

Вінницький національний технічний університет  
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
Кафедра теплоенергетики

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему:  
**«Підвищення ефективності роботи водогрійної котельні  
по вулиці Ярославська, 9, місто Ірпінь»**

Виконала: студентка 2 курсу, групи ТЕ-23мз  
спеціальності 144 – Теплоенергетика  
(шифр і назва спеціальності)

О. Гринько Трительницька О. О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТЕ

Резидент Н. В.  
(прізвище та ініціали)

«16» червня 2025 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. БМГА

Бондар А. В.  
(прізвище та ініціали)

«16» червня 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри ІЕ

К.т.н. доц. Степанов Д. В.

(прізвище та ініціали)

«16» червня 2025 р.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕ

Степанов Д.В.

« 24 » 2025 року

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Тригельницькій Ользі Олексіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності роботи водогрійної котельні по вулиці Ярославська, 9, місто Ірпінь

керівник роботи Резидент Наталія Володимирівна, к.т.н., доц. кафедри ТЕ

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025 року № 96

2. Термін подання студентом роботи 11.06.2025

3. Вхідні дані до роботи: температурний графік роботи котельні 95/70 °С; приєднане теплове навантаження 7,36 МВт; паливо – природний газ.

4. Зміст текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити): аналітичний огляд джерел інформації; ефективність роботи існуючої котельні та обґрунтування варіантів її модернізації; організаційно-технологічна частина; економічна частина

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): план існуючої котельні на відм. 0.000; схема котельні існуюча тепла; план котельні після модернізації; план котельні після модернізації; функціональна схема автоматизації обладнання, що встановлюється; схема монтажна аксонометрична; календарний план виконання монтажних робіт; графічні залежності отримані за результатами досліджень.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата                |                     |
|--------|---|-----------------------------|---------------------|
|        |   | завдання<br>видав           | завдання<br>прийняв |
| 1 – 4  | Резидент Н. В., к.т.н., доц. кафедри ТЕ   | <i>[Signature]</i> 24.03.25 | <i>[Signature]</i>  |
| 5      | Лялюк О. Г., к.т.н., доц. кафедри БМГА    | <i>[Signature]</i> 24.03.25 | <i>[Signature]</i>  |

7. Дата видачі завдання 24.03.2025

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи                                | Термін виконання етапів роботи | Примітки    |
|-------|--|--------------------------------|-------------|
| 1     | Аналітичний огляд джерел інформації  | 25.03.25...02.04.25            | <i>вик.</i> |
| 2     | Ефективність роботи існуючої котельні та обґрунтування варіантів її модернізації | 03.04.25...17.04.25            | <i>вик.</i> |
| 3     | Організаційно-технологічна частина   | 18.04.25...04.05.25            | <i>вик.</i> |
| 4     | Економічна частина   | 05.05.25...21.05.25            | <i>вик.</i> |
| 5     | Оформлення МКР   | 22.05.25...29.05.25            | <i>вик.</i> |
| 6     | Попередній захист МКР  | 30.05.25...17.06.25            | <i>вик.</i> |
| 7     | Захист МКР   | 09.06.25...27.06.25            | <i>вик.</i> |

Студентка *[Signature]* Трительницька О.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи *[Signature]* Резидент Н. В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Трительницька О.О. Підвищення ефективності роботи водогрійної котельні по вулиці Ярославська, 9, місто Ірпінь. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 Теплоенергетика. Освітня програма – Теплоенергетика. Вінниця ВНТУ, 2025. 98 с.

Бібліогр.: 50 назв; рис. 15; табл. 22.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблені технічні рішення щодо заміщення природного газу відновлюваними видами палива, зменшення собівартості виробництва теплової енергії та шкідливого впливу на довкілля. В першому розділі проаналізовані заходи щодо зменшення шкідливого впливу на довкілля об'єктів теплоенергетики. В другому розділі обґрунтовано вид палива для котлів, підібрано основне обладнання котельні. В третьому розділі виконано комп'ютерне моделювання процесів в системі очищення відхідних газів твердопаливних котлів, визначено ефективність її роботи. У технологічній частині розроблено технологію монтажу водогрійного котла та технічні рішення щодо автоматизації котлів. В п'ятому розділі визначені техніко-економічні показники роботи котельні за прийнятими проектними рішеннями. Ілюстративна частина роботи містить 9 аркушів формату А3.

Ключові слова: водогрійний котел, пелети, відновлювальні джерела енергії, природний газ, викиди, економічна ефективність.

## ABSTRACT

Trytelnytska O. O. Increasing the efficiency of the hot water boiler room at 9 Yaroslavskaya Street, Irpin city. Master's qualification work on specialty 144 Thermal power engineering, educational program – Thermal power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 98 p.

Bibliography: 50 titles, Fig. 15; table 22.

The master's qualification work develops technical solutions for replacing natural gas with renewable fuels, reducing the cost of thermal energy production and harmful impact on the environment. The first section analyzes measures to reduce the harmful impact of thermal energy facilities on the environment. In the second section, the type of fuel for boilers is justified, the main equipment of the boiler room is selected. In the third section, computer modeling of processes in the exhaust gas purification system of solid fuel boilers is performed, and the efficiency of its operation is determined. In the technological part, the technology of installing a water heating boiler and technical solutions for boiler automation are developed. In the fifth section, the technical and economic indicators of the boiler room operation are determined according to the adopted design solutions. The illustrative part of the work contains 9 sheets of A3 format.

Keywords: hot water boiler, pellets, renewable energy sources, natural gas, emissions, economic efficiency.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| <b>ВСТУП</b> .....   | 4  |
| <b>1 АНАЛІЗ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВОГО<br/>ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ</b> .....                  | 6  |
| 1.1 Історичний розвиток систем теплопостачання та вплив об'єктів<br>теплоенергетики на навколишнє середовище.....        | 6  |
| 1.2 Огляд відновлювальних джерел енергії (біопалива) .....   | 9  |
| 1.3 Висновки до розділу .....  | 14 |
| <b>2 ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ІСНУЮЧОЇ КОТЕЛЬНІ<br/>ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВАРІАНТІВ ЇЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ</b> .....                      | 16 |
| 2.1 Загальна характеристика об'єкта.....   | 16 |
| 2.2 Обґрунтування варіантів модернізації котельні .....  | 18 |
| 2.3 Сумісна робота газових та твердопаливних котлів .....  | 17 |
| 2.4 Підбір основного обладнання .....  | 30 |
| 2.5 Висновки до розділу .....  | 36 |
| <b>3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СИСТЕМИ<br/>ОЧИЩЕННЯ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ КОТЛА В SOLIDWORKS<br/>FLOW SIMULATION</b> ..... | 38 |
| 3.1 Дослідження аеродинаміки та ефективності циклона-утилізатора .....   | 38 |
| 3.2 Дослідження інтенсивності теплообміну та потужності<br>теплообмінника .....  | 44 |
| 3.3 Висновки до розділу .....  | 49 |
| <b>4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> .....  | 50 |
| 4.1 Технологія монтажу котла КОЛВІ 8000Р.....  | 50 |
| 4.2. Технологія та особливості монтажу пелетного котла .....   | 67 |
| 4.3 Автоматизація котлів .....   | 70 |
| 4.4 Висновки до розділу .....  | 76 |
| <b>5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b> .....  | 77 |
| 5.1 Кошторис на влаштування обладнання .....   | 77 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.2 Оцінка собівартості виробництва теплової енергії .....                                 | 79  |
| 5.3 Напрями впровадження пелетних котлів .....   | 87  |
| 5.4 Висновки до розділу .....  | 90  |
| <b>ВИСНОВКИ</b> .....  | 91  |
| <b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b> .....   | 93  |
| Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки МКР на наявність<br>текстових запозичень ..... | 99  |
| Додаток Б (обов'язковий) Технічне завдання .....   | 100 |
| Додаток В (довідковий) Режимна карта котла ТВГ-8М .....                                    | 103 |
| Додаток Г (довідковий) Режимна карта котла КОЛВІ 8000, перша секція ..                     | 104 |
| Додаток Д (довідковий) Режимна карта КОЛВІ 8000, друга секція.....                         | 105 |
| Додаток Е (обов'язковий) Ілюстративна частина .....  | 106 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Питання енергетичної безпеки країни та зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв, насамперед природного газу, залишаються пріоритетними напрямками державної політики в сфері енергоефективності. Стрімке зростання тарифів, державна і міжнародна підтримка, а також розвиток внутрішнього ринку виробництва енергетичного обладнання сприяють активному розвитку біоенергетичного сектору в Україні та пошуку альтернативних видів палива.

Використання відновлюваних джерел енергії дозволяє значно знизити викиди CO<sub>2</sub> у порівнянні з традиційними видами палива, такими як вугілля чи природний газ, зокрема перехід на спалювання біомаси забезпечує довгострокову економію коштів та підтримує сталий розвиток енергетики.

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

**Мета роботи** – підвищення ефективності виробництва теплової енергії та зменшення шкідливого впливу на довкілля водогрійної котельні шляхом заміщення природного газу відновлюваними джерелами енергії та застосування систем очищення газових потоків з утилізаторами теплоти.

### **Завдання роботи:**

- проаналізувати інформацію щодо впливу об'єктів теплоенергетики на довкілля та перспективи впровадження відновлюваних джерел енергії;

- проаналізувати ефективність роботи існуючої котельні та обґрунтувати її варіанти її модернізації;

- дослідити показники роботи системи очищення відхідних газів котла в SolidWorks Flow Simulation;

- розробити технологію монтажу та функціональну схему автоматизації обладнання, що встановлюється;

- визначити економічні показники роботи водогрійної котельні після модернізації.

**Об’єкт дослідження.** Процеси виробництва теплової енергії у водогрійній котельні.

**Предмет дослідження.** Підвищення ефективності виробництва теплової енергії у водогрійній котельні.

**Новизна одержаних результатів.** Набули подальшого розвитку методи оцінки ефективності систем очищення газових потоків з утилізаторами теплоти відхідних газів котлів з використанням CFD-моделювання.

**Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.**

Результати роботи доповідались і обговорювались на LIV Всеукраїнській науково-технічній конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2025).

**Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи.**

Результати роботи опубліковані в матеріалах конференції [1].

# 1 АНАЛІЗ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

## 1.1 Вплив об'єктів теплоенергетики на довкілля

Історія систем теплопостачання тісно переплітається з еволюцією людської цивілізації, відображаючи прогрес у технологіях, урбанізації та використанні енергії. Від примітивних відкритих вогнищ до сучасних мереж централізованого теплопостачання розвиток систем теплопостачання був зумовлений потребою в комфорті, ефективності та сталості. З кінця ХХ-го століття зростаюче занепокоєння щодо впливу на навколишнє середовище та енергетичної безпеки визначило сучасну еволюцію теплопостачання. Відбувся зсув у бік відновлюваних джерел енергії, включаючи біомасу (наприклад, деревні пелети), сонячні теплові системи та теплові насоси. Також було докладено зусиль для підвищення ефективності систем за рахунок ізоляції, розумного управління та інтеграції з низьковуглецевими джерелами енергії.

Об'єкти теплоенергетики відіграють важливу роль у виробництві енергії, але також мають значні екологічні наслідки, використовуючи переважно викопні види палива, такі як вугілля, нафта та природний газ. Хоча вони роблять значний внесок в енергопостачання, вони також мають значний вплив на навколишнє середовище, який необхідно враховувати. Викопне паливо – вугілля, нафта та газ безперечно є найбільшим джерелом глобальної зміни клімату, на нього припадає понад 75 % глобальних викидів парникових газів і майже 90 % усіх викидів вуглекислого газу. Оскільки викиди парникових газів покривають Землю, вони затримують сонячне тепло. Це призводить до глобального потепління та зміни клімату. Зараз світ нагрівається швидше, ніж будь-коли в історії. Майже всі частини електро- та теплоенергетичної системи можуть впливати на навколишнє середовище, і розмір цього впливу залежатиме від того, як виробляється та куди

доставляється енергія [2]. Загалом вплив на навколишнє середовище може включати:

- викиди парникових газів та інших забруднювачів повітря, особливо при спалюванні палива;
- використання водних ресурсів для виробництва пари, забезпечення охолодження та виконання інших функцій;
- скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти, в тому числі теплового (температура води вище вихідної температури водного об'єкта);
- утворення твердих відходів, які можуть включати небезпечні відходи;
- вплив на рослини, тварин і екосистеми в результаті впливу на повітря, воду, відходи та землю.

Теплові електростанції є основним джерелом CO<sub>2</sub>, парникового газу, який сприяє зміні клімату. Вугільні електростанції викидають найбільше CO<sub>2</sub>, тоді як станції, що працюють на природному газі, викидають менше, але все одно сприяють глобальному потеплінню. Тверді частинки, що виділяються при спалюванні вугільного палива, можуть проникати глибоко в легені, викликаючи астму, рак легенів та інші проблеми зі здоров'ям. Також небезпечними є діоксид сірки (SO<sub>2</sub>) та оксиди азоту (NO<sub>x</sub>) – ці гази спричиняють кислотні дощі, які завдають шкоди лісам, ґрунтам та водоймам. NO<sub>x</sub> також сприяє утворенню приземного озону та смогу, що призводить до респіраторних захворювань. CO<sub>2</sub>, метан (CH<sub>4</sub>) та інші викиди теплових електростанцій затримують тепло в атмосфері, що призводить до глобального потепління. Підвищення температури призводить до екстремальних погодних явищ, таких як урагани, посухи та спека. Зміна клімату, спричинена викидами електростанцій, сприяє таненню льоду в полярних регіонах, підвищенню рівня моря та загрожує прибережним громадам [3].

Теплові електростанції використовують велику кількість води практично на кожному етапі процесу. Виробництво електроенергії є одним з найбільших промислових споживачів води, більшість води використовується для охолодження на місці. Поряд з охолоджувальною водою, котли та системи

десульфуризації димових газів (FGD) або системи мокрого очищення також сприяють загальному використанню води. Через великий обсяг необхідної води електростанції зазвичай розташовують поблизу природних джерел води, таких як річки, де вони можуть забирати воду в станцію для використання [4].

Видобуток палива, такого як вугілля, нафта і газ, шкодить екосистемам і виснажує природні ресурси. Вугільні електростанції виробляють токсичні золи та шлам, які потребують безпечної утилізації. Атомна енергетика створює радіоактивні відходи, які потребують рішень для довгострокового зберігання.

У ширшому плані кілька рішень можуть допомогти зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, пов'язаний з виробництвом електроенергії, зокрема через підвищення енергоефективності, чисту централізовану та розподілену генерацію.

Енергоефективність. Зменшення рівня енергоємності виробництва; впровадження екофільних і енергозберігаючих технологій, ефективного та раціонального використання власних енергетичних ресурсів, освоєння й використання відновлюваних і альтернативних джерел енергії. Підвищення енергоефективності у виробництві та споживанні енергії [5].

Чиста централізована генерація. Нові та існуючі електростанції можуть зменшити вплив на навколишнє середовище за рахунок підвищення ефективності виробництва, встановлення засобів контролю забруднення та використання екологічно чистіших джерел енергії. Впровадження технологій уловлювання вуглецю та контролю викидів. Використання систем сухого охолодження може зменшити споживання води. Заохочення сталих практик, таких як когенерація для максимізації ефективності.

Чиста розподілена генерація. Деякі види розподіленої генерації, як-от розподілена відновлювана енергія, можуть допомогти забезпечити доставку чистої та надійної електроенергії клієнтам і зменшити втрати електроенергії на лініях передачі та розподілу.

Впроваджуючи більш чисті енергетичні рішення та підвищуючи ефективність, об'єкти теплоенергетики можуть зменшити свій вплив на навколишнє середовище, водночас задовольняючи попит на енергію.

## 1.2 Відновлювані джерела енергії (біопалива)

Питання енергетичної безпеки країни, зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв залишаються пріоритетними напрямками державної політики в сфері енергоефективності. Стрімке зростання тарифів, державна та міжнародна підтримка, розвиток внутрішнього ринку виробництва енергетичного обладнання сприяють подальшому стрімкому розвитку сектору біоенергетики в Україні та пошуку альтернативних видів палива.

Біопаливо – це відновлюване джерело енергії, отримане з органічних матеріалів. Енергія, вироблена з біомаси, є стійкою альтернативою викопному паливу, перш за все тому, що вона походить з відновлюваних ресурсів.

Біопаливо може приймати різні форми, кожна з яких має унікальне застосування:

- деревина – широко використовується для опалення в житлових, комерційних і промислових приміщеннях і може бути у формі деревної стружки, тирси або деревних гранул;

- культури та відходи – побічні продукти сільського господарства, такі як кукурудзяні стебла та солома, а також такі культури, як кукурудза, соя та пшениця, використовуються для виробництва біопалива, а також для виробництва тепла та електроенергії;

- тверді міські відходи – переважно побутові відходи, їх можна спалювати для виробництва енергії або перетворювати на паливо;

- відходи тваринництва – побічні продукти, такі як гній, перетворюються на біогаз шляхом анаеробного зброджування, який можна використовувати для отримання енергії або опалення;

- водорості – водорості, які вирощуються в контрольованому середовищі, наприклад у ставках або резервуарах, є ефективним джерелом для виробництва біодизелю;

- енергетичні культури – певні культури, такі як просо або верба, вирощуються виключно для виробництва енергії, забезпечуючи біомасу для виробництва тепла, електроенергії та рідкого біопалива;

- водні рослини – такі рослини, як водяний гіацинт і ряска, які часто культивуються у водному середовищі, використовуються для виробництва електроенергії [6].

Біопаливо має кілька переваг перед традиційним викопним паливом:

- відновлюваність: біопаливо отримують з органічних матеріалів, що робить її відновлюваним ресурсом, який можна відновлювати з часом;

- вуглецевий нейтралітет: енергія біопалива вважається вуглецево-нейтральною, оскільки вуглекислий газ, що виділяється під час згорання, компенсується вуглецем, поглиненим під час росту рослин;

- зменшення відходів: використання біопалива допомагає зменшити кількість відходів на звалищах, перетворюючи органічні матеріали, такі як тирса, сільськогосподарські залишки та ТПВ, на паливо;

- місцеві джерела: біопаливо часто можна отримати з місцевих джерел, що зменшує витрати на транспортування та підтримує місцеву економіку;

- енергетична безпека: зменшуючи залежність від імпортованого викопного палива, біопаливо сприяє енергетичній безпеці;

- економічна ефективність: хоча початкові інвестиції в системи біопалива можуть бути високими, поточні витрати на виробництво та джерела часто нижчі, ніж витрати на викопне паливо;

- екосистемні послуги: виробництво біопалива може сприяти таким екологічним перевагам, як збереження ґрунту та біорізноманіття, наприклад, сільськогосподарські відходи можуть допомогти запобігти ерозії ґрунту та втраті поживних речовин.

Однак ефективність і вплив на навколишнє середовище енергії з біопалива залежать від таких факторів, як вибір сировини, методи її переробки та практики землекористування.

В законі України «Про альтернативні види палива» визначено, що біопаливо – тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлюваної сировини (біомаси), що може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива.

Біомаса – невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов’язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу [7].

Основними типами пресованого твердого біопалива є гранули та брикети. Гранули – це спресовані частинки рослинного походження, що мають форму циліндрів діаметром від 5 – 6 до 25 мм, довжиною 10 – 80 мм. Пресовані частинки діаметром понад 25 мм уже вважаються брикетами. Крім того, брикети, залежно від способу їх виробництва, можуть бути циліндричної, призматичної, прямокутної форми, які показані на рис. 1.1.



Брикети з деревини типу Pinus Kay (так звані «євродрова»), екструдерне пресування



Брикети з деревини, отримані на ударно-механічному пресі



Брикети з соломи, екструдерне пресування



Брикети з деревини типу RUF, отримані на гідравлічному пресі, пресування в двох напрямках

Рисунок 1.1 – Брикети, отримані за допомогою різних технологій пресування

В Україні виробляють різні види гранул та брикетів з використанням деревини, лушпиння соняшника, соломи зернових, костриці льону, відходів переробки зерна, торфу, лігніну та інших матеріалів. Найбільш поширеною сировиною є деревина та лушпиння соняшника, на які припадає до 90 % всіх виготовлених гранул та брикетів, які показані на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Гранули з різних видів сировини [8]

Енергія біомаси також може бути використана за допомогою різних технологій перетворення показана на рис. 1.3, зокрема:

- спалювання – спалювання біомаси для виробництва теплоти або електроенергії в котлах та електростанціях;
- газифікація – перетворення біомаси на синтез-газ (суміш чадного газу, водню і метану) для виробництва електроенергії або синтезу палива;

- анаеробне зброджування – використання мікроорганізмів для розщеплення органічних відходів і виробництва біогазу (багатого на метан газу) для опалення або виробництва електроенергії;

- ферментація – перетворення цукрів і крохмалю в біомасі на біоетанол, відновлюване рідке паливо для транспорту.

В останні роки біомаса привернула увагу світової спільноти як альтернатива викопним видам палива, що допомагає зменшити викиди парникових газів, сприяти переробці відходів та підвищити енергетичну безпеку. Багато країн інвестують у технології використання біомаси для переходу до більш стійкої та екологічної енергетичної системи. Однак для забезпечення довгострокової сталості енергії з біомаси необхідно ретельно вирішувати такі проблеми, як вирубка лісів, конкуренція за земельні ресурси та забруднення повітря внаслідок неефективного спалювання.

Впровадження об'єктів генерації на біомасі сприяє залученню сучасних, передових технічних рішень у сферу теплопостачання, розвитку виробництва нового обладнання, надання нових робочих місць [9].

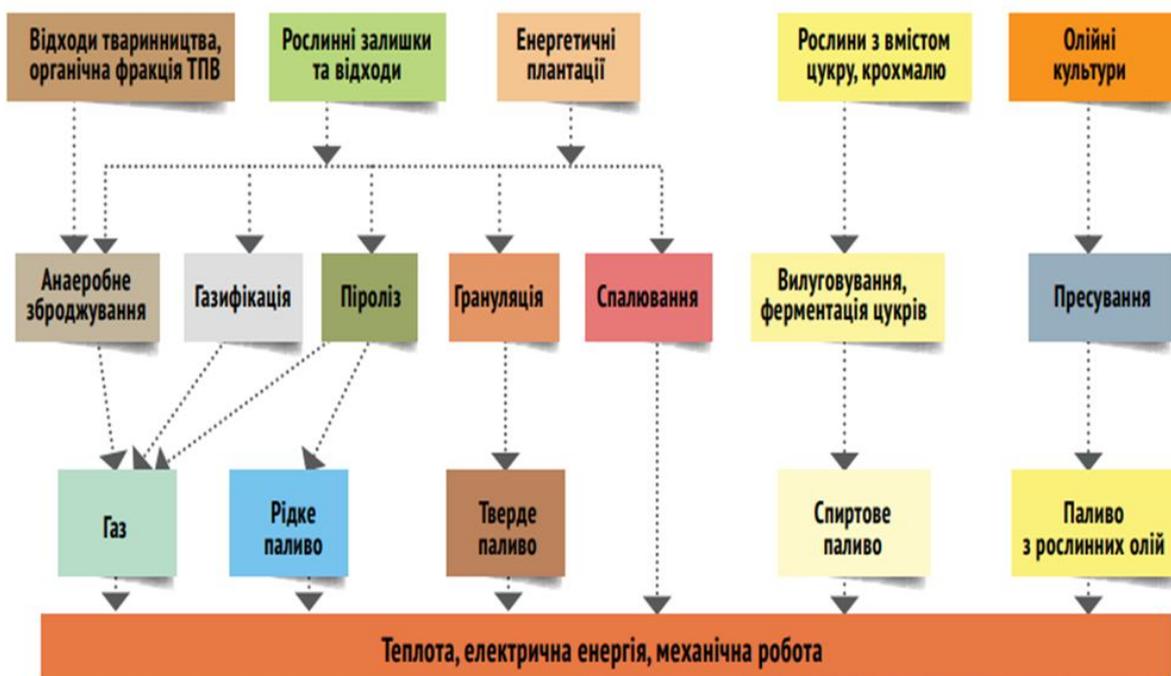


Рисунок 1.3 – Способи виробництва енергії з біомаси [9]

### 1.3 Висновки до розділу

Традиційні об'єкти теплоенергетики, особливо ті, що працюють на викопних видах палива, таких як вугілля, нафта та природний газ, мають значний негативний вплив на довкілля. Вони сприяють забрудненню повітря, викидам парникових газів, забрудненню води та руйнуванню середовища існування. При спалюванні викопного палива виділяється велика кількість вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), діоксиду сірки ( $\text{SO}_2$ ), оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) та твердих частинок, що призводить до глобального потепління, кислотних дощів та респіраторних захворювань. Крім того, ці об'єкти споживають величезну кількість води для охолодження та скидають нагріті стічні води, що порушує водні екосистеми.

Використання енергії біопалива є альтернативою викопним видам палива для виробництва тепла та електроенергії. Біопаливо, отримане з органічних матеріалів, таких як деревина, сільськогосподарські відходи та відходи тваринництва, може бути перетворене в енергію за допомогою різних технологій. За умови сталого управління, енергія біопалива може значно скоротити викиди парникових газів, сприяти переробці відходів та підвищити енергетичну безпеку.

Хоча біопаливо має численні переваги, воно повинно бути інтегроване з іншими технологіями чистої енергії, такими як вітрова, сонячна та гідроенергія, для створення стійкої енергетичної системи. Аналіз відновлюваних джерел енергії підкреслює їхнє зростаюче значення у вирішенні глобальних енергетичних проблем, зменшенні впливу на навколишнє середовище та забезпеченні сталого розвитку.

Однак, незважаючи на переваги, залишається низка проблем, серед яких проблеми з перебоями, високі початкові інвестиційні витрати та потреба в удосконалених рішеннях для зберігання енергії. Крім того, розробка та впровадження технологій відновлюваної енергетики потребують потужної політичної підтримки, інвестицій в інфраструктуру та підвищення обізнаності громадськості.

Загалом, перехід на відновлювану енергетику є не лише екологічною необхідністю, але й економічною та соціальною можливістю. Майбутні досягнення в галузі зберігання енергії, «розумних» мереж і гібридних енергетичних систем ще більше підвищать ефективність і надійність відновлюваної енергетики. Сприяючи інноваціям та стратегічному плануванню, відновлювані джерела енергії можуть відігравати трансформаційну роль у створенні сталої та стійкої глобальної енергетичної системи.

## **2 ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ІСНУЮЧОЇ КОТЕЛЬНОЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРІАНТІВ ЇЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ**

### **2.1 Загальна характеристика об'єкта**

Водогрійна котельня призначена для теплопостачання мікрорайону в м. Ірпінь і обладнана водогрійними котлами ТВГ-8М та КВГ-7,56, які працюють на природному газі.

Газові котли класифікуються за багатьма критеріями, включаючи їх функціональність, дизайн, ефективність, спосіб встановлення, тип камери згоряння та вид палива. У сучасних системах теплопостачання газові котли вважаються одним з найнадійніших та найефективніших варіантів для житлових, комерційних та промислових об'єктів. З їх широким поширенням по всьому світу, особливо в міських та приміських районах, газові котли мають численні переваги, пов'язані з економічною ефективністю, продуктивністю, впливом на навколишнє середовище та зручністю [10-12].

Розглянемо основні переваги газових котлів та їх роль у сучасній опалювальній інфраструктурі.

Висока ефективність та надійна робота. Однією з найбільш помітних переваг газових котлів є їхня висока теплова ефективність. Сучасні конденсаційні газові котли можуть досягати ККД понад 90%, що означає, що вони перетворюють переважну більшість енергії палива на корисне тепло. Це стає можливим завдяки уловлюванню прихованої теплоти відпрацьованих газів за допомогою сучасних теплообмінників. Газові котли також забезпечують стабільну та надійну роботу. Вони здатні підтримувати стабільну температуру в приміщенні, що особливо корисно в регіонах з холодними зимами. Швидка реакція на зміну температури і висока потужність роблять їх придатними як для невеликих житлових будинків, так і для великих промислових об'єктів.

Економічна ефективність. Природний газ часто є більш економічно вигідним, ніж інші види палива, такі як нафта, електроенергія або пропан,

особливо в районах, де добре розвинена інфраструктура газопостачання. Операційні витрати, як правило, нижчі завдяки відносно низькій ціні на природний газ та високій ефективності сучасних газових котлів. Крім того, газові котли зазвичай потребують меншого обслуговування, ніж інші типи котлів. Їх чистий процес згоряння призводить до меншого відкладення сажі та зменшення зносу внутрішніх компонентів, що допомагає мінімізувати витрати на обслуговування з часом.

Зручність та доступність. У багатьох країнах природний газ є легкодоступним через розгалужену розподільну мережу. Це робить газові котли дуже зручними, оскільки вони не потребують зберігання палива на місці. На відміну від масляних або пелетних котлів, які залежать від поставок і належних умов зберігання, газові котли безпосередньо підключаються до магістрального газопроводу, що забезпечує безперебійну доступність палива. Також, газові котли можна легко інтегрувати в існуючі системи опалення. Вони доступні в різних розмірах і конфігураціях, включаючи настінні та підлогові, що дозволяє встановлювати їх навіть у компактних приміщеннях.

Менший вплив на навколишнє середовище порівняно з іншими викопними видами палива. Хоча газ все ще є викопним паливом, його вплив на навколишнє середовище є відносно меншим, ніж вугілля або нафта. При спалюванні природного газу утворюється менше шкідливих викидів, таких як діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) та тверді частинки. Він також викидає значно менше вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) на одиницю виробленої енергії порівняно з вугіллям або мазутом. Сучасні газові котли, оснащені конденсаційною технологією та інтелектуальним управлінням, ще більше зменшують споживання палива та викиди парникових газів, що відповідає стандартам енергоефективності та охорони навколишнього середовища в багатьох країнах.

Вдосконалені функції управління та інтеграції. Сучасні газові котли часто оснащені складними системами управління, які підвищують комфорт та ефективність. Розумні термостати, системи зонування та погодно-компенсовані регулятори дозволяють користувачам оптимізувати графік опалення та

зменшити втрати енергії. Багато газових котлів також сумісні з системами дистанційного моніторингу та платформами «розумного дому», забезпечуючи зручне керування за допомогою мобільних пристроїв. Газові котли можна інтегрувати в гібридні системи, що поєднують технології відновлюваної енергетики, такі як сонячні теплові колектори або теплові насоси. Це дозволяє поступово переходити до більш сталого використання енергії без шкоди для надійності опалення.

Безпека та технологічна зрілість. Технологія газових котлів є зрілою, з десятиліттями вдосконалення, які зробили сучасні агрегати дуже безпечними в експлуатації. Вбудовані функції безпеки, такі як виявлення полум'я, запобіжні клапани та системи автоматичного відключення, допомагають запобігти нещасним випадкам і забезпечують надійну роботу. Регулярні перевірки та дотримання національних правил безпеки також сприяють безпечній експлуатації газових котлів як у житлових, так і в промислових приміщеннях.

Недоліки газових котлів. Якщо газові мережі недоступні, необхідно використовувати альтернативні види палива. Початкові витрати на встановлення – високоефективні котли та прокладання газових ліній можуть бути дорогими. Природний газ є вичерпним джерелом енергії. Викиди вуглекислого газу – хоча газ чистіший за вугілля, він все одно виділяє CO<sub>2</sub>, сприяючи зміні клімату. Витоки газу можуть призвести до вибуху або отруєння чадним газом за відсутності належного технічного обслуговування. Необхідність регулярного технічного обслуговування – щорічне технічне обслуговування має важливе значення для забезпечення ефективності та безпеки [13].

## 2.2. Обґрунтування варіантів модернізації котельні

Проаналізуємо початкову ситуацію. Аналіз ефективності встановлених газових котлів зробимо кількома методами, поєднуючи теоретичні розрахунки, практичні вимірювання та аналіз експлуатаційних даних та режимної карти котла ТВГ-8М (Додаток В).

Котельня обладнана водогрійними котлами ТВГ-8М (котел ТВГ-8М № 1 – законсервований та підлягає демонтажу), КВГ-7,56, які працюють на природному газі. Обладнання частково зношене. Основні технічні дані представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики водогрійних котлів

| Модель   | Технічні характеристики          |   |        |                               |
|----------|----------------------------------|---|--------|-------------------------------|
|          | Теплопродуктивність,<br>Гкал/год | Питомі витрати<br>палива,<br>кг.у.п./Гкал | ККД, % | Викиди<br>CO <sub>2</sub> , % |
| ТВГ-8М   | 3,8                              | 167,4                                     | 85     | 6,4                           |
| КВГ-7,56 | 4,2                              | 168,3                                     | 85     | 6,1                           |

Таким чином, фактичний показник загальної встановленої теплової потужності котельні становить 8,0 Гкал/год.

Особливістю котла ТВГ-8М, якій є найпоширенішим в комунальній теплоенергетиці, є розвинена радіаційна поверхня нагріву. Ця поверхня складається з п'яти вертикальних топкових екранів, одного стельового, що переходить у фронтів. Всі колектори за винятком верхнього колектора стельового екрану, знаходяться всередині котла. Конвективна поверхня нагріву розміщена в газозоді та являє собою економайзер, що складається з 16 секцій. Трубки діаметром 28 x 3 мм уварені в вертикальні екрани діаметром 57 x 3 мм, розташовані за розподільною перегородкою. Для спалювання газу в котлі встановлені чотири газові пальники зовнішнього змішання з примусовою подачею повітря і газу. Подові пальника з прямою щілиною, викладені з вогнетривкої цегли, встановлені між секціями вертикальних топкових екранів. Пальники працюють на природному газу середнього тиску [15-16].

Температурний графік роботи котельні становить 95-70°C. Приєднане теплове навантаження – 6,33 Гкал/год. Витрата теплоносія – 253 м<sup>3</sup>/год. Споживання теплової енергії відбувається тільки під час опалювального сезону, в інший час теплове навантаження котельні дорівнює нулю. Найбільша кількість

теплової енергії споживається в зимові місяці як в найхолодніший час. У весняні і осінні місяці споживання теплоти менше. Теплова енергія реалізується трьом категоріям споживачів:

- населенню – 3,86 Гкал/год (61 % від загального об'єму реалізації);
- бюджетним установам – 0,87 Гкал/год (14 %);
- іншим споживачам – 1,6 Гкал/год (25 %).

Плановий обсяг відпуску теплової енергії з котельні [18]

$$Q_o^{mic} = Q_o \cdot (t_{вн} - t_{ср.о}) / (t_{вн} - t_o) \cdot n \cdot 24 \cdot 10^{-6} \text{ [МВт]} \quad (2.1)$$

де  $Q_o$  – максимальне теплове навантаження на опалення, МВт;

$t_{вн}$  – температура внутрішнього повітря в приміщенні,  $t_{вн} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$t_{ср.о}$  – середня температура зовнішнього повітря [19];

$t_o$  – розрахункова температура зовнішнього повітря (для Київської області  $t_o = -22 \text{ }^\circ\text{C}$ ) [19];

$n$  – кількість днів опалювального періоду.

Для визначення обсягу виробленої теплової енергії необхідно до обсягу планового відпуску теплової енергії додати обсяг теплової енергії на власні потреби котельної (приймаємо 2,2 % згідно КТМ 204) та обсяг втрат теплової енергії при транспортуванні 7,2 % (фактичні дані).

Результати розрахунків показані в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Виробництво та відпуск теплової енергії

| Опалювальний період | Середня температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$ [19] | Плановий відпуск теплової енергії, Гкал | Планове виробництво теплової енергії, Гкал |
|---------------------|--|---|--|
| Листопад            | 1,9  | 1834                                    | 2025                                       |
| Грудень             | -2,5   | 2336                                    | 2578                                       |
| Січень              | -4,7   | 2586                                    | 2855                                       |
| Лютий               | -3,6   | 2461                                    | 2716                                       |
| Березень            | 1,0  | 1937                                    | 2138                                       |

Газопостачання котельні виконано за двоступеневою схемою. Для забезпечення зниження тиску від середнього ( $P \leq 0,3$  МПа) і зниження до  $P \leq 0,03$  МПа та підтримання його на необхідному рівні на території котельні встановлено існуючий ГРП № 57 з одним регулятором тиску РДУК-2-100. Також встановлений технологічний лічильник газу ЛГ-К-150-G650. Тип лічильника – турбінний, вхідний тиск – до 100 бар, витрати газу:  $Q_{\max} - 1000$  м<sup>3</sup>/год, витрати газу,  $Q_{\min} - 32$  м<sup>3</sup>/год, приєднання – фланцеве DN150, маса – не більше 67,5 кг. Комерційний вузол обліку газу встановлений на межі території котельні, на газопроводі середнього тиску ( $P \leq 0,3$  МПа), на базі роторного лічильника газу DELTA S3F G-650 виробництва «Itron» та комплексом вимірювально-керуючим «ФЛОУТЕК-ТМ».

Автоматика котлів дозволяє надійно і безпечно працювати котлам. На ввіді газопроводу в приміщення котельного залу встановлюється клапан електромагнітний закритий в нормальному стані та керується від сигналізатора «Варта 1-03».

З метою економії природного газу до встановлення вибираємо котел КОЛВІ 8000Р на заміну застарілого котла КВГ-7,56. Котел КОЛВІ 8000Р представлений у формі термоблока – 2-х рядів промислових жаротрубних водогрійних котлів КОЛВІ 4000. Такий термоблок покриває приєднане теплове навантаження до 8 МВт. Кожен із котлів цього термоблока обладнаний власним пальником (газовий або рідкопаливний), власним пультом керування, пучком жарових труб, по яких циркулюють продукти згоряння палива, що передають теплову енергію. Турбулентна циркуляція димових газів забезпечує високу ефективність теплопередачі. Корпус і теплообмінні поверхні котла представлені у вигляді компактної моноблочної конструкції з масивної жароміцної сталі. Регулювання потужності – модуляційна, в автоматичному режимі. Витрата природного газу 928,8 м. куб/год, витрати дизпалива 712,0 кг/год, температура контуру опалення, не більш ніж 115 °С, поверхня нагрівання 147,72 м<sup>2</sup>, ККД 92%, тиск контуру опалення, не більш ніж 6 бар, об'єм води в котлі 7900 л, маса –

15000 кг. Також передбачено два пальники «Cib Unigas» R515 A, що мають характеристики: потужність 770-5200 кВт, електричне живлення – 230/400 V 3N ас. двигун вентилятора 11,0 кВт [17]. Режимні карти котла показані в додатках Г, Д, а деякі технічні характеристики – в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні технічні характеристики водогрійного котла КОЛВІ

| Модель      | Технічні характеристики       |                                     |        |                            |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------|----------------------------|
|             | Теплопродуктивність, Гкал/год | Питомі витрати палива, кг.у.п./Гкал | ККД, % | Викиди CO <sub>2</sub> , % |
| КОЛВІ 8000P | 3,6                           | 153,71                              | 92,94  | 11,0                       |

Розглянемо загальні тези по обґрунтуванню модернізації газової котельні з встановленням пелетного котла:

- екологічна стійкість. Перехід від газових котлів до пелетних значно зменшує викиди парникових газів та залежність від викопного палива, підтримуючи національні та глобальні екологічні цілі;

- енергетична незалежність. Використання пелет місцевого виробництва підвищує енергетичну безпеку та знижує залежність від імпортованого природного газу;

- інтеграція відновлюваної енергетики. Пелетні котли використовують біомасу – поновлюване джерело енергії, що відповідає сучасній енергетичній політиці та сприяє сталому розвитку. Оптимізація витрат на паливо;

- підвищення ефективності. Сучасні пелетні котли пропонують високу ефективність згоряння та передову автоматизацію, покращуючи продуктивність виробництва теплоти та зменшуючи відходи палива;

- пелетне паливо часто є більш економічним і менш цінним порівняно з природним газом, що призводить до довгострокової економії експлуатаційних витрат [20];

- зменшення вуглецевого сліду. Спалювання біомаси в пелетних котлах вважається вуглецево-нейтральним через природний вуглецевий цикл, на відміну від згоряння викопного газу;

– утилізація відходів. Виробництво пелет використовує відходи деревообробної промисловості, сприяючи ефективності використання ресурсів та зменшуючи екологічне навантаження;

– економічні стимули та субсидії. Багато регіонів пропонують фінансову підтримку, податкові пільги або субсидії для переходу на поновлювані системи опалення, такі як пелетні котли.

Аналіз роботи існуючої газової котельні показує, що, хоча вона продовжує задовольняти основні потреби в опаленні, її ефективність не відповідає сучасним енергетичним та екологічним стандартам. Високе споживання викопного палива вказують на необхідність модернізації шляхом встановлення пелетних котлів. Такий підхід забезпечує підвищення енергоефективності, зниження експлуатаційних витрат та зменшення викидів парникових газів.

В нашому випадку за наявності достовірних фактичних показників роботи існуючої котельні, зокрема температурних режимів, тривалості опалювального періоду та обсягів приєднаного теплового навантаження, а також розрахунку на основі цих даних витрат палива, немає об'єктивної потреби у проведенні розрахунку теплової потужності. Фактичні дані забезпечують більш точне і надійне уявлення про реальну теплову потребу споживачів, дозволяють врахувати всі експлуатаційні особливості системи та використовуються як основа для аналізу ефективності й планування модернізації, зокрема при встановлення додаткових джерел теплоти, таких як пелетні котли.

Тож технічною пропозицією буде встановлення двох пелетних котлів потужністю 1500 кВт кожен. В залежності від графіка роботи пелетні котли можуть працювати паралельно з існуючими котлами, покриваючи базове або пікове навантаження, або постійно працювати в залежності від температури зовнішнього повітря вище 0°C. Пелетні котли можуть бути вбудовані в існуючу систему з незначними змінами в трубопроводах і регулюванні, а за належного обслуговування забезпечується їх висока надійність. Також існує можливість встановлення додаткових пелетних котлів у майбутньому.

Для розрахунку часткової роботи котельні на пелетах необхідно врахувати ряд основних факторів, а саме: потужність пелетних котлів, енергетичну цінність, витрати палива, вартість пелет, їх теплотворну здатність та економічну доцільність.

Теплотворна здатність (або теплота згоряння) пелет залежить від типу використовуваного матеріалу, вмісту вологи та якості виробництва. Для порівняння в табл. 2.3 наведено типові значення теплотворної здатності різних видів палива.

Таблиця 2.3 – Теплотворна здатність різних видів палива

| № | Вид палива                      | Теплота згоряння (на 1 кг) |       |
|---|---------------------------------|----------------------------|-------|
|   |                                 | ккал                       | МДж   |
| 1 | Деревні пелети                  | 4100                       | 17,17 |
| 2 | Пелети з лушпиння соняшника     | 4320                       | 18,09 |
| 3 | Солома                          | 3750                       | 15,70 |
| 4 | Деревне вугілля                 | 6510                       | 27,26 |
| 5 | Тирса                           | 2000                       | 8,37  |
| 6 | Природний газ (м <sup>3</sup> ) | 8000                       | 33,50 |

Пелети з іншої сировини ніж деревні мають, як правило, меншу енергетичну цінність та більшу зольність, що тягне за собою підвищену витрату палива та більш часте обслуговування пальника та котла від золи та попелу [21].

Для порівняння наведемо аналіз деревних гранул та тирси з акцентом на їхні фізичні властивості, енергоефективність, вплив на навколишнє середовище, зберігання та поводження з ними, а також економічні міркування. Аналіз проведено на основі публікацій [8-9] та представлено в табл. 2.4.

Як бачимо, гранули з деревини мають вищу енергоефективність, легше транспортуються та чистіше згорають, що робить їх раціональним рішенням для автоматизованих систем опалення та застосувань, де пріоритетами є енергоефективність та зручність. Тирса, хоч і дешевша і є прямим побічним

Таблиця 2.4 – Характеристики деревних гранул та тирси

| Характеристика                                 | Деревні пелети   | Тирса   |
|--|--|---|
| <b>1. Фізичні властивості</b>                  |  |   |
| Форма  | Циліндрична, однорідна (діаметр 6-10 мм)                 | Дрібні частинки неправильної форми                                    |
| Щільність                                      | Висока (600-750 кг/м <sup>3</sup> )                      | Низька (150-250 кг/м <sup>3</sup> )                                   |
| Вологість                                      | Низька (6-10%)   | Змінна (20-60%, залежно від джерела)                                  |
| Сипучість                                      | Відмінна (ідеально підходить для автоматизованих систем) | Погана (може засмічувати системи подачі)                              |
| Швидкість горіння                              | Стабільна і контрольована                                | Нерівномірна і швидка   |
| <b>2. Енергоефективність</b>                   |  |   |
| Теплотворна здатність                          | ~17-19 МДж/кг  | ~8-12 МДж/кг (залежить від рівня вологості)                           |
| Ефективність згорання                          | Висока (завдяки рівномірному розміру/щільності)          | Низька (потребує більше повітря, нерівномірне горіння)                |
| Придатність для котлів                         | Відмінна (призначена для пелетних котлів)                | Обмежена (використовується в специфічних системах спалювання біомаси) |
| Утворення золи                                 | Низьке (~0,5-2%)   | Від помірного до високого (~1-5%)                                     |
| <b>3. Вплив на навколишнє середовище</b>       |  |   |
| Відновлюване джерело                           | Так (з деревних відходів або лісового господарства)      | Так (побічний продукт переробки деревини)                             |
| Викиди   | Низькі (при оптимізованому спалюванні)                   | Вищі викиди твердих частинок при неконтрольованому спалюванні         |
| Вуглецева нейтральність                        | Зазвичай вважається вуглецево нейтральною                | Те саме, але менш ефективне спалювання                                |
| Утилізація відходів                            | Часто переробляються з тирси або тріски                  | Пряме використання побічних продуктів деревообробної промисловості    |
| <b>4. Зберігання та поводження з відходами</b> |  |   |
| Поводження з сипучими матеріалами              | Легко (сипучі, придатні для шнеків)                      | Складно (пилові, схильні до ущільнення)                               |
| Вимоги до зберігання                           | Вимагає сухого, провітрюваного приміщення                | Висока чутливість до вологи, ризик загорання                          |

Продовження табл. 2.4

|                                 |  |   |
|---------------------------------|--|---|
| Пожежна небезпека               | Помірна                                  | Висока (через дрібні частинки і самонагрівання) |
| Транспортування                 | Ефективне завдяки високій щільності      | Неефективне через об'єм і низьку щільність      |
| <b>5. Економічні міркування</b> |  |   |
| Вартість за тону                | Вища (витрати на переробку та пакування) | Нижча (мінімальна переробка)                    |
| Витрати на встановлення         | Вищі (вимагає наявності пелетного котла) | Нижчі для базових печей, вищі для автоматизації |
| Обслуговування                  | Нижча (менше золи, чистіше горіння)      | Вища (частіше чищення, засмічення)              |
| Доступність                     | Комерційно доступні в багатьох регіонах  | Залежить від близькості до лісопилот/заводів    |

продуктом переробки деревини, є менш ефективною, складнішою у використанні та більш екологічно небезпечною, якщо нею не управляти належним чином. Вона може бути придатною для невеликих, недорогих або ручних систем опалення.

Встановлення двох пелетних котлів в існуючій газовій котельні може зробити значний внесок у досягнення цілей екологічної стійкості. Тобто екологічна доцільність запропонованої модернізації котельні виражатиметься в значному зменшенні викидів CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, твердих частинок та відповідності національним та європейським екологічним нормам. Перед встановленням необхідно отримати відповідні дозволи та оцінку впливу на навколишнє середовище. Порівняльний аналіз викидів наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Порівняльний аналіз викидів

| Параметр               | Газовий котел | Пелетний котел                        |
|------------------------|---------------|---------------------------------------|
| Викиди CO <sub>2</sub> | Низькі        | Близькі до нейтральних (цикл біомаси) |
| Викиди NO <sub>x</sub> | Помірні       | Низькі                                |
| Тверді частинки (PM)   | Дуже низькі   | Помірні                               |
| Викиди SO <sub>2</sub> | Дуже низькі   | Незначні                              |

Отже, у той час як газові котли виділяють CO<sub>2</sub> під час спалювання вуглецевого палива, пелетні котли вважаються майже вуглецево-нейтральними.

CO<sub>2</sub>, що виділяється під час спалювання пелет, компенсується CO<sub>2</sub>, що поглинається під час росту біомаси. Пелетні котли мають менші викиди NO<sub>x</sub> у порівнянні з газовими котлами завдяки нижчим температурам згорання. Однак при спалюванні пелет утворюється більше твердих частинок, ніж при спалюванні газу, але сучасні пелетні котли оснащені фільтрами або електростатичними фільтрами, які значно зменшують викиди твердих частинок. Як газові, так і пелетні котли викидають мінімальну кількість оксидів сірки.

Пелетні котли утворюють невелику кількість золи (0,5–1,5% від об'єму палива). Золю необхідно збирати та утилізувати відповідно до екологічних норм або використовувати як добриво для ґрунту. А ось на утворення стічних вод у порівнянні з газовим котлом встановлення пелетного котла не має значного впливу.

Згадаємо також про деякі ризики щодо запропонованої модернізації та заходи їх зниження. Основні ризики – це коливання цін на пелети (який знижується довгостроковими контрактами на поставку) та мінливість якості пелет (що забезпечується обов'язковою сертифікацією продукції постачальниками).

### 2.3 Сумісна робота газових та твердопаливних котлів

Одним з ефективних рішень підвищення ефективності та сталості систем теплопостачання є комбіноване використання газових та пелетних котлів в системах опалення. Такий підхід дозволяє гнучко, економічно ефективно та екологічно безпечно виробляти теплоту, використовуючи переваги кожного виду палива. У той час як газові котли забезпечують швидкий час реагування і зручність експлуатації, пелетні котли є відновлюваною альтернативою з низьким рівнем викидів, придатною для покриття базових теплових навантажень. Їх спільна робота забезпечує оптимальне використання енергії, підвищує надійність системи та зменшує залежність від викопних видів палива. Розглянемо основні принципи, переваги та практичні міркування щодо інтеграції газових та пелетних котлів в єдину систему теплопостачання.

Насамперед це принципи інтеграції. Система призначена для розподілу основного теплового навантаження на пелетні котли, а пікового або аварійного – на газові. Для цього центральний блок управління відстежує температуру, наявність палива та попит і відповідно перемикає котли між собою. Обидва типи котлів можуть працювати паралельно (одночасно) або в каскадному режимі, коли один запускається тільки після того, як інший досягне потужності.

Такий підхід дозволяє досягти оптимального балансу між енергоефективністю, вартістю експлуатації та надійністю теплозабезпечення. При температурі зовнішнього повітря від +8 до 0 °C основне джерело теплоти – пелетні котли. Система теплопостачання працює з мінімальним навантаженням, переважно для підтримання низької температури в опалювальному контурі. Газові котли перебувають в режимі резерву. При температурі від 0 до -22 °C пелетні котли працюють на максимальній потужності. Газові котли автоматично підключаються для покриття пікового навантаження або в разі нестачі потужності пелетних котлів. Приклад спрощеної інтегрованої роботи котельні відповідно до температури зовнішнього повітря показано в табл. 2.6.

Технічні переваги спільної роботи полягають в оптимальному використанні кожного котла на основі його експлуатаційних характеристик, що підвищує загальну ефективність системи. Також система теплопостачання може адаптуватися до зміни доступності палива або цін на нього, перемикаючись між пелетним котлом та газовим. До того ж підвищується надійність, коли один котел слугує резервним для іншого, зменшуючи ризик повного припинення теплопостачання.

Екологічні переваги досягаються зменшенням викидів, адже пелетні котли використовують відновлювану біомасу і виробляють менше викидів CO<sub>2</sub> та сірки порівняно з викопними видами палива. Також така інтеграція підтримує перехід до більш екологічних технологій опалення без повної відмови від газової інфраструктури.

Таблиця 2.6 – Середньодобові навантаження котельні

| Середньодобова температура зовнішнього повітря, °С | Виробництво теплової енергії, Гкал/год | Відсоток середньодобового навантаження пелетних котлів, % | Відсоток середньодобового навантаження газових котлів, % |
|--|--|---|--|
| +8   | 1,75                                   | 58  | -  |
| +7   | 1,92                                   | 64  | -  |
| +6   | 2,10                                   | 70  | -  |
| +5   | 2,27                                   | 75  | -  |
| +4   | 2,45                                   | 81  | -  |
| +3   | 2,62                                   | 87  | -  |
| +2   | 2,79                                   | 93  | -  |
| +1   | 2,97                                   | 99  | -  |
| 0  | 3,14                                   | 100   | -  |
| -1   | 3,32                                   | 100   | -  |
| -2   | 3,49                                   | 100   | -  |
| -3   | 3,67                                   | 100   | -  |
| -4   | 3,84                                   | 100   | -  |
| -5   | 4,02                                   | 100   | -  |
| -6   | 4,19                                   | 100   | -  |
| -7   | 4,37                                   | 100   | -  |
| -8   | 4,54                                   | 100   | -  |
| -9   | 4,72                                   | 100   | -  |
| -10  | 4,89                                   | 100   | -  |
| -11  | 5,07                                   | 100   | -  |
| -12  | 5,24                                   | 100   | 20   |
| -13  | 5,41                                   | 100   | 22   |
| -14  | 5,59                                   | 100   | 23   |
| -15  | 5,76                                   | 100   | 25   |
| -16  | 5,94                                   | 100   | 27   |
| -17  | 6,11                                   | 100   | 28   |
| -18  | 6,29                                   | 100   | 30   |
| -19  | 6,46                                   | 100   | 31   |
| -20  | 6,64                                   | 100   | 33   |
| -21  | 6,81                                   | 100   | 35   |
| -22  | 6,99                                   | 100   | 36   |

Щодо економічних переваг, то слід зазначити нижчі операційні витрати. Пелети часто дешевші за природний газ, особливо в регіонах з місцевими ресурсами біомаси. А поперемінна робота котлів може продовжити термін служби обладнання та зменшити частоту технічного обслуговування.

Згадаємо і про практичні міркування. Під час проектування та встановлення додаткових пелетних котлів в існуючій газовій котельні необхідно врахувати гідравлічну сумісність, що вимагає ретельного проектування для збалансування потоку і тиску між обома джерелами теплоти. При цьому складні контролери повинні координувати операції, включаючи перемикання, модуляцію та перевірку безпеки [22].

Окремо є і вимоги до простору: пелетні котли потребують додаткового простору для зберігання палива та видалення золи. Зберігання пелет вимагає сухого, добре провітрюваного приміщення з легким доступом для доставки пелет. В той же час підключення газу повинно відповідати стандартам безпеки та нормативним вимогам щодо тиску та монтажу.

В питаннях обслуговування та експлуатації важливим моментом є навчання персоналу. Оператори повинні розуміти, як керувати обома системами та реагувати на несправності або нестачу палива.

## 2.4 Підбір основного обладнання

Інтеграція пелетного котла в існуючу газову котельню дозволяє створити систему теплопостачання, яка поєднує переваги традиційного та альтернативного палива. Розглянемо обґрунтування доцільності використання пелетного котла в складі існуючої газової котельні та вибір оптимального обладнання для його ефективної інтеграції, а саме технічні аспекти такого рішення та проаналізуємо типову схему підключення, вимоги до обладнання. Основна увага приділяється технічним аспектам підбору пелетного котла відповідно до теплового навантаження об'єкта, аналізу можливостей інтеграції з

існуючими системами, вибору допоміжного обладнання для забезпечення ефективної і безпечної експлуатації всієї котельні.

Отже, обираємо паралельне підключення пелетних та газових котлів. Котли працюють одночасно або перемикаються в залежності від навантаження. Оцінюючи сезонні коливання попиту на теплову енергію, потужності пелетних котлів мають покривати базове навантаження (постійне опалення на низькому рівні), а пікове навантаження (періоди підвищеного попиту) мають забезпечити встановлені газові котли. В разі впровадження котлів на біомасі в існуючих котельнях, часто є можливість використання існуючих газових котлів як пікових та резервних. Слід зазначити, що котли на біомасі є більш інерційними, ніж газові, повільніше збільшують теплову потужність, потребують більшого часу для виходу на робочі параметри. Тому, як правило, потужності котлів на біомасі вибирають таким чином, щоб забезпечити якомога довшу їх роботу в базовому режимі протягом опалювального сезону, без різких збільшень та зменшень потужності. Пікові навантаження при цьому забезпечуються використанням газових котлів [23]. Також треба мати на увазі, що котли на біомасі, як правило, не допускають їх використання з потужністю меншою, ніж 25-40% від номінальної.

Враховуючи те, що останні роки показники тривалості опалювального періоду та середньої фактичної температури зовнішнього повітря за місяць відрізняються від розрахункових (нормативних), а температура (-22 °C), на яку згідно нормативних документів проектувалося встановлене обладнання системи теплопостачання, не зафіксована, тому устаткування котельні працювало на низьких режимах, і відповідно обсяги відпуску теплової енергії були набагато нижчими, ніж заплановано. Така система теплопостачання вимагає значних капітальних витрат, які протягом терміну експлуатації використовуються вкрай неефективно, та потребує додаткових змін щодо підвищення ефективності роботи котельні. Для подальшого аналізу та наближення до фактичних показників зробимо перерахунок обсягів теплової енергії, які представлено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Перерахунок обсягів теплової енергії

| Опалювальний період 2024/2025рр. | Фактична середня температура зовнішнього повітря, °С [24] | Плановий відпуск теплової енергії, Гкал | Планове виробництво теплової енергії, Гкал |
|----------------------------------|---|---|--|
| Листопад                         | 2,7   | 1743                                    | 1924                                       |
| Грудень                          | 0,0   | 2051                                    | 2264                                       |
| Січень                           | 2,1   | 1812                                    | 2000                                       |
| Лютий                            | -3,7  | 2472                                    | 2729                                       |
| Березень                         | 7,1   | 1242                                    | 1371                                       |
| Разом                            |   |   | 10 288                                     |

Враховуючи вищезазначені показники, обираємо відповідний тип пелетного котла для базового покриття теплового навантаження в опалювальний період: автоматизований пелетний котел 1500 кВт FOCUS [23]. Пелетний котел відповідає ГОСТ32452-2013 (EN 15270:2007).

Ключові технічні критерії:

- регулювання потужності 600 кВт – 1750 кВт (max 1,505 Гкал/год);
- площа поверхонь теплообміну та жаротрубної частини – 119 м<sup>2</sup>;
- 5 базових рівнів безпеки;
- автоматична робота: підпалювання, гасіння, розпалювання;
- низьке енергоспоживання (400-800 Вт);
- рухомий колосник для механічного очищення пального;
- управління насосами (гаряча водопідготовка та опалення);
- робота з інтернет-модулем;
- робота з погодним регулюванням.

Загальний вигляд твердопаливного котла показаний на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Промисловий твердопаливний котел 1500 кВт FOCUS [25]

Для забезпечення від 42 до 100 % планового виробництва теплової енергії при роботі в діапазоні температур зовнішнього повітря (+8) – (-5) °C вибираємо до встановлення два пелетних котли FOCUS [25].

Біомаса є паливом з низькою енергетичною щільністю, і, отже, великий обсяг її потрібно зберігати на місці, щоб уникнути неприйнятної частоти поставок і підтримувати достатній запас безпеки. Таким чином, має бути запроектована відповідна зона, достатньо близько до передбачуваного місця розташування спалювального обладнання, щоб уникнути неприйнятно тривалої подачі палива, що створює підвищений ризик блокування або труднощів, а також доступна для призначених транспортних засобів доставки. В комплекті монтажу котла заводом-виробником передбачається наступне обладнання:

- комплект адаптації для твердого палива та ручного завантаження;
- датчик погоди;
- сенсор температури димових газів;
- датчик температури опалення котла;
- інтернет модуль EcoNet;
- шнековий транспортер, що подає – 2,5 м;

- гофрована труба ПВХ – 1,5 м;
- контролер з керування пелетним котлом.

Котел облаштований зольною камерою для видалення золи, яка видаляється в автоматичному режимі.

Для монтажу пелетного котла в існуючі системи водопостачання обираємо паралельне з'єднання, що передбачає встановлення триходових клапанів.

Також обов'язковим є монтаж системи управління, яка координує роботу газового та пелетного котлів на основі попиту в режимі реального часу, тобто датчики моніторингу температури, тиску та рівня палива. За заводом-виробником передбачена вбудована система інтернет моніторингу та управління котлом, яка зберігає всю інформацію про роботу котла і температури. Комплектні системи керування котла при роботі в автономному або каскадному режимах роботи забезпечать:

- контроль температури, рівня заповнення водою, тиску мережної води в котлоагрегаті;
- автоматичне регулювання температури мережної води на виході котла;
- автоматичне керування пуско-регулюючою арматурою;
- автоматичне регулювання процесу спалювання пелет в залежності від теплового навантаження;
- керування насосом і триходовим клапаном з електроприводом котельного контуру.

Автоматичний захист спрацьовує при досягненні допустимих значень таких параметрів:

- підвищення температури води на виході з котла;
- підвищення або зниження тиску води на виході з котла;
- зменшенні рівня заповнення водою котла;
- розриві проводів ланцюгів захисту та зникненні напруги;
- аварійному стані основних вузлів автоматики.

При аварійній зупинці обладнання забезпечується індикація і запам'ятовується першопричина аварійної ситуації та включення сигналу на диспетчерському пульті керування.

Автоматизована система керування котлом відповідає вимогам до системи автоматизації, має високу гнучкість, що дозволяє покращувати дану автоматизовану систему у відповідності з вимогами, які підвищуватимуться впродовж терміну експлуатації пелетних котлів.

Комбінована система відведення димових газів повинна відповідати стандартам безпеки та нормативним вимогам. Система відведення відхідних газів для кожного пелетного котла, яка стійка до підвищеного вмісту вологи та твердих частинок, забезпечить відповідність вимогам до тяги та температури. Відведення відхідних газів відбувається через існуючу цегляну димову трубу висотою  $h = 38$  м та діаметром устя 2 м.

Біомаса вважається вуглецево нейтральним видом палива, проте її спалювання супроводжується викидом твердих частинок разом із продуктами згоряння через наявність леткої золи. Це обумовлює необхідність встановлення систем очищення димових газів перед їх виведенням у димову трубу. Найбільш поширеним типом первинного очищення для водогрійних та промислових котлів є циклонні фільтри. Для вибору відповідного циклона необхідно визначити витрати палива та об'єм димових газів, що потребують очищення.

Витрата паливних пелет для твердопаливного котла за номінального навантаження

$$B_p = \frac{1,5}{17,71 \cdot 0,76} = 0,111 \text{ (кг/с)}.$$

Дійсний об'єм димових газів

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

$$V_{др} = 0,11 \cdot 7,2 \cdot \frac{220 + 273}{273} = 1,43 \text{ (м}^3\text{/с)} = 5148 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

До встановлення вибираємо циклони МЦ-У-600 [26].

Обладнання для очищення води вже функціонує в котельні та не потребує додаткового переобладнання. Існуюча система хімічної водопідготовки здійснюється по схемі двоступеневого Na-катіонування.

Існуючі циркуляційні та підживлювальні насоси не потребують модернізації або встановлення нових, тому що основні параметри системи теплопостачання не змінюються.

## 2.5 Висновки до розділу

З метою економії природного газу до встановлення вибрано котел КОЛВІ 8000Р на заміну застарілого котла КВГ-7,56, два pelletних котли FOCUS одиничною потужністю 1500 кВт та систему очищення відхідних газів твердопаливних котлів з циклонами-утилізаторами МЦ-У-600.

Газові котли поєднують ефективність, доступність, зручність та екологічні переваги порівняно з котлами на інших видах викопного палива. Незважаючи на зростаючу увагу до відновлюваних джерел енергії, газові котли залишаються важливим компонентом сучасних систем опалення, особливо в поєднанні з інтелектуальними системами управління та гібридними конфігураціями. В осяжному майбутньому вони, ймовірно, продовжуватимуть відігравати важливу роль в енергетичних системах, що переходять до сталого розвитку. Однак їхній вплив на навколишнє середовище та залежність від викопних видів палива роблять їх менш сталими, ніж відновлювані варіанти, такі як біомаса. Точно розрахувавши потребу в теплоті та оптимізувавши ефективність котла, можна зменшити споживання палива та підвищити продуктивність. Перехід на

високоєфективні конденсаційні котли або інтеграція з відновлюваними джерелами енергії може ще більше підвищити стійкість.

Модернізація котельні шляхом встановлення двох додаткових пелетних котлів є технічно, економічно та екологічно доцільною. Цей крок дозволить зменшити витрати на паливо та залежність від викопних видів палива, покращити екологічні показники, підвищити експлуатаційну гнучкість та надійність котельні. Встановлення двох пелетних котлів в газовій котельні є екологічно доцільним і дуже вигідним. Це знизить загальні викиди парникових газів, підтримає використання відновлюваних джерел енергії, сприятиме досягненню цілей екологічної політики. Звісно, дещо збільшить викиди твердих частинок, але буде керованим за допомогою сучасних технологій фільтрації. За умови правильного проектування та операційних стратегій, екологічні переваги проекту переважають будь-які потенційні недоліки. Інтегруючи додатково пелетні котли, котельня частково, а в міжопалювальний період повністю, перейде на відновлювану енергію, що сприятиме зменшенню використання невідновлюваного природного газу та дотриманню національних цілей у сфері відновлюваної енергетики.

Для більш ефективного рішення підвищення ефективності та сталості систем теплопостачання є комбіноване використання газових та пелетних котлів. Такий спосіб дозволяє гнучко, економічно ефективно та екологічно безпечно виробляти теплоту, використовуючи переваги кожного виду палива. У той час як газові котли забезпечують швидкий час реагування і зручність експлуатації, пелетні котли є відновлюваною альтернативою з низьким рівнем викидів, придатною для покриття базових теплових навантажень. Їх спільна робота забезпечує оптимальне використання енергії, підвищує надійність системи та зменшує залежність від викопних видів палива.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ КОТЛА В SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

#### 3.1 Дослідження аеродинаміки та ефективності циклона-утилізатора

Для первинного очищення продуктів згорання від високодисперсної золи зазвичай застосовують такі системи, як рукавні фільтри, циклони, мультициклони, електрофільтри та скрубери. Основні переваги циклонних фільтрів полягають у простоті конструкції, низьких експлуатаційних витратах і високій надійності. Геометричні параметри циклона – форма, розміри та конструкція – визначають аеродинаміку руху газового потоку та ефективність процесу сепарації.

Існують модифікації циклонів, які оснащено трубчастими теплообмінниками. Такі пристрої дозволяють утилізувати теплоту відхідних газів, зменшуючи теплові втрати та сприяючи економії енергоресурсів. Зокрема, циклон з двоходовим жаротрубним теплообмінником використовує енергію газів для підігріву води. За даними виробника, використання циклона-утилізатора в системах відведення та очищення димових газів підвищує загальну ефективність на 5 – 7 %.

Оцінити аеродинамічні та теплотехнічні характеристики циклона з теплоутилізатором, а також ефективність очищення газу від високодисперсної золи можна шляхом моделювання процесів у CFD-середовищі SolidWorks Flow Simulation.

Для дослідження обрано циклон МЦУ-600, аналогічний до системи очищення відхідних газів. Його продуктивність становить 6100 м<sup>3</sup>/год. Принцип дії базується на відцентровій сепарації: газовий потік, що надходить через патрубок 2 (рис. 3.1), обертається в корпусі, під дією відцентрової сили тверді частинки осідають на стінках, сповільнюються, опускаються вниз і потрапляють у бункер через золівідвідний отвір 6. Очищений газ виходить через відвідну трубу 1. При заповненні бункер розвантажується.

Теплообмінна система складається з 40 труб діаметром 51/46 мм, довжиною 660 мм, встановлених між двома трубними дошками. Загальна площа теплообмінної поверхні з боку газів становить 3,4 м<sup>2</sup>. Теплообмінник розташований усередині відвідної труби циклона: відхідні гази підіймаються вздовж внутрішніх поверхонь труб, тоді як вода рухається назустріч у міжтрубному просторі. Вхід і вихід води здійснюється через патрубки (поз. 3 і 5).

Моделювання складається з таких етапів:

1) створення тривимірної моделі циклона-утилізатора (рис. 3.1) у CAD-системі;

2) побудова розрахункової сітки та задання фізичних параметрів процесу (швидкість потоку, температура, тиск, властивості матеріалів тощо) в середовищі SolidWorks Flow Simulation;

3) проведення CFD-аналізу з урахуванням теплообміну та аеродинаміки для визначення розподілу температур, швидкостей газового потоку, тиску, а також ефективності сепарації золи;

4) аналіз отриманих результатів для оцінки загальної ефективності роботи циклона-утилізатора, зокрема ефективності очищення газу від твердих частинок та ступеня утилізації теплоти.

Отримані результати дозволяють оптимізувати конструкцію пристрою, вдосконалити параметри теплообмінника, а також визначити оптимальні умови експлуатації для підвищення енергоефективності системи очищення відхідних газів твердопаливного котла.

Введення умов однозначності. Для проведення комп'ютерного експерименту у Solidworks Flow Simulation встановлені такі умови однозначності: фізичні – текучі середовища повітря, вода, матеріал стінок – вуглецева сталь; граничні умови: об'ємна витрата відхідних газів котла на вході в циклон –  $V_r = 0,68 \dots 1,7 \text{ м}^3/\text{с}$ , температура газів –  $t'_r = 220 \text{ }^\circ\text{C}$ , повний тиск газового потоку – 101325 Па; масова витрата води на вході в теплообмінник –  $G_b = 1,24 \text{ кг/с}$ , статичний тиск у вихідному трубопроводі – 200 кПа; температура води на вході в теплообмінник-утилізатор – 40 °С.

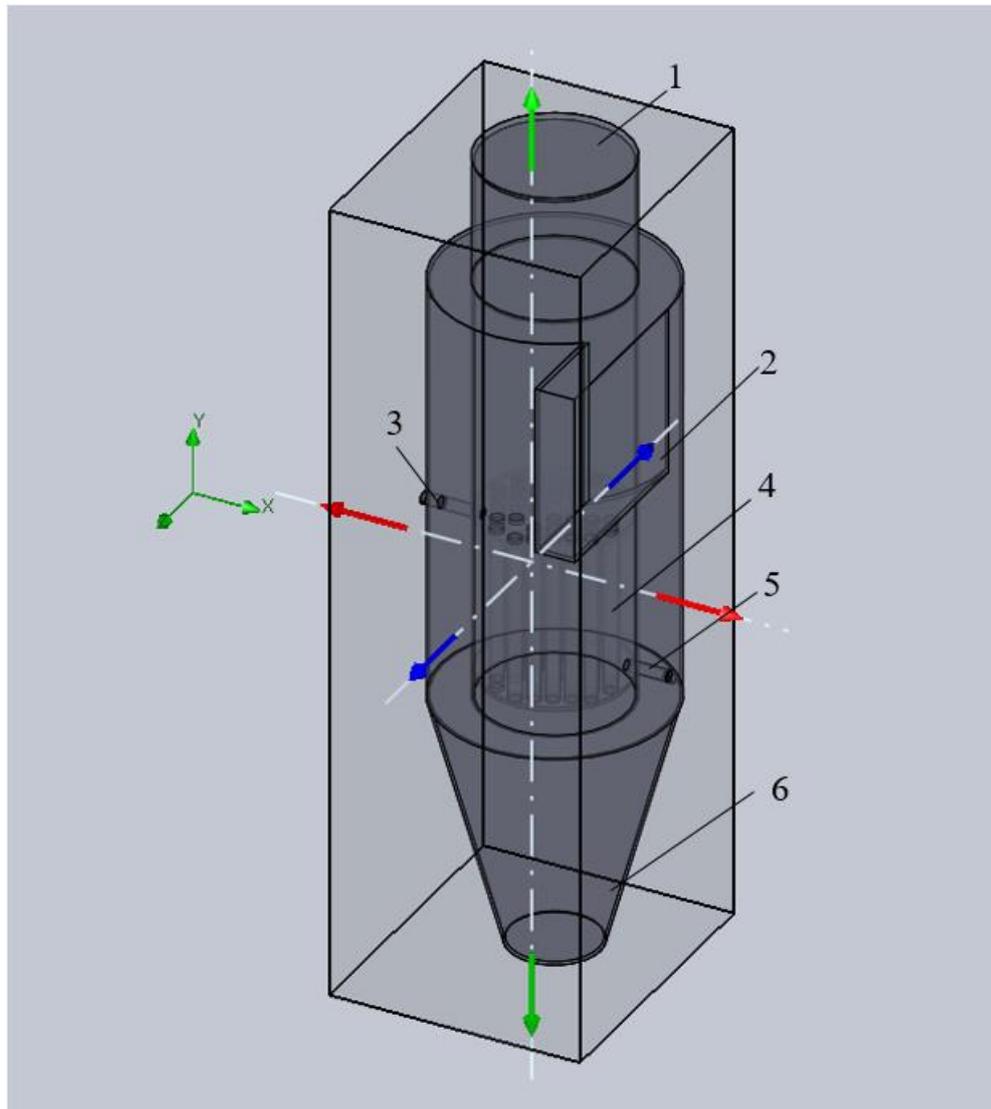


Рисунок 3.1 – Геометрична модель циклона МЦУ 600 в САД-системі САПР SolidWorks та розміщення моделі в розрахунковій області

Формування цілей дослідження. У процесі моделювання були визначені такі цільові параметри для аналізу:

- повний тиск на вході та виході з циклона;
- різниця повних тисків (втрати тиску в апараті);
- тепловий потік, що передається через теплообмінні поверхні;
- температура стінки теплообмінника.

Візуалізація результатів. Результати моделювання подано у вигляді полів швидкостей і тисків, побудованих за траєкторіями потоку, а також у вигляді розрізів і карт поверхневих параметрів.

Для об'ємної витрати відхідних газів на вході в циклон  $1,7 \text{ м}^3/\text{с}$  відповідні результати показано на рис. 3.4 та рис. 3.5.

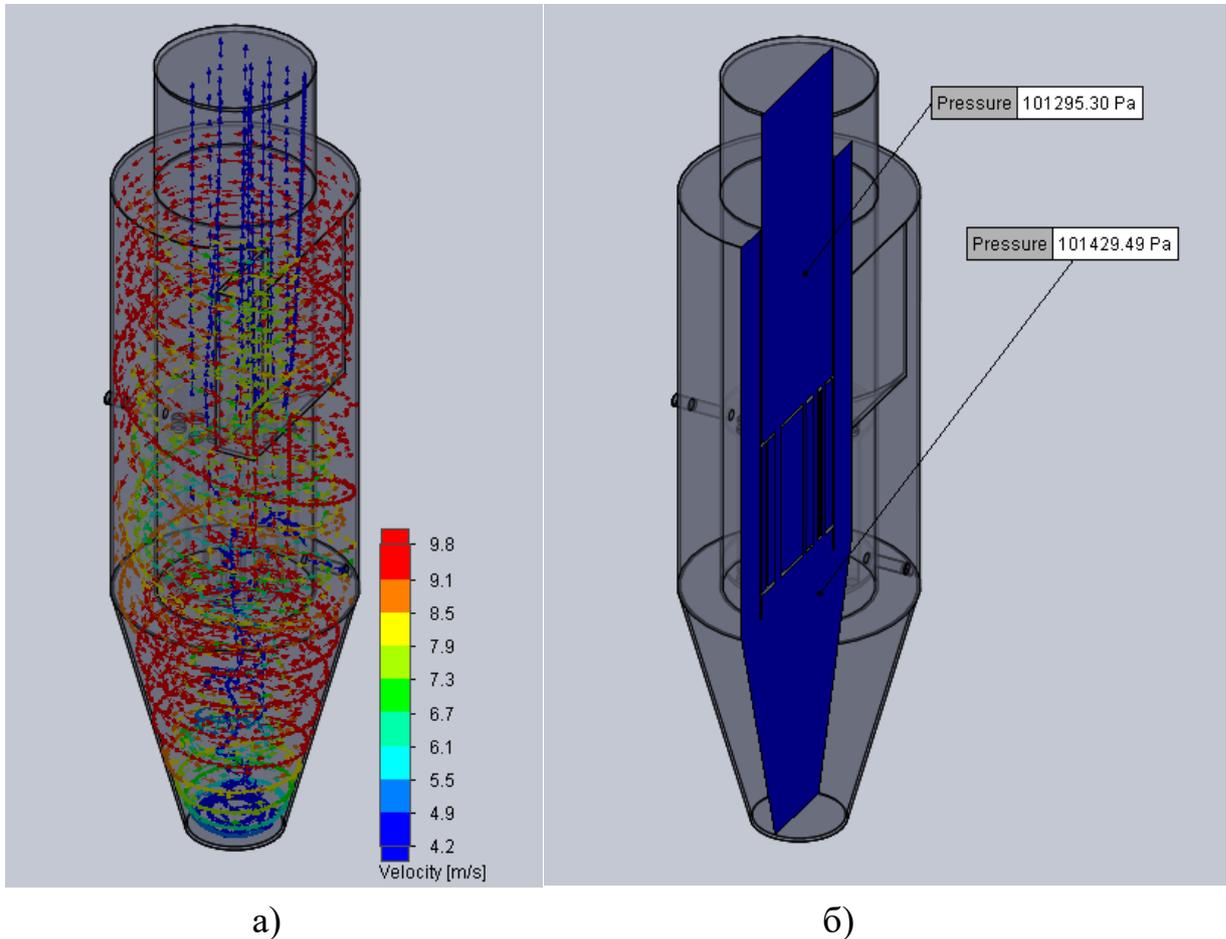


Рисунок 3.2 – Розподіл швидкостей (а) та температур (б) в циклоні

З рисунка 3.2 видно, що швидкість руху газового потоку в робочій зоні циклона не досягає оптимальних значень, які повинні становити  $w_{\text{опт}} = 2,5 \dots 3,5 \text{ м/с}$ .

Визначено розподіл тиску у поперечних перерізах циклона, а також його гідравлічний опір у межах зміни об'ємної витрати газів  $V_r = 0,68 \dots 1,7 \text{ м}^3/\text{с}$ . Відповідні результати показано на рис. 3.3.

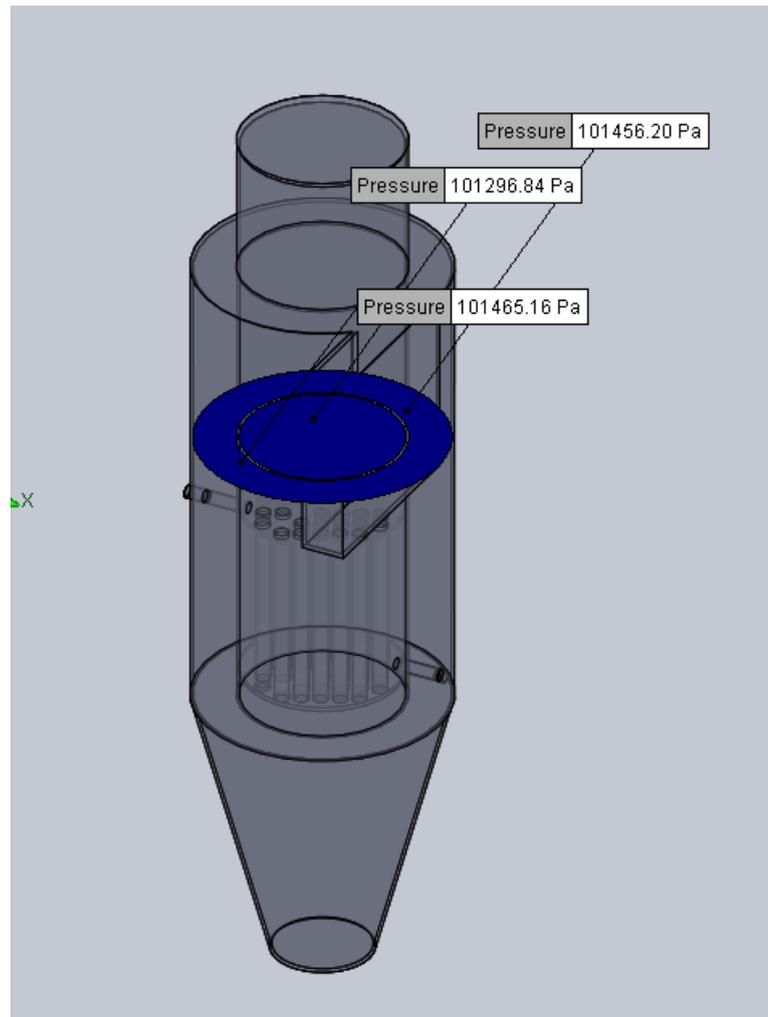


Рисунок 3.3 – Розподіл тисків в перерізі циклона

За полем тисків визначено гідравлічний опір циклона залежно від навантаження (рис. 3.4).

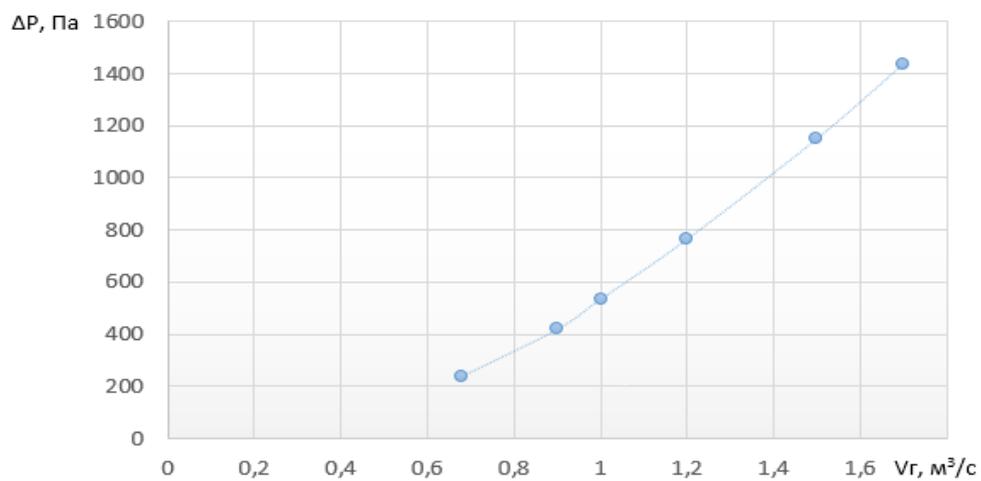


Рисунок 3.4 – Залежність втрат тиску циклона від витрати газів

Із рис. 3.4 видно, що втрати тиску змінюються від 225 до 1436 Па зі збільшенням витрати відхідних газів потоку від 0,68 до 1,7 м<sup>3</sup>/с, що відповідає 40%...100% завантаження циклона. Об'ємна витрата газів  $V_r = 1,7$  м<sup>3</sup>/с відповідає номінальній продуктивності циклона.

Виконано дослідження впливу розмірів дисперсних частинок та температури відхідних газів на вході в циклон на ефективність циклона МЦУ-600. Для розрахунків вибрано, що розміри твердих частинок змінювалися в межах 0,1...10 мкм. Результати моделювання для показані на рис. 3.5.

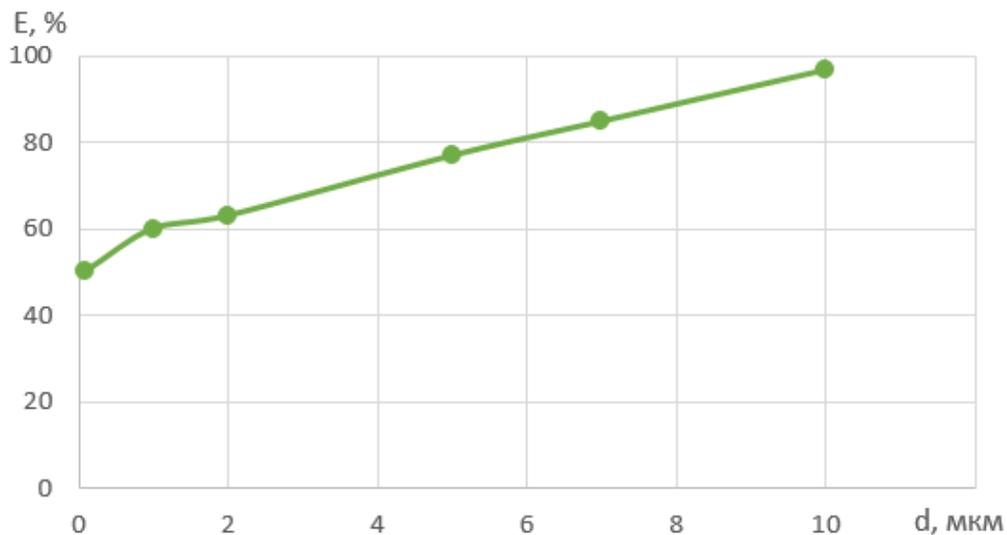


Рисунок 3.5 – Ефективність циклона залежно від діаметра частинок

Отримані результати показали, що циклон має ефективність до 50% в разі вловлювання частинок розміром менше 0,1 мкм. Ефективність уловлювання частинок розміром більше 10 мкм становить 97%. Для частинок розмірами 1 мкм...7 мкм ефективність очищення змінюється від 60% до 86%.

### 3.2 Дослідження інтенсивності теплообміну та потужності теплообмінника

Виконаємо перевірний розрахунок теплообмінника та порівняємо отримані результати з результатами комп'ютерного моделювання.

Площа поверхні теплообміну теплообмінника 4,29 м<sup>2</sup>.

Масова витрата газів

$$G_{\Gamma} = V_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma}, \quad (3.1)$$

$$G_{\Gamma} = 1,7 \cdot 0,722 = 1,2274 \text{ (кг/с)}.$$

Масова витрата води

$$G_{\text{В}} = V_{\text{В}} \cdot \rho_{\text{В}}, \quad (3.2)$$

$$G_{\text{В}} = 0,00124 \cdot 992,2 = 1,23 \text{ (кг/с)}.$$

Водяні еквіваленти

$$G_{\Gamma} \cdot C_{\text{пр}} = 1,2274 \cdot 1,102 = 1,352 \text{ (Вт/К)}, \quad (3.3)$$

$$G_{\text{В}} \cdot C_{\text{рв}} = 1,23 \cdot 4,187 = 5,15 \text{ (Вт/К)}.$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{k_3}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.4)$$

де  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – середні коефіцієнти тепловіддачі визначені за результатами моделювання в SW FlowSimulation.

$\delta_{\text{ст}}$  – товщина стінки труби  $\delta_{\text{ст}} = 0,0025$  м;

$\lambda_{\text{ст}}$  – коефіцієнт теплопровідності сталі,  $\lambda_{\text{ст}} = 45$  Вт / (м · К).

$$k_{\text{чист}} = \frac{1}{\frac{1}{60} + \frac{0,0025}{45} + \frac{1}{215}} = 46,0 \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right).$$

Відношення водяних еквівалентів

$$(G_r \cdot C_{pr}) / (G_b \cdot C_{pb}) = 1,352 / 5,15 = 0,262, \quad (3.5)$$

$$kF / G_r \cdot C_{pr} = 46,1 \cdot 4,29 / 1,352 \cdot 10^3 = 0,146. \quad (3.6)$$

З таблиць визначаємо  $Z$ ,  $Z = 0,16$ .

Температура газів на виході з теплообмінника

$$t''_1 = t'_1 - (t'_1 - t'_2) Z, \quad (3.7)$$

$$t''_1 = 220 - (220 - 40) 0,16 = 191,2 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Потужність теплообмінника-утилізатора

$$Q_{\text{ту}} = G_r \cdot C_{pr} \cdot (t'_1 - t''_1), \quad (3.8)$$

$$Q_{\text{ту}} = 1,2274 \cdot 1,102 \cdot (220 - 191,2) = 38,95 \text{ (кВт)}.$$

Температура підігрітої води на виході з теплообмінника

$$t''_b = t'_b + (t'_r - t'_b) \cdot Z \cdot \frac{G_r C_{pr}}{G_b C_{pb}}, \quad (3.9)$$

$$t''_b = 40 + (220 - 40) \cdot 0,16 \cdot \frac{1,352}{5,15} = 47,56 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

За результатами розрахунку визначено, що при середній температурі газів на вході в утилізатор  $220 \text{ }^\circ\text{C}$  та витраті газів  $1,7 \text{ м}^3/\text{с}$  теплова потужність теплообмінника становить  $38,95 \text{ кВт}$ . При цьому зворотна мережна вода нагрівається на  $7,56 \text{ }^\circ\text{C}$ , а середня температура газів на виході  $191,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

За результатами моделювання процесів у CFD-середовищі SolidWorks Flow Simulation визначено розподіл коефіцієнтів тепловіддачі на поверхні теплообмінника-утилізатора та його потужність в діапазоні значень витрати

газів  $V_r = 0,68 \dots 1,7 \text{ м}^3/\text{с}$ . Результати для витрати газів  $0,68 \text{ м}^3/\text{с}$  показані на рис. 3.6 – 3.7.

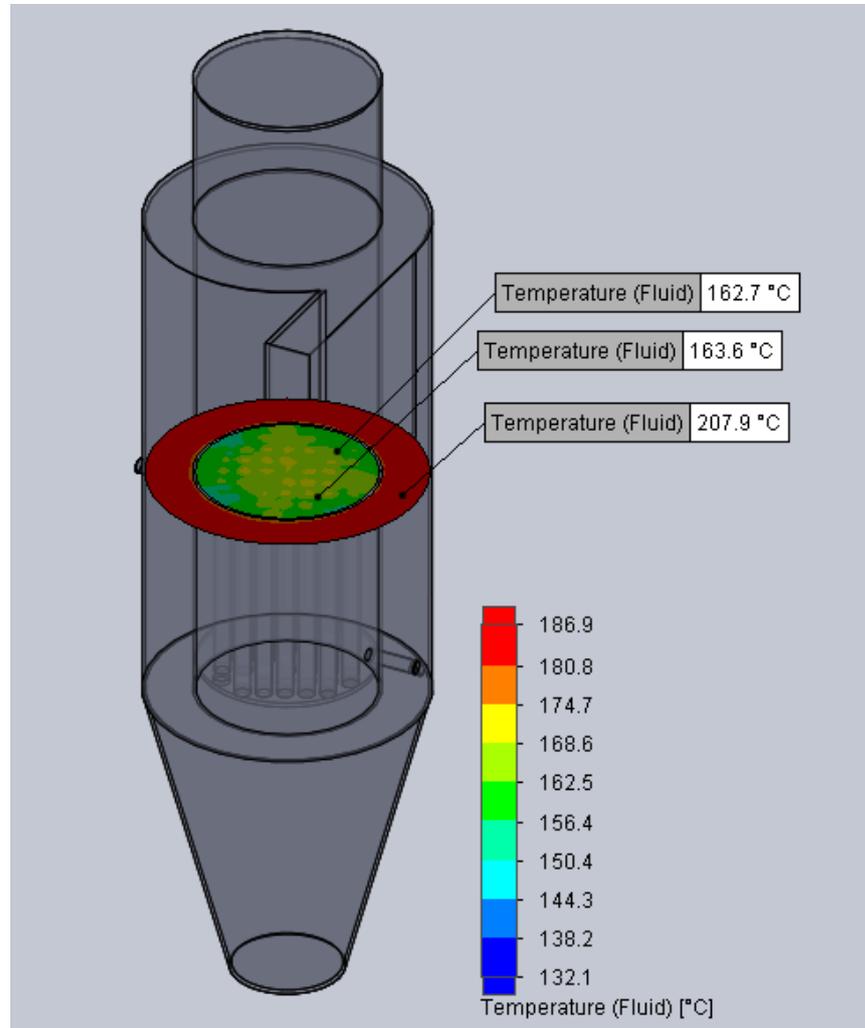


Рисунок 3.6 – Температура газів на виході з теплообмінника

Із рис. 3.6 видно, що температура газів на виході з циклона змінюється в межах  $163 \dots 167 \text{ °C}$  за витрати газів  $V_r = 0,68 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Порівняння середніх значень коефіцієнтів тепловіддачі з боку водяного середовища в міжтрубному просторі та з боку газового потоку всередині труб, розрахованих за критеріальними рівняннями, із відповідними даними, отриманими в результаті CFD-моделювання (рис. 3.7), показало, що відхилення між розрахунковими та результатами комп'ютерного моделювання не перевищує 15 %.

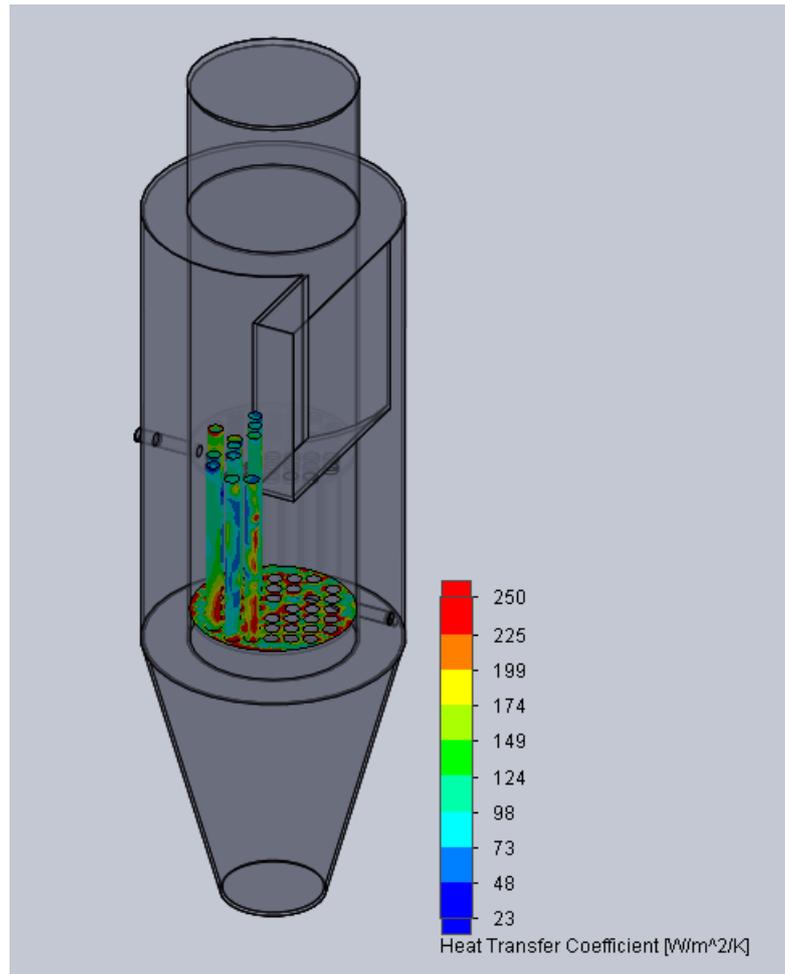


Рисунок 3.7 – Розподіл коефіцієнтів тепловіддачі зі сторони води та газів

Досліджено вплив витрати газів на потужність теплообмінника-утилізатора (рис. 3.8 – 3.9).

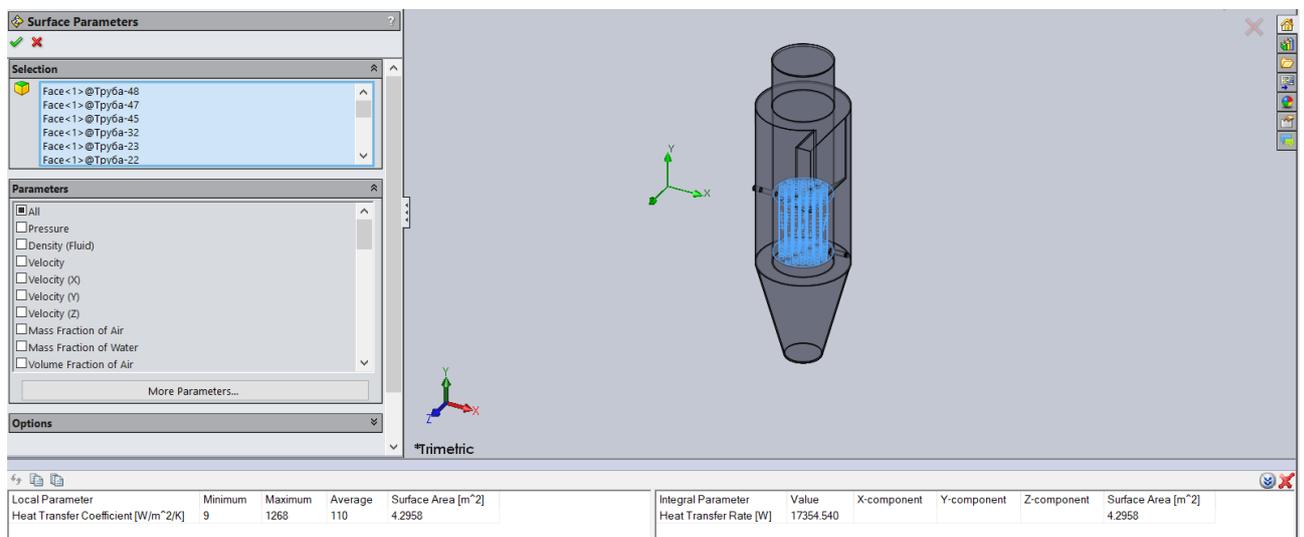


Рисунок 3.8 – Скрін-шот роботи програми – визначення потужності теплообмінника

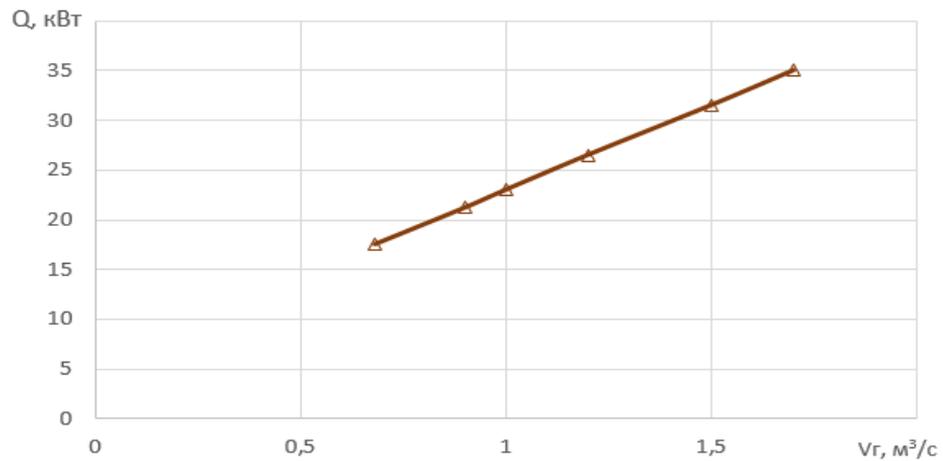


Рисунок 3.9 – Залежність потужності теплообмінника-утилізатора від витрати газів:  $1 - t'_g = 220^\circ\text{C}$ ,  $t'_B = 40^\circ\text{C}$ .

За результатами моделювання встановлено, що зі збільшенням об'ємної витрати відхідних газів від 0,68 до 1,7 м<sup>3</sup>/с теплова потужність теплообмінника-утилізатора зростає від 17,5 кВт до 35,17 кВт. Розрахунки проведено для температури газів на вході  $t'_g = 220^\circ\text{C}$ , температури води на вході –  $40^\circ\text{C}$  та масової витрати води  $G_B = 1,24 \text{ кг/с}$ .

Крім того, досліджено, як зміна параметрів на вході впливає на вихідну температуру води та теплову потужність теплообмінника. (рис. 3.10).

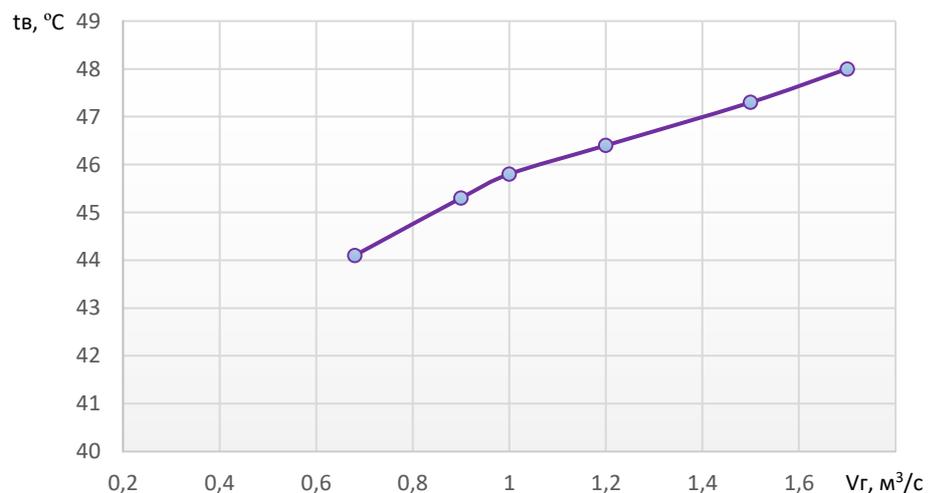


Рисунок 3.10 – Залежність температури води на виході з теплообмінника-утилізатора від витрати газів:  $1 - t'_g = 220^\circ\text{C}$ ,  $t'_B = 40^\circ\text{C}$ .

Встановлено, що в діапазоні об'ємних витрат від 0,68 до 1,7 м<sup>3</sup>/с вода нагрівається на 4–8 °С, що зумовлено низькою інтенсивністю теплообміну з боку газового потоку. Наявність твердих частинок у потоці, який проходить через трубки теплообмінника-утилізатора, призводить до забруднення теплообмінної поверхні, зниження коефіцієнта теплопередачі та, як наслідок, зменшення теплової потужності теплообмінника. Порівняння з результатами комп'ютерного моделювання показало такі розбіжності: температура води на виході відрізняється на 6 %, а тепла потужність – на 11 %.

### 3.3 Висновки до розділу

В CFD-пакеті SolidWorks Flow Simulation виконано комп'ютерне моделювання аеродинаміки циклона МЦ-У-600, який застосовується для очищення відхідних газів твердопаливних котлів, що працюють на паливних пелетах. За результатами моделювання отримано поля фізичних величин, за якими визначено ефективність очищення від твердих домішок різної фракції, гідравлічний опір циклона, потужність теплообмінника-утилізатора. Встановлено, що опір циклона змінюється від 225 до 1436 Па в разі зміни витрати газів від 0,68 м<sup>3</sup>/с до 1,7 м<sup>3</sup>/с.

Виконано дослідження впливу розміру дисперсних частинок золи на ефективність очищення газового потоку. За результатами встановлено, що циклон має ефективність до 50% в разі вловлювання частинок розміром менше 0,1 мкм, а ефективність уловлювання частинок розміром більше 10 мкм становить 97%. Для частинок розмірами 1 мкм...7 мкм ефективність очищення змінюється в межах 60%...86%.

За результатами моделювання теплообміну в циклоні МЦ-У-600 виявлено, що потужність змінюватиметься від 17,5 до 35,17 кВт, а мережна вода підігріватиметься на 4...8 °С залежно від витрати і температури води та газів на вході в теплообмінник.

Отримані результати можуть бути використані для організації раціональних режимів роботи циклона в умовах його експлуатації для підвищення його енергоефективності.

## 4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Технологія монтажу котла КОЛВІ 8000Р

В якості модернізації для економії природного газу розробляється система монтажу котла КОЛВІ 8000Р із системою забезпечення паливом для заміни застарілого та законсервованого котла КВГ-7,56.

Котел КОЛВІ 8000Р представлений у формі термоблока — 2-х рядів промислових жаротрубних водогрійних котлів КОЛВІ 4000. Такий термоблок покриває теплове навантаження опалюваних приміщень до 8 МВт.

Кожен із котлів цього термоблока обладнаний власним пальником (газовий або рідкопаливний), пультом керування, пучком жарових труб, по яких циркулюють продукти згоряння палива, що передають теплову енергію. Турбулентна циркуляція продуктів згоряння забезпечує високу ефективність теплопередачі. Корпус і теплообмінні поверхні котла представлені у вигляді компактної моноблочної конструкції з масивної жароміцної сталі.

Регулювання потужності – модуляційна, в автоматичному режимі.

Габаритні розміри котла: 4320x3755x2270 мм, витрата природного газу 928,8 м<sup>3</sup>/год, витрати дизельного палива 712,0 кг/год, температура контуру опалення, не більш ніж 115 °С, поверхня нагрівання 147,72 м<sup>2</sup>, ККД 92%, тиск контуру опалення, не більш ніж 6 бар, об'єм води в котлі 7900 л, маса – 15000 кг.

Також передбачено два пальники «Сib Unigas» R515 А, що мають такі характеристики: потужність 770-5200 кВт, електричне живлення – 230/400 V 3N ас, двигун вентилятора 11,0 кВт. Габаритні розміри: 1350x1570x1120, маса – 300 кг.

4.1.1 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей

Підбір основного обладнання та допоміжних матеріалів для монтажу котла КОЛВІ 8000Р із системою забезпечення паливом показано у табл. 4.1 та 4.2 [27-31].

Таблиця 4.1 – Основні матеріали для монтажу

| № п.п | Найменування матеріалу                                      | Одиниці вимірювання | Кількість | Маса одиниці, кг | Маса, кг |
|-------|---|---------------------|-----------|------------------|----------|
| 1     | 2   | 3                   | 4         | 5                | 6        |
| 1     | Котел КОЛВІ 8000 Р  | шт                  | 1,0       | 15000            | 15000    |
| 2     | Труба сталевая водогазопровідна ДСТУ 8936:2019, Ду 20 x 2,8 | мп                  | 2,0       | 1,66             | 3,32     |
| 3     | Труба сталевая водогазопровідна ДСТУ 8936:2019, Ду 25 x 3,2 | мп                  | 5,0       | 2,39             | 11,95    |
| 4     | Труба сталевая електрозварна 159 x 4,5 ДСТУ 8943:2019       | мп                  | 13,0      | 17,15            | 222,95   |
| 5     | Труба сталевая електрозварна 76 x 3,5 ДСТУ 8943:2019        | мп                  | 6,0       | 6,26             | 37,56    |
| 6     | Клапан електромагнітний газовий, нормально закритий, Ду 200 | шт.                 | 1         | 62,00            | 62,00    |
| 7     | Кран кульовий фланцевий газовий Ду 150, Ру = 1,6 МПа        | шт.                 | 2         | 26,4             | 52,8     |
| 8     | Кран кульовий фланцевий газовий Ду 65, Ру = 1,6 МПа         | шт.                 | 4         | 7,8              | 31,2     |
| 9     | Кран кульовий газовий Ду 25, Ру = 1,6 МПа                   | шт.                 | 2         | 1,0              | 2,0      |
| 10    | Кран кульовий газовий Ду 20, Ру = 1,6 МПа                   | шт.                 | 1         | 0,7              | 0,7      |
| 11    | Кран кульовий газовий Ду 15, Ру = 1,6 МПа                   | шт.                 | 1         | 0,6              | 0,6      |
| 12    | Відвід 90 <sup>0</sup> – 150 x 6, Ду 150                    | шт.                 | 3         | 8,1              | 24,3     |
| 13    | Відвід 90 <sup>0</sup> – 75 x 4, Ду 65                      | шт.                 | 2         | 1,1              | 2,2      |
| 14    | Відвід 90 <sup>0</sup> – 1-33,7 x 3,2, Ду 25                | шт.                 | 4         | 0,16             | 0,64     |

Продовження таблиці 4.1

| 1                        | 2  | 3      | 4   | 5    | 6        |
|--------------------------|--|--------|-----|------|----------|
| 15                       | Відвід 90 <sup>0</sup> – 1-26,9 x 3,2, Ду 20                                       | шт.    | 4   | 0,17 | 0,68     |
| 16                       | Заглушка еліптична, Ду 150   | шт.    | 3   | 1,5  | 3,5      |
| 17                       | Заглушка, Ду 15  | шт.    | 1   | 0,04 | 0,04     |
| 18                       | Перехід сталевий концентричний,<br>Ду 250 x 150                                    | шт.    | 1   | 7,4  | 7,4      |
| 19                       | Кільце та заглушка інвентарна, Ду 65   | компл. | 1   | 2,8  | 2,8      |
| 20                       | Кільце та заглушка інвентарна,<br>Ду150  | компл. | 1   | 7,82 | 7,82     |
| 21                       | Сталь штабова 40 x 4 мм  | мп     | 1,5 | 1,26 | 1,89     |
| 22                       | Блок газових клапанів Ду 50 зі<br>стабілізатором тиску газу                        | шт.    | 2   | 3,2  | 6,4      |
| 23                       | Блок контролю герметичності<br>газових клапанів                                    | шт.    | 2   | 0,8  | 1,6      |
| 24                       | Реле мінімального тиску  | шт.    | 2   | 1,1  | 2,2      |
| 25                       | Фільтр газу Ду 50, Ру=0,2 МПа  | шт.    | 2   | 2,5  | 5,0      |
| 26                       | Патрубок різьбовий 2", підключення<br>до блоку пальника з відводом 90 <sup>0</sup> | шт.    | 2   | 3,6  | 7,2      |
| Загальна маса матеріалів |  |        |     |      | 15498,75 |

Таблиця 4.2 – Потреба у допоміжних матеріалах

| №<br>п.п                                 | Найменування матеріалу                                    | Одиниці<br>вимірю-<br>вання | Кіль-<br>кість | Маса<br>оди-<br>ниці, кг | Маса, кг           |
|--|---|-----------------------------|----------------|--------------------------|--------------------|
| 1  | 2   | 3                           | 4              | 5                        | 6                  |
| Для монтажу трубопроводів газопостачання |   |                             |                |                          |                    |
| 27                                       | Кисень технічний газоподібний                             | м <sup>3</sup>              | 0,02<br>0,05   | 0,467<br>0,545           | 0,00934<br>0,02725 |
| 28                                       | Фарба земляна густотерта олійна,<br>мумія, сурик залізний | т                           | 0,07           | 0,06                     | 0,0042             |
| 29                                       | Мило тверде господарське 72%                              | шт                          | 0,0025         | 0,25                     | 0,000625           |
| 30                                       | Дріт зварний легований, діаметр 4 мм                      | т                           | 0,02<br>0,05   | 0,9<br>1,0               | 0,18<br>0,05       |
| 32                                       | Ацетилен газоподібний технічний                           | м <sup>3</sup>              | 0,02<br>0,05   | 0,404<br>0,468           | 0,00808<br>0,0234  |
| 32                                       | Оліфа натуральна  | кг                          | 0,07           | 0,03                     | 0,0021             |
| 33                                       | Очіс льняний  | т                           | 0,07           | 0,03                     | 0,0021             |

Продовження табл. 4.2

| 1  | 2  | 3        | 4       | 5    | 6      |
|--|--|----------|---------|------|--------|
| Для монтажу клапана електромагнітного газового, кранів кульових [10] |  |          |         |      |        |
| 34   | Прокладки з пароніту, товщина 2 мм,<br>Ду 65   | 1000 шт. | 8*0,002 | 24   | 0,384  |
| 35   | Прокладки з пароніту, товщина 2 мм,<br>Ду 150  | 1000 шт. | 4*0,002 | 51   | 0,408  |
| 36   | Прокладки з пароніту, товщина 2 мм,<br>Ду 200  | 1000 шт  | 2*0,002 | 62   | 0,248  |
| 37   | Болти з гайками та шайбами, діаметр 12 мм  | кг       | 32      | 1,63 | 52,16  |
| 38   | Болти з гайками та шайбами, діаметр 16 мм  | кг       | 32      | 4,39 | 140,48 |
| 39   | Болти з гайками та шайбами, діаметр 16 мм  | кг       | 16      | 5,89 | 94,24  |
| 40   | Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2,<br>ВСт3сп3, тиск 1,6 МПа (16 кгс/см <sup>2</sup> ),<br>Ду 65                          | шт.      | 8       | 3,42 | 27,36  |
| 41   | Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2,<br>ВСт3сп3, тиск 1,6 МПа(16 кгс/см <sup>2</sup> ),<br>Ду 200                          | шт.      | 2       | 10,1 | 20,2   |
| Для монтажу котла  |  |          |         |      |        |
| 42   | Натр їдкий [сода каустична] технічний,<br>марка ГР   | т        | 0,00152 | 1,52 | 1,52   |
| 43   | Тонколистовий прокат із сталі вуглецевої<br>звичайної якості та якісної, гарячекатаний<br>з обрізними кромками, товщина 3,9 мм | т        | 0,00152 | 1,52 | 1,52   |
| 44   | Електроди, діаметр 4 мм, марка Э50А  | т        | 0,0002  | 0,2  | 0,2    |
| 45   | Вода технічна  | т        | 0,23    | 230  | 230    |
| 46   | Набивки плетені просочені азбестові,<br>круглі, квадратні, марка АП-31, діаметр,<br>сторона квадрата 6-14 мм                   | т        | 0,00015 | 0,15 | 0,15   |
| 47   | Металеві прокладки   | т        | 0,00571 | 5,71 | 5,71   |
| 48   | Пароніт  | т        | 0,00015 | 0,15 | 0,15   |
| 49   | Пропан-бутанова суміш  | т        | 0,0011  | 1,1  | 1,1    |
| Загальна маса матеріалів   |  |          |         |      | 607,38 |

Загальна маса основного обладнання та допоміжних матеріалів

$$M_o = 15\,498,75 \text{ кг та } M_d = 607,38 \text{ (кг) відповідно.}$$

Загальна маса для доставки

$$\Sigma M_3 = 15\,498,75 + 607,38 + 41,55 = 16\,147,68 \text{ (кг)}.$$

4.1.2 Для подальшого монтажу визначено склад і об'єм робіт.

Склад робіт:

- доставка теплогенеруючого та допоміжного обладнання, трубопроводів та арматури до місця монтажу та їх складування;
- розмітка місць прокладання трубопроводів;
- монтаж котла КОЛВІ 8000Р;
- монтаж пальників «Сib Unigas» R515А;
- прокладання трубопроводів Ду 150;
- встановлення переходу сталевого Ду 250;
- встановлення арматури Ду 150: відводів 90° – 150х6, фланців плоских приварних із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>), кранів кульових фланцевих газових, заглушки еліптичної, кільця та заглушки інвентарної;
- прокладання трубопроводів Ду 70;
- встановлення арматури Ду 65: відводів 90° – 70 х 4, фланців плоских приварних із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>), кранів кульових фланцевих газових, кільця та заглушки інвентарної;
- прокладання трубопроводів Ду 25;
- встановлення арматури Ду 25: відводів 90° – 1-33,7х3,2, кранів кульових газових;
- прокладання трубопроводів Ду 20;
- встановлення арматури Ду 2: відводів 90° – 1-26,9х3,2, кранів кульових газових;
- встановлення крана кульового газового Ду 20;

- встановлення крана кульового газового Ду 15;
- монтаж заглушки Ду 15;
- встановлення контрольно-вимірювальних приладів;
- гідравлічне випробування трубопроводів;
- кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію;
- повернення допоміжного обладнання на склад.

#### Об'єм робіт:

– доставка теплогенерувального та допоміжного обладнання, трубопроводів та арматури до місця монтажу та їх складування. Одиниці вимірювання - т. Загальна вага усього обладнання, трубопроводів та арматури складає 916,33 кг. Приймаємо об'єм  $V=0,91$ ;

– розмітка місць прокладання трубопроводів. Одиниці вимірювання – 100 м. Довжина трубопроводів усіх типорозмірів складає  $L=25$  м. Приймаємо  $V = 0,26$ ;

– монтаж котла КОЛВІ 8000Р. Одиниці вимірювання – т. В тепловій схемі котельні встановлюється 1, котел масою 15 т. Приймаємо  $V=15$ ;

– монтаж пальників «Сib Unigas» R515A. Одиниці вимірювання – шт. Встановлюються 2 пальника на 1 котел. Приймаємо  $V=2$ ;

– встановлення переходу сталевого концентричного. Одиниці вимірювання – шт. Встановлюється 1 перехід. Приймаємо  $V=1$ ;

– прокладання трубопроводів Ду 150. Одиниці вимірювання – т. Маса трубопроводів вказаного типу розміру складає 222,95 кг. Приймаємо  $V=0,222$ ;

– встановлення арматури Ду 150: відводи  $90^{\circ}$  – 150 х 6. Одиниці вимірювання – шт. Встановлюється 3 відводи вказаного типу. Приймаємо  $V=3$ ; фланці плоскі приварні із сталі ВСтЗсп2, ВСтЗсп3, тиск 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>). Одиниці виміру – шт. Встановлюється 4 фланці вказаного типу. Приймаємо  $V=4$ ; крани кульові фланцеві газові. Одиниці вимірювання – шт. Встановлюється 2 крани вказаного типу. Приймаємо  $V=2$ ; кільця та заглушки інвентарні. Одиниці вимірювання – комп. Встановлюється 1 комплект. Приймаємо  $V=1$ ;

– прокладання трубопроводів Ду 70. Одиниці вимірювання – т. Маса трубопроводів вказаного типу розміру складає 37,56 кг. Приймаємо  $V=0,038$ ;

– встановлення арматури Ду 70: відводи  $90^0$  – 76 х 4. Одиниці вимірювання – шт. Встановлюється 2 відводи вказаного типу. Приймаємо  $V=2$ ; фланці плоскі приварні із сталі ВСтЗсп2, ВСтЗсп3, тиск 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>). Одиниці виміру – шт. Встановлюється 8 фланці вказаного типу. Приймаємо  $V=8$ ; крани кульові фланцеві газові. Одиниці вимірювання – шт. Встановлюється 4 крани вказаного типу. Приймаємо  $V=4$ ; кільця та заглушки інвентарні. Одиниці вимірювання – комплект. Встановлюється 1 комплект. Приймаємо  $V=1$ ;

– прокладання трубопроводів Ду 25. Одиниці вимірювання – т. Маса трубопроводів вказаного типу розміру складає 11,95 кг. Приймаємо  $V=0,012$ ;

– встановлення арматури Ду 25: відводи  $90^0$  – 1-33,7 х 3,2. Одиниці вимірювання – шт. Встановлюється 4 відводи вказаного типу. Приймаємо  $V=4$ ; крани кульові газові. Одиниці вимірювання – шт. Встановлюється 2 крани вказаного типу. Приймаємо  $V=2$ ;

– прокладання трубопроводів Ду 20. Одиниці вимірювання – т. Маса трубопроводів вказаного типу розміру складає 3,32 кг. Приймаємо  $V=0,00332$ ;

– встановлення арматури Ду 20: відводи 900 – 1-26,9 х 3,2. Одиниці вимірювання – шт. Встановлюється 4 відводи вказаного типу. Приймаємо  $V=4$ ;

– встановлення крана кульового газового Ду 15. Одиниці вимірювання – шт. Встановлюється 1 кран вказаного типу. Приймаємо  $V=1$ . Заглушка. Одиниці вимірювання – шт. Встановлюється 1 заглушка. Приймаємо  $V=1$ ;

– гідравлічне випробування трубопроводу. Одиниця вимірювання 100 м. Загальна довжина складає  $L=26$  м. Приймаємо  $V=0,26$ ;

– кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Одиниця вимірювання 100 м. Загальна довжина складає  $L=26$  м. Приймаємо  $V=0,26$ ;

– повернення допоміжного обладнання на склад. Одиниці вимірювання в тонах. Маса інструментів та обладнання 40,95 кг. Приймаємо  $V=0,041$ .

4.1.3 Вибір і обґрунтування методів виконання робіт, типів машин, механізмів, пристосувань і конструкцій.

Успішне і якісне виконання монтажних робіт залежить від своєчасної підготовки виробництва. При монтажі трубопроводів необхідно суворо дотримуватися технічних умов і правил провадження робіт, деталей і вузлів трубопроводів, арматури та інших матеріалів.

Підбір машин, механізмів, пристосувань.

Теплогенерувальне та допоміжне обладнання та трубопроводи на котельню завозяться централізовано бортовим автомобілем КрАЗ-65053 та автокраном ІВАНОВЕЦЬ КС-45717 А-1, який також буде використаний для підйомно-транспортних робіт. Доставка деталей та обладнання до місця монтажу проводиться за 1 раз. Технічні характеристики автомобілів наведені в таблицях 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики бортового автомобіля КрАЗ-65053 [32]

| Найменування              | Одиниці виміру | Значення  |
|---------------------------|----------------|-----------|
| Вантажопідйомність        | кг             | 17000     |
| Потужність                | кВт (к.с.)     | 243 (330) |
| Максимальна швидкість     | км/год.        | 90        |
| Контрольні витрати палива | л/100 км       | 33,5      |

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики автокрану ІВАНОВЕЦЬ КС-45717 А-1 [33]

| Найменування            | Одиниці вимірювання   | Значення   |
|-------------------------|-----------------------|------------|
| Вантажопідйомність      | кг                    | 25000      |
| Виліт стріли            | м                     | 2,0 – 19,7 |
| Максимальна швидкість   | км/год                | 60         |
| Витрати палива (дизель) | л/100 км (л/маш.год.) | 41,2 (5,5) |

Для зварювання стиків трубопроводу використовується зварювальний напівавтомат інвертор Тех.АС ТА-00-022, технічні характеристики, якого наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики зварювального апарату для ручного дугового зварювання Тех.АС ТА-00-022 [34].

| Найменування                   | Одиниці вимірювання | Значення |
|--------------------------------|---------------------|----------|
| Напруга живлення               | В                   | 220      |
| Сила струму                    | А                   | 40 – 220 |
| Діаметр зварювального елемента | мм                  | 1-5      |
| Номінальна споживча потужність | кВт                 | 6,8      |
| Коефіцієнт корисної дії        | %                   | 80       |
| Тривалість завантаження        | %                   | 60       |
| Маса                           | кг                  | 12       |

Для зачищення деталей використовуємо кутову шліфувальну машину BOSH GWS 24-230 P PROFESSIONAL. Технічні характеристики наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Технічна характеристика кутової шліф. машини BOSH GWS 24-230 P PROFESSIONAL [35].

| Найменування                     | Одиниці вимірювання | Значення |
|----------------------------------|---------------------|----------|
| Частота обертання холостого ходу | об/хв               | 8500     |
| Діаметр кола                     | мм                  | 180      |
| Потужність                       | Вт                  | 2400     |
| Маса                             | кг                  | 5,7      |

Для виконання монтажних робіт використовуємо набір інструментів (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Набір інструментів та пристосувань для монтажників системи трубопроводів.

| Найменування                                    | ГОСТ, марка  | Кіл-ть, шт. | Загальна маса, кг. |
|---|--------------|-------------|--------------------|
| Ключ гайковий двохсторонній М17х19мм, М19х22 мм | ГОСТ 2839-80 | 6           | 0,9                |
| 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               |
| Висок   | ГОСТ 7948-80 | 2           | 0,2                |
| Ящик переносний для інструменту                 |              | 12          | 3,2                |
| Всього:   |              |             | 12,35              |

Випробування трубопроводів та системи в цілому виконуємо за допомогою електричного пресувальника AQUA WORD DSY-60, характеристики якого наведені у табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Технічні характеристики пресувальника електричного AQUA WORD DSY-60 [36].

| Найменування     | Одиниці виміру | Значення  |
|------------------|----------------|-----------|
| Продуктивність   | л/хв           | 3         |
| Робочий тиск     | бар            | 60        |
| Потужність       | Вт             | 250       |
| Напруга живлення | В              | 220 – 240 |
| Маса             | кг             | 11,5      |

Загальна маса допоміжного обладнання складає 41,55 кг.

#### 4.1.4 Витрати паливних та енергетичних ресурсів.

Витрати пального для доставки матеріалів та виробів:

- відстань 1 км;
- кількість ходок  $n=1$ ;

витрати пального для автокрану  $Q=41,2$  (л/100км);

витрати пального для автомобіля КрАЗ-65053  $Q=33,5$  (л/100км).

Необхідна кількість пального для доставки обладнання

$$Q_T = Q \cdot 2 \cdot n \cdot l = 0,412 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,82 \text{ (л)}, \quad (4.1)$$

$$Q_T = Q \cdot 2 \cdot n \cdot l = 0,335 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,67 \text{ (л)}$$

Тривалість роботи автокрану ІВАНОВЕЦЬ КС-45717 А-1

$$\tau = 1 \cdot 2,03 + 2 \cdot 0,35 = 2,73 \text{ (год)}.$$

Тривалість роботи автомобіля КрАЗ-65053

$$\tau = 1 \cdot 1,96 + 2 \cdot 0,29 = 2,54 \text{ (год)}.$$

Необхідна кількість палива для вантажних робіт для автокрану ІВАНОВЕЦЬ КС-45717 А-1

$$Q_B = 5,5 \cdot 2,73 = 15,02 \text{ (л)}.$$

Необхідна кількість палива для вантажних робіт для автомобіля КрАЗ-65053

$$Q_B = 4,8 \cdot 2,54 = 12,2 \text{ (л)}.$$

Загальна кількість пального для автокрану ІВАНОВЕЦЬ КС-45717 А-1

$$Q_\Sigma = Q_B + Q_T, \quad (4.2)$$

$$Q_\Sigma = 15,02 + 0,82 = 15,84 \text{ (л)}.$$

Загальна кількість пального для автомобіля КрАЗ-65053

$$Q_\Sigma = 12,2 + 0,67 = 12,87 \text{ (л)}.$$

Витрати електроенергії на роботи електроприладів

$$N = P \cdot \tau \quad (4.3)$$

де  $P$  – потужність приладу чи механізму, кВт;

$\tau$  – термін роботи приладу, год.

Тривалість роботи зварювального апарату

$$\begin{aligned} \tau = & 0,00332 \cdot 0,07 + 0,012 \cdot 0,17 + 0,038 \cdot 1,64 + 0,222 \cdot 4,28 + 4 \cdot 0,44 + 8 \cdot 0,22 \\ & + 2 \cdot 0,21 + 3 \cdot 0,43 + 2 \cdot 0,44 + 4 \cdot 0,22 + 4 \cdot 1,8 + 2 \cdot 0,42 + 4 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,35 + \\ & 1 \cdot 0,44 + 1 \cdot 0,22 = 20,01 \text{ (год)}. \end{aligned}$$

Витрати електроенергії на роботу зварювального апарату Тех.АС ТА-00-022

$$N = 6,8 \cdot 20,01 = 136,07 \text{ (кВт год)}.$$

Тривалість роботи кутової шліфувальної машини

$$\tau = 0,00332 \cdot 0,63 + 0,012 \cdot 4,2 + 0,038 \cdot 3,7 + 0,222 \cdot 2,6 = 0,65 \text{ (год)}.$$

Витрати електроенергії на роботу кутової шліфувальної машину BOSH  
GWS 24-230 P PROFESSIONAL

$$N = 2,4 \cdot 0,65 = 1,56 \text{ (кВт год)}.$$

Затрати електроенергії для роботи пресувальника електричного AQUA  
WORD DSY-60

$$E_{\text{он}} = 0,25 \cdot 1,36 = 0,34 \text{ (кВт·год)}.$$

Загальні затрати електроенергії для роботи електроінструменту

$$E_{\Sigma} = E_{\text{звар}} + E_{\text{шм}} + E_{\text{он}}. \quad (4.4)$$

$$E_{\Sigma} = 136,07 + 1,56 + 0,34 = 137,97 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

#### 4.1.5 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

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

- доставка теплогенерувального та допоміжного обладнання, трубопроводів та арматури до місця монтажу та їх складування. Водій і вантажник;
- розмітка місць прокладання трубопроводів. Два монтажника 6 і 3 розрядів;
- монтаж котла КОЛВІ 8000Р. Монтажники: 6 і 5 розряду – по 1, 4 і 3 розрядів – по 3;
- монтаж пальників «Сib Unigas» R515А. Монтажники: 6 і 5 розрядів – по 1, 4 і 3 розрядів – по 2;
- встановлення переходу Ду 250. Монтажники: 6 і 5 розрядів – по 1, зварювальник: 5 розряду – 1;
- прокладання трубопроводів Ду 150. Монтажники: 4 і 3 розряду – по 1;
- встановлення арматури Ду 150. Монтажники: 6 і 5 розрядів – по 1, зварювальник: 5 розряду – 1;
- прокладання трубопроводів Ду 70. Монтажники: 4 і 3 розрядів – по 1;
- встановлення арматури Ду 65. Монтажники: 6 і 5 розрядів – по 1, зварювальник: 5 розряду – 1;
- прокладання трубопроводів Ду 25. Монтажники: 4 і 3 розряду – по 1;
- встановлення арматури Ду 25. Монтажники: 6 і 4 розрядів – по 1, зварювальник: 5 розряду – 1;
- прокладання трубопроводів Ду 20. Монтажники: 4 і 3 розрядів – по 1;

- встановлення арматури Ду 20. Монтажники: 6 і 4 розрядів – по 1, зварювальник: 5 розряду – 1;
- встановлення крану кульового газового Ду 20. Монтажник: 3 розряду – 1;
- встановлення крану кульового газового Ду 15. Монтажник: 3 розряду – 1;
- монтаж заглушки Ду 15. Монтажник: 6 і 4 розрядів – по 1.
- гідравлічне випробування трубопроводів. Слюсар газової служби: 5, 4 і 3 розрядів – по 1;
- кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Слюсар газової служби: 5, 4, 3 розрядів – по 1;
- повернення допоміжного обладнання на склад. Водій та вантажник.

#### Технологія монтажу котла

Монтаж та підключення всіх деталей, проведення заходів безпеки повинні здійснюватися фахівцями із дотриманням чинних норм та правил з техніки безпеки. Необхідно дотримуватися інструкцій з монтажу котла та робочого проекту.

