

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра теплоенергетики
(повна назва кафедри)

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

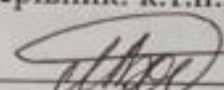
на тему:

«Модернізація водогрійної котельні Київського зоологічного парку»

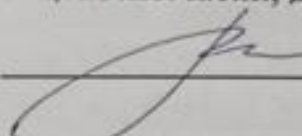
Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ – 23 мс
спеціальності 144 – Теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)

 Баган М.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТЕ

 Боднар Л. А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент каф. БМГА

 Кучеренко Л. В.
(прізвище та ініціали)

Допущено до захисту
завідувач кафедри ТЕ


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

«14» червня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет
Кафедра
Рівень вищої освіти
Галузь знань
Спеціальність
Освітньо-професійна програма – Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТЕ
Д. В. Степанов
2025 року
ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Багану Миколі Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи "Модернізація водогрійної котельні Київського зоологічного парку"

керівник роботи Боднар Лілія Анатоліївна, к.т.н., доц. каф. ТЕ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025 року № 97

2. Строк подання студентом роботи 05.06.2024 року

3. Вихідні дані до роботи: потужність системи опалення в максимально опалювальний період $Q_{ог}=5200$ кВт; система замкнута; графік мережної води становить $95/70$ °С; температура сирої води 5 °С; температура зовнішнього повітря -22 °С; марки встановлених котлів NPR2500 від Garioni Nanal (3 шт); паливо - газ з нижньою теплотою згорання $35,58$ МДж/м³, пелети з лушпиння соняшнику з нижньою теплотою згорання $15,28$ МДж/кг; коефіцієнт корисної дії котла становить 92% ; тривалість опалювального періоду 189 діб.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналітичний огляд літературної інформації; аналіз показників роботи котельні; технологія монтажу водогрійного котла на твердій біомасі; водогрійний котел на твердій біомасі; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): схