік						
		-1	0	1	2	3	4	5
1	Потік реальних грошей	- 105,51	- 1520,71	982,56	942,06	900,77	859,49	852,56
2	Сальдо реальних грошей	- 105,51	- 1051,69	982,56	899,83	858,54	821,38	818,57
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	- 105,51	-1157,2	-174,65	725,18	1583,72	2405,10	3223,67
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 (п.1×п.4)	- 122,40	- 1520,71	847,03	700,10	577,09	474,69	405,92
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п 5 ((t)+(t-1))	- 122,40	- 1643,11	-796,08	-95,98	481,11	955,80	1361,72

З табл. 5.5 видно додатне сальдо накопичених реальних грошей на другому-третьому році реалізації проекту.

Оцінювання економічної ефективності інноваційного проекту.

Чисті грошові надходженнями визначаються за формулою:

$$NV = \sum_{t=0}^{Tp} NCF_t = \sum_{t=0}^{Tp} R_t - Z_t - N_t - K_t, \quad (5.1)$$

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. $NV = 7624,17$ тис. грн.

Чиста поточна вартість

$$NPV = \sum_{t=0}^{Tp} NCF_t \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{Tp} (R_t - Z_t - N_t - K_t) \cdot \eta_t, \quad (5.2)$$

де η_t – коефіцієнт дисконтування.

$NPV = 1361,72$ 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 отримають доходів на вкладений капітал.

Оскільки NPV та NV є додатними, тобто за розрахунковий період грошові надходження перевищують суму капітальних вкладень, що призведе до зростання доходів інвестора, то проект вважається ефективним.

Термін окупності інвестицій

$$\sum_{t=0}^{Tp} (P_t - B_t) \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{Tp} K_t \cdot \eta_t, \quad (5.3)$$

Розрахунок терміну окупності кумулятивним методом

Кумулятивний метод передбачає знаходження періоду окупності за формулою:

$$T = t + \frac{COF_t}{CIF_{t+1}}, \quad (5.4)$$

де COF_t – залишок інвестиційних витрат, не забезпечених доходами на початок t – го періоду, грн., SIF_t – чисті грошові надходження $(t + 1)$ -го періоду, грн. Розрахунок представлений в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунок простого терміну окупності кумулятивним методом, тис. грн.

Показник	Номер кроку розрахункового періоду						
	-1	0	1	2	3	4	5
Потік реальних грошей	-122,40	-1520,71	847,03	700,10	577,09	474,69	405,92
Кумулятивна	-122,40	-1643,11	-796,08	-95,98	481,11	955,80	1361,72

Як видно з таблиці 5.6 за показником залишку інвестиційних витрат, строк окупності даного проекту знаходиться між 2 та 3 роком (перехід від від’ємного до додатного залишку). Відповідно, за формулою (5.4) термін окупності буде дорівнювати:

$$T = 2 + 95,98 / 577,09 = 2,16 \text{ року.}$$

5.3 Висновки до розділу

Склали кошторисні документи: локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, об’єктний коштрис. В кошторисах пороховано:

- Кошторисна вартість $K_v = 1286,678$ тис. грн.
- Кошторисна заробітна плата ЗП = 39,653 тис. грн.
- Кошторисна трудомісткість $T = 0,4846$ тис. люд – год.
- Вартість матеріалів – 1223,91 тис. грн.

Розраховували основні показники ефективності інвестицій в проект:

- Чисті грошові надходження – 2911,21 тис. грн.;

- Чиста поточна вартість –1361,72 тис. грн.;
- Термін окупності, розрахований кумулятивним методом – 2,16 роки.

ВИСНОВКИ

Україна володіє значним потенціалом біомаси, яка може замістити близько 5,2 млрд куб. м природного газу, що становить приблизно 15% від загального довоєнного споживання. Наразі зі всієї енергії з біомаси, що виробляється в Україні, приблизно 70% отримують саме з твердої біомаси шляхом її спалювання. Використання деревних та інших органічних відходів не тільки зменшує енергетичну залежність України, але й зменшує кількість шкідливих викидів в навколишнє середовище.

Підвищення енергоефективності котелень можна досягти встановленням утилізаторів теплоти відхідних газів котлів. Розробка ефективних утилізаторів теплоти відхідних газів та їх впровадження здійснюється дуже повільно оскільки немає універсальних достовірних методик розрахунку і проектування теплоутилізаторів, відсутні типові конструкторські розробки теплоутилізаторів, часто вони є габаритними та металоємними, що обумовлює необхідність застосування методів інтенсифікації теплообміну.

Виконані розрахунки теплової схеми парової котельні ТОВ «АВІС». Визначені витрати пари та конденсатів, робочого та умовного палива. Виконані розрахунки техніко-економічних показників роботи котельні. Собівартість виробництва теплової енергії котельнею на природному газі для ціни 19,2 грн./м³ становить 775,9 грн./ГДж. Визначені техніко-економічні показники котельні на інших видах палива. Встановлено, що собівартість теплової енергії в разі роботи на пелетах з соняшникового лушпиння і паливній трісці становить відповідно 403,9 грн./ГДж і 443,1 грн./ГДж. З огляду на економічні показники та екологічні ефекти вибраний варіант зі встановленням передтопка до парових котлів та циклона МЦУ-400 з теплообмінником-утилізатором теплоти відхідних газів.

З усіх відомих методів інтенсифікації теплообміну в трубах ефективним і технологічно реалізованим методом є штучна турбулізації потоку кільцевими діафрагмами. Збільшення інтенсивності теплообміну в таких трубах залежить

від висоти діафрагми та їх кроку. Зі збільшенням висоти діафрагми збільшується ефект інтенсифікації, зокрема в діапазоні d/D від 0,88 до 0,98 збільшується ефект інтенсифікації від 1,4 до 2,6. При цьому відносний коефіцієнт опору зменшується від ξ/ξ_0 від 3,6 до 1,15. Для відношення $d/D \geq 0,94$ інтенсифікація теплообміну переважає над збільшенням гідравлічного опору. В разі збільшення кроку t/D від 0,33 до 2,35 для $d/D = 0,96$ ефект інтенсифікації зменшується 1,48 разів, а відносний коефіцієнт опору зменшується в 1,75 рази. Зі збільшенням Re в 2,5 рази відношення Nu/Nu_0 збільшується на 2%. За рахунок інтенсифікації теплообміну зі сторони газів маса і габарити теплообмінного апарату з трубами з кільцевою накаткою буде меншою порівняно з ТА з гладкими трубами за однакових теплових навантажень.

Розроблено технологію монтажу системи очищення відхідних газів після парогенераторів Е-1-0,9Г з використанням циклонів-утилізаторів МЦ-У-400. Розроблено монтажну схему системи очищення відхідних газів.

Складено відомість основних та допоміжних матеріалів, необхідних для монтажу циклонів-утилізаторів, нагнітального обладнання із комунікаціями. При цьому основного обладнання і матеріалів склала 2492,23 кг, а допоміжного – 148,75 кг.

Визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах. Так для транспортування матеріалів використовується автомашини Isuzu NQR 90-М Борт-тент МТ, для зварювання використовується зварювальний напівавтомат Sherman MIG 200HD, для шліфувальних робіт під час монтажу трубопроводів застосовується кутова шліфмашина INTERTOOL WT-0227, для монтажу газоходів – ножичний підйомник GS 1932, для випробування газоходів на міцність та щільність – компресор пересувний повітряний ВКП LB340 10-100, для гідравлічних випробувань водопроводів – опресувальний насос електричний НОЕ 8-40, для підйому обладнання та газоходів – лебідку з електроприводом ЛМЧ-0,5 та автокран КС-45729А-С-02, для переміщення вантажу – візок гідравлічний ручний Jungheinrich AM 22.

Вибрано допоміжне обладнання для монтажу системи. Загальна маса обладнання – 1796,45 кг.

Визначено затрати паливно-енергетичних ресурсів для виконання монтажних робіт. Так витрата електроенергії на роботу електроінструменту складає 500,23 кВт год, а витрата пального для доставки та підйомних робіт вантажу 67,01 л.

Визначено трудомісткість і тривалість виконання монтажних робіт. Так загальна трудомісткість складає 65,22 люд.-дні. Розроблено календарний план виконання монтажних робіт, згідно з яким загальна тривалість виконання монтажних робіт складає 18,4 доби.

Склали кошторисні документи: локальні кошториси на монтаж обладнання, на придбання обладнання, об'єктний кошторис. В кошторисах пороховано: кошторисна вартість $K_v = 1286,678$ тис. грн; кошторисна заробітна плата ЗП = 39,653 тис. грн.; кошторисна трудомісткість $T = 0,4846$ тис. люд – год. Вартість матеріалів – 1223,91 тис. грн.

Розраховали основні показники ефективності інвестицій в проект: чисті грошові надходження – 2911,21 тис. грн.; чиста поточна вартість – 1361,72 тис. грн. Термін окупності, розрахований кумулятивним методом – 2,16 роки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Резидент Н.В., Чорний В.О. Інтенсифікація теплообміну в трубчастих утилізаторах теплоти відхідних газів. матеріали міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025). URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/22917> (дата звернення: 16.12.2024).
2. Osman AI., L. Chen, M. Yang, G. Msigwa, M. Farghali, S. Fawzy, DW. Rooney. Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: a review. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-022-01532-8> (дата звернення: 16.09.2024)
3. Теплова альтернатива: біомаса поступово заміщує природний газ. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/naturalna-alternatyva-biomas-a-postupovo-zamishchuie-pryrodniy-haz> (дата звернення: 16.09.2024)
4. Whole Building Design Guide. Biomass for Heat. URL: <https://www.wbdg.org/resources/biomass-heat> (дата звернення: 16.09.2024)
5. How Biomass Energy Saves You Money and Reduces Your Carbon Footprint. URL: <https://www.coolplanet.io/blog/articles/biomass-energy> (дата звернення: 16.09.2024)
6. Biomass Boiler. URL: <https://isotexglobal.com/blog/biomass-boiler/> (дата звернення: 16.09.2024)
7. Система очищення димових газів КЗОТ Циклон-утилізатор МЦ-У 400 (250-400 кВт). URL: <https://kzot-kotel.com.ua/systemy-ochystky-dymovykh-haziv/systema-ochyshchennia-dymovykh-haziv-kzot-tsyklon-utylizator-mts-u-400-250-400-kvt/> (дата звернення: 16.09.2024)
8. Монастирищенський завод котельного обладнання. URL: <https://tep-lolider.ua/uk/posluhy/perevedennia-kotliv-na-tverde-palyvo.html> (дата звернення: 18.09.2024)

9. Чепурний М. М., Резидент Н. В., Олексина Т. М., Возіян Ю. К. Утилізація теплоти відхідних газів із котлів в утилізаторах контактного типу. Наукові праці ВНТУ, 2015. №3. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/455?articlesBySameAuthorPage=3> (дата звернення: 18.09.2024)
10. Співак О.Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Методи інтенсифікації. Вінниця : ВНТУ, 2023. 112 с.
11. Dr. Chandresh Sharma¹, Gajendra Singh Sodha. A Review of Performance of Twisted Tapes in Turbulent Regime. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/461/1/012077/pdf>. (дата звернення: 18.09.2024)
12. J. Alhamid, A. R., Al-Obaidi. Numerical Investigation of Fluid Flow, Characteristics of Thermal Performance and Enhancement of Heat Transfer of Corrugated Pipes with Various Configurations. Journal of Physics: Conference Series. 2021. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1733/1/012004/pdf> (дата звернення: 18.09.2024)
13. Vicente, P. G., Garcia, A., & Viedma, A. (2004). Experimental investigation on heat transfer and frictional characteristics of spirally corrugated tubes in turbulent flow at different Prandtl numbers. International Journal of Heat and Mass Transfer, 47(4), 671-681. (дата звернення: 18.09.2024)
14. Мейріс А. Ж. Теплообмін та теплогідравлічна ефективність пучків труб з поверхневими заглибленнями. Дис. Канд. техн. наук за спеціальністю 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика». Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, 2018. (дата звернення: 25.09.2024)
15. Енергометмаш. Каталог. URL: https://mzko.ua/files/EMM_catalog.pdf (дата звернення: 01.10.2024)
16. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання. Вінниця : ВНТУ, 2005. 137 с.

17. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Частина I : ВНТУ, 2021. 113 с.
18. ВД-2,7 вентилятор дуттьовий. URL: <https://systemax.ua/ua/ventilyatory/ventiljatori-dutja/vd/vd-2-7.html> (дата звернення: 01.10.2024)
19. Димосос Д-3,5М. URL: <https://systemax.ua/ua/ventilyatory/dimososi/d-m/d-3-5m.html> (дата звернення: 01.10.2024)
20. Лялюк О. Г. Економіка енергетики. Вінниця : ВНТУ, 2009. 118 с.
21. Мінфін. Тарифи на газ для підприємств. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/gas/prom/> (дата звернення: 10.10.2024)
22. Мінфін. Тарифи на електроенергію для підприємств. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/prom/> (дата звернення: 10.10.2024)
23. Вінницяоблводоканал. Тарифи на водопостачання та водовідведення. URL: <https://vinvk.com.ua/tarif-posluga/297-tarif-diuchiy> (дата звернення: 10.10.2024)
24. Питома теплота згорання. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0_%D0%B7%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8F (дата звернення: 10.10.2024)
25. Чепурний М.М., Степанов Д. В., Корженко Є.С. Теплові розрахунки парогенераторів : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2005. 155 с.
26. Grundfos. Насоси. URL: <https://product-selection.grundfos.com/ua/categories/pumps?tab=categories> (дата звернення: 10.10.2024)
27. Сайт компанії Baza-drov. URL: <https://baza-drov.com.ua/uk/>
28. Паровий котел Е-1,2-1,4р для роботи на біопаливі. URL: <https://www.teploterm.com/kotli-parovie-kotli-vodogreinie/kotli-parovie/24-kotelnoe-oborudovanie/228-kotlie-14.html> (дата звернення: 10.10.2024)
29. Мельник В.І., Цимбал Б.М. Аналіз теоретичних досліджень інтенсифікованого теплообміну в трубах. URL: <http://surl.li/sczyjz>. [https://doi.org/10.37700/enm.2020.1\(15\).13](https://doi.org/10.37700/enm.2020.1(15).13) – 28.

30. Димосос ДН-5. URL: <https://systemax.ua/ua/ventilyatory/dimososi/dn/dn-5-isp1.html/> (дата звернення: 18.06.2024 р.). (дата звернення: 10.11.2024)
31. ДСТУ 8943:2019. Труби сталеві електрозварні. Технічні умови. URL : http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=86389. (дата звернення: 11.11.2024).
32. Димові труби для промисловості. URL: <https://versia-lux.com/ua/products/dymovye-truby-dlja-promyshlennosti> (дата звернення: 11.11.2024).
33. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж технологічних трубопроводів (Збірник 12). URL : <http://surl.li/rupous> (дата звернення: 11.11.2024).
34. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Внутрішні сантехнічні роботи (Збірник 15). URL : <http://surl.li/mklxpr> (дата звернення: 11.11.2024).
35. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Компресорні установки, насоси і вентилятори. (Збірник 17). URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/12/knu-reknuu.-kompresorni-ustanovky-nasosy-i-ventylyatory-zbirnyk-7.pdf> (дата звернення: 11.11.2024).
36. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 20. Вентиляція та кондиціонування повітря. [Електронний ресурс]. URL : <http://surl.li/nxhrhs>. (дата звернення: 12.11.2024).
37. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Металеві конструкції (Збірник 9). . URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/knu-resursni-elementni-koshtorysni-normy-na-budivelni-roboty.-metalevi-konstrukciyi.-zbirnyk-9.pdf> (дата звернення: 11.11.2024)
38. Степанова Н. Д., Степанов Д. В. Монтаж теплоенергетичного та тепло-технологічного обладнання : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2022. 119 с.

39. Isuzu NQR 90-M Борт-тент МТ. URL: <https://imax-avto.com.ua/ua/p229711644-isuzu-nqr90-bort.html> (дата звернення: 15.11.2024)
40. Зварювальний напівавтомат Sherman MIG 200HD 1. URL: <https://tools-market.com.ua/ua/p1500871821-svarochnyj-poluavtomat-sherman.html> (дата звернення: 15.11.2024).
41. Шліфмашина кутова 1800 Вт, діаметр круга 180 мм, 8000 об/хв., плавний пуск INTERTOOL WT-0227. URL: <https://oberon.com.ua/ua/product/shlif-mashina-kutova-1800-vt-diametr-kruga-180-mm-8000-obhv-p.html> (дата звернення: 15.11.2024).
42. Насос опресувальний електричний НОЕ 8-40 URL: <https://rhi.com.ua/ua/p50646095-nasos-opressovochnyj-elektricheskij.html> (дата звернення: 15.11.2024).
43. Монтажна електрична лебідка ЛМЧ. URL: <https://ukr-promgroup.com.ua/ua/p340277851-lebedka-montazhnaya-elektricheskaya.html> (дата звернення: 16.11.2024)
44. Каталог будівельних машин і інструментів URL: <http://powertools.co.nz>. (дата звернення: 16.11.2024)
45. Jungheinrich AM 22, ручний гідравлічний візок. URL: <http://surl.li/uslvn> (дата звернення: 16.11.2024)
46. Компресор поршневий ВКП LB340 10-100. URL: https://xn--80addceesnhi0axzh6mb.com.ua/ua/products/pnevmo_products/101/541/ (дата звернення: 18.11.2024)
47. Ножичні підйомники. URL: <http://surl.li/lkbbqd> (дата звернення: 18.11.2024)
48. Автокран КС-45729А-С-02. URL: <https://alfateks.com.ua/katalog-texniki/maz-uk/avtokran-ks-45729a-c-02/>. (дата звернення: 18.11.2024)

Додаток А
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ
МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Підвищення ефективності роботи котельні товариства з обмеженою відповідальністю "АВІС"

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ кафедра теплоенергетики, ФБЦЕІ, група ТЕ-23м
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник к.т.н., доцент Резидент Н.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність	93%
Загальна схожість	7%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор

(підпис)

Чорний В.О.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Співак О.Ю.

(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б
(обов'язковий)

УЗГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖЕНО

Керівник або заступник Назва підприємства або установи

Завідувач кафедри ТЕ

Підпис Ініціали та прізвище

Дмитро СТЕПАНОВ

“ ” 20 р.

“ ” 20 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу на тему:

**Підвищення ефективності роботи котельні
товариства з обмеженою відповідальністю «АВІС»**

Керівник роботи:

к. т. н. доц. Резидент Н. В.

Виконавець:

студент гр. ТЕ-23м

Чорний В.О.

Вінниця 2024

1 Найменування та область застосування

Розробка стосується промислової теплоенергетики і реконструкції котельні ТОВ «АВІС», яка дозволить підвищити ефективність виробництва теплоти та зменшити шкідливий вплив на довкілля.

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 № 310 від «17» вересня 2024 року.

3 Мета та призначення розробки

Заміщення природного газу відновлюваними видами палива, зменшення собівартості виробництва теплової енергії, зменшення шкідливого впливу на довкілля шляхом встановлення котлів на біомасі із системою очищення відхідних газів та використання вторинних енергетичних ресурсів.

4 Джерела розробки

Основою для розробки є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, дані літературних та інтернет джерел, інші технічні матеріали щодо застосування відновлюваних видів палива та використання вторинних енергетичних ресурсів в промислових котельнях.

1. ДБН Котельні ДБН В.2.5.-77: 2014 [Чинний від 01-01-2015 р. №252]. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 61 с.

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

3. Чепурний М. М., Резидент Н. В., Олексина Т. М., Возіян Ю. К. Утилізація теплоти відхідних газів із котлів в утилізаторах контактного типу. Наукові праці ВНТУ. 2015. №3. [Електронний ресурс]. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/455?articlesBySameAuthorPage=3>

4. Співак О.Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Методи інтенсифікації. Вінниця : ВНТУ, 2023. 112 с.

5 Технічні вимоги

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

5.1.1 Витрата пари на промислові споживачі 1	0,55 т/год
5.1.2 Витрата пари на промислові споживачі 2	1,25 т/год
5.1.3 Тиск пари для промислових споживачів 1	0,4 МПа
5.1.4 Температура пари для промислових споживачів 1	143 °С
5.1.5 Тиск пари для промислових споживачів 2	0,8 МПа
5.1.6 Температура пари для промислових споживачів 2	170 °С
5.1.7 Температура зворотного конденсату	45 °С
5.1.8 Температура води після хімводоочистки	10 °С
5.1.9 Температура води після підігрівника додаткової води	50 °С
5.1.10 Частка повернення конденсату від промислових споживачів	0,2

5.2 Використання для джерела енергопостачання відновлюваного місцевого виду палива.

Паливо:

- природний газ;
- лушпиння соняшника, інші види відновлюваного палива.

6 Економічні показники

Створення об'єкту повинно вестись з мінімальними витратами праці та з мінімальними затратами виробництва. Здійснити економічне обґрунтування доцільності переведення котельні на альтернативні природному газу види палива, визначивши річні витрати палива, економію палива, зменшення шкідливих викидів в атмосферу, та термін окупності капіталовкладень на будівництво.