Спочатку основне та допоміжне обладнання, поставляється у вигляді окремих сегментів: котел, пальники, трубопроводи, крани. Після підготовки майданчика – все збирається в єдиний комплекс (котел та пальники) та проводяться роботи з монтажу трубопроводів та кранів.

Після збірки і підключення обладнання проводиться виконання пусконаладжувальних робіт (гідравлічне випробування).

За деякий час здійснюється завершення всіх робіт та виведення об'єкта на проектні потужності.

Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Трудомісткість монтажних робіт

$$Q = \frac{V \cdot H_{\text{ч}}}{B} \text{ [люд/дні]}, \quad (4.5)$$

де  $V$  – об'єм робіт;

$N_c$  – норма часу на одиницю виміру, люд/год;

$B$  – кількість годин в зміні, год.

Тривалість монтажних робіт визначається за формулою

$$T = \frac{Q}{n} \text{ [дні]}, \quad (4.6)$$

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

$n$  – кількість робітників, люд.

Результати розрахунку наведені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

| № роботи | Найменування робіт   | Одиниці виміру | Об'єм робіт | Норма часу | Трудомісткість, люд/год | Тривалість днів | Виконавці |  |
|----------|--|----------------|-------------|------------|-------------------------|-----------------|-----------|--|
|          |  |                |             |            |                         |                 | Кількість | Професійний склад                                  |
| 1        | 2  | 3              | 4           | 5          | 6                       | 7               | 8         | 9  |
| 1        | Доставка теплогенерувального та допоміжного обладнання, трубопроводів та арматури до місця монтажу та їх складування | т              | 0,91        | 1,2        | 0,14                    | 0,07            | 2         | Водій та монтажник                                 |
| 2        | Розмітка місць прокладання трубопроводів   | 100 м          | 0,26        | 1,6        | 0,052                   | 0,026           | 2         | Монтажник 6 р – 1<br>3 р – 1                       |
| 3        | Монтаж котла КОЛВІ 8000Р   | т              | 15          | 48,02      | 90,04                   | 11,25           | 8         | Монтажник 6 р – 1<br>5 р – 1<br>4 р – 3<br>3 р – 3 |
| 4        | Монтаж пальників «Cib Unigas» R515A  | шт             | 2           | 46,2       | 11,55                   | 5,78            | 2         | Монтажник 6 р – 1<br>3 р – 1                       |

Продовження таблиці 4.9

| 1  | 2  | 3     | 4     | 5          | 6     | 7     | 8 | 9  |
|----|--|-------|-------|------------|-------|-------|---|--|
| 5  | Встановлення переходу Ду 250x150   | шт    | 1     | 12,16      | 1,52  | 0,51  | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |
| 6  | Прокладання трубопроводів 150 мм   | т     | 0,222 | 170,56     | 4,73  | 2,37  | 2 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1                            |
| 7  | Встановлення відводів 90 <sup>0</sup> – 150x6  | шт.   | 3     | 11,4       | 4,275 | 1,425 | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |
| 8  | Встановлення фланців плоских приварних із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1,6 МПа (16 кгс/см <sup>2</sup> ) | шт.   | 4     | 4,02       | 2,01  | 0,67  | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |
| 9  | Встановлення кранів кульових фланцевих газових   | шт.   | 2     | 9,92       | 2,48  | 0,83  | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |
| 10 | Встановлення кільця та заглушки інвентарної  | компл | 1     | 3,47       | 0,036 | 0,018 | 2 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1                            |
| 11 | Прокладання трубопроводів 70мм   | т     | 0,038 | 107,4<br>2 | 0,51  | 0,255 | 2 | Монтажник 4<br>р – 1<br>3 р – 1                            |
| 12 | Встановлення відводів 90 <sup>0</sup> – 76x4   | шт.   | 2     | 7,3        | 1,82  | 0,61  | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |
| 13 | Встановлення фланців плоских приварних із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1,6 МПа (16 кгс/см <sup>2</sup> ) | шт.   | 8     | 2,39       | 2,39  | 0,8   | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |
| 14 | Встановлення кранів кульових фланцевих газових   | шт.   | 4     | 4,26       | 2,13  | 0,71  | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |

Продовження таблиці 4.9

| 1  | 2  | 3     | 4           | 5     | 6     | 7     | 8 | 9  |
|----|--|-------|-------------|-------|-------|-------|---|--|
| 15 | Встановлення кільця та заглушки інвентарної        | компл | 1           | 2,18  | 0,06  | 0,03  | 2 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1                            |
| 16 | Прокладання трубопроводів 25 мм                    | т     | 0,012       | 46,08 | 0,07  | 0,035 | 2 | Монтажник 4<br>р – 1<br>3 р – 1                            |
| 17 | Встановлення відводів 90 <sup>0</sup> – 1-33,7х3,2 | шт.   | 4           | 1,9   | 0,95  | 0,32  | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>4 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |
| 18 | Встановлення кранів кульових фланцевих газових     | шт.   | 2           | 2,41  | 0,61  | 0,20  | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>4 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |
| 19 | Прокладання трубопроводів 20мм                     | т     | 0,0033<br>2 | 46,08 | 0,019 | 0,095 | 2 | Монтажник<br>4 р – 1<br>3 р – 1                            |
| 20 | Встановлення відводів 90 <sup>0</sup> – 1-26,9х3,2 | шт.   | 4           | 1,5   | 0,75  | 0,25  | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |
| 21 | Встановлення крану кульового газового              | шт.   | 1           | 2,41  | 0,30  | 0,10  | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |
| 22 | Встановлення заглушки 15мм                         | шт.   | 1           | 2,18  | 0,27  | 0,135 | 2 | Монтажник<br>6 р – 1<br>3 р – 1                            |
| 23 | Гідравлічне випробування трубопроводу              | 100 м | 0,26        | 8,22  | 0,04  | 0,13  | 3 | Монтажник<br>5 р – 1<br>4 р – 1<br>3 р – 1                 |
| 24 | Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію   | 100 м | 0,26        | 1,2   | 0,039 | 0,013 | 3 | Монтажник<br>6 р – 1<br>5 р – 1<br>Зварювальник<br>5 р – 1 |
| 25 | Повернення допоміжного обладнання на склад         | т     | 0,041       | 4,1   | 0,021 | 0,011 | 2 | Водій та<br>вантажник                                      |

## 4.2. Технологія та особливості монтажу пелетного котла

Зростаючий попит на поновлювані та економічно ефективні рішення для опалення призвів до широкого впровадження пелетних котлів у житлових та промислових системах теплопостачання. Пелетні котли поєднують в собі автоматизовану подачу палива, контроль горіння і видалення золи, що робить їх ефективними і зручними у використанні. Однак для забезпечення оптимальної продуктивності, безпеки та дотримання екологічних стандартів критично важливим є правильний монтаж. Розглянемо ключові технологічні аспекти та особливості монтажу пелетних котлів, висвітлюючи вимоги для успішної інтеграції в сучасні системи опалення [38].

Пелетні котли функціонують подібно до звичайних газових або мазутних котлів, але використовують відновлюване паливо, пропонуючи як екологічні, так і економічні переваги. Основні компоненти пелетного котла включають:

- паливний бункер – для зберігання пелет.
- автоматичний живильник – транспортує пелети до камери згорання.
- камера згорання – де пелети підпалюються і спалюються.
- теплообмінник – передає теплоту від горіння до водяного контуру.
- система золовидалення – для збору продуктів згорання.
- блок управління – керує температурою, подачею палива та циклами очищення.

Більш сучасніші моделі оснащені датчиками та інтелектуальним управлінням для регулювання горіння і забезпечення оптимальної ефективності та рівня викидів.

При проектуванні необхідно дотримуватися вимог ДБН 2.5–77:2014. Котельні; НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском»; ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [39-42].

Встановлення пелетного котла передбачає специфічні інженерні та проектні міркування. Пелетні котли повинні бути встановлені в сухому, вентильованому приміщенні з достатнім простором для котла, зберігання пелет і доступом для технічного обслуговування. Стандарти пожежної безпеки вимагають використання негорючих матеріалів і належних відстаней між обладнанням і стінами. Ключовою особливістю є необхідність зберігання пелет навалом або в інтегрованих бункерах, або в зовнішніх приміщеннях. Сховище повинно бути сухим і доступним для заправки, з відповідною шнековою або вакуумною системою подачі, що з'єднується з котлом. Пелетні котли виробляють димові гази з відносно низькою температурою і високим вмістом вологи. Тому димохід повинен бути ізольованим і стійким до корозії, часто виготовленим з нержавіючої сталі, щоб запобігти утворенню конденсату і пошкодженню. Оскільки пелетні котли автоматизовані, вони потребують надійного електропостачання. Системи управління повинні бути інтегровані з термостатами і, можливо, системами управління будівлею для забезпечення оптимальної продуктивності. Котел повинен бути підключений до опалювального контуру.

Таким чином, установка пелетних котлів повинна відповідати нормам щодо викидів, пожежної безпеки та зберігання палива, а заплановане регулярне технічне обслуговування, включаючи очищення теплообмінника та видалення золи, є життєво важливим для довгострокової та надійної їх роботи.

Встановлення газових та пелетних котлів суттєво відрізняється через тип палива, експлуатаційні потреби та вимоги до безпеки. Основні ключові відмінності зведено в табл. 4.10.

Розглянемо орієнтовно покрокову технологію встановлення пелетного котла.

1. Оцінка перед встановленням. Перевірка приміщення котельні на наявність вільного простору, вентиляції, пожежної безпеки та цілісності конструкції. Перевірка наявності електропостачання, водопостачання та

водовідведення. Розробка принципової схеми, включаючи розміщення котла, сховища пелет, трубопроводів, димової труби.

Таблиця 4.10 – Ключові відмінності газових та пелетних котлів

| Характеристика                  | Газовий котел  | Пелетний котел  |
|---------------------------------|--|---|
| Зберігання та постачання палива | Підключається безпосередньо до магістрального газопроводу. Не потрібне місце для зберігання палива в котельні. | Потребує спеціального сховища для пелет. Включає автоматичну або ручну систему подачі (шнек або вакуум).            |
| Спалювання та вентиляція        | Використовує закриту систему згоряння або відкриту димохідну систему.  | Потребує стійкого до корозії димоходу через конденсат і тверді частинки. Забезпечення достатнього припливу повітря. |
| Обслуговування                  | Рекомендується щорічне обслуговування. Мінімальна кількість попелу або залишків                                | Потребує регулярного очищення золи та поверхонь теплообмінника. Періодично слід спорожнити зольний ящик.            |

2. Підготовка майданчика. Очищення і вирівнювання підлоги, де буде встановлено котел і сховище для пелет. Укладання вогнестійких матеріалів (наприклад, плитка або цементні плити) позаду та під котлом. Забезпечення належного освітлення та вентиляції. Забезпечення доступу для доставки пелет та обслуговування котла.

3. Встановлення системи зберігання та подачі пелет. Встановлення бункера для пелет у запланованому місці. Збірка механізму подачі (шнек або вакуумну систему всмоктування) від сховища до котла (система подачі повинна бути герметична, суха і захищена від засмічення або зворотного удару).

4. Встановлення котла. Встановлення пелетного котла на негорючу основу відповідно до вимог виробника. Закріплення котла, якщо необхідно, щоб

запобігти вібрації. Підключення системи подачі пелет до вхідного патрубку котла.

5. Встановлення димоходу та димової труби – двостінний димохід з нержавіючої сталі з ізоляцією для запобігання утворенню конденсату. Димохід повинен мати належну тягу, нахил мінімум  $3^\circ$  і висоту вище лінії даху та ущільнені всі з'єднання для запобігання витоку газу.

6. Провести гідравлічну інтеграцію, тобто підключення котла до системи теплопостачання, використовуючи відповідні трубопроводи. Виконати заповнення системи та випробування її на герметичність.

7. Виконати підключення котла до електромережі з заземленням та захистом від короткого замикання. Підключення панелі управління, датчики, термостати та пристрої дистанційного моніторингу. Налаштування автоматики для розпалювання, подачі палива та контролю температури.

8. Для першого запуску і тестування виконати заповнення бункеру гранулами і перевірку роботи подачі. Проведення першого циклу розпалювання під наглядом. Врегулювання параметрів горіння (потік повітря, швидкість подачі тощо) для досягнення оптимальної продуктивності. Перевірка роботи димоходу, датчиків і пристроїв безпеки. Контроль температури, тиску та рівень викидів.

9. Виконати фінальну перевірку та введення в експлуатацію. Перевірка всієї установки на відповідність нормам і правилам безпеки [43].

#### 4.3 Автоматизація котлів

Основними завданнями автоматизації є інтенсифікація виробництв на основі впровадження нових досягнень науки і техніки, скорочення числа технологічних переходів, впровадження безперервних схем виробництва, подальший розвиток рівня механізації і автоматизації.

Метою автоматизації є підвищення ефективності праці, поліпшення якості продукції, що випускається, створення умов для оптимального використання всіх ресурсів виробництва. В умовах науково-технічного прогресу автоматизація є

однією з його рушійних сил. Вона істотно впливає на вдосконалення технологій, автоматизацію виробничих процесів, забезпечує умови для створення більш складних високопродуктивних процесів, які без автоматизації розробити і реалізувати неможливо. Таким чином, автоматизація дає суттєвий економічний ефект.

Автоматизована система управління (далі – АСУ) котлом реалізує завдання управління технологічним процесом і інформаційного обслуговування експлуатуючого персоналу. Структура АСУ є ієрархічною і розподіленою.

На нижньому рівні АСУ розташовуються датчики тиску, перепаду тиску, температури, рівня, витрати, виконавчі механізми, а також засоби дистанційного керування (місцеві пости) виконавчими механізмами (засувками, клапанами і ін.), що дозволяють оператору вести технологічний процес в ручному режимі або в процесі налагодження.

На середньому рівні реалізується логіка управління системи. На ньому розташований її основний модуль, який базується на промисловому програмованому контролері. Даний модуль виконує функції збору, обробки інформації, управління, регулювання та захисту котла від позаштатних ситуацій, подачі попереджувальних і аварійних сигналів, блокування, видачі сигналів в штатну котельню автоматику.

У верхній рівень АСУ входять засоби, що реалізують функції відображення інформації в різній формі, її архівування та протоколювання, а також функції дистанційного керування основним модулем контролера шляхом прямого регулювання або зміни параметрів і уставок регулювання. Він забезпечує наступне:

- перегляд архівної інформації за вказаний проміжок часу;
- розрахунок і архівування валових викидів СО в атмосферу;
- облік спожитого палива і електроенергії;
- облік виробленої теплової енергії;
- автоматичне регулювання температури води на виході з котла (подачею палива, що спалюється на котел) з точністю  $\pm 0,5$  °С;

- автоматичний розпал котла;
- автоматичну перевірку герметичності газової запірної арматури;
- автоматичний прогрів котла з холодного стану;
- агрегатний облік енергоресурсів і виробленої теплової енергії;
- регулювання технологічних параметрів роботи котельної установки за сигналами газоаналізаторів;
- зберігання архівних даних протягом року;
- контроль роботи оперативного персоналу шляхом запису в пам'ять дати і часу всіх перемикань, що виконуються операторами.

Розроблена автоматизована система призначена:

- для збирання і обробки даних від засобів вимірювань технологічного процесу;
- для виконання заданого алгоритму роботи технологічного процесу шляхом контролювання параметрів технологічного процесу і створення управляючих впливів на робочих механізмах;
- для подання всієї інформації на моніторі оператора про поточний стан роботи технологічного процесу;
- для аварійної та попереджувальної сигналізації при порушенні параметрів технологічного процесу, тобто виходу значень за аварійні і аварійні межі;
- для збирання і обробки даних про виконавчі механізми технологічного процесу;
- контролю рівня загазованості, знаходження в заданих нормативних параметрах технологічного процесу, а також переведенням котла в безпечний стан при порушенні нормативних параметрів технологічного процесу;
- для збирання і обробки даних про стан технологічного обладнання.

Даним підрозділом роботи вирішуються питання автоматизації обладнання котельні з газовими котлами ТВГ-8М (існуючий, робочий) та КОЛВІ-8000Р (існуючий, робочий) та новими пелетними котлами FOCUS-1500 (2 шт.) по теплотехнічному контролю, автоматичній безпеці та технологічному захисту обладнання котельні, автоматичному регулюванню, аварійній сигналізації в

обсязі достатньому для надійної, економічної та безаварійної експлуатації, а також такому, що забезпечує можливість аналізу роботи обладнання

Підставою для виконання даного розділу проєкту є:

- завдання теплотехнічної частини;
- технологічні, будівельно - архітектурні креслення;
- нормативні документи для проєктування.

Даний розділ проєкту виконано у відповідності з вимогами нормативних документів:

- ДБН В.2.5-77-2014 «Котельні»;
- ДБН В.2.5-20-2001 «Газопостачання»;
- НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском»;
- ПУЕ «Правила улаштування електроустановок»

Теплотехнічний контроль

Прилади теплотехнічного контролю обрано у відповідності з функціями поділяються на:

- датчики (ТЕ 1.1-1.4 температури, РЕ 2.1-2.2 тиску, FSA 3.2 потоку води) вимірюючі параметри роботи котельні для автоматичного регулювання режимів роботи, які входять до складу обладнання пристроїв автоматики;

- показуючі прилади (РІ тиску, ТІ температури), спостереження за якими необхідно для правильного ведення встановлених режимів технологічного процесу та здійснення передпускових операцій (манометри, термометри по воді та манометри по газу, напороміри);

- датчики (LSA 3.1 рівня води, PS 4.1-4.6 різниці тиску, BE 9.1 контролю полум'я), контролюючі параметри, зміна яких може привести до аварійного стану обладнання (тиску води, газу та димових газів, рівня води в котлі).

Котельня обладнана приладами теплотехнічного контролю в обсязі ДБН В.2.5-77-2014 «Котельні» та ДБН В.2.5-20-2001 «Газопостачання».

## Автоматика безпеки та технологічний захист

Схема автоматики захисту котлів FOCUS-1500 забезпечує відключення котла при виникненні аварійних ситуацій:

- згасанні факелу пальника;
- зниженні тиску повітря перед пальником;
- перевищенні тиску газів в топці котла;
- перевищенні температури води на виході із котла;
- при підвищенні чи зниженні тиску води на виході з котла;
- зниженні потоку води через котли;
- зникненні живлення, несправності ланцюгів захисту.

Схема автоматики захисту насосів підживлення котельні забезпечує відключення насосів при виникненні аварійних ситуацій:

- відсутності води для підживлення у ємності запасу;
- відсутності номінального тиску у контурі котлів при роботі насосів підживлення упродовж більше ніж 60 сек.

Пуск котла здійснюється після виявлення причин аварії, усунення несправності та зняття блокування в ланках захисту котлів.

## Автоматика регулювання

Автоматика керування котлів FOCUS-1500 забезпечує:

- підтримку необхідної температури по командам від контролера котла FOCUS-1500;
- автоматичний перехід на літній режим роботи по заданій зовнішній температурі повітря (виключення контурів опалення);
- автоматичне включення потрібної кількості котлів та вибір потужності пальників в залежності від потрібної теплової потужності споживачів;
- підтримку тиску у зворотному трубопроводі в заданих межах;
- підтримку рівня води в баку хімічищеної води;

- АВР та автоматичне чередування роботи насосів по сигналам від датчиків перепаду тиску на насосах.

### Аварійна сигналізація

Котельня забезпечена існуючою місцевою світловою сигналізацією котельні, яка виводиться на щит живлення котельні ЩС, до якої підключаються два нових котла FOCUS-1500. Диспетчерська світлозвукова сигналізація знаходиться в приміщенні з постійно чергуючим персоналом.

Місцева сигналізація щита ЩАК включає в себе сигнали:

- безпеки котлів;
- контролю підживлення водою;
- загально котельні сигнали.

Сигналізація безпеки котлів включає в себе сигнали:

- аварії пальника (перевищення чи зниження тиску газу перед пальником, згасання факелу, зниження тиску повітря в пальнику - в разі включення в роботу котельні газових котлів);

- перевищення тиску газів в топці котла (в разі включення в роботу котельні газових котлів);

- перевищення температури води на виході із котла;
- підвищення чи зниженні тиску води на виході з котла;
- зниженні рівня води у котла;
- зниженні рівня води в баці;
- зникненні живлення, несправності ланцюгів захисту.

Сигналізація контролю підживлення включає в себе сигнали:

- зниження тиску води в зворотному трубопроводі котельні;
- заповнення баку очищеної води;
- зниження рівня води в баку очищеної води нижче допустимого;
- аварії насосів підживлення.

Загально котельні сигнали:

- температура в приміщенні більше 70°C;
- тиск газу на ввіді в котельню не в нормі (в разі включення в роботу котельні газових котлів);
- котельню вимкнено по сигналу від системи пожежної сигналізації;
- вентиляційна система котельні несправна;
- котельню вимкнено по сигналу від кнопки «Стоп».

Диспетчерська сигналізація котельні спрацьовує при наступних аварійних сигналах:

- аварії котла FOCUS-1500 та існуючих котлів (загальний сигнал ланки безпеки котла);
- зникненні живлення, несправності ланцюгів захисту;
- підвищення чи зниження тиску води в зворотному трубопроводі котельні;
- температура в приміщенні котельні більше 70°C;
- несправності циркуляційних насосів;
- несправності системи вентиляції;
- загазованості приміщення - по газовому сигналізатору «ВАРТА 1-03» в приміщенні котельні (контроль існуючих газових котлів при їх включенні в роботу).

Сигнали загазованості від вибухобезпечних датчиків по метану та окису вуглецю, перевищення температурою повітря 70°C, розміщених в котельні, надходять до газосигналізатора «Варта 1-03», розміщеному поза межами котельні. Від газоаналізатора до входів в котельню та до приміщення з постійно чергуючим персоналом, надходять аварійні світлозвукові сигнали.

#### 4.4 Висновки до розділу

Розроблено технологію монтажу котла КОЛВІ 8000Р, визначена трудомісткість монтажних робіт.

Визначено необхідну кількість виробів та матеріалів для монтажу системи  $M_o = 15498,75$  кг, потребу в допоміжних матеріалах, а саме  $M_d = 607,38$  кг.

Підібрані машин, механізми та пристосування для виконання монтажних робіт. Для зварювання стиків трубопроводу підібрано зварювальний напівавтомат інвертор Тех.АС ТА-00-022, для зачищення деталей підібрано кутову шліфувальну машину BOSH GWS 24-230 P PROFESSIONAL. Підібрано для доставки деталей та обладнання до місця монтажу бортовий автомобіль КрАЗ-65053 та автокран ІВАНОВЕЦЬ КС-45717 А-1. Гідравлічні випробування пропонується виконувати за допомогою електричного пресувальника AQUA WORD DSY-60.

Після проведення необхідних розрахунків розроблені календарний графік монтажу котла КОЛВІ 8000Р, графік руху робітників та графік руху машин та механізмів. Розраховано техніко-економічні показники графіку руху робітників, згідно з якими, загальна трудомісткість виконання робіт складає 126,81 люд.-год, а тривалість монтажу обладнання складає 24 доби.

Пелетні котли функціонують подібно до звичайних газових або мазутних котлів, але працюють на альтернативному виді палива, пропонуючи як екологічні, так і економічні переваги. Вони поєднують в собі автоматизовану подачу палива, контроль горіння і видалення золи, що робить їх ефективними і зручними у використанні.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Кошторис на влаштування обладнання

Точна оцінка витрат та визначення терміну окупності є критично важливим етапом у плануванні та реалізації проекту з інтеграції пелетних котлів в роботу існуючої газової котельні. Вона забезпечує належне бюджетування, розподіл ресурсів і фінансовий контроль протягом усього життєвого циклу проекту. Кошторис враховує різні фактори, в тому числі вартість обладнання, матеріалів, навчання персоналу, транспортних та монтажних послуг. Добре підготовлений кошторис не тільки допомагає запобігти перевищенню витрат, але також підтримує прийняття рішень і планування проекту. Ключові компоненти кошторису на встановлення обладнання представлені в табл. 5.1 [44-45].

Даний кошторис охоплює повний цикл виконання робіт зі встановлення обладнання, включаючи підготовчі етапи, придбання, монтаж і навчання персоналу. Загальна вартість проекту становить 16 143 596 грн, з яких понад 91% припадає на придбання основного обладнання. Решта витрат — це супровідні роботи, необхідні для реалізації проекту.

Розподіл витрат відповідає структурі типової технічної реалізації:

- етапи вивчення, техніко-економічного обґрунтування, проектування та експертизи мають помірну питому вагу (від 0,2% до 2,5%), що свідчить про обґрунтованість планування.
- пусконаладжувальні роботи (3%) і навчання персоналу (1,5%) забезпечують належну підготовку до експлуатації обладнання.
- встановлено загальний строк реалізації проекту — 16 місяців, що є реалістичним для таких робіт.

Таблиця 5.1 – Кошторис на встановлення обладнання

| Найменування   | Питома вага вартості роботи, % | Термін виконання роботи, міс. | Загальна вартість виконання роботи, грн.   |
|--|--------------------------------|-------------------------------|--|
| Вивчення інформаційних джерел  | 0,2                            | 2                             | $14\,716\,132 \times 0,2 / 100 = 29\,432$  |
| Техніко-економічне обґрунтування   | 1,5                            | 3                             | $14\,716\,132 \times 1,5 / 100 = 220\,742$ |
| Проектування   | 2,5                            | 4                             | $14\,716\,132 \times 2,5 / 100 = 367\,903$ |
| Експертиза проєктних документів, отримання дозволів  | 1                              | 3                             | $14\,716\,132 \times 1 / 100 = 147\,161$   |
| Придбання обладнання:<br>- котел КОЛВІ 8000Р (1 од.)<br>- твердопаливний котел 1500 кВт FOCUS (2 од.)<br>- циклон МЦУ-600 (2)<br>- інше обладнання | 100                            | 2                             | 14 716 132                                 |
| Пусконаладжувальні роботи  | 3                              | 1                             | $14\,716\,132 \times 3 / 100 = 441\,484$   |
| Навчання персоналу   | 1,5                            | 1                             | $14\,716\,132 \times 1,5 / 100 = 220\,742$ |
| Всього   |                                | 16                            | 16 143 596                                 |

До потенційних ризиків варто віднести високу концентрацію витрат на закупівлі (100% основного бюджету), що потребує чіткого контролю логістики та постачання. Кошторис майже не має додаткових запасів та не передбачає резервний фонд на непередбачувані витрати. Однак представлений кошторис має чітку, раціональну структуру витрат і може бути реалізований за умови належної організації та контролю виконання етапів.

## 5.2 Оцінка собівартості виробництва теплової енергії

Основною метою модернізації є зменшення питомого споживання палива та підвищення загальної теплової ефективності системи. Оцінка

енергоефективності після модернізації включає порівняння споживання палива, теплових втрат та експлуатаційних витрат до і після установки. Порівнюються ключові показники ефективності, такі як коефіцієнт корисної дії котлів, питоме споживання палива на одиницю виробленого тепла та викиди CO<sub>2</sub>. У більшості випадків системи, що поєднують пелетні та газові котли, досягають значного скорочення витрат на паливо та викидів парникових газів, особливо в періоди низького теплового навантаження, коли пелетні котли можуть працювати більш економно. Модернізація покращує адаптивність системи тепlopостачання тому, що пелетні котли можуть слугувати основним джерелом під час міжопалювального сезону (навесні та восени), тоді як газові котли можуть доповнювати навантаження під час пікових зимових навантажень. Це зменшує знос газового обладнання та забезпечує довший термін служби всієї системи.

Проведемо спрощений розрахунок витрат природного газу до і після встановлення котла КОЛВІ 8000Р та витрат пелет на виробництво теплової енергії. Припущення для розрахунку:

- довідникова нижня теплота згорання газу 8250 ккал/м<sup>3</sup>;
- середня теплотворна здатність деревних пелет 5 065 кВт·год/т (4,356 Гкал/т) [35];
- ККД КВГ-7,56 – 85%
- ККД КОЛВІ 80000Р – 92 %;
- ККД пелетного котла – 92%.
- для роботи котла вибираємо деревні пелети;
- витрати природного газу за опалювальний період до модернізації – 1 467 094 м<sup>3</sup>
- витрати природного газу за опалювальний період після модернізації – 1 355 467 м<sup>3</sup>

В грошовому еквіваленті економія природного газу за опалювальний період становить:

$$V = V_{\text{до}} - V_{\text{після}} = 1\,467\,094 - 1\,355\,467 = 111\,627 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Для населення:

$$E_n = 112 \cdot 0,61 \cdot 8082,6 = 552\,203,23 \text{ (грн)}.$$

Для інших споживачів:

$$E_n = 112 \cdot 0,39 \cdot 17167,4 = 749\,872,03 \text{ (грн)}.$$

Загальна економія коштів за опалювальний період після встановлення котла КОЛВІ 8000Р становить 1 302 075,26 грн.

Витрати газу для кожного показника температури зовнішнього повітря [18]:

$$V = Q \cdot 10^6 / (Q_n \cdot \eta), \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (5.1)$$

де  $Q$  – навантаження котельні для відповідної температури, Гкал/год;

$Q_n$  – нижча теплота згорання палива, Мдж/м<sup>3</sup>;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії котла.

Маса пелет для кожного показника температури зовнішнього повітря [18]:

$$M_n = Q \cdot 10^6 / (Q_{n.п} \cdot \eta), \text{ (т/год)}, \quad (5.2)$$

де  $Q$  – навантаження котельні для відповідної температури, Гкал/год;

$Q_{n.п}$  – теплотворна здатність деревних пелет, Мдж/кг;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії котла.

Результати розрахунків зведено в таблицю 5.2.

Ціни на природній газ згідно законодавства регулюються Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). НКРЕКП визначає ціни на газ для побутових споживачів та встановлює тарифи на послуги розподілу газу.

Таблиця 5.2 – Витрати енергоресурсів на виробництво теплової енергії.

| Температура зовнішнього повітря, °С | Відпуск теплової енергій, Гкал/год | Виробництво теплової енергій Гкал/год | Витрати природного газу, м <sup>3</sup> /год | Витрати пелет, кг/год |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|-----------------------|
| +8                                  | 1,58                               | 1,75                                  | 241  | 375                   |
| +7                                  | 1,74                               | 1,92                                  | 265  | 412                   |
| +6                                  | 1,90                               | 2,10                                  | 289  | 450                   |
| +5                                  | 2,06                               | 2,27                                  | 313  | 487                   |
| +4                                  | 2,22                               | 2,45                                  | 337  | 525                   |
| +3                                  | 2,37                               | 2,62                                  | 361  | 562                   |
| +2                                  | 2,53                               | 2,79                                  | 385  | 600                   |
| +1                                  | 2,69                               | 2,97                                  | 409  | 637                   |
| 0                                   | 2,85                               | 3,14                                  | 433  | 675                   |
| -1                                  | 3,01                               | 3,32                                  | 457  | 712                   |
| -2                                  | 3,17                               | 3,49                                  | 481  | 750                   |
| -3                                  | 3,32                               | 3,67                                  | 505  | 787                   |
| -4                                  | 3,48                               | 3,84                                  | 529  | 825                   |
| -5                                  | 3,64                               | 4,02                                  | 553  | 862                   |

Для інших споживачів (не побутових), ціна на газ встановлюється за домовленістю між постачальником та споживачем, за винятком випадків, передбачених законодавством. Динаміку цін на нерегульованому сегменті роздрібного ринку природного газу (без урахування тарифів на транспортування та розподіл природного газу та ПДВ), грн/тис. м<sup>3</sup> представлено на рис. 5.1 [20].

В грошовому еквіваленті витрати на природний газ помісячно розраховуємо згідно встановлених компанією ГК «Нафтогаз України» цін для населення і інших споживачів [46] станом на травень 2025 року та відсотку приєднаного навантаження. Результати розрахунків зведено в таблицю 5.3.