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	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз заходів для підвищення ефективності роботи промислових котелень	14.10.24...20.10.24	
2	Показники роботи промислової котельні на різних видах палива	21.10.24...15.10.24	
3	Утилізація теплоти відхідних газів котлів в тепловій схемі котельні	16.10.24...01.11.24	
4	Технологія монтажу системи очищення відхідних газів парових котлів	02.11.24...18.11.24	
5	Економічна частина	19.11.24...25.11.24	
7	Оформлення МКР	26.11.24...02.12.24	
8	Попередній захист МКР	03.12.24...10.12.24	
9	Захист МКР	11.12.24...26.12.24	

Дата видачі завдання «__»_____ 2024 р.

Крайні терміни виконання «__»_____ 2024 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 Koreгування технічного завдання допускається з дозволу керівника МКР.

Додаток В
(довідковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ І РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Початкові дані $\text{ORIGIN} := 1$

$$d_2 := 0.057$$

$$d_1 := 0.051$$

$$t_{zc} := 75$$

$$t_{21} := 66$$

$$t_{11} := 190$$

$$G_2 := 0.4$$

$$t_{12} := 164.7 \quad L := 0.6$$

$$F := 5.01$$

$$G_1 := (0.58 \quad 0.53 \quad 0.48 \quad 0.43 \quad 0.38 \quad 0.35 \quad 0.3 \quad 0.25 \quad 0.23 \quad 0.19)$$

$$G_1 := G_1^T \quad N := 10$$

Визначальна температура для газів

$$t := \frac{t_{11} + t_{12}}{2} = 177.35 \quad n := t$$

Теплофізичні характеристики теплоносіїв

Димові гази

$$tt := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \\ 300 \end{pmatrix} \quad \lambda_1 := \begin{pmatrix} 0.0313 \\ 0.0401 \\ 0.0484 \end{pmatrix} \quad \nu_1 := \begin{pmatrix} 21.54 \\ 32.8 \\ 45.81 \end{pmatrix} \quad Pr_1 := \begin{pmatrix} 0.69 \\ 0.67 \\ 0.65 \end{pmatrix} \quad Pr_{c1} := \begin{pmatrix} 0.69 \\ 0.67 \\ 0.65 \end{pmatrix}$$

$$\rho_1 := \begin{pmatrix} 0.95 \\ 0.748 \\ 0.617 \end{pmatrix} \quad c_{p1} := \begin{pmatrix} 1.068 \\ 1.097 \\ 1.122 \end{pmatrix} \quad \nu_1 := \nu_1 \cdot 10^{-6}$$

Вода

$$\begin{array}{ccccc}
 \text{tt2} := \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ 40 \\ 60 \\ 80 \\ 100 \\ 120 \\ 140 \\ 160 \\ 180 \end{pmatrix} & \lambda_2 := \begin{pmatrix} 0.551 \\ 0.599 \\ 0.634 \\ 0.659 \\ 0.674 \\ 0.683 \\ 0.686 \\ 0.685 \\ 0.683 \\ 0.674 \end{pmatrix} & \nu_2 := \begin{pmatrix} 1.789 \\ 1.000 \\ 0.659 \\ 0.478 \\ 0.635 \\ 0.295 \\ 0.252 \\ 0.217 \\ 0.191 \\ 0.173 \end{pmatrix} & \text{Pr}_2 := \begin{pmatrix} 13.67 \\ 7.02 \\ 4.31 \\ 2.98 \\ 2.21 \\ 1.75 \\ 1.47 \\ 1.26 \\ 1.10 \\ 1.00 \end{pmatrix} & \text{Pr}_{c2} := \begin{pmatrix} 13.67 \\ 7.02 \\ 4.31 \\ 2.98 \\ 2.21 \\ 1.75 \\ 1.47 \\ 1.26 \\ 1.10 \\ 1.00 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{cc}
 \rho_2 := \begin{pmatrix} 999.9 \\ 998.2 \\ 992.2 \\ 983.2 \\ 971.8 \\ 958.4 \\ 943.1 \\ 926.1 \\ 907.4 \\ 886.9 \end{pmatrix} & \text{Cp}_2 := \begin{pmatrix} 4.212 \\ 4.183 \\ 4.174 \\ 4.178 \\ 4.195 \\ 4.220 \\ 4.25 \\ 4.287 \\ 4.346 \\ 4.417 \end{pmatrix} & \nu_2 := \nu_2 \cdot 10^{-6}
 \end{array}$$

Для визначення теплофізичних характеристик димових газів за заданої температури застосуємо кубічну сплайн-інтерполяцію

$$\begin{aligned}
 \lambda_1(n) &:= \text{interp}(\text{cspline}(\text{tt}, \lambda_1), \text{tt}, \lambda_1, n) \\
 \nu_1(n) &:= \text{interp}(\text{cspline}(\text{tt}, \nu_1), \text{tt}, \nu_1, n) \\
 \text{Pr}_1(n) &:= \text{interp}(\text{cspline}(\text{tt}, \text{Pr}_1), \text{tt}, \text{Pr}_1, n) \\
 \rho_1(n) &:= \text{interp}(\text{cspline}(\text{tt}, \rho_1), \text{tt}, \rho_1, n) \\
 \text{Cp}_1(n) &:= \text{interp}(\text{cspline}(\text{tt}, \text{Cp}_1), \text{tt}, \text{Cp}_1, n) \\
 \text{Pr}_{c1}(n) &:= \text{interp}(\text{cspline}(\text{tt}, \text{Pr}_{c1}), \text{tt}, \text{Pr}_{c1}, n)
 \end{aligned}$$

$$\lambda_1 := \lambda_1(n) \quad \nu_1 := \nu_1(n) \quad Pr_1 := Pr_1(n) \quad Pr_{c1} := Pr_{c1}(n)$$

$$\rho_1 := \rho_1(n) \quad Cp_1 := Cp_1(n)$$

Для першого наближення задамося температурою води $t = 61$ °C

Тоді, для води: $Cp2 := 4.1765$

Теплова потужність трубчастого теплообмінника, кВт

$$Q := [G_1 \cdot Cp_1 \cdot (t_{11} - t_{12})]$$

Температура води на виході з ТА, °C

$$t_{22} := t_{21} + \frac{Q}{(G_2 \cdot Cp_2)} \quad t_{22} := \max(t_{22}) \quad t_{22} = 75.582$$

Середня температура води в ТА °C

$$n_2 := \frac{t_{21} + t_{22}}{2} = 71$$

$$\lambda_2(n_2) := \text{interp}(\text{cspline}(tt_2, \lambda_2), tt_2, \lambda_2, n_2)$$

$$\nu_2(n_2) := \text{interp}(\text{cspline}(tt_2, \nu_2), tt_2, \nu_2, n_2)$$

$$Pr_2(n_2) := \text{interp}(\text{cspline}(tt_2, Pr_2), tt_2, Pr_2, n_2)$$

$$\rho_2(n_2) := \text{interp}(\text{cspline}(tt_2, \rho_2), tt_2, \rho_2, n_2)$$

$$Cp_2(n_2) := \text{interp}(\text{cspline}(tt_2, Cp_2), tt_2, Cp_2, n_2)$$

$$Pr_{c2}(n_2) := \text{interp}(\text{cspline}(tt_2, Pr_{c2}), tt_2, Pr_{c2}, n_2)$$

Отримані значення теплофізичних характеристик за визначальної температури

$$\lambda_2(n_2) = 0.668$$

$$\lambda_2 := \lambda_2(n_2)$$

$$\nu_2(n_2) = 5.865 \times 10^{-7}$$

$$\nu_2 := \nu_2(n_2)$$

$$Pr_2(n_2) = 2.514$$

$$Pr_2 := Pr_2(n_2)$$

$$\rho_2(n_2) = 977.317$$

$$\rho_2 := \rho_2(n_2)$$

$$Cp_2(n_2) = 4.186 \quad \underline{Cp_2} := Cp_2(n_2)$$

$$Pr_{c2}(t_{zc}) = 2.366 \quad \underline{Pr_{c2}} := Pr_{c2}(t_{zc})$$

Об'ємні витрати теплоносіїв $\frac{m^3}{c}$

$$V_1 := \frac{G_1}{\rho_1}$$

$$V_2 := \frac{G_2}{\rho_2} = 4.093 \times 10^{-4}$$

Площа поперечного перерізу для проходження теплоносіїв m^2

$$f_1 := 0.0772$$

$$f_2 := 0.14$$

Швидкості руху теплоносіїв $\frac{m}{c}$

$$w_1 := \frac{V_1}{f_1}$$

$$w_2 := \frac{V_2}{f_2} = 2.923 \times 10^{-3}$$

Критерій Рейнольдса для потоку газів

$$Re_1 := \frac{w_1 \cdot d_1}{\nu_1} \quad t_{zc} - n_2 = 4.209$$

Критерій Релея зі сторони води

$$Ra_2 := \frac{9.8 \cdot 0.0005 \cdot (t_{zc} - n_2) L^3 \cdot Pr_2}{\nu_2^2} = 3.256 \times 10^{10}$$

Різниця температур між теплоносіями

$$\Delta t := \left| \begin{array}{l} \Delta t_b \leftarrow t_{11} - t_{21} \\ \Delta t_m \leftarrow t_{12} - t_{22} \\ \Delta t \leftarrow \frac{\Delta t_b - \Delta t_m}{\ln\left(\frac{\Delta t_b}{\Delta t_m}\right)} \text{ if } \overrightarrow{\left(\frac{\Delta t_b}{\Delta t_m}\right)} > 1.7 \\ \Delta t \leftarrow \frac{\Delta t_b + \Delta t_m}{2} \text{ otherwise} \\ \Delta t \end{array} \right.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від газів

$$\alpha_1 := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..N \\ \left| \begin{array}{l} \overrightarrow{Nu}_{1_i} \leftarrow 1.4 \cdot \left(\frac{\overrightarrow{Re}_{1_i} \cdot d_1}{L}\right)^{0.4} \cdot Pr_1^{0.33} \text{ if } \overrightarrow{Re}_{1_i} < 2300 \\ \overrightarrow{Nu}_{1_i} \leftarrow 0.008 \left(\overrightarrow{Re}_{1_i}\right)^{0.9} \cdot Pr_1^{0.43} \text{ if } 2300 \leq \overrightarrow{Re}_{1_i} \leq 10000 \\ \overrightarrow{Nu}_{1_i} \leftarrow 0.021 \left(\overrightarrow{Re}_{1_i}\right)^{0.8} \cdot Pr_1^{0.43} \text{ otherwise} \\ \alpha_{1_i} \leftarrow \frac{\overrightarrow{Nu}_{1_i} \cdot \lambda_1}{d_1} \end{array} \right. \\ \alpha_1 \end{array} \right.$$

Коефіцієнт тепловіддачі до води

$$\alpha_2 := \begin{cases} \text{Nu}_2 \leftarrow 0.76 \cdot (\text{Ra}_2)^{0.25} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_2}{\text{Pr}_{c2}} \right)^{0.25} & \text{if } \text{Ra}_2 < 10^9 \\ \text{Nu}_2 \leftarrow 0.135 (\text{Ra}_2)^{0.33} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_2}{\text{Pr}_{c2}} \right)^{0.25} & \text{if } 10^9 \leq \text{Ra}_2 \leq 10^{13} \\ \alpha_2 \leftarrow \frac{\text{Nu}_2 \cdot \lambda_2}{L} \\ \alpha_2 \end{cases}$$

В разі руху відхідних газів в трубах з кільцевими діафрагмами поправка на інтенсифікацію теплообміну

$$\varphi_1 := \left(1 + \frac{\log(\text{Re}_1) - 4.6}{35} \right) \cdot \left[3 - 2 \cdot e^{\left[\frac{-18.2 \cdot (1-0.96)^{1.13}}{1.7^{0.326}} \right]} \right]$$

Коефіцієнт теплопередачі в разі інтенсифікації теплообміну

$$k := \frac{0.88}{\frac{1}{\varphi_1 \alpha_1} + \frac{(d_2 - d_1)}{2.45} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Питомий тепловий потік

$$q := k \cdot \Delta t$$

Загальний тепловий потік

$$\underline{Q} := \frac{k \cdot \Delta t \cdot F}{1000}$$

Загальний тепловий потік 1

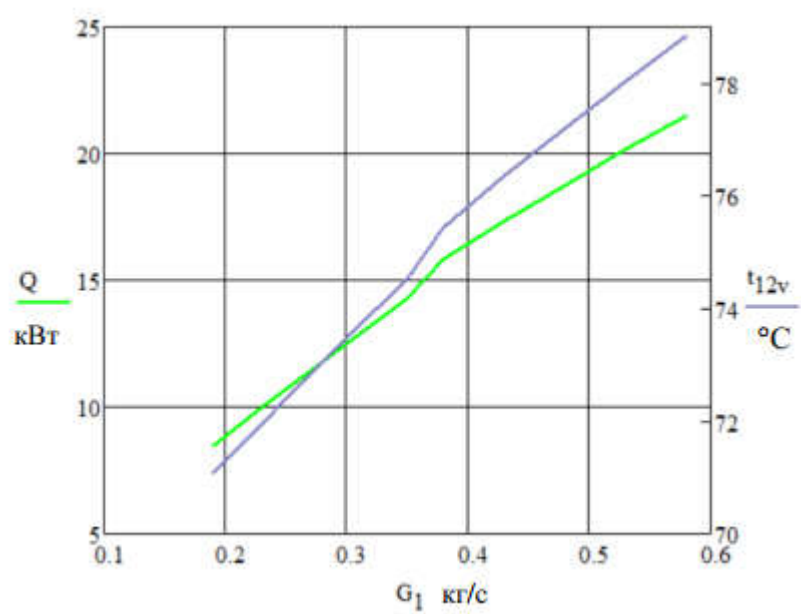
$$Q_1 := G_1 \cdot C_{p1} \cdot (t_{11} - t_{12})$$

Загальний тепловий потік 2

$$Q_2 := G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_{22} - t_{21})$$

Температура води на виході з теплообмінника

$$t_{12v} := t_{21} + \frac{Q}{G_2 \cdot C_{p2}}$$



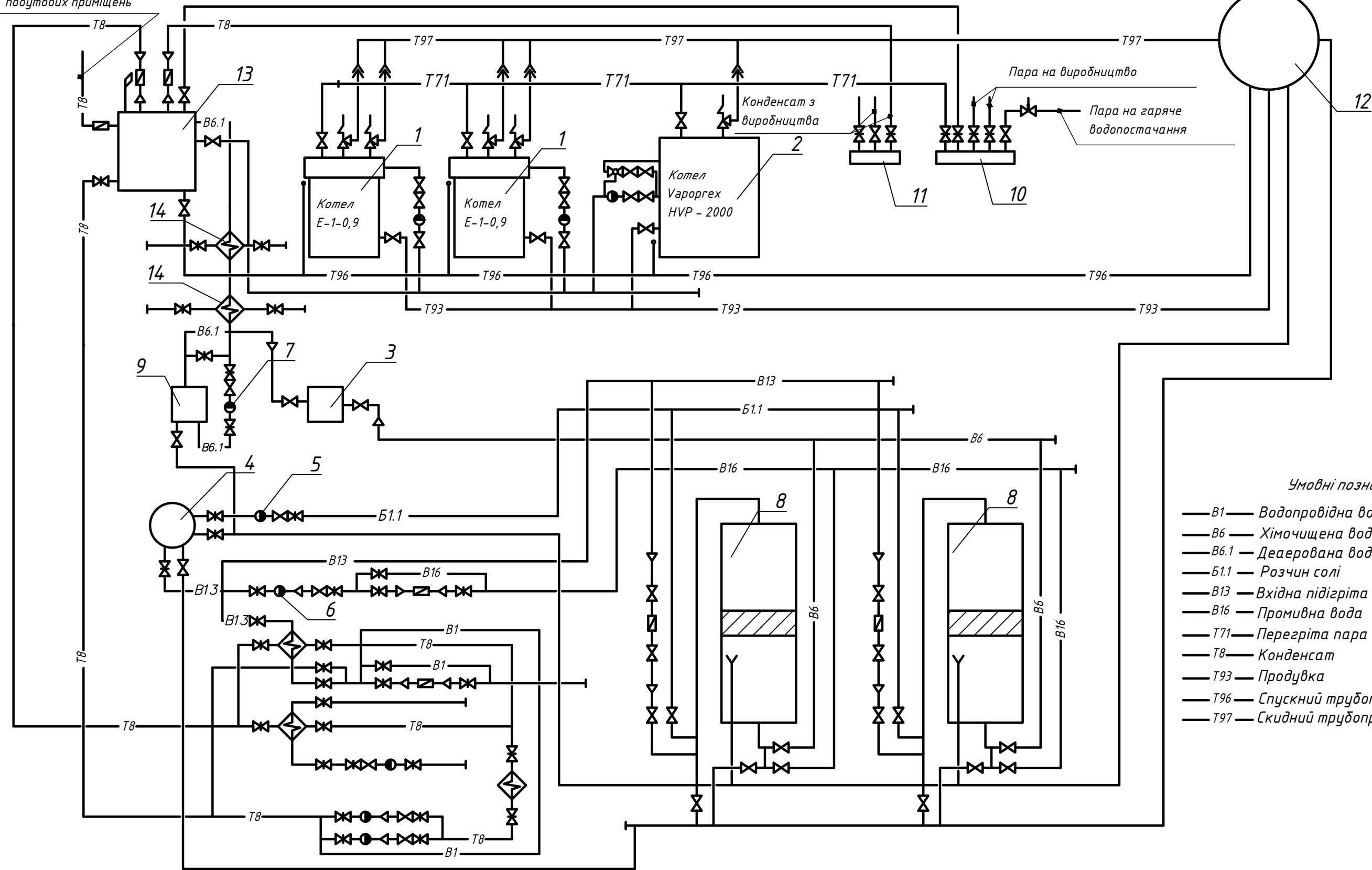
Додаток Г
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОТЕЛЬНІ
ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АВІС»

Перв. заст.	Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
	1	Котел паровий Е-1-9 з передтопком	2	
	2	Котел паровий Varorgex HVP-2000	1	
	3	Конденсатний бак V=5,0 м³	1	
	4	Солерозчинник	1	
	5	Насос розчину солі	1	
	6	Насос промивної води	1	
	7	Насос додаткової води	1	
	8	Фільтр натрію-катіонітовий	2	
	9	Бак хімічищеної води, V=1.5м³	1	
	10	Колектор пари	1	
	11	Колектор конденсату	1	
	12	Скидний колодязь	1	
	13	Деаератор ДА-5	1	
14	Теплообмінник-утилізатор	2		
Довідк. №				
Підп. і дата				
Інв. № дубл.				
Підп. і дата				
Інв. № ориг.				
	</			

Конденсат від
побудових приміщень



Умовні позначення

- B1 — Водопровідна вода
- B6 — Хімічищена вода
- B6.1 — Деаерована вода
- B1.1 — Розчин солі
- B13 — Вхідна підігріта вода
- B16 — Промивна вода
- T71 — Перегріта пара
- T8 — Конденсат
- T93 — Продувка
- T96 — Спускний трубопровід
- T97 — Скидний трубопровід

Погоджено

Зам. інв №

Підпис і дата

Інв. №

Зм.	Кільк.	Арк.	Ндок.	Підп.	Дата
Виконав		Чорний В.О.			
Перевірів		Резидент Н.В.			
Опонент		Бондар А.В.			
Т.контр.					
Н.контр.		Резидент Н.В.			
Затв.		Резидент Н.В.			