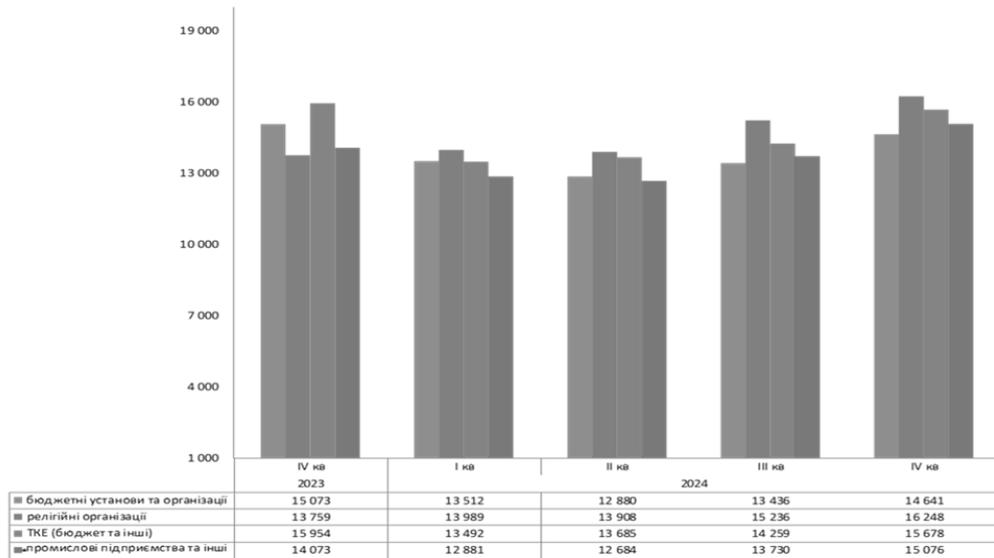


Рисунок 5.1 – Динаміка цін на нерегульованому сегменті роздрібного ринку природного газу (без урахування тарифів на транспортування та розподіл природного газу та ПДВ), грн/тис. м<sup>3</sup>

Таблиця 5.3 – Витрати на оплату природного газу

| Опалювальний період          | Витрати природного газу, тис.м <sup>3</sup> | Витрати на оплату природного газу, тис. грн |
|------------------------------|---|---|
| Листопад                     | 265,104                                     | 3 082,012                                   |
| Грудень                      | 322,152                                     | 3 745,233                                   |
| Січень                       | 284,654                                     | 3 309,298                                   |
| Лютий                        | 350,650                                     | 4 076,537                                   |
| Березень                     | 195,374                                     | 2 271,358                                   |
| Разом за опалювальний період | 1 417,934                                   | 16 484,440                                  |

В грошовому еквіваленті витрати на деревні пелети помісячно розрахуємо на основі інформації компанії «БіоЕнергоБанк» по ціні 6790 грн/т [47]. Результати розрахунків зведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Витрати на оплату пелет

| Опалювальний період             | Витрати пелет,<br>т | Витрати на оплату пелет,<br>тис. грн |
|---------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Листопад                        | 413                 | 2 803,237                            |
| Грудень                         | 502                 | 3 409,938                            |
| Січень                          | 444                 | 3 011,859                            |
| Лютий                           | 454                 | 3 079,944                            |
| Березень                        | 235                 | 1 596,877                            |
| Разом за<br>опалювальний період | 2 047               | 13 901,856                           |

Тобто економія витрат на оплату енергоресурсів за опалювальний період після встановлення пелетних котлів становить 2 582 584 грн.

Загальна економія на оплату енергоресурсів після виконання модернізації котельні становить 3 884 359 грн.

Виконаємо розрахунок терміну окупності проекту з застосуванням простого способу, для чого використаємо формулу (4.3) [44-45]:

$$PP = K_0 / EB_{cp}, \quad (4.3)$$

де  $PP$  – строк окупності, який виражений в роках;

$K_0$  – сума коштів, вкладених в проект згідно зробленого кошторису, грн;

$EB_{cp}$  – економія витрат в середньому за опалювальний період, грн.

Тоді

$$PP = 16\,143\,596 / 3\,884\,359 = 4,2 \text{ роки.}$$

Окупність у 4,2 роки свідчить про економічну доцільність інвестиції та обґрунтованість переходу на енергоощадне та екологічне теплогенеруюче обладнання. Такий проект має високий потенціал для масштабування та є

привабливим як для приватних споживачів, так і для підприємств чи бюджетної сфери. Такий термін окупності вважається дуже хорошим показником для інвестицій у сфері енергетики, зокрема для встановлення котельного обладнання. Уже на третій рік експлуатації можна отримувати чисті фінансові вигоди за рахунок знижених витрат на паливо. Це дозволяє планувати повторне інвестування або модернізацію системи в короткі строки.

Фактори, що вплинули на такий результат:

- висока вартість традиційного палива (природного газу).
- низька вартість пелет порівняно з іншими енергоносіями.
- енергоефективність встановленого обладнання.

При визначенні собівартості виробництва теплової енергії при роботі водогрійних котлів на природному газі та пелетних котлах зробимо припущення, що витрати коштів на заробітну плату, а також витрати коштів на електроенергію та воду є майже однаковими при роботі котельні на різних видах палива.

Використання електроенергії в котельні охоплює системи управління котлом, циркуляційні насоси, вентилятори/повітродувки, насоси живильної води, автоматику та освітлення. Типове споживання електроенергії становить від 0,5 до 1,5% теплової потужності у вигляді електроенергії. Візьмемо максимальне значення 1,5%. Виробництво котельнею теплової енергії за опалювальний період становить 10 288 Гкал (див. таблиця 2.7), тоді:

$$10\,288 \cdot 1,162 \cdot 0,015 = 179\,320 \text{ (кВт)}.$$

Типові втрати води становлять 0,5 – 3% від загального циркуляційного об'єму та використовується в основному для підживлення системи теплопостачання, підготовки води (пом'якшення, деаерація) та допоміжні потреби. Сумарна витрата мережевої води (подавальний трубопровід) згідно фактичних даних становить 253 т/год, тож витрати води з витоками будуть:

$$253 \cdot 0,0025\% = 0,6325 \text{ (т/год)}.$$

За результатами розрахунків основні техніко-економічні показники котельні за витратами енергоносія зведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Основні техніко-економічні показники котельні за витратами енергоносія

| Найменування                                     | Природний газ                                 | Паливні гранули |
|--|---|-----------------|
| Вартість природного газу, грн/тис.м <sup>3</sup> | для населення – 8082,6<br>для інших – 17167,4 | –               |
| Вартість пелет, грн/т                            | –   | 6790            |
| Витрата палива, тис. м <sup>3</sup> / рік, т/рік | 1 417,934                                     | 2 047           |
| Витрати коштів на паливо, тис. грн/рік           | 16 484,440                                    | 13 901,856      |
| Собівартість виробництва, грн/Гкал               | 1 602   | 1 351           |

Інтеграція двох пелетних котлів для забезпечення відповідного теплового навантаження може знизити загальні річні експлуатаційні витрати головним чином завдяки нижчим витратам на паливо для пелет порівняно з газом. Хоча є певні вищі витрати на технічне обслуговування та амортизацію пелетних систем, але вони перекриваються економією на паливі.

Пелети, виготовлені з пресованої тирси та інших відходів біомаси, мають нижчу і стабільнішу ринкову ціну порівняно з природним газом, який піддається геополітичним коливанням і сезонним сплескам попиту. Різниця в ціні стає особливо очевидною під час опалювального сезону, коли тарифи на газ часто зростають, тоді як ціни на пелети залишаються відносно стабільними завдяки місцевому виробництву і меншій залежності від світових енергетичних ринків. Таким чином, нижча вартість пелет порівняно з природним газом робить їх економічно привабливим варіантом для котельень, що сприяє зниженню витрат на опалення, підвищенню енергетичної незалежності та покращенню фінансового планування. Ця економічна перевага є одним з головних чинників

зростання тенденції до використання гібридних котелень, які інтегрують газові та пелетні технології.

Однією з головних екологічних переваг пелетних котлів є скорочення викидів парникових газів. Пелети виробляються з відновлюваної біомаси — переважно з деревних відходів, тирси або аграрної сировини. При їх спалюванні викидається приблизно така ж кількість вуглекислого газу, яку рослина поглинула в процесі свого росту. Таким чином, вуглецевий баланс є майже нейтральним, що принципово відрізняє біомасу від викопного палива, спалювання якого збільшує концентрацію CO<sub>2</sub> в атмосфері. Крім того, сучасні пелетні котли обладнані системами вискоєфективного згорання та фільтрації димових газів, що дозволяє зменшити не лише парникові, але й токсичні викиди — оксиди азоту, леткі органічні сполуки, тверді частинки. З екологічних міркувань обираємо для полегшення логістики та транспортування біомаси місцевого виробника. Використання місцевої сировини є важливими для збереження екологічних переваг пелетного опалення. За умови відповідального підходу до постачання, пелетне паливо сприяє зменшенню відходів у деревообробній промисловості та сприяє сталому управлінню земельними ресурсами.

### 5.3 Напрямки впровадження пелетних котлів

Зростаюча необхідність переходу до сталих та енергоефективних систем опалення призвела до підвищення інтересу до інтеграції технологій на основі біомаси, зокрема пелетних котлів, в існуючу інфраструктуру теплопостачання. Пелетні котли, які використовують пресовану біомасу (зазвичай деревні гранули), є відновлюваною низьковуглецевою альтернативою традиційним системам на викопному паливі, таким як газові або вугільні котли. Оскільки світ прагне скоротити викиди парникових газів, підвищити енергетичну незалежність і сприяти використанню відновлюваних ресурсів, інтеграція пелетних котлів стає ключовим рішенням. Розглянемо поточні дослідження та окреслимо потенційні

напрямки впровадження технології пелетних котлів у централізованому теплопостачанні [48].

Економічні моделі оцінюють витрати протягом життєвого циклу, включаючи капітальні інвестиції, витрати на паливо, технічне обслуговування та стимули. Основні результати показують, що період окупності становить від 5 до 10 років залежно від цін на паливо та конкурентні переваги за собівартістю в регіонах з високими цінами на газ або нафту [49].

Оцінки життєвого циклу пелетних котлів постійно демонструють нижчі викиди парникових газів у порівнянні з викопними видами палива завдяки належній експлуатації та технічного обслуговування для мінімізації викидів твердих частинок та оксидів азоту і особливо інтеграції з системами фільтрації викидів, такими як електростатичні фільтри.

Крім того, оптимізація роботи котла передбачає поєднання практики, досвіду оператора та стратегічного управління робочим навантаженням котла. Навчання операторів один з важливих аспектів оптимізації роботи. Добре підготовлені працівники можуть оперативнo та швидко прийняти рішення в нестандартних ситуаціях та швидко їх усунути.

Щодо підтримки політики та регулювання впровадження аналогічних проєктів, то участь уряду має важливе значення для широкомасштабного впровадження. Ефективні заходи можуть включати в собі субсидії та гранти на придбання та встановлення пелетних систем, оптимальні податки на викиди вуглецю, які роблять альтернативи викопному паливу менш економічно привабливими, та сучасні будівельні норми, які заохочують або вимагають використання технологій відновлюваного опалення в новому будівництві.

Також успішне впровадження залежить від стабільного та доступного ланцюга постачання біомаси. Задля цього необхідна підтримка регіональних підприємств з виробництва пелет для зменшення викидів при транспортуванні, встановлення єдиних стандартів якості для пелет та створення логістичних мереж для регулярного постачання пелет, особливо в сільській місцевості [50].

Майбутнє енергетичних систем – за розумними, взаємопов'язаними рішеннями. Пелетні котли можуть бути частиною мікромереж, де вони діють як кероване теплове навантаження, систем комбінованого виробництва теплової та електричної енергії, програм управління попитом, що балансують навантаження під час пікових навантажень.

Незважаючи на свої переваги, інтеграція пелетних котлів стикається з певними перешкодами:

- високі початкові капітальні витрати, що вирішується за допомогою субсидій та програм фінансування.
- обмежений користувачський досвід, який долається за допомогою автоматизації та розумних інтерфейсів, інформування та навчання.
- вимоги до місця для зберігання. Вирішується за допомогою компактних модульних конструкцій.

Інтеграція пелетних котлів є багатообіцяючим шляхом до створення сталих і низьковуглецевих систем опалення. Дослідження підтверджують їхню технічну життєздатність, екологічні переваги та економічну конкурентоспроможність, особливо за умови продуманої інтеграції в існуючу інфраструктуру. Постійна підтримка через політичні рамки, інформування громадськості, технологічні інновації та надійні ланцюжки поставок має важливе значення для реалізації повного потенціалу пелетних котлів. Оскільки глобальні енергетичні системи рухаються в напрямку декарбонізації, пелетні котли, ймовірно, відіграватимуть все більш важливу роль у структурі відновлюваного опалення.

#### 5.4 Висновки до розділу

Оцінка енергоефективності після інтеграції пелетних котлів у газові котельні показує помітне поліпшення як економічних, так і екологічних показників. Така стратегія модернізації не лише оптимізує споживання енергії, але й підтримує перехід до більш сталої та стійкої опалювальної інфраструктури.

З операційної точки зору, використання пелет як основного або додаткового палива може призвести до значної економії коштів. Хоча початкові інвестиції в пелетні котельні та інфраструктуру для зберігання палива можуть бути значними, нижча ціна на паливо призводить до відносно короткого періоду окупності - як правило, протягом декількох опалювальних сезонів. Більше того, в регіонах, де є багато біомаси, логістичні переваги пелет ще більше знижують вартість палива в довгостроковій перспективі.

Встановлення пелетного котла пропонує чистішу та стійкішу альтернативу викопним видам палива, значно зменшуючи викиди та сприяючи використанню відновлюваних ресурсів. Це важливий крок до зменшення вуглецевого сліду систем опалення як у житлових, так і в промислових приміщеннях.

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі сформовано рекомендації щодо практичної реалізації інтеграції пелетних котлів в системи теплопостачання, проведено оцінку екологічних переваг заміщення частини природного газу паливом з біомаси. Показано, що інтеграція пелетних котлів в існуючу інфраструктуру, особливо при модернізації газових котелень, може значно підвищити загальну енергоефективність та стійкість систем теплопостачання. До встановлення вибрано котел КОЛВІ 8000Р на заміну застарілого котла КВГ-7,56, два пелетних котли FOCUS одиничною потужністю 1500 кВт та систему очищення відхідних газів твердопаливних котлів з циклонами-утилізаторами МЦ-У-600.

В CFD-пакеті SolidWorks Flow Simulation виконано комп'ютерне моделювання аеродинаміки циклона МЦ-У-600, який застосовується для очищення відхідних газів твердопаливних котлів, що працюють на паливних пелетах. За результатами моделювання отримано поля фізичних величин, за якими визначено ефективність очищення від твердих домішок різної фракції, гідравлічний опір циклона, потужність теплообмінника-утилізатора. Встановлено, що опір циклона змінюється від 225 до 1436 Па в разі зміни витрати газів від 0,68 м<sup>3</sup>/с до 1,7 м<sup>3</sup>/с.

Виконано дослідження впливу розміру дисперсних частинок золи на ефективність очищення газового потоку. За результатами встановлено, що циклон має ефективність до 50% в разі вловлювання частинок розміром менше 0,1 мкм, а ефективність уловлювання частинок розміром більше 10 мкм становить 97%. Для частинок розмірами 1 мкм...7 мкм ефективність очищення змінюється в межах 60%...86%.

За результатами моделювання теплообміну в циклоні МЦ-У-600 виявлено, що потужність змінюватиметься від 17,5 до 35,17 кВт, а мережна вода підігріватиметься на 4...8 °С залежно від витрати і температури води та газів на вході в теплообмінник.

Отримані результати можуть бути використані для організації раціональних режимів роботи циклона в умовах його експлуатації для підвищення його енергоефективності

Розроблено технологію монтажу котла КОЛВІ 8000Р в котельні м. Ірпінь, Київської області., визначена трудомісткість монтажних робіт.

Визначено необхідну кількість виробів та матеріалів для монтажу системи  $M_o = 15498,75$  кг, потребу в допоміжних матеріалах, а саме  $M_d = 607,38$  кг. Підібрані машин, механізми та пристосування для виконання монтажних робіт. Для зварювання стиків трубопроводу підібрано зварювальний напівавтомат інвертор Тех.АС ТА-00-022, для зачищення деталей підібрано кутову шліфувальну машину BOSH GWS 24-230 P PROFESSIONAL. Підібрано для доставки деталей та обладнання до місця монтажу бортовий автомобіль КраЗ-65053 та автокран ІВАНОВЕЦЬ КС-45717 А-1. Гідравлічні випробування пропонується виконувати за допомогою електричного пресувальника AQUA WORD DSY-60.

Після проведення необхідних розрахунків розроблені календарний графік монтажу котла КОЛВІ 8000Р, графік руху робітників та графік руху машин та механізмів. Розраховано техніко-економічні показники графіку руху робітників, згідно з якими, загальна трудомісткість виконання робіт складає 126,81 люд.-год, а тривалість монтажу обладнання складає 24 доби.

Прораховано економічну ефективність запропонованої системи на основі аналізу витрат на оплату природного газу та пелет, що свідчить про економічну доцільність інвестицій та обґрунтований перехід на екологічне теплогенеруюче обладнання. Показано, що інтеграція пелетних котлів зменшить загальні річні експлуатаційні витрати завдяки нижчим витратам на паливо для пелет порівняно з природним газом. Також успішне впровадження залежить від стабільного та доступного постачання біомаси. Задля цього необхідно підтримати регіональні підприємства з виробництва пелет для зменшення викидів при транспортуванні, встановлення єдиних стандартів якості для пелет та створення логістичних шляхів для безперебійного їх постачання.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Трительницька О.О. Технічні кроки переведення газової котельні на паливні гранули. Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2025). URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24435/20127>
2. How biomass energy saves you money and reduces toyr carbon footprint. URL: <https://www.coolplanet.io/blog/articles/biomass-energy> (дата звернення 29.03.2025)
3. Johansson, L., & Thunman, H. Conversion of biomass boilers to pellet fuel: Technical aspects and case studies. Renewable Energy Journal. 2018, 26(5), p. 35-49. URL: [https://www.researchgate.net/publication/223260427\\_Grate-firing\\_of\\_biomass\\_for\\_heat\\_and\\_power\\_production](https://www.researchgate.net/publication/223260427_Grate-firing_of_biomass_for_heat_and_power_production) (дата звернення 26.03.2025)
4. Очищення води для енергетичної промисловості. URL: [https://ziko.com.ua/decision/organization-solution-ochyshchennya-vody-dlya-tec/?srsltid=AfmBOoqJM3zn7GE1AWeZuJ0mL\\_Zx4eJozi3qbcVMEoSWordPress9ba8-RrT](https://ziko.com.ua/decision/organization-solution-ochyshchennya-vody-dlya-tec/?srsltid=AfmBOoqJM3zn7GE1AWeZuJ0mL_Zx4eJozi3qbcVMEoSWordPress9ba8-RrT) (дата звернення 29.03.2025)
5. Методичні матеріали для впровадження освітнього модуля «Основні стратегії сталого розвитку в Україні». Програма розвитку ООН в Україні. Всеукраїнська дитяча спілка «Екологічна варта», 2016. 215 с.
6. Є. Олійник, В. Антоненко, С. Чаплигін, В. Зубенко. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні : практичний посіб. / за ред. Г. Гелетухи. Київ : Поліграф плюс, 2016. 104 с. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/01/posibnyk-onovlenyi-2016.pdf>
7. Закон України «Про альтернативні види палива» від 14 січня 2000 року № 1391-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14#Text>
8. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / за ред. Г. Гелетухи. Київ: Академперіодика, 2022. 373 с.

9. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні : практичний посіб./за ред. Г. Гелетухи. Київ: «Поліграф плюс», 2016. 104 с.
10. Конспект лекцій з дисципліни «Котельні установки промислових підприємств» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 144 – Теплоенергетика очної та заочної форм навчання / укл. Глущенко О.Л., Кам'янське: ДДТУ, 2019. 103 с.
11. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел тепlopостачання : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2005. 137 с.
12. Степанов Д.В., Корженко Є.С., Боднар Л.А. Котельні установки промислових підприємств: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2011. 120 с.
13. Ткаченко С. Й., Степанов Д.В., Боднар Л.А. Котельні установки : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2016. 185 с.
14. Драганов Б.Х., Долінський А.А. та ін. Теплотехніка: підручник. Київ: «ІНКОС», 2005. 504 с.
15. Водогрійні, водотрубні котли КВГ, ТВГ. URL: <https://tovukmz.com.ua/kotly/vk/vvk-kvg-tvg.html> (дата звернення 05.04.2025)
16. Опис водогрійних котлів ТВГ. URL: [https://mmzavod.com.ua/attachments/article/11/%D0%9E%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D0%A2%D0%92%D0%93.pdf](https://mmzavod.com.ua/attachments/article/11/%D0%9E%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%A2%D0%92%D0%93.pdf) (дата звернення 05.04.2025)
17. «ТЕПЛОМАГ» твердопаливне обладнання. Промисловий пелетний котел 1500 кВт FOCUS, діапазон потужності (ФОКУС 600-1750 кВт). URL: <https://teplo-mag.com.ua/ua/p2122060433-promyshlennoj-pelletnyj-kotel.html> (дата звернення 12.04.2025)
18. КТМ 204 Україна 244-94 Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні.

19. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. [Чинний від 2011–11–1]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с. Вид. офіц.
20. НКРЕКП. Результати моніторингу функціонування ринку природного газу за IV квартал 2024 року. URL: [https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Sfery\\_Gaz/Monitoring\\_rynku\\_gaz/2024/monitoryng\\_gaz\\_IV-2024.pdf](https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Sfery_Gaz/Monitoring_rynku_gaz/2024/monitoryng_gaz_IV-2024.pdf) (дата звернення 09.05.2025)
21. Порівняльна таблиця теплотворності деяких видів палива. URL: <https://bioopt.com.ua/ua/a240346-sravnitel'naya-harakteristika-nekatoryh.html> (дата звернення 14.04.2025)
22. Перегуда Є.В., Стойко О.М., Деревінський В.Ф., Семко В.Л., Мамонтов І.О., Місержи С.Д. Політика енергоефективності та енергозбереження як чинник національної консолідації : проблеми формування та реалізації : Монографія. Київ. Тернопіль : «Бескиди», 2018. 203 с.
23. Технічний паспорт. Керівництво по монтажу, експлуатації та обслуговуванню пелетного котла Focus Termo. URL: <https://firebox.com.ua/wp-content/uploads/2025/03/tp-peletnij-kotel-focus-1000-1500.pdf>
24. Дані середньої температури за місяць. URL: <https://teplo.org.ua/news/> (дата звернення 14.04.3025).
25. Монтаж пелетного котла та особливості його використання <https://lumax.com.ua/uk/montazh-peletnogo-kotla-ta-osoblivosti-jogo-vikoristannya/>
26. Система очищення димових газів КЗОТ. Циклон-утилізатор МЦ-У 600 (500-700 кВт). URL: <https://kzot-kotel.com.ua/systemy-ochystky-dymovykh-haziv/systema-ochyshchennia-dymovykh-haziv-kzot-tsyklon-mts-600-450-700-kvt/> (дата звернення: 19.04.2025).
27. Кошторисні норми України . Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Внутрішні санітарно-технічну роботи. (Збірник 15). URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/725f1280-5274-11ec-aebf-af65aba18177.pdf> (дата звернення: 19.04.2025 р.)
28. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми та будівельні роботи. Теплосилове устаткування (Збірник 6).

URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-12-28/3d756bb9-88ac-4278-bc69-f8a09d09652a.pdf> (дата звернення: 19.04.2025.2025).

29. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Теплоізоляційні роботи. (Збірник 26).

URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-11-05/471a6f20-68a8-41de-a118-abb6654bd31a.pdf> (дата звернення: 21.04.2025)

30. ДСТУ ГОСТ 17375:2003 Деталі трубопроводів безшовні приварні з вуглецевої і низьколегованої сталі. Відводи крутовигнуті типу 3D (R = 1,5 DN). Конструкція. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=52076](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52076) (дата звернення: 21.04.2025).

31. ДСТУ ГОСТ 17379:2003 Деталі трубопроводів безшовні приварні з вуглецевої і низьколегованої сталі. Заглушки еліптичні. Конструкція. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=51043](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=51043) (дата звернення: 21.04.2025).

32. Бортовий автомобіль КрАЗ-65053. URL: <https://banga.ua/pages/avtomobili-kraz/bortovoy-kraz-65053> (дата звернення: 22.04.2025).

33. Автомобільний кран ІВАНОВЕЦЬ КС-45717 А-1. URL : <http://arenda-tehniki.in.ua/ua/ivanovets-2/ks-45717a-1> (дата звернення 22.04.2025).

34. Зварювальний напівавтомат інверторний Тех.АС ТА-00-022. URL: <https://eurotools.ua/uk/16954-svarochnyy-poluavtomat-invertornyy-tehas-ta-00-022> (дата звернення 22.04.2025).

35. Кутова шліфувальна машина BOSH GWS 24-230 P PROFESSIONAL URL: <https://hotline.ua/ua/tools-uglovyye-shlifmashiny-bolgarki/bosch-gws-24-230-p-06018c3100/?tab=about> (дата звернення 24.04.2025)

36. Пресувальник електричний AQUA WORD DSY-60. URL: [https://termosvit.com.ua/ua/p1241511580-opressovschik-elektricheskij-aqua.html?source=merchant\\_center&gclid=Cj0KCQiA8t2eBhDeARIsAAVEg%20a3-jnBSiiapQVDQe-535wZt85REaD4bcV4jyTEHYoNMjLgQ7-%20w7fMsaAsHgEALw\\_wcB](https://termosvit.com.ua/ua/p1241511580-opressovschik-elektricheskij-aqua.html?source=merchant_center&gclid=Cj0KCQiA8t2eBhDeARIsAAVEg%20a3-jnBSiiapQVDQe-535wZt85REaD4bcV4jyTEHYoNMjLgQ7-%20w7fMsaAsHgEALw_wcB) (дата звернення 24.04.2025).

37. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Технологічні трубопроводи. (Збірник 12). URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-12-28/503fe171-e113-488b-8d73-9fscce5e9de05.pdf> (дата звернення: 24.04.2025)
38. Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання (частина I «Теплові мережі та споруди»). навчальний посібник. Київ: Кондор, 2007. 244 с.
39. ДБН 2.5-77:2014. Котельні. [Чинний від 20215-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2014. 65 с. Вид. офіційне.
40. НПАОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=77162](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77162) (дата звернення 25.04.2025)
41. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=50154](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50154) (дата звернення 25.04.2025)
42. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=68456](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68456) (дата звернення 25.04.2025)
43. Золотовська О. В. Курс лекцій з теплотехніки: навч. посіб. О. В. Золотовська, А. М. Пугач, Г. В. Теслюк . Дніпро: ДДАЕУ, 2022. 274 с.
44. Лялюк О. Г., Ратушняк Г.С. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в теплоенергетиці : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2020. 93 с.
45. Лялюк О. Г. Економіка енергетики. Вінниця: ВНТУ, 2009. 118 с.
46. Нафтогаз. Ціни на газ за категорією споживачів. URL: <https://naftogaztrading.com.ua/czina-gazu/> (дата звернення 30.05.2025 )
47. Біонергобанк. Пелети з деревини. URL: <https://bioenergybank.com.ua/uk/produkcija/pelleti-z-drevesini/> (дата звернення 30.05.2025)

48. How to optimize your industrial boiler system. URL: <https://www.boilertechnologies.com/blog/how-to-optimize-your-industrial-boilers-maximum-efficiency> (дата звернення 01.05.2025)

49. Biomass boilers – implementation guide. URL: <https://www.seai.ie/sites/default/files/publications/Biomass-Boilers-Implementation-Guide.pdf> (дата звернення 01.05.2025)

50. Sustainable Energy for security. Copyright. 2022. United Nations Development Programme. URL: <https://www.cedro-undp.org/Library/Assets/Gallery/Publications/Biomass%20Pellet%20Boilers.pdf> (дата звернення 01.05.2025)

Додаток А  
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Назва роботи: Підвищення ефективності роботи водогрійної котельні по вулиці Ярославська, 9, місто Ірпінь

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ ФБЦЕІ, кафедра ТЕ, група ТЕ-23мз  
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 14,6 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Степанов Д.В., зав. кафедри ТЕ

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Резидент Н.В., доцент кафедри ТЕ

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_

(підпис)

Співак О.Ю.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник \_\_\_\_\_

(підпис)

Співак О.Ю.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач \_\_\_\_\_

(підпис)

Трительницька О.О.

(прізвище, ініціали)

У відповідності до розпорядження 03/15 від 01.06.2022 р на засіданні кафедри теплоенергетики прийнято рішення виключити в кваліфікаційних роботах здобувачів кафедри з перевірки на наявність текстових запозичень розділ Охорони праці та Економічний розділ.

Протокол засідання кафедри ТЕ № 18 від 14.05.2024 р.

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Д.В. Степанов

Додаток Б  
(обов'язковий)

УЗГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖЕНО

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

Завідувач кафедри ТЕ

\_\_\_\_\_  
Підпис

\_\_\_\_\_  
Ініціативи та прізвище

\_\_\_\_\_  
Дмитро СТЕПАНОВ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу на тему:

**«Підвищення ефективності роботи водогрійної котельні  
по вулиці Ярославська, 9, місто Ірпінь»**

08-15.МКР.001.00.00.000 ТЗ

Керівник роботи:

к. т. н., доц. Резидент Н. В.

Виконавець:

студентка групи ТЕ-23мз

Трительницька О. О.

## 1. Найменування та область застосування

Розробка стосується муніципальної теплоенергетики та модернізації котельні по вул. Ярославській, 9 м. Ірпінь, Київської області, що дозволить підвищити ефективність виробництва теплоти та зменшити шкідливі викиди в довкілля.

## 2. Основа для проведення розробки

Основою для виконання роботи є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, дані з підприємства, наказ ректора ВНТУ про затвердження теми МКР № 96 від 20.03.2025.

## 3. Мета та призначення розробки

Підвищення ефективності виробництва теплової енергії та зменшення шкідливого впливу на довкілля водогрійної котельні шляхом заміщення природного газу відновлюваними джерелами енергії та застосування вторинних енергоресурсів.

## 4. Джерела розробки

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

1. ДБН 2.5–77:2014. Котельні. [Чинний від 20215-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2014. 65 с. Вид. офіц.

2. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проєктування джерел тепlopостачання. Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2005. 137 с.

3. Лялюк О. Г., Ратушняк Г.С. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в теплоенергетиці : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2020. 93 с.

4. Є. Олійник, В. Антоненко, С. Чаплигін, В. Зубенко. Підготовка та впровадження проєктів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник / За ред. Г. Гелетухи. Київ : Поліграф плюс, 2016. 104 с.

## 5. Технічні вимоги

5.1 Температурний графік роботи котельні – 95/70 °С.

5.2 Приєднане теплове навантаження – 6,33 Гкал/год.

5.3 Паливо:

- природний газ;

- відновлювані види палива.

5.4 Забезпечення зменшення собівартості виробництва теплової енергії.

## 6. Економічні показники

Будівництво та експлуатація об'єкту має виконуватися з мінімальними витратами праці та з мінімальними затратами виробництва. Здійснити економічне обґрунтування доцільності модернізації котельні, визначити економію палива та собівартість виробництва теплоти.

## 7. Стадії та етапи розробки

| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи                                | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|--------------------------------|----------|
| 1     | Аналітичний огляд джерел інформації  | 25.03.25...02.04.25            |          |
| 2     | Ефективність роботи існуючої котельні та обґрунтування варіантів її модернізації | 03.04.25...17.04.25            |          |
| 3     | Організаційно-технологічна частина   | 18.04.25...04.05.25            |          |
| 4     | Економічна частина   | 05.05.25...21.05.25            |          |
| 5     | Оформлення МКР   | 22.05.25...29.05.25            |          |
| 6     | Попередній захист МКР  | 30.05.25...17.06.25            |          |
| 7     | Захист МКР   | 09.06.25...27.06.25            |          |

Дата видачі завдання «\_\_»\_\_\_\_\_ 2025 р.

Крайні терміни виконання «\_\_»\_\_\_\_\_ 2025 р.

## 8. 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.

9. Корегування технічного завдання допускається з дозволу керівника МКР.