08-15.МКР.012.01.00.000 ТЗ

Теплова схема котельні
після реконструкції

Стадія	Маса	Масштаб
М	К	Р
Аркуш	Аркушів	

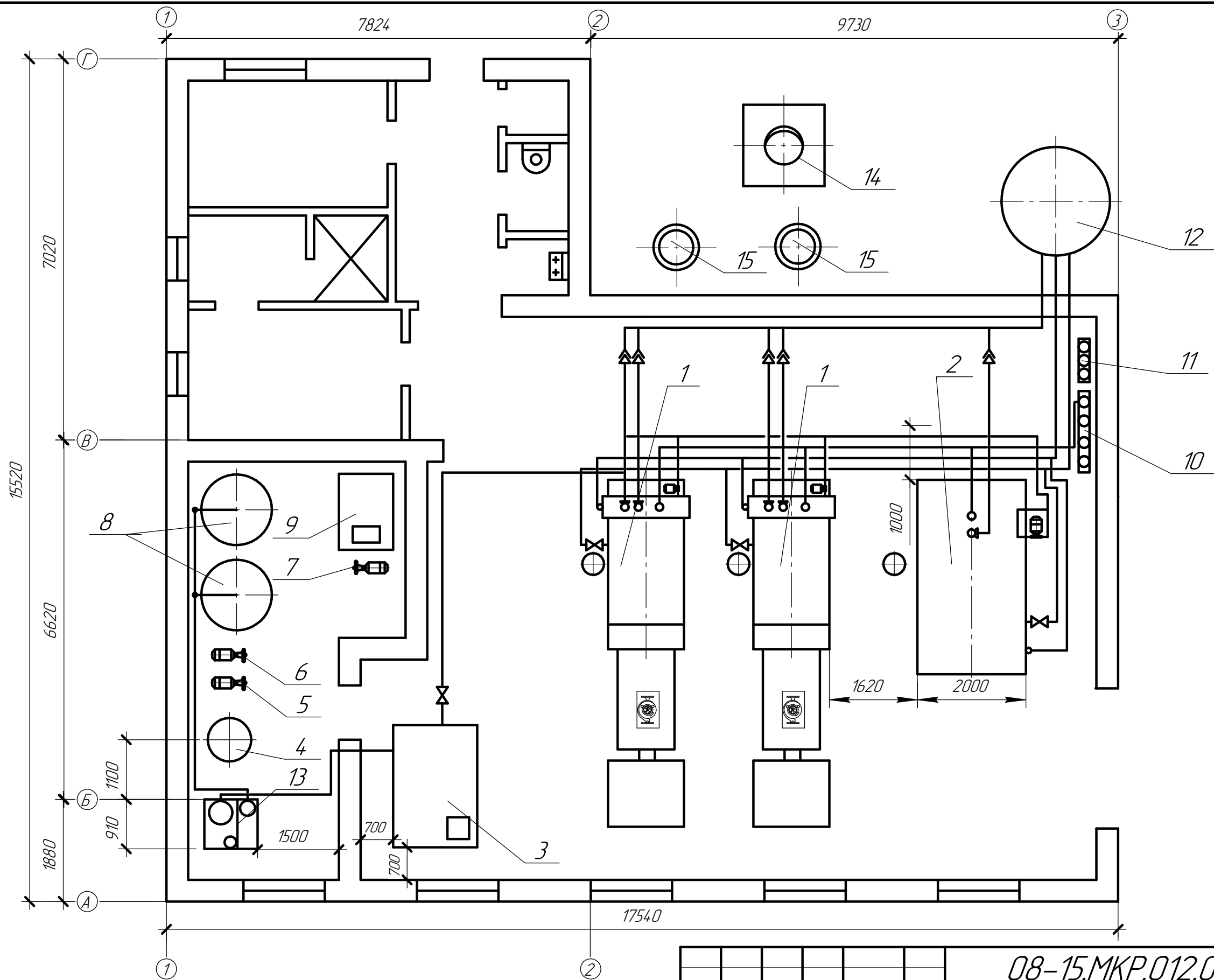
ВНТУ, гр. ТЕ-23м

Формат А3

Перв. заст.	Поз.	Найменування			Кіл.	Примітка	
	1	Котел паровий Е-1-9 з передтопком			2		
	2	Котел паровий Varorex HVP-2000			1		
	3	Конденсатний бак V=5,0 м³			1		
	4	Солерозчинник			1		
Довідк. №	5	Насос розчину солі			1		
	6	Насос промивної води			1		
	7	Насос додаткової води			1		
	8	Фільтр натрій-катіонітовий			2		
	9	Бак хімічищеної води, V=1.5м³			1		
	10	Колектор пари			1		
	11	Колектор конденсату			1		
	12	Скидний колодязь			1		
	13	Деаератор ДА-5			1		
	14	Димова труба			1		
	15	Циклон-утилізатор МЦ-У 400			2		
Підп. і дата							
Інв. № дубл.							
Підп. і дата							
Інв. № ориг.	Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	08-15.МКР.012.02.00.000 План котельні після реконструкції ВНТУ, гр. ТЕ-23м	
	Виконав	Чорний В.О.					
	Перевірів	Резидент Н.В.					
	Опонент	Бондар А.В.					
	Н.контр.	Резидент Н.В.					
	Затв.	Степанов Д.В.					
					Літ.	Аркуш	Аркушів

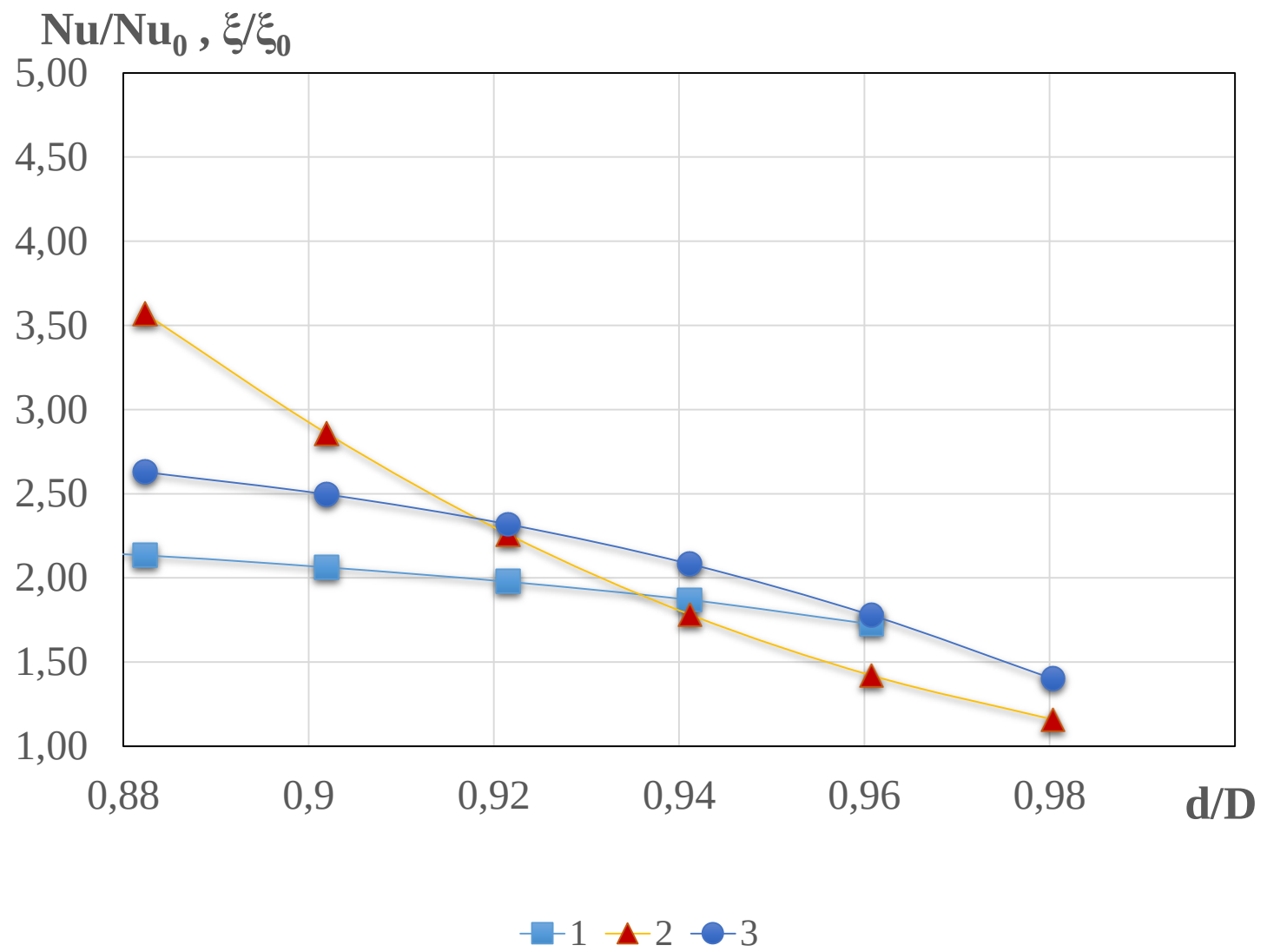
Погоджено:

Зам. інв. №
Підп. і дата
Інв. № ор.

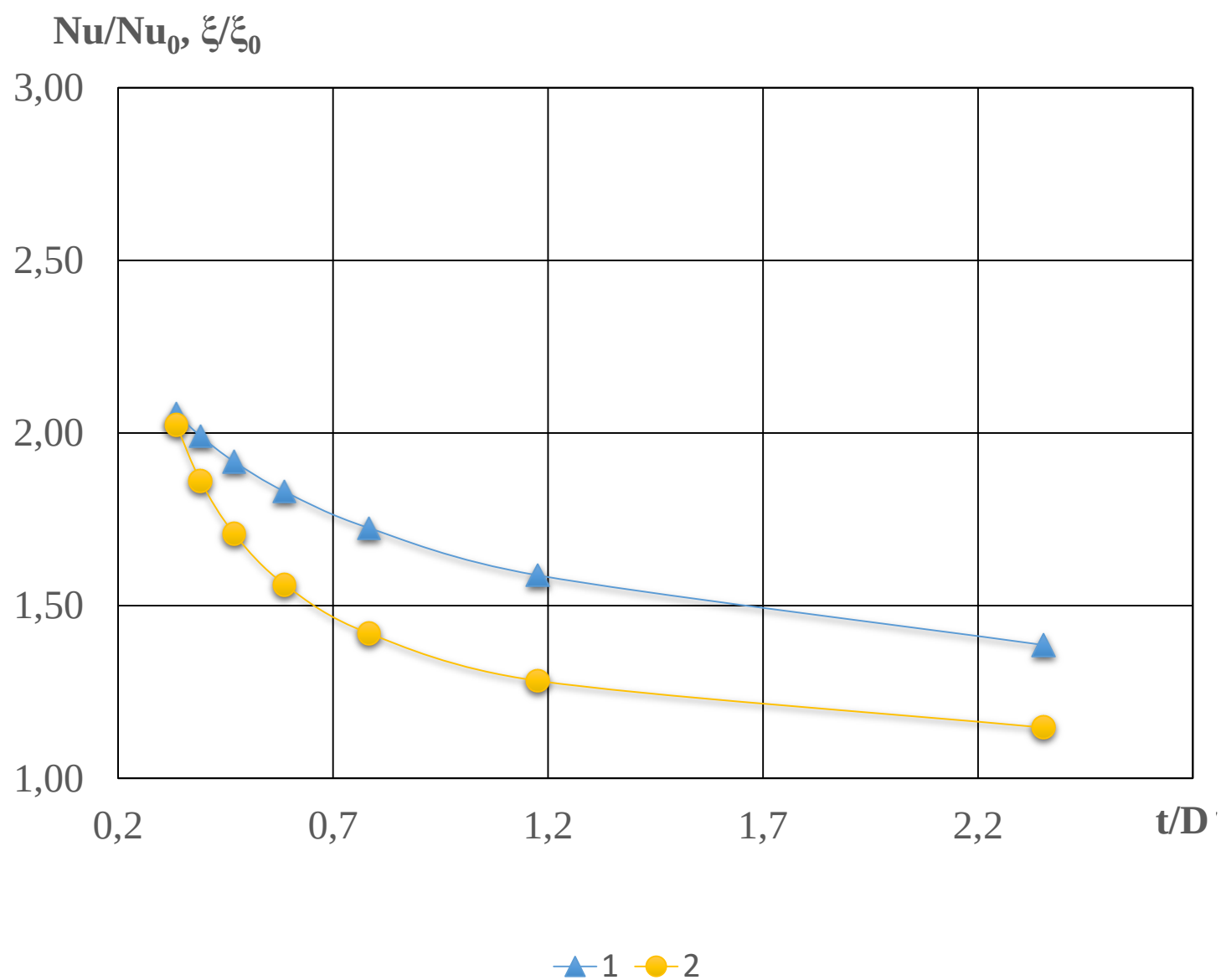


						08-15.МКР.012.02.00.000АР			
						м. Вінниця			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Підвищення ефективності роботи котельні товариства з обмеженою відповідальністю "АВІС"	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив		Чорний В.О.					МКР		1
Перевірив		Резидент Н.В.							
Опонент		Бондар А.В.							
Т. контр.									
Н. контр		Резидент Н.В.				План котельні після реконструкції	ВНТУ, гр. ТЕ-23м		
Затв.		Степанов Д.В.							