**Додаток В  
(довідковий)**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Головний інженер  
КПП «Теплоенергопостач» ІНП

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**РЕЖИМНА КАРТА  
водогрійного котла № 2 ТВГ-8М**

| Найменування величин                    | Од. вим             | Режим роботи котла |        |        |       |
|---|---------------------|--------------------|--------|--------|-------|
|   |                     | 1                  | 2      | 3      | 4     |
| <b>I. Оперативні параметри</b>          |                     |                    |        |        |       |
| 1. Навантаження котла від номінальної   |                     | 25,86              | 34,27  | 40,81  | 46,23 |
| 2. Теплова згорання газу                | Ккал/м <sup>3</sup> | 8250               |        |        |       |
| 3. Тип пальників                        |                     | Подова             |        |        |       |
| 3. Кількість працюючих пальників        | од.                 | 4                  | 4      | 4      | 4     |
| 4. Тиск газу перед пальником            | кгс/м <sup>2</sup>  | 0,2                | 0,3    | 0,4    | 0,5   |
| 5. Тиск повітря на пальник              | мм.в.ст.            | 1                  | 1      | 1      | 1     |
| 6. Розрідження в топці                  | Па                  | 2,00               | 2,00   | 2,00   | 2,00  |
| <b>II. Контрольні параметри</b>         |                     |                    |        |        |       |
| 1. Склад газів на виході з котла:       |                     |                    |        |        |       |
| - вміст CO <sub>2</sub>                 | %                   | 4,0                | 5,4    | 6,0    | 6,4   |
| - вміст CO                              | %                   |                    |        |        |       |
| - вміст O <sub>2</sub>                  | %                   | 13,9               | 11,4   | 10,3   | 9,6   |
| 2. Температура газів що йдуть за котлом | °C                  | 159                | 168    | 180    | 191   |
| 3. Коефіцієнт надлишку повітря          | а                   | 2,75               | 2,07   | 1,87   | 1,76  |
| 4. Зміст NO <sub>x</sub>                | мг/м <sup>3</sup>   | 22                 | 30     | 31     | 32    |
| 5. Зміст CO                             | мг/м <sup>3</sup>   |                    |        |        |       |
| <b>III. Основні показники</b>           |                     |                    |        |        |       |
| 1. Теплопродуктивність                  | Гкал/год            | 2,147              | 2,845  | 3,387  | 3,837 |
| 2. Витрата газу зведена                 | м <sup>3</sup> /год | 316                | 408    | 482    | 545   |
| 3. Витрата води через котел             | т/год               | 104                | 104    | 104    | 104   |
| 4. Тиск води на вході в котел           | кгс/см <sup>2</sup> | 8,6                | 8,6    | 8,6    | 8,6   |
| 5. Тиск води на виході з котла          | кгс/см <sup>2</sup> | 6,2                | 6,2    | 6,2    | 6,2   |
| 6. Температура води на вході в котел    | °C                  | 48                 | 48     | 47     | 46    |
| 7. Температура води на виході з котла   | °C                  | 74                 | 80     | 86     | 90    |
| <b>IV. Економічні показники</b>         |                     |                    |        |        |       |
| 1. Втрати тепла:                        |                     |                    |        |        |       |
| - з відхідними газами                   | %                   | 14,59              | 13     | 12,78  | 12,85 |
| - від хім. недопалювання                | %                   |                    |        |        |       |
| - в навколишнє середовище               | %                   | 3,07               | 2,49   | 2,05   | 1,81  |
| 2. ККД Теплоагрегата «брутто»           | %                   | 82,34              | 84,51  | 85,18  | 85,34 |
| 3. УВП                                  | кг.у.п./Гкал        | 173,49             | 169,04 | 167,72 | 167,4 |

Випробування по II категорії ( ККД з точністю ± 1,5 - 2%)

Додаток Г  
(довідковий)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Головний інженер  
КПП «Теплоенергопостач» ІНП

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**РЕЖИМНА КАРТА**  
водогрійного котла № 3 КОЛВІ 8000 Р перша секція

| Найменування величин                    | Од. вим             | Режим роботи котла            |        |        |        |
|---|---------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|
|   |                     | 1                             | 2      | 3      | 4      |
| <b>I. Оперативні параметри</b>          |                     |                               |        |        |        |
| 1. Навантаження котла від номінальної   |                     | 55,90                         | 75,14  | 86,97  | 100,52 |
| 2. Теплова згорання газу                | Ккал/м <sup>3</sup> | 8250                          |        |        |        |
| 3. Тип пальників                        |                     | СІВ UNIGAS M-PR.S.UA.A.1.50EA |        |        |        |
| 3. Кількість працюючих пальників        | од.                 | 1                             | 1      | 1      | 1      |
| 4. Тиск газу перед пальником            | %                   | 30                            | 40     | 43     | 50     |
| 5. Тиск повітря на пальник              | мм.в.ст.            |                               |        |        |        |
| 6. Розрідження в топці                  | Па                  | 1                             | 1      | 1      | 1      |
| <b>II. Контрольні параметри</b>         |                     |                               |        |        |        |
| 1. Склад газів на виході з котла:       |                     |                               |        |        |        |
| - вміст CO <sub>2</sub>                 | %                   | 7,2                           | 9,2    | 10,0   | 11,0   |
| - вміст CO                              | %                   |                               |        |        |        |
| - вміст O <sub>2</sub>                  | %                   | 8,2                           | 4,6    | 3,2    | 1,4    |
| 2. Температура газів що йдуть за котлом | °C                  | 119,00                        | 143,00 | 154,00 | 163,00 |
| 3. Коефіцієнт надлишку повітря          | а                   | 1,57                          | 1,25   | 1,16   | 1,06   |
| 4. Зміст NO <sub>x</sub>                | мг/м <sup>3</sup>   | 47,00                         | 66,00  | 77,00  | 94,00  |
| 5. Зміст CO                             | мг/м <sup>3</sup>   |                               |        |        |        |
| <b>III. Основні показники</b>           |                     |                               |        |        |        |
| 1. Теплопродуктивність                  | Гкал/год            | 1,923                         | 2,585  | 2,992  | 3,458  |
| 2. Витрата газу зведена                 | м <sup>3</sup> /год | 252                           | 338    | 391    | 451    |
| 3. Витрата води через котел             | т/год               | 137                           | 137    | 137    | 137    |
| 4. Тиск води на вході в котел           | кгс/см <sup>2</sup> | 3,3                           | 3,3    | 3,3    | 3,3    |
| 5. Тиск води на виході з котла          | кгс/см <sup>2</sup> | 3,2                           | 3,2    | 3,2    | 3,2    |
| 6. Температура води на вході в котел    | °C                  | 58                            | 60     | 62     | 64     |
| 7. Температура води на виході з котла   | °C                  | 68                            | 74     | 82     | 88     |
| <b>IV. Економічні показники</b>         |                     |                               |        |        |        |
| 1. Втрати тепла:                        |                     |                               |        |        |        |
| - з відхідними газами                   | %                   | 6,75                          | 6,77   | 6,87   | 6,75   |
| - від хім. недопалювання                | %                   | 0,00                          | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| - в навколишнє середовище               | %                   | 0,75                          | 0,54   | 0,38   | 0,31   |
| 2. ККД Теплоагрегата «брутто»           | %                   | 92,50                         | 92,69  | 92,75  | 92,94  |
| 3. УВП                                  | кг.у.п./Гкал        | 154,44                        | 154,12 | 154,02 | 153,71 |

Випробування по II категорії ( ККД з точністю ± 1,5 - 2%)

Додаток Д  
(довідковий)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Головний інженер  
КПП «Теплоенергопостач» ІНП

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**РЕЖИМНА КАРТА**  
водогрійного котла № 3 КОЛВІ 8000 Р друга секція

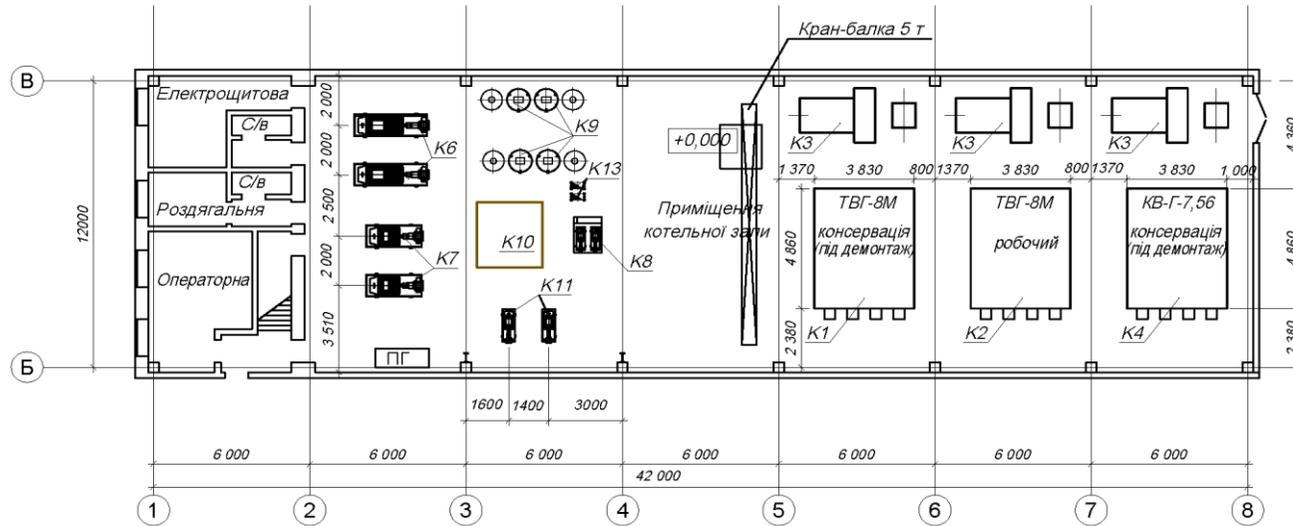
| Найменування величин                    | Од. вим             | Режим роботи котла            |        |        |        |
|---|---------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|
|   |                     | 1                             | 2      | 3      | 4      |
| <b>I. Оперативні параметри</b>          |                     |                               |        |        |        |
| 1. Навантаження котла від номінальної   |                     | 54,28                         | 74,94  | 88,26  | 104,72 |
| 2. Теплова згорання газу                | Ккал/м <sup>3</sup> | 8250                          |        |        |        |
| 3. Тип пальників                        |                     | СІВ UNIGAS M-PR.S.UA.A.1.50EA |        |        |        |
| 4. Кількість працюючих пальників        | од.                 | 1                             | 1      | 1      | 1      |
| 5. Тиск газу перед пальником            | %                   | 30                            | 40     | 43     | 50     |
| 6. Тиск повітря на пальник              | мм.в.ст.            |                               |        |        |        |
| 7. Розрідження в топці                  | Па                  | 1                             | 1      | 1      | 1      |
| <b>II. Контрольні параметри</b>         |                     |                               |        |        |        |
| 1. Склад газів на виході з котла:       |                     |                               |        |        |        |
| - вміст CO <sub>2</sub>                 | %                   | 6,4                           | 8,2    | 9,4    | 11,0   |
| - вміст CO                              | %                   |                               |        |        |        |
| - вміст O <sub>2</sub>                  | %                   | 9,6                           | 6,4    | 4,2    | 1,4    |
| 2. Температура газів що йдуть за котлом | °C                  | 121,00                        | 141,00 | 151,00 | 164,00 |
| 3. Коефіцієнт надлишку повітря          | а                   | 1,76                          | 1,40   | 1,22   | 1,06   |
| 4. Зміст NO <sub>x</sub>                | мг/м <sup>3</sup>   | 23,00                         | 40,00  | 58,00  | 86,00  |
| 5. Зміст CO                             | мг/м <sup>3</sup>   |                               |        |        |        |
| <b>III. Основні показники</b>           |                     |                               |        |        |        |
| 1. Теплопродуктивність                  | Гкал/год            | 1,867                         | 2,578  | 3,036  | 3,602  |
| 2. Витрата газу зведена                 | м <sup>3</sup> /год | 247                           | 339    | 398    | 470    |
| 3. Витрата води через котел             | т/год               | 137                           | 137    | 137    | 137    |
| 4. Тиск води на вході в котел           | кгс/см <sup>2</sup> | 3,3                           | 3,3    | 3,3    | 3,3    |
| 5. Тиск води на виході з котла          | кгс/см <sup>2</sup> | 3,2                           | 3,2    | 3,2    | 3,2    |
| 6. Температура води на вході в котел    | °C                  | 42                            | 44     | 48     | 52     |
| 7. Температура води на виході з котла   | °C                  | 52                            | 58     | 64     | 77     |
| <b>IV. Економічні показники</b>         |                     |                               |        |        |        |
| 1. Втрати тепла:                        |                     |                               |        |        |        |
| - з відхідними газами                   | %                   | 7,61                          | 7,29   | 7,06   | 6,79   |
| - від хім. недопалювання                | %                   | 0,00                          | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| - в навколишнє середовище               | %                   | 0,75                          | 0,54   | 0,47   | 0,3    |
| 2. ККД Теплоагрегата «брутто»           | %                   | 91,63                         | 92,17  | 92,47  | 92,91  |
| 3. УВП                                  | кг.у.п./Гкал        | 155,90                        | 154,99 | 154,49 | 153,77 |

Випробування по II категорії ( ККД з точністю ± 1,5 - 2%)

Додаток Е  
(обов'язковий)

**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ  
ПО ВУЛИЦІ ЯРОСЛАВСЬКА, 9, МІСТО ІРПІНЬ



**ЕКСПЛІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ**

| Поз. | Позначення                    | Найменування  | Кіл. | Примітка                             |
|------|-------------------------------|---|------|--------------------------------------|
| K1   | ТВГ-8М                        | Котел водогрійний газовий потужністю 3,8 Гкал/год                                     | 1    | На консервації та підлягає демонтажу |
| K2   | ТВГ-8М                        | Котел водогрійний газовий потужністю 3,8 Гкал/год                                     | 1    | Робочий котел                        |
| K3   | ДН-12                         | Димосос котла ТВГ-8М  | 3    |                                      |
| K4   | КВ-Г-7,56                     | Котел водогрійний газовий потужністю 6,5 Гкал/год                                     | 1    | На консервації та підлягає демонтажу |
| K6   | NLG 300/550-315/4             | Насос мережевий (опалювальний період)   | 2    | Робочий + резервний                  |
| K7   | Atmos GIGA-N 125/250. 1-160/2 | Насос мережевий (неопалювальний період)   | 2    | Робочий + резервний                  |
| K8   | COR-2 Helix V 5205/K/CC-02    | Установка підживлення з двома насосами  | 1    | Робочий + резервний                  |
| K9   | FU3672CE2                     | Установка пом'якшення води на 10 м³/год з насосом дозування з імпульсним витратоміром | 2    | 2 ступені                            |
| K10  |                               | Бак запасу хімічищеної води, 10 м³  | 1    |                                      |
| K11  | IL 40/120-1,5/2               | Насоси пожежегасіння  | 2    | Робочий + резервний                  |
| K12  | IL-E 150/200-7,5/4            | Підмішувачий насос котлового контура  | 3    | Робочий                              |
| K13  | CBVTY-10M(M2) RP, DN300       | Теплолічильник з одним витратоміром, 1000 м³/год                                      | 1    |                                      |

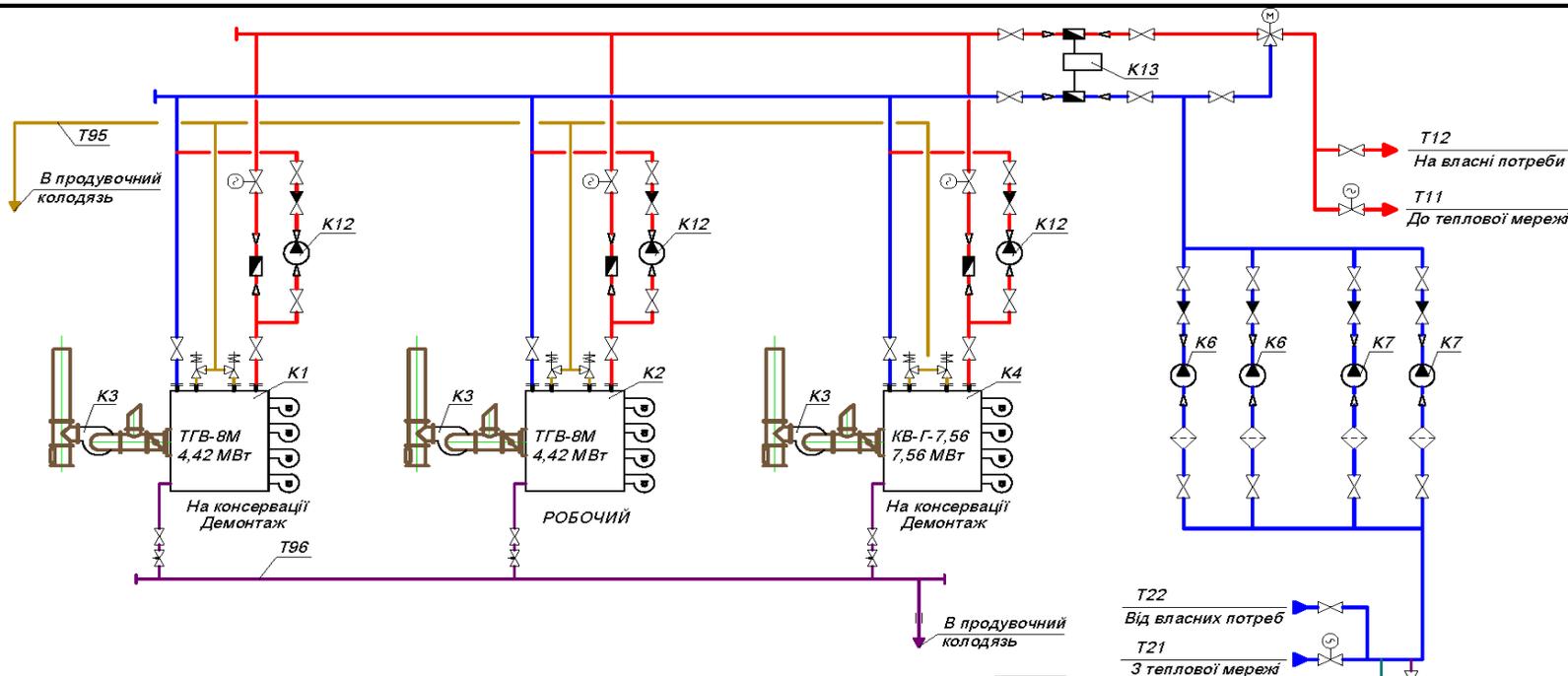
|           |                  |       |       |        |      |   |        |       |                  |
|-----------|------------------|-------|-------|--------|------|---|--------|-------|------------------|
|           |                  |       |       |        |      | <b>08-15. МКР.001.01.00.000 АР</b>  |        |       |                  |
|           |                  |       |       |        |      | <b>м. Ірпінь</b>  |        |       |                  |
| Зм.       | Кільк.           | Аркуш | № док | Підпис | Дата | Підвищення ефективності роботи водогрійної котельні по вул. Ярославська, 9, м. Ірпінь | Стадія | Аркуш | Аркушів          |
| Розробив  | Тригельницька О. |       |       |        |      |   |        |       |                  |
| Перевірив | Резидент Н.В.    |       |       |        |      |   |        |       |                  |
| Т. контр. |                  |       |       |        |      |   |        |       |                  |
| Н. контр. | Резидент Н.В.    |       |       |        |      | План існуючої котельні на відм. 0,000   |        |       | ВНТУ, ТЕ - 23 мз |
| Опонент   | Бондар А.В.      |       |       |        |      |   |        |       |                  |
| Затвердив | Степанов Д.В.    |       |       |        |      |   |        |       |                  |

Погоджено:

Зам. інв. №

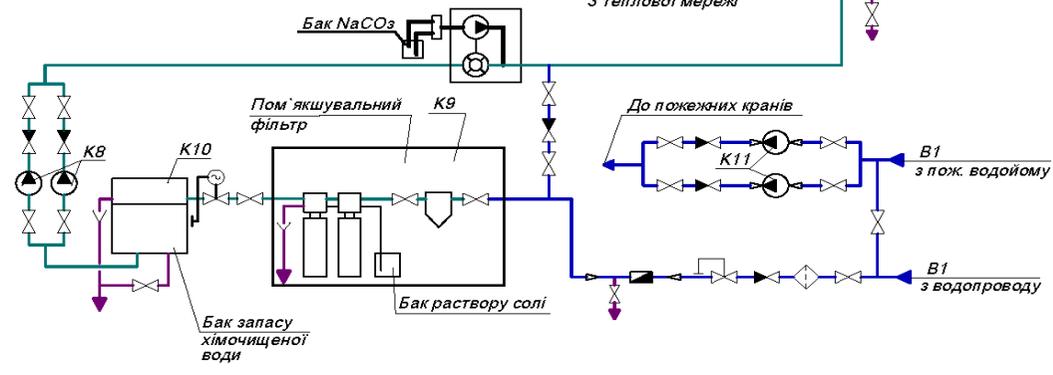
Підпис та дата

Інв. № ориг.



ЕКСПЛІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

| Поз. | Позначення           | Найменування  | Кіл. | Примітка                   |
|------|----------------------|---|------|----------------------------|
| K1   | ТВГ-8М               | Котел водогрійний газовий потужністю 3,8 Гкал/год                                     | 1    | На консервації<br>Демонтаж |
| K2   | ТВГ-8М               | Котел водогрійний газовий потужністю 3,8 Гкал/год                                     | 2    | Робочий котел              |
| K3   | ДН-12                | Димосос котла ТВГ-8М  | 3    |                            |
| K4   | KB-Г-7,56            | Котел водогрійний газовий потужністю 6,5 Гкал/год                                     | 1    | На консервації<br>Демонтаж |
| K6   | NLG 300/550-315/4    | Насос мережевий (опалювальний період)   | 2    | Робочий + резервний        |
| K7   | Atmos GIGA-N 125/250 | Насос мережевий (неопалювальний період)   | 2    | Робочий + резервний        |
| K8   | COR-2 Helix V 5205   | Установка підживлення з двома насосами  | 1    | Робочий + резервний        |
| K9   | FU3672CE2            | Установка пом'якшення води на 10 м³/год з насосом дозування з імпульсним витратоміром | 2    | 2 ступені                  |
| K10  |                      | Бак запасу хімічищеної води, 10 м³  | 1    |                            |
| K11  | IL 40/120-1,5/2      | Насоси пожежегасіння  | 2    | Робочий + резервний        |
| K12  | IL-E 150/200-7,5/4   | Насос рециркуляції котлового контура  | 3    | Робочий                    |
| K13  | CBTV-10M(M2), DN300  | Теплолічильник з одним витратоміром, 1000 м³/год                                      | 1    |                            |

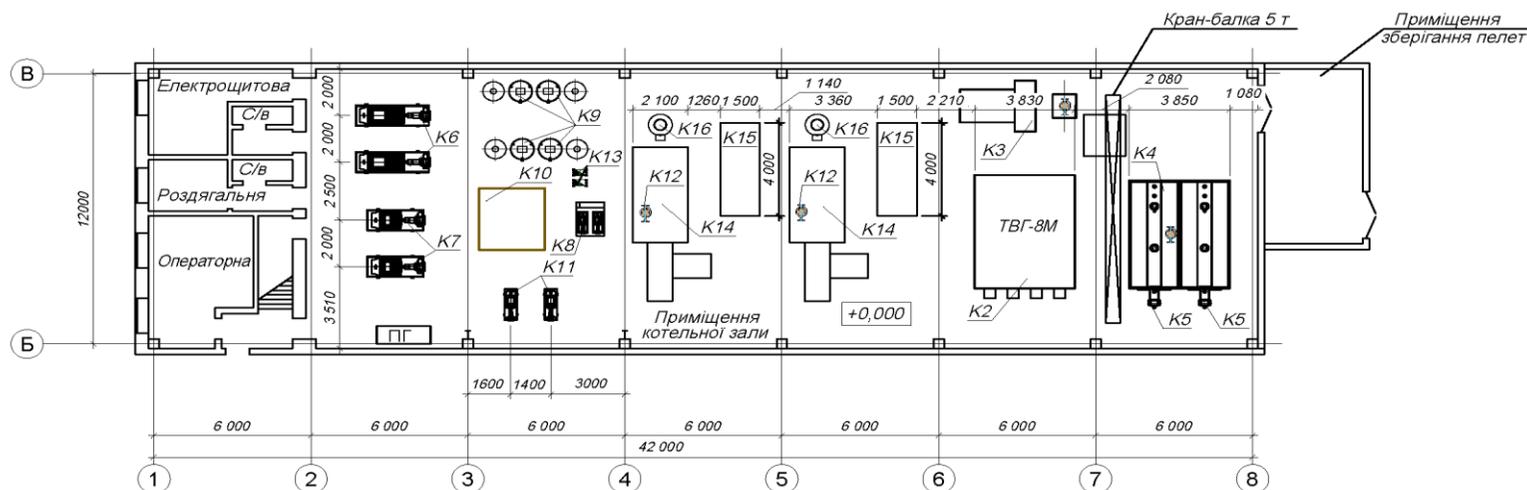


Лист № \_\_\_\_\_  
Зам. № \_\_\_\_\_  
Підпис та дата \_\_\_\_\_  
№ ф. № орг. \_\_\_\_\_

**08-15. МКР.001.02.00.000 ТЗ**

|           |        |       |       |               |      |                              |      |      |        |
|-----------|--------|-------|-------|---------------|------|------------------------------|------|------|--------|
| Зм.       | Кільк. | Аркуш | № док | Підпис        | Дата | Схема котельні існуюча тепла | Лім. | Маса | Масшт. |
| Розробив  |        |       |       | Тригунько О   |      |                              |      |      |        |
| Перевірив |        |       |       | Резидент Н.В. |      |                              |      |      |        |
| Т. контр. |        |       |       |               |      |                              |      |      |        |
| Н. контр. |        |       |       | Резидент Н.В. |      |                              |      |      |        |
| ОпONENT   |        |       |       | Бондар А.В.   |      |                              |      |      |        |
| Затвердив |        |       |       | Степанов Д.В. |      |                              |      |      |        |

ВНТУ, ТЕ-23 мз



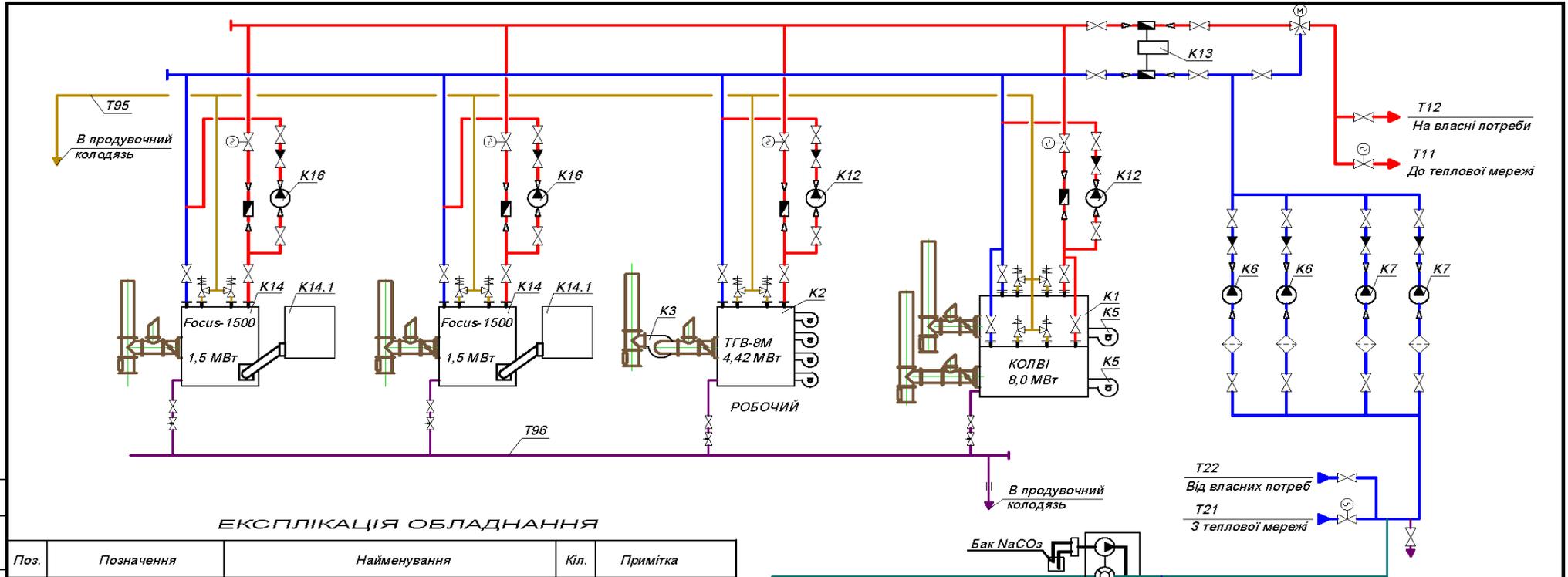
### ЕКСПЛІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

| Поз. | Позначення                    | Найменування  | Кіл. | Примітка            |
|------|-------------------------------|---|------|---------------------|
| K2   | ТВГ-8М                        | Котел водогрійний газовий потужністю 3,8 Гкал/год                                     | 1    | Робочий котел       |
| K3   | ДН-12                         | Димосос котла ТВГ-8М  | 1    |                     |
| K4   | КОЛВІ 8000P                   | Котел водогрійний газовий потужністю 7,1 Гкал/год                                     | 1    |                     |
| K5   | R515 A                        | Пальник котла КОЛВІ 8000P   | 2    |                     |
| K6   | NLG 300/550-315/4             | Насос мережевий (опалювальний період)   | 2    | Робочий + резервний |
| K7   | Atmos GIGA-N 125/250. 1-160/2 | Насос мережевий (неопалювальний період)   | 2    | Робочий + резервний |
| K8   | COR-2 Helix V 5205/K/CC-02    | Установка підживлення з двома насосами  | 1    | Робочий + резервний |
| K9   | FU3672CE2                     | Установка пом'якшення води на 10 м³/год з насосом дозування з імпульсним витратоміром | 2    | 2 ступені           |
| K10  |                               | Бак запасу хімоочищеної води, 10 м³   | 1    |                     |
| K11  | IL 40/120-1,5/2               | Насоси пожежегасіння  | 2    | Робочий + резервний |
| K12  | IL-E 150/200-7,5/4            | Насос рециркуляції котлового контура  | 3    | Робочий             |
| K13  | CBTU-10M(M2) RP, DN300        | Теплолічильник з одним витратоміром, 1000 м³/год                                      | 1    |                     |
| K14  | FOCUS 1500                    | Котел пелетний 1500 кВт   | 2    |                     |
| K15  |                               | Бункер пелетний, 18 м³  | 2    |                     |
| K16  | МЦ-У-600                      | Циклон вихідних газів   | 2    |                     |

|           |        |       |       |        |      |   |                  |       |         |
|-----------|--------|-------|-------|--------|------|---|------------------|-------|---------|
|           |        |       |       |        |      | <b>08-15.МКР.001.03.00.000 AP</b>   |                  |       |         |
|           |        |       |       |        |      | <b>м. Ірпінь</b>  |                  |       |         |
| Зм.       | Кільк. | Аркуш | № док | Підпис | Дата | Підвищення ефективності роботи водогрійної котельні по вул. Ярославська, 9, м. Ірпінь | Стадія           | Аркуш | Аркушів |
| Розробив  |        |       |       |        |      |   |                  |       |         |
| Перевірів |        |       |       |        |      |   |                  |       |         |
| Т. контр. |        |       |       |        |      |   |                  |       |         |
| Н. контр. |        |       |       |        |      |   |                  |       |         |
| Опонент   |        |       |       |        |      | План на відм. 0,000<br>Проектні рішення   | ВНТУ, ТЕ - 23 мз |       |         |
| Затвердив |        |       |       |        |      |   |                  |       |         |