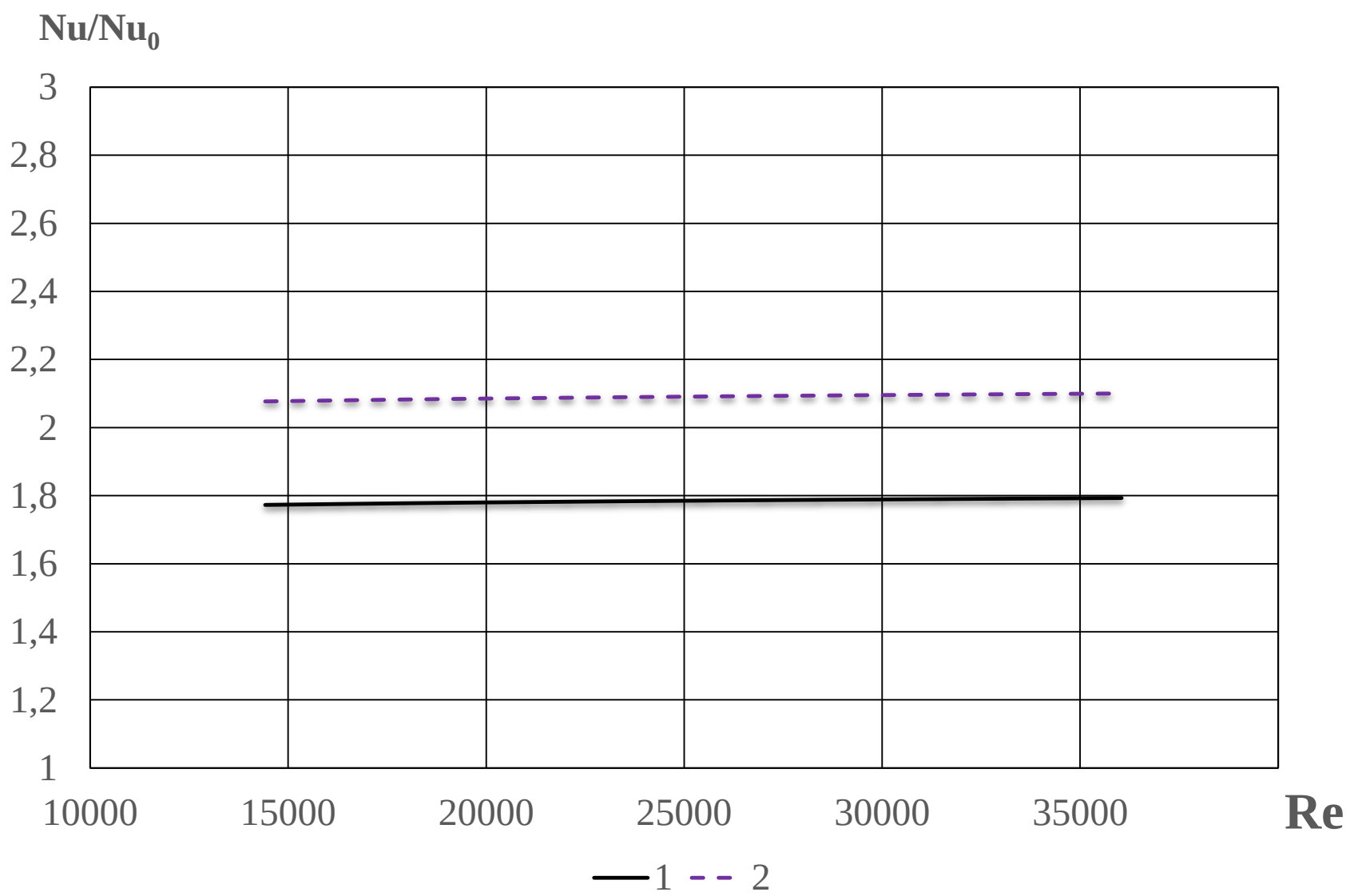
ВПЛИВ НА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ТЕПЛОВІДДАЧІ ВИСОТИ ДІАФРАГМИ d/D



ВПЛИВ НА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ТЕПЛООБМІНУ КРОКУ ДІАФРАГМИ t/D

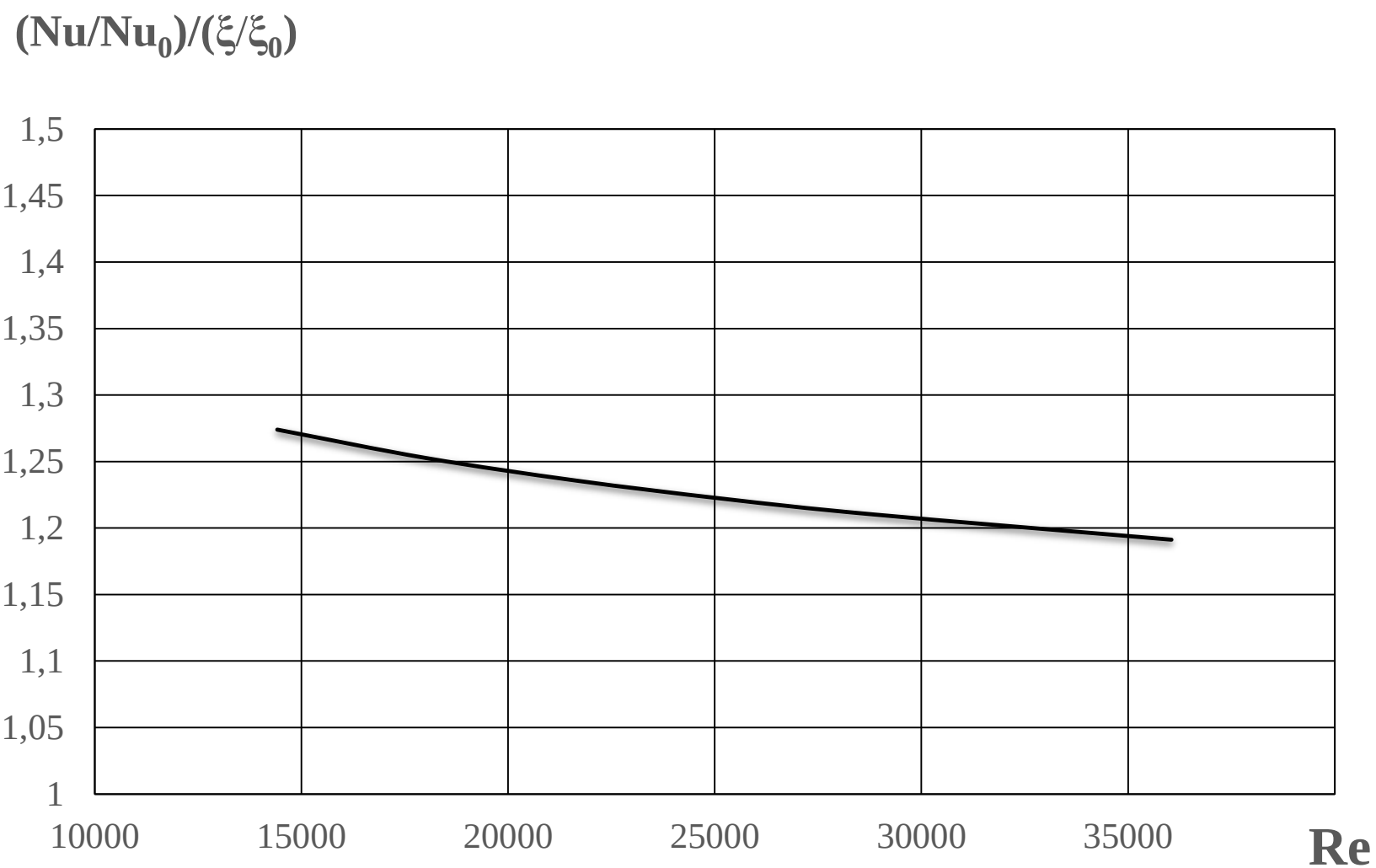


ВПЛИВ Re НА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ТЕПЛООБМІНУ



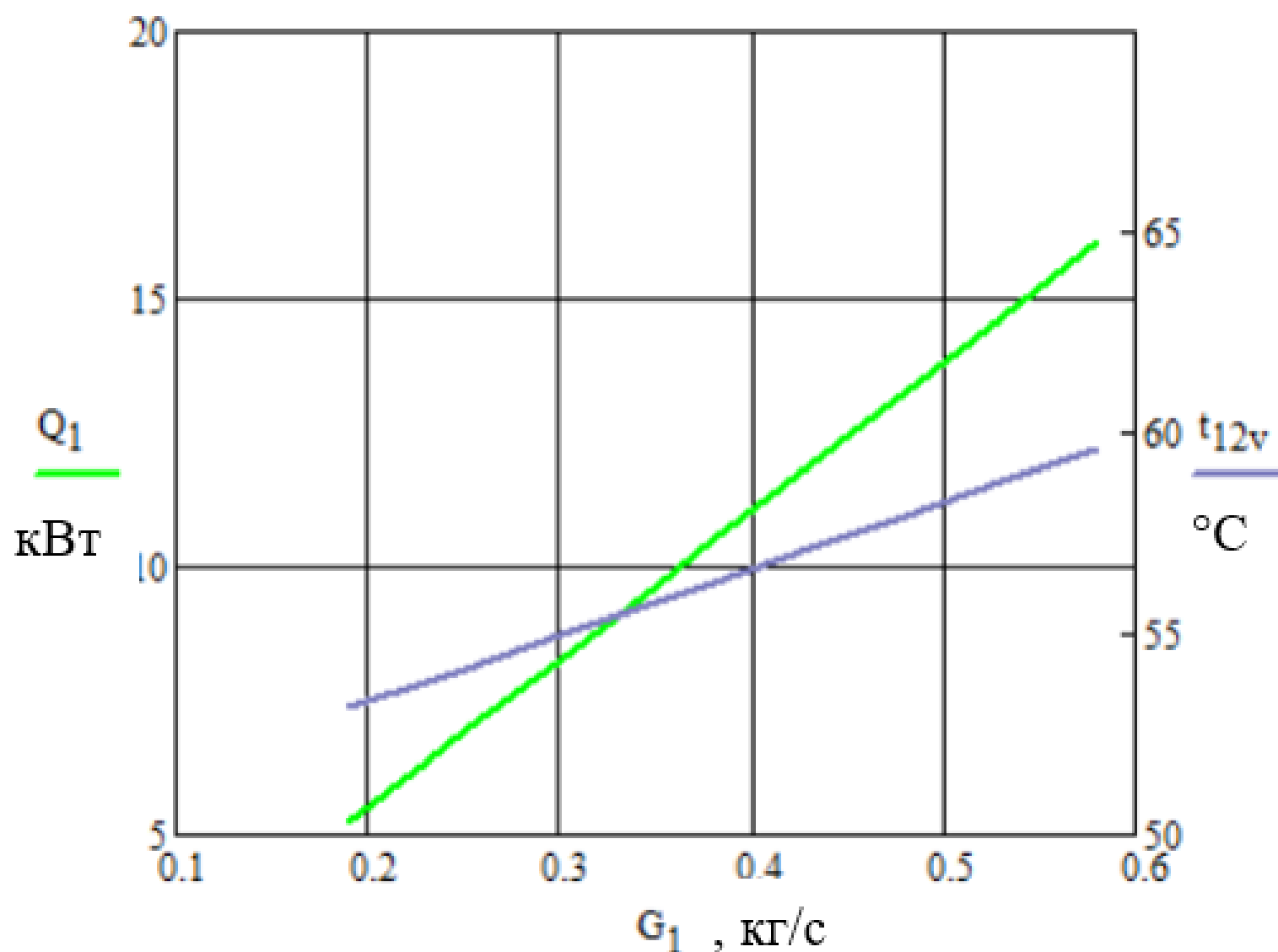
висота діафрагми: 1 – $d/D = 0,96$; 2 – $d/D = 0,94$

ЗАЛЕЖНІСТЬ ФАР ВІД Re

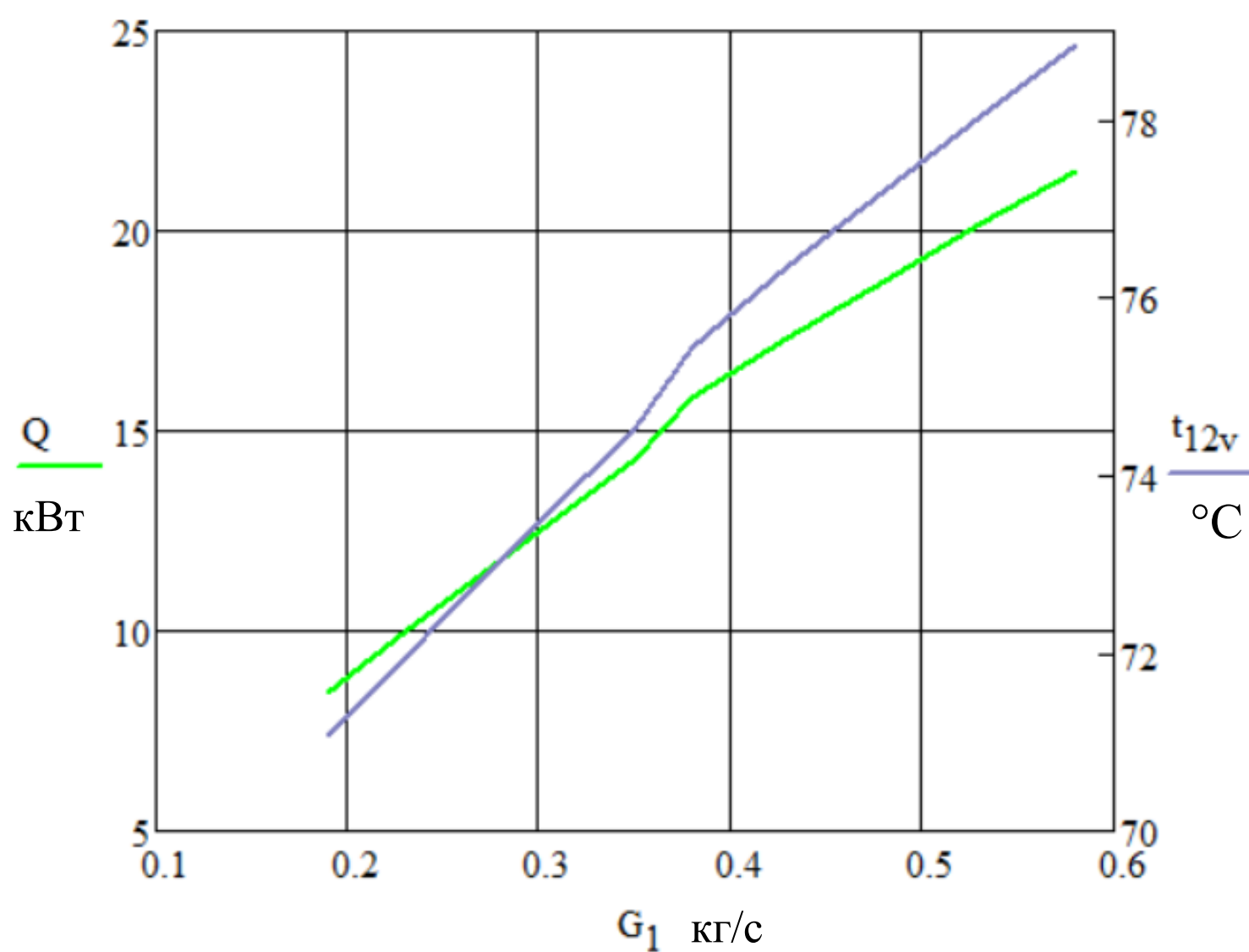


висота діафрагми: 1 – $d/D = 0,96$; 2 – $t/D = 0,784$

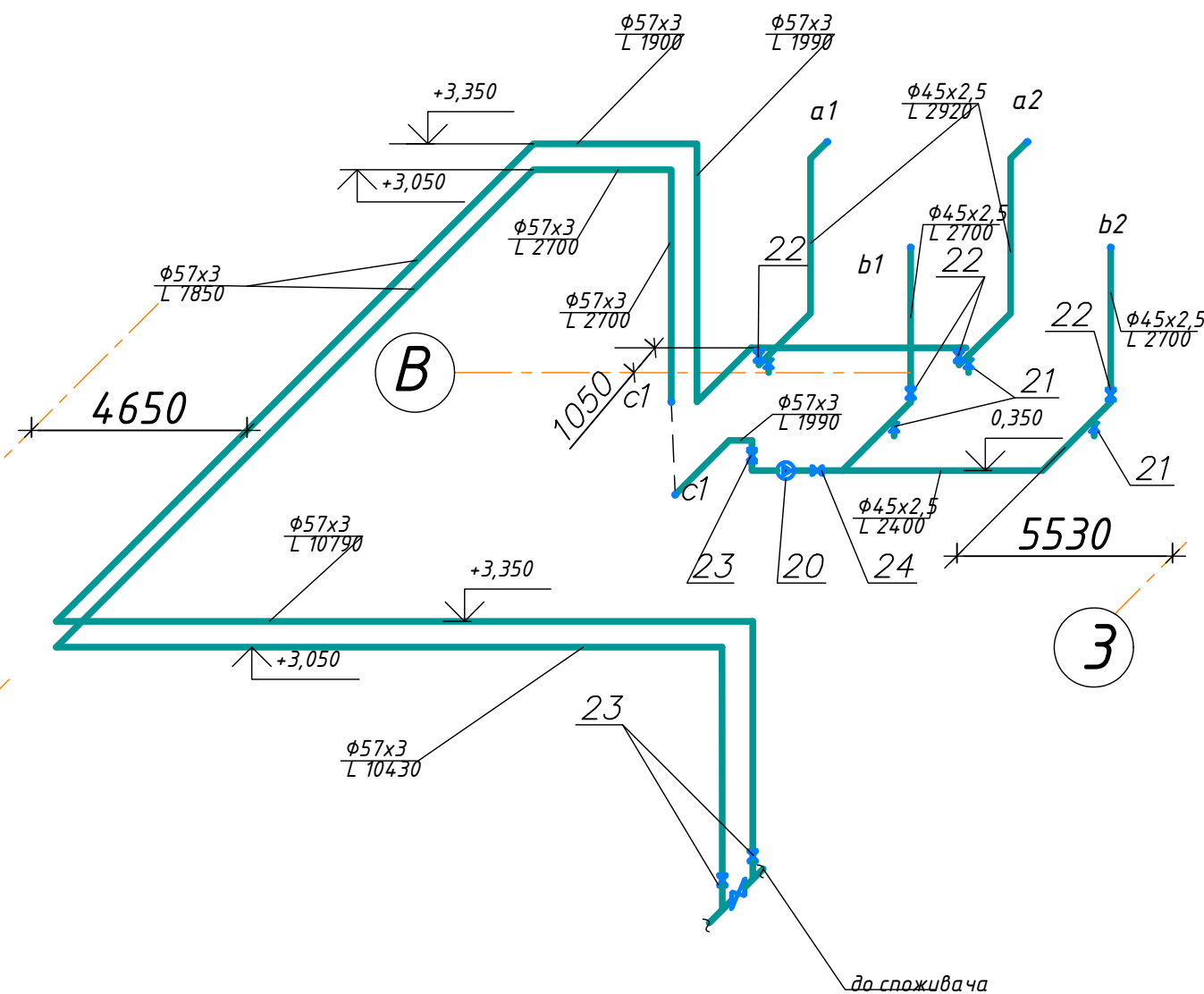
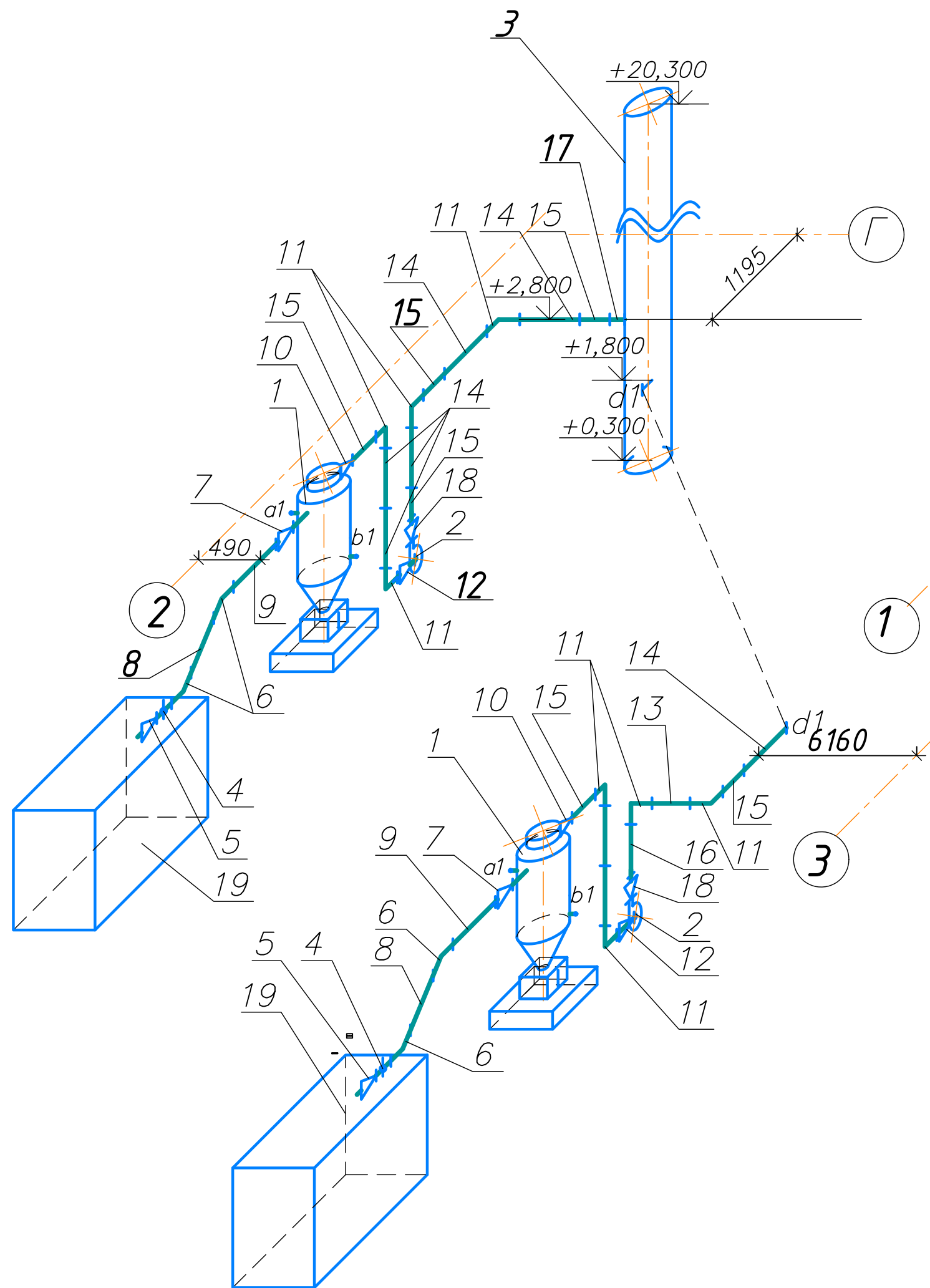
ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОТУЖНОСТІ ТРУБЧАСТОГО ТО (ГЛАДКІ ТРУБИ) І ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ НА ВИХОДІ З ТЕПЛООБМІННИКА ВІД ВИТРАТИ ГАЗІВ



ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОТУЖНОСТІ ТРУБЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА (ТРУБИ З КІЛЬЦЕВИМИ ДІАФРАГМАМИ) І ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ НА ВИХОДІ З ТО ВІД ВИТРАТИ ГАЗІВ



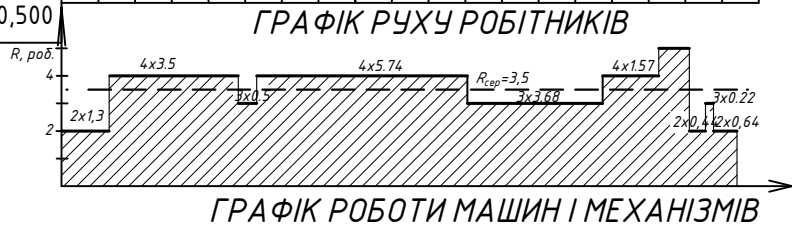
Перв. заст.	Поз.	Найменування				Кіл.	Примітка		
	1	Циклон МЦ 400				2	Встановити на фун-т		
	2	Димосос Д-3,5М				2	Встановити на фун-т		
	3	Труба димова ф 700/760 мм висота 20 м Versia-Lux				1	Встановити на фун-т		
	4	Шидер ф500 мм				2			
Довідк. №	5	Перехід 795x230 / ф500 мм, L = 350 мм				2			
	6	Напіввідвід ф500 мм				4			
	7	Перехід ф500/ 156x666 мм, L = 350 мм				2			
	8	Газохід ф500 мм, L = 988 мм				2			
	9	Газохід ф500 мм, L = 1000 мм				2			
	10	Перехід 446x281 / ф500 мм, L = 350 мм				2			
	11	Відведення 90° ф500				8			
	12	Перехід ф500 / ф373мм, L = 350 мм				2			
	13	Газохід ф500 мм, L = 635 мм				2			
	14	Газохід ф500 мм, L = 1000 мм				9			
Підп. і дата	15	Газохід ф500 мм, L = 500 мм				6			
	16	Газохід ф500 мм, L = 850 мм				1			
	17	Газохід ф500 мм, L = 250 мм				1			
	18	Перехід 250x187 / ф500 мм, L = 350 мм				2			
	19	Парогенератор Е-1-0,9Г				2	Існуючий		
	20	Насос Grundfos MAGNA3 40-150 F				1			
	21	Кран шаровий Ду15				4			
	22	Кран шаровий Ду40				4			
	23	Кран шаровий Ду50				3			
	24	Клапан зворотний Ду50				1			
Інв. № дубл.									
Підп. і дата									
Інв. № ориг.	Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	08-15.МКР.012.06.00.000			
	Виконав	Чорний В.О.				Схема монтажна аксонометрична системи відведення димових газів котлів			
	Перевірів	Резидент Н.В.							
	Опонент	Бондар А.В.							
	Н.контр.	Резидент Н.В.							
Затв.	Степанов Д.В.								
	Літ.	Аркуш	Аркушів		ВНТУ, гр. ТЕ-23м				



						08-15.МКР.012.06.00.000 Г5			
						м. Вінниця			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Підвищення ефективності роботи котельні товариства з обмеженою відповідальністю "АВІС"	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив	Чорний В.О.						МКР		
Перевірів	Резидент Н.В.					Схема монтажна аксонометрична системи очищення відхідних газів котлів	ВНТУ, гр. ТЕ-23м		
Т.контр.									
Опонент	Бондар А.В.								
Н.контр.	Резидент Н.В.								
Затв.	Степанов Д.В.								

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН МОНТАЖУ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ

Номер	Найменування робіт	Одиниця вимірювання	Об'єм	Норма часу, люд-год	Трудомісткість	Склад бригади	Кількість працівників	Тривалість	2024 рік квітень																								
									1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
									1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
									2х1,22																								
1	Доставка деталей до місця монтажу та їх складування	м	4,440	4,400	2,442	1 вантажник, водій	2	1,220																									
2	Розмітка місць прокладання газоходів та трубопроводів	100 м	0,936	1,600	0,190	монтажник 6 і 3 розр.	2	0,094																									
3	Монтаж димової труби D=700 мм та Н=20 м та її опори	м	1,340	83,5200	13,990	монтажник 3 , 4 розр.	4	3,500																									
4	Монтаж циклонів-утилізаторів МЦ-У-400	10 шт.	0,200	59,8400	1,500	монтажник 2 , 4 і 6 розр.	3	0,500																									
5	Монтаж димососа ДН-5	шт.	2,000	35,000	8,750	монтажник 3, 4, 5, 6 розр.	4	2,190																									
6	Прокладання газоходів і фасонних частин Ø500 мм	100 м²	0,4913	231.2	14,2000	монтажник 2, 3, 4, 5 розр.	4	3,550																									
7	Монтаж дросель-клапанів ДК Ø500 мм	шт.	2	2,600	0,650	монтажник 3 , 4, 5 розр.	3	0,220																									
8	Монтаж вибухових клапанів Ø500 мм.	шт.	2	2,130	0,530	монтажник 3 , 4, 5 розр.	3	0,180																									
9	Прокладання трубопроводів діаметром 57х3 мм	м	0,1920	410,200	9,840	монтажник 3 , 4, 2 розр.	3	3,280																									
10	Встановлення зворотних клапанів та кульових кранів Ду 50	10 шт.	0,400	64,000	3,200	монтажник 3 , 4 розр.	2	1,600																									
11	Монтаж насоса Grundfos MAGNA3 40-150 F	1 шт.	1,000	24,520	3,0650	монтажник 3 , 5 розр.	2	1,5300																									
12	Прокладання трубопроводів діаметром 45х2.5 мм	м	0,042	486	2,530	монтажник 3 , 4, 2 розр.	3	0,830																									
13	Встановлення кульових кранів Ду 40	10 шт.	0,400	48,000	2,400	монтажник 3 , 4 розр.	2	1,200																									
14	Випробування трубопроводів	100 м	0,640	8,2200	0,660	монтажник 3 , 4, 5 розр.	3	0,220																									
15	Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію	100 м	0,936	2,400	0,280	монтажник 5,6 розр.	2	0,140																									
16	Повернення засобів механізації на склад	м	1,800	4,400	0,990	вантажник, водій	2	0,500																									
									ГРАФІК РУХУ РОБІТНИКІВ																								



ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ГРАФІКУ РУХУ
РОБІТНИКІВ

№ п/п	Позначення	Формула	Результат	Одиниця виміру
1	$Q_{заг}$	SQ_i	65.22	люд.-дні
2	$T_{заг}$		18.4	дні
3	R_{max}		5	люд.
4	$R_{сер}$	$Q_{заг}/T_{заг}$	3.5	люд.
5	$T_{встан}$		20	дні
6	1	$R_{сер}/R_{max}$	0,7	
7	$\pm_2$	$T_{встан}/T_{заг}$	1.1	

Вантажний автомобіль Isuzu NQR 90-М Борт-тент МТ	<u>1,22</u>											<u>0,5</u>
Ледідка з електроприводом ЛМЧ-0,5					<u>0,84</u>		<u>0,78</u>			<u>0,02</u>	<u>0,11</u>	
Зварювальний напівавтомат Sherman MIG 200HD		<u>3,51</u>		<u>0,68</u>	<u>0,13</u>			<u>1,23</u>		<u>0,1</u>	<u>0,42</u>	
Кутова шліфмашина INTERTOOL WT-0227								<u>0,08</u>			<u>0,03</u>	
Візок гідравлічний ручний Jungheinrich AM 22	<u>1,22</u>											<u>0,5</u>
Насос опресувальний електричний НОЕ 8-40												<u>0,22</u>
Компресор пересувний повітряний ВКП LB340 10-100							<u>1,6</u>					
Ножичний підйомник GS 1932					<u>0,19</u>							
Автокран КС-45729А-С-02	<u>0,2</u>			<u>0,4</u>	<u>0,16</u>							

						08-15.МКР.012.07.00.000 Г5				
						м. Вінниця				
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Підвищення ефективності роботи котельні товариства з обмеженою відповідальністю "АВІС"		Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив		Чорний В.О.						МКР		
Перевірів		Резидент Н.В.								
Т.контр.						Схема монтажна аксонометрична		ВНТУ, зр. ТЕ-23м		
Опонент		Бондар А.В.								
Н.контр.		Резидент Н.В.								
Затв.		Степанов Д.В.								