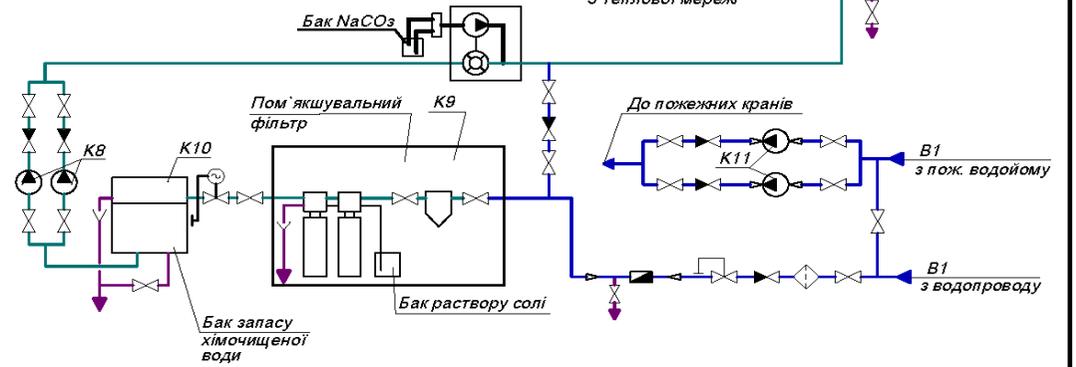
Копія

Формат А3



ЕКСПЛІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

| Поз.  | Позначення           | Найменування  | Кл. | Примітка            |
|-------|----------------------|---|-----|---------------------|
| K2    | ТВГ-8М               | Котел водогрійний газовий потужністю 3,8 Гкал/год                                     | 1   | Робочий котел       |
| K3    | ДН-12                | Димосос котла ТВГ-8М  | 1   |                     |
| K4    | КОЛВІ 8000Р          | Котел водогрійний газовий потужністю 7,1Гкал/год                                      | 1   |                     |
| K5    | R515 A               | Пальник котла КОЛВІ 8000Р   | 2   |                     |
| K6    | NLG 300/550-315/4    | Насос мережевий (опалювальний період)   | 2   | Робочий + резервний |
| K7    | Atmos GIGA-N 125/250 | Насос мережевий (неопалювальний період)   | 2   | Робочий + резервний |
| K8    | COR-2 Helix V 5205   | Установка підживлення з двома насосами  | 1   | Робочий + резервний |
| K9    | FU3672CE2            | Установка пом'якшення води на 10 м³/год з насосом дозування з імпульсним витратоміром | 2   | 2 ступені           |
| K10   |                      | Бак запасу хімічещеної води, 10 м³  | 1   |                     |
| K11   | IL 40/120-1,5/2      | Насоси пожежегасіння  | 2   | Робочий + резервний |
| K12   | IL-E 150/200-7,5/4   | Насос рециркуляції котлового контура  | 3   | Робочий             |
| K13   | СВТУ-10М(М2), DN300  | Теплолічильник з одним витратоміром, 1000 м³/год                                      | 1   |                     |
| K14   | FOCUS-1500           | Котел пелетний 1500 кВт   | 2   |                     |
| K14.1 | FOCUS-1500           | Пальник пелетний 1500 кВт   | 2   |                     |
| K15   |                      | Бункер пелетний, 18 м³  | 2   |                     |
| K16   | Yonos MAXO 50/0,5-9  | Насос рециркуляції котлового контура  | 2   | Робочий             |



Погоджено:

Зам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № орг.

|  |        |       |        |                      |      |
|--|--------|-------|--------|----------------------|------|
| <b>08-15. МКР.001.04.00.000 ТЗ</b>           |        |       |        |                      |      |
| Зм.  | Кільк. | Аркуш | № док. | Підпис               | Дата |
| Розробив                                     |        |       |        | <i>Григоренко О.</i> |      |
| Перевірив                                    |        |       |        | <i>Резиден Н.В.</i>  |      |
| Т. контр.                                    |        |       |        |                      |      |
| Н. контр.                                    |        |       |        | <i>Резиден Н.В.</i>  |      |
| ОпONENT                                      |        |       |        | <i>Бондар А.В.</i>   |      |
| Затвердив                                    |        |       |        | <i>Степанов Д.В.</i> |      |
| Схема котельні теплової.<br>Проектні рішення |        |       |        |                      |      |
| Літ.   |        | Маса  |        | Масшт.               |      |
|  |        |       |        |                      |      |
| Арк.   |        |       |        | Аркушів              |      |
| ВНТУ, ТЕ-23 нз                               |        |       |        |                      |      |

| Позиція | Найменування та технічна характеристика   | Тип, марка, позначення документа, опитувального листа | Код обладнання, виробу, матеріалу | Завод-виробник (постачальник)       | Одиниця вимірювання | Кількість | Маса одиниці, кг | Примітка        |
|---------|---|---|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-----------|------------------|-----------------|
| 1       | 2   | 3   | 4                                 | 5                                   | 6                   | 7         | 8                | 9               |
|         | Специфікація обладнання   |   |                                   |                                     |                     |           |                  |                 |
| K 14    | Водогрійний пелетний котел Q=1500 кВт   | FOCUS - 1500  |                                   | ТОВ "ФАЙРБОКС ФОКУС ТЕРМО", Україна | шт.                 | 2         |                  |                 |
| K 14.1  | Пальник пелетний Q=1500 кВт N=3,55 кВт  | FOCUS - 1500  |                                   | ТОВ "ФАЙРБОКС ФОКУС ТЕРМО", Україна | шт.                 | 2         |                  |                 |
| K 15    | Бункер пелетний 18 м <sup>3</sup> /год  |   |                                   | ТОВ "ФАЙРБОКС ФОКУС ТЕРМО", Україна | шт.                 | 2         |                  |                 |
| K 16    | Насос рециркуляції котловий   | Yonos MAXO 50/0.5-9                                   |                                   | Wilo, Німеччина                     | шт.                 | 2         |                  | 1 робочий насос |
| 1       | Регулююча заслонка з електроприводом 5"   | 497 B 5 + GM230A                                      |                                   | Zetkama                             | шт.                 | 2         |                  |                 |
| 2       | Засувка типу "Батерфляй" з ковкого чугуна 5"  |   |                                   | Zetkama                             | шт.                 | 4         |                  |                 |
| 3       | Клапан зворотний чавунний міжфланцевий 5", PN16   | 407 5   |                                   | Zetkama                             | шт.                 | 2         |                  |                 |
| 4       | Фільтр сітчастий фланцевий DN150, PN16  |   |                                   | УКРСПАР                             | шт.                 | 2         |                  |                 |
| 5       | Клапан запобіжний, пружинний, сталевий, фланцевий<br>Ду 65x80 PN166 налагодження 3,75 бар | 6580F   |                                   |                                     | шт.                 | 4         |                  |                 |
| 6       | Манометр показуючий, шкала 0-0,6 МПа,<br>клас точності 1,5 діаметр корпусу 100 мм, G 1/2" | ДМ 05-МП-ЗУ-100-0,6                                   |                                   |                                     | шт.                 | 10        |                  |                 |
| 7       | Термометр ТБ-100-100 0+120 - 1,5- 0   | ТБ-100-100  |                                   |                                     | шт.                 | 6         |                  |                 |
| 8       | Манометр електроконтактний 0-6 бар, 160 мм  | ДМ 2005 Сг  |                                   |                                     | шт.                 | 4         |                  |                 |
| 9       | Теплообчислювач з інтерфейсним модулем M-BUS :  | СВТУ-11Т(М2)  |                                   |                                     | шт.                 | 6         |                  |                 |
| 9.1     | Первинний перетворювач витрат води, DN100   | РУ-100  |                                   |                                     | шт.                 | 4         |                  |                 |
| 9.2     | Термоперетворювач опору DN8   | ТСП-Т-2   |                                   |                                     |                     |           |                  |                 |

Зам. №, №  
Підпис та дата  
№, № ориг.

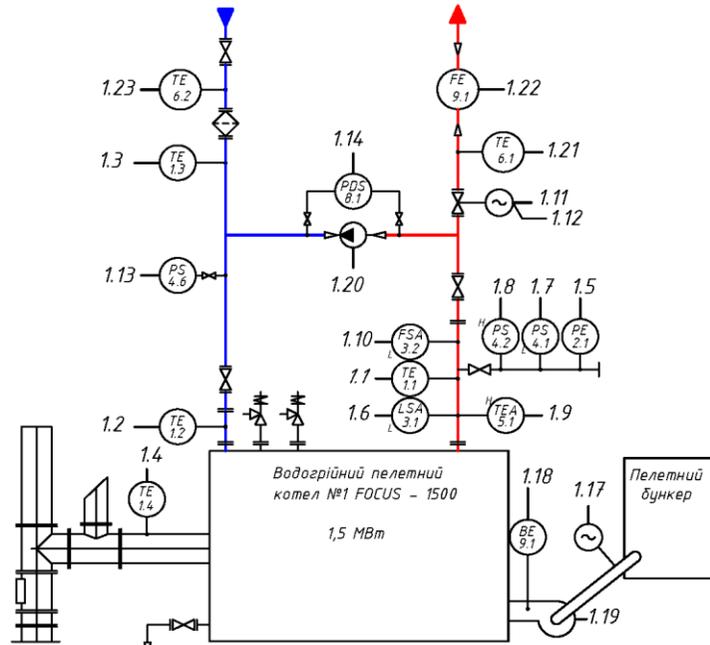
|           |        |       |       |        |      |   |  |                |       |         |
|-----------|--------|-------|-------|--------|------|---|--|----------------|-------|---------|
|           |        |       |       |        |      | 08-15. МКР.001.04.00.000  |  |                |       |         |
|           |        |       |       |        |      | м. Ірпінь   |  |                |       |         |
| Зм.       | Кільк. | Аркуш | № док | Підпис | Дата | Підвищення ефективності роботи водогрійної котельні по вул. Ярославська, 9, м. Ірпінь |  | Стадія         | Аркуш | Аркушів |
| Розробив  |        |       |       |        |      |   |  |                |       |         |
| Перевірив |        |       |       |        |      | Специфікація обладнання та матеріалів   |  | ВНТУ, ТЕ-23 мз |       |         |
| Т. контр. |        |       |       |        |      |   |  |                |       |         |
| Н. контр. |        |       |       |        |      |   |  |                |       |         |
| Опонент   |        |       |       |        |      |   |  |                |       |         |
| Затвердив |        |       |       |        |      |   |  |                |       |         |

Позначено:

Зам. інв. №

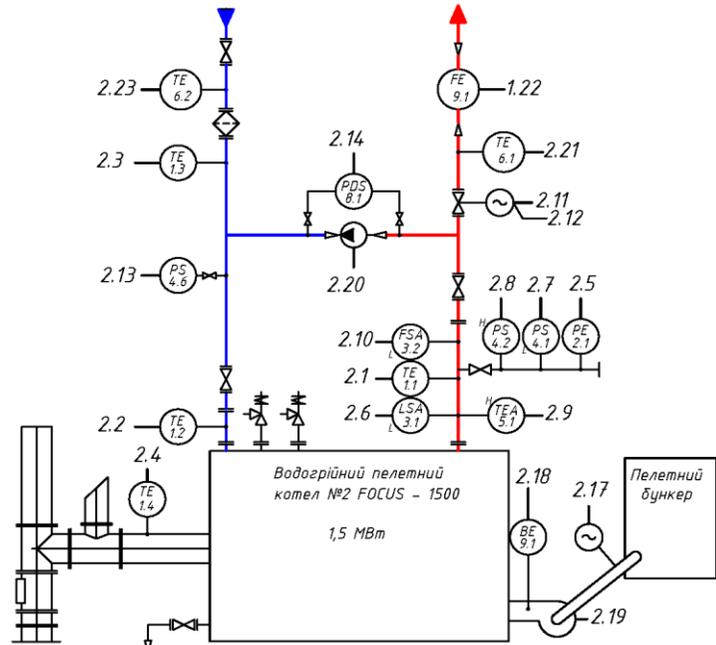
Підпис та дата

Інв. № ориг.



1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 1.10 1.11 1.12 1.14 1.17 1.18 1.19 1.21 1.22 1.23 1.20

|                 |                               |                       |                         |                                      |                                     |                    |                           |  |   |                            |                   |                                      |   |   |                       |                                  |                       |                            |                       |                             |      |  |
|-----------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|--|---|----------------------------|-------------------|--------------------------------------|---|---|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|------|--|
| Щит силовий     | Прилади за місцем             | 1.1                   | 1.2                     | 1.3                                  | 1.4                                 | 1.5                | 1.6                       | 1.7                                    | 1.8                                     | 1.9                        | 1.10              | 1.11                                 | 1.12  | 1.14                                    | 1.17                  | 1.18                             | 1.19                  | 1.21                       | 1.22                  | 1.23                        | 1.20 |  |
| Щит автоматички | Контролер котла №1 FOCUS 1500 | Температура подачі Т1 | Температура об'ратки Т2 | Температура Т2 котла до рециркуляції | Температура газів на виході з котла | Тиск води Т1 котла | Контроль заповнення котла | Контроль мінімального тиску води котла | Контроль максимального тиску води котла | Захист від перегріву котла | Реле протоку води | Керування регулюючою заслонкою котла | Диференційне реле - контроль роботи насосу рециркуляції | Керування роботою шнекової подачі пелет | Реле контролю полум'я | Управління заслонкою вентилятора | Датчик температури Т1 | Витрата води на лічильнику | Датчик температури Т2 | Управління котловим насосом |      |  |
| Щит силовий     | ЧП1                           |                       |                         |                                      |                                     |                    |                           |  |   |                            |                   |                                      |   |   |                       |                                  |                       |                            |                       |                             |      |  |



2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 2.7 2.8 2.9 2.10 2.11 2.12 2.14 2.17 2.18 2.19 2.21 2.22 2.23 2.20

|                 |                               |                       |                         |                                      |                                     |                    |                           |  |   |                            |                   |                                      |   |   |                       |  |                       |                            |                       |                             |      |
|-----------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------------|--|---|----------------------------|-------------------|--------------------------------------|---|---|-----------------------|--|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|------|
| Щит силовий     | Прилади за місцем             | 2.1                   | 2.2                     | 2.3                                  | 2.4                                 | 2.5                | 2.6                       | 2.7                                    | 2.8                                     | 2.9                        | 2.10              | 2.11                                 | 2.12  | 2.14                                    | 2.17                  | 2.18                                     | 2.19                  | 2.21                       | 2.22                  | 2.23                        | 2.20 |
| Щит автоматички | Контролер котла №2 FOCUS 1500 | Температура подачі Т1 | Температура об'ратки Т2 | Температура Т2 котла до рециркуляції | Температура газів на виході з котла | Тиск води Т1 котла | Контроль заповнення котла | Контроль мінімального тиску води котла | Контроль максимального тиску води котла | Захист від перегріву котла | Реле протоку води | Керування регулюючою заслонкою котла | Диференційне реле - контроль роботи насосу рециркуляції | Керування роботою шнекової подачі пелет | Реле контролю полум'я | Управління заслонкою вентилятора палника | Датчик температури Т1 | Витрата води на лічильнику | Датчик температури Т2 | Управління котловим насосом |      |
| Щит силовий     | ЧП1                           |                       |                         |                                      |                                     |                    |                           |  |   |                            |                   |                                      |   |   |                       |  |                       |                            |                       |                             |      |

08-15. МКР.001.05.00.000 А 2

Функціональна схема автоматизації водогрійного котла FOCUS-1500

|           |        |       |       |                  |      |
|-----------|--------|-------|-------|------------------|------|
| Зм.       | Кільк. | Аркуш | № док | Підпис           | Дата |
| Розробив  |        |       |       | Тригельницька О. |      |
| Перевірив |        |       |       | Резидент Н.В.    |      |
| Т. контр. |        |       |       |                  |      |
| Н. контр. |        |       |       | Резидент Н.В.    |      |
| Опонент   |        |       |       | Бондар А.В.      |      |
| Затвердив |        |       |       | Степанов Д.В.    |      |

|                 |         |        |
|-----------------|---------|--------|
| Літ.            | Маса    | Масшт. |
| Арк.            | Аркушів |        |
| ВНТУ, ТЕ -23 мз |         |        |

Копіявав

Формат А3

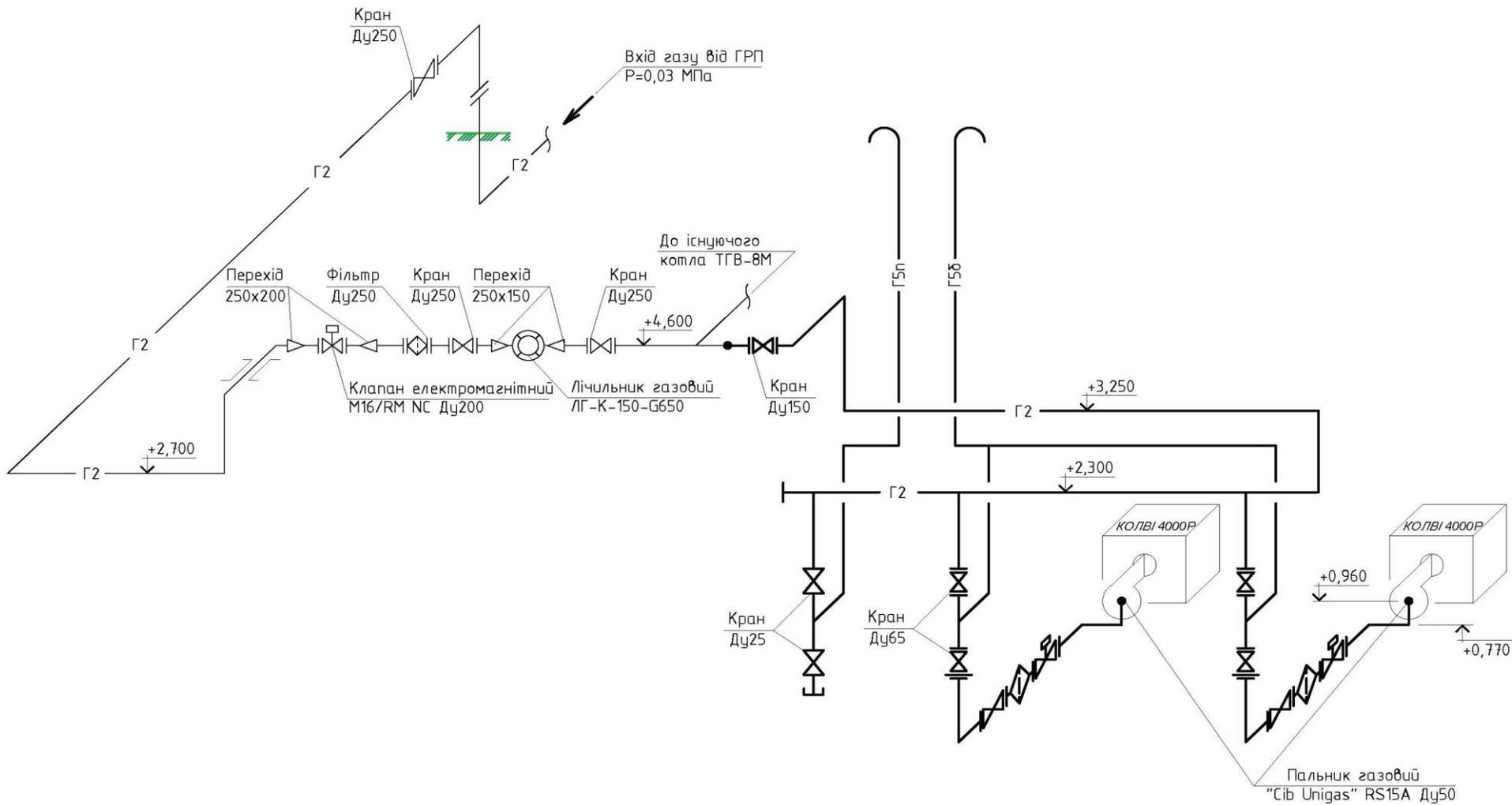
| Поз. познач.                           | Найменування                      | Кіл. | Примітки |
|--|-----------------------------------|------|----------|
| <i>Водогрійний котел №1 FOKUS-1500</i> |                                   |      |          |
| TE 1.1-1.4                             | Датчик температури                | 4    |          |
| PE 2.1-2.2                             | Датчик тиску з виходом 4-20 мА    | 2    |          |
| LSA 3.1                                | Датчик рівня води у котлі         | 1    |          |
| FSA 3.2                                | Датчик -реле потоку води в котлі  | 1    |          |
| <b>PS 4.1-4.6</b>                      | Реле тиску                        | 6    |          |
| TEA 5.1                                | Датчик температури Pt100          | 1    |          |
| TE 6.1-6.2                             | Термоперетворювач тип К           | 3    |          |
| NS 7.1                                 | Електропривід дросельної заслонки | 1    |          |
| PDS 8.1                                | Диференційне реле                 | 1    |          |
| BE 9.1                                 | Датчик контролю полум'я           | 1    |          |
| <i>Водогрійний котел №2 FOKUS-1500</i> |                                   |      |          |
| TE 1.1-1.4                             | Датчик температури                | 4    |          |
| PE 2.1-2.2                             | Датчик тиску з виходом 4-20 мА    | 2    |          |
| LSA 3.1                                | Датчик рівня води у котлі         | 1    |          |
| FSA 3.2                                | Датчик -реле потоку води в котлі  | 1    |          |
| <b>PSA 4.1-4.6</b>                     | Реле тиску                        | 6    |          |
| TEA 5.1                                | Датчик температури Pt100          | 1    |          |
| TE 6.1-6.2                             | Термоперетворювач тип К           | 3    |          |
| NS 7.1                                 | Електропривід дросельної заслонки | 1    |          |
| PDS 8.1                                | Диференційне реле                 | 1    |          |
| BE 9.1                                 | Датчик контролю полум'я           | 1    |          |

Зам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № орг.

|  |      |                         |                 |       |
|--|------|-------------------------|-----------------|-------|
| <b>08-15. МКР .001.05.00.000</b>   |      |                         |                 |       |
| Зм.  | Лист | № докум.                | Підпис          | Дата  |
| Розробив   |      | <i>Тригельницька О.</i> |                 |       |
| Перевірів  |      | <i>Резидент Н.В.</i>    |                 |       |
| Н. контр.  |      | <i>Резидент Н.В.</i>    |                 |       |
| Опонент  |      | <i>Бондар А.В.</i>      |                 |       |
| Затвердив  |      | <i>Степанов Д.В.</i>    |                 |       |
| <i>Функціональна схема автоматизації водогрійного котла FOCUS - 1500</i> |      |                         |                 |       |
|  |      |                         | Стадія          | Аркуш |
|  |      |                         | ВНТУ, ТЕ -23 мз |       |



Погоджено:

інв. № ориг. Підпис та дата Зам. інв. №

| Зм.       | Кільк. | Аркуш | № док. | Підпис         | Дата |
|-----------|--------|-------|--------|----------------|------|
| Розробив  |        |       |        | Тригунецька О. |      |
| Перевірив |        |       |        | Резидент Н.В.  |      |
| Т. контр. |        |       |        |                |      |
| Н. контр. |        |       |        | Резидент Н.В.  |      |
| Опонент   |        |       |        | Бондар А.В.    |      |
| Затвердив |        |       |        | Степанов Д.В.  |      |

08-15. МКР.001.06.00.000 Г 5

м. Ірпінь

Підвищення ефективності роботи водогрійної котельні по вул. Ярославська, 9, м. Ірпінь

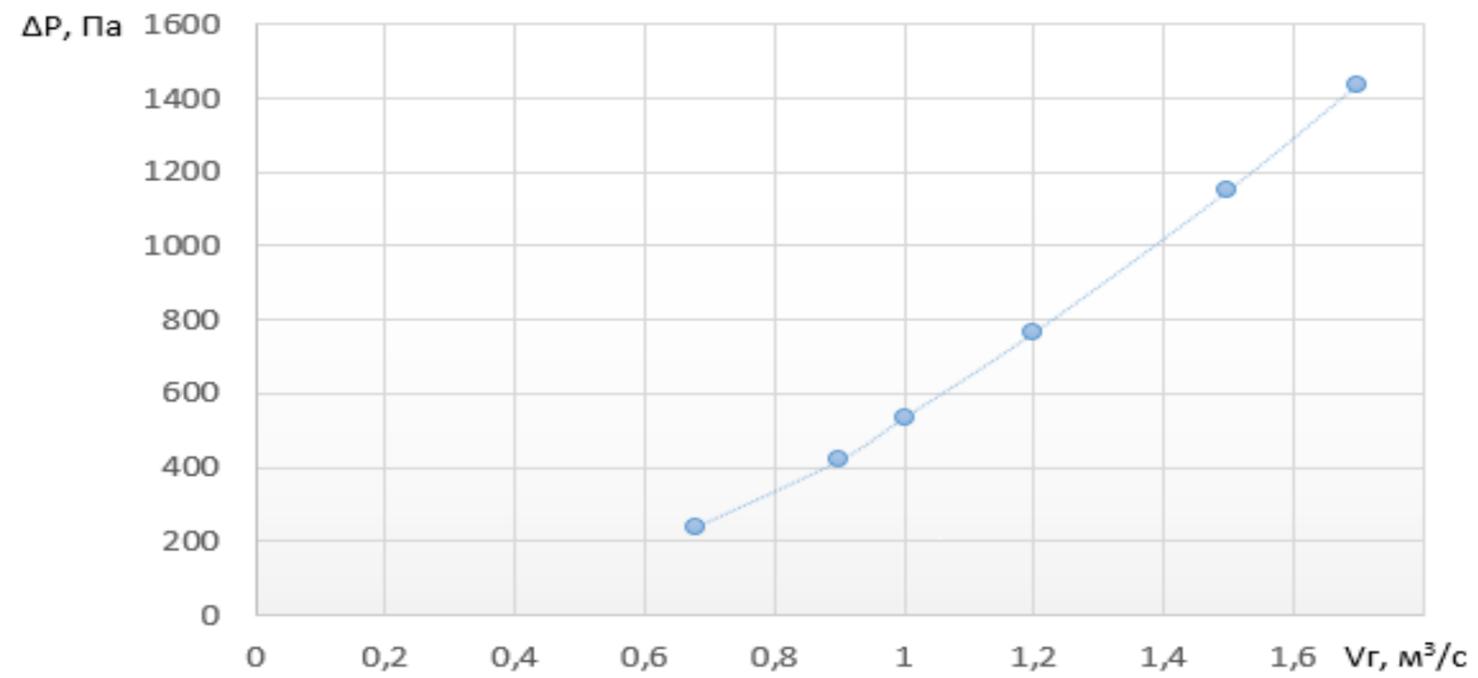
Аксонометрична схема газопроводів котельні

Стадія Аркуш Аркушів

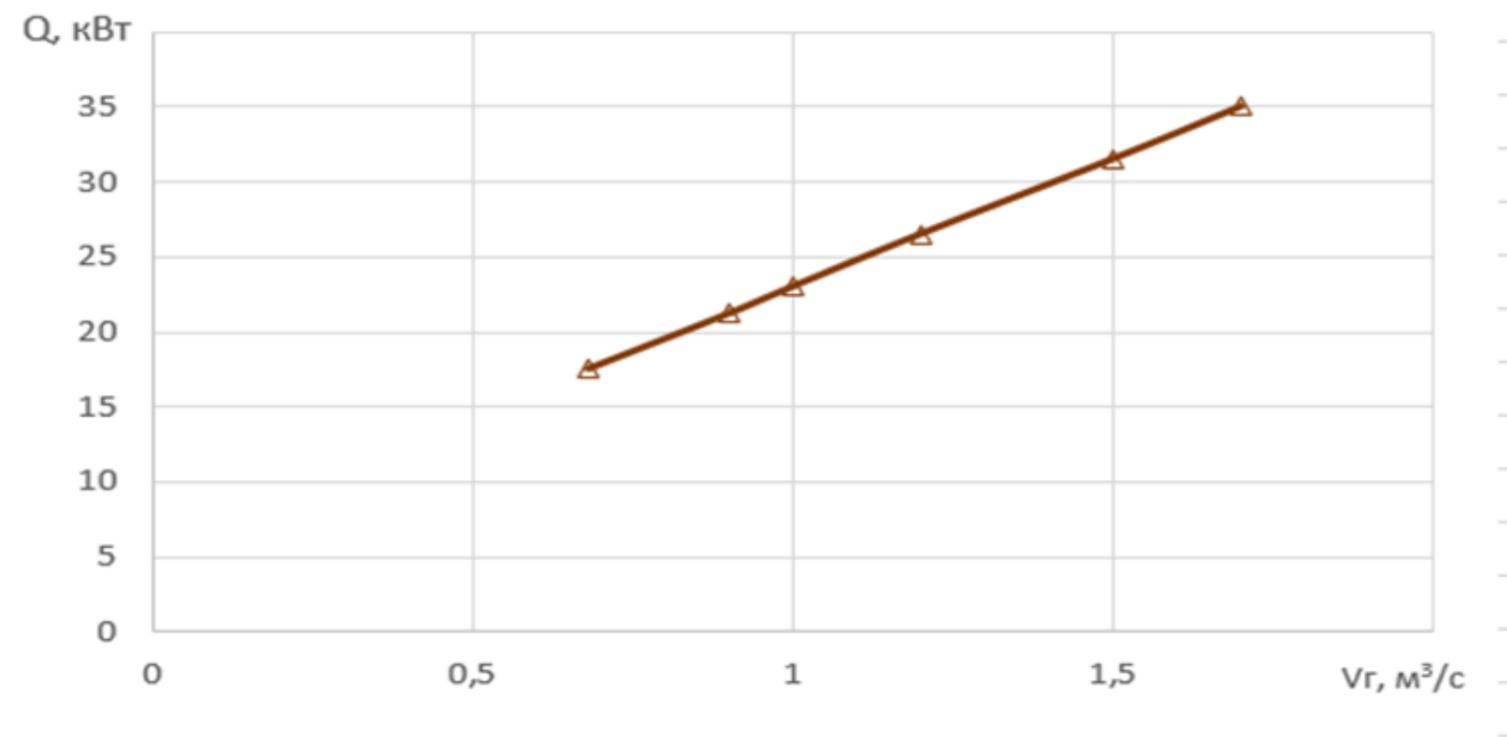
ВНТУ, ТЕ-23 мз



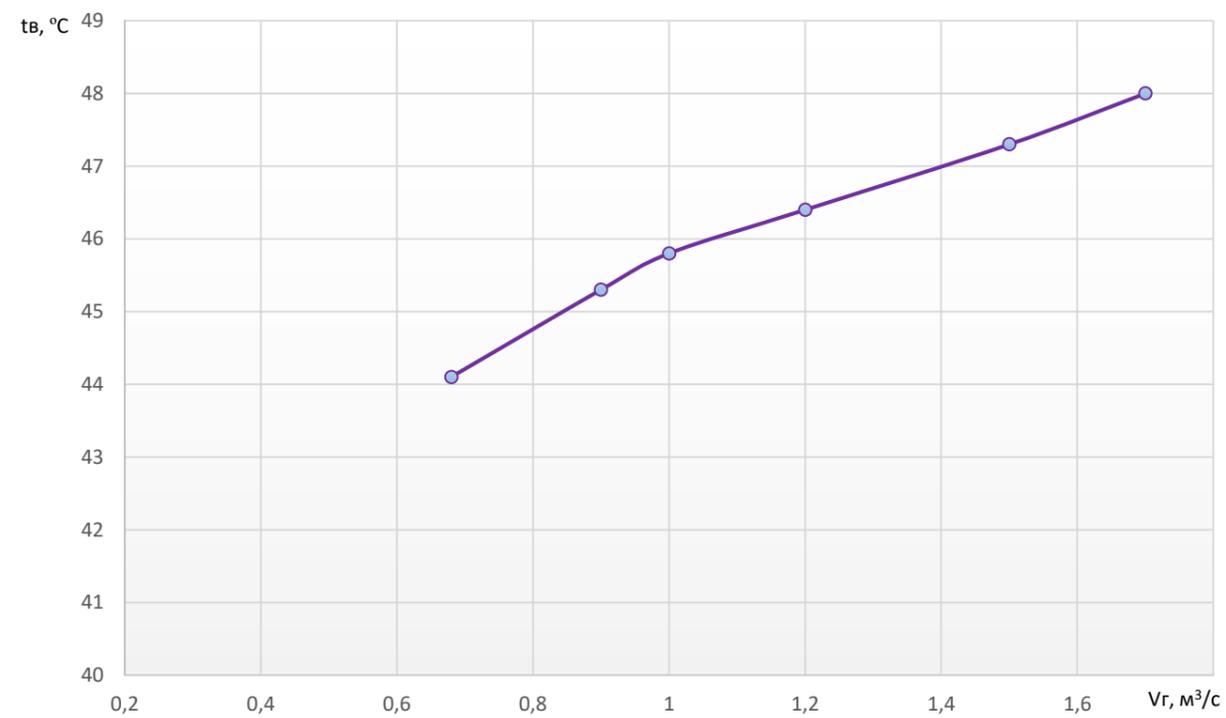
## ЗАЛЕЖНІСТЬ ВТРАТ ТИСКУ ЦИКЛОНА ВІД ВИТРАТИ ГАЗІВ



## ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОТУЖНОСТІ ТЕПЛООБМІННИКА-УТИЛІЗАТОРА ВІД ВИТРАТИ ГАЗІВ



### ЗАЛЕЖНІСТЬ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ НА ВИХОДІ З ТЕПЛОБМІННИКА-УТИЛІЗАТОРА ВІД ВИТРАТИ ГАЗІВ



### ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ЦИКЛОНА ЗАЛЕЖНО ВІД ДІАМЕТРА ЧАСТИНОК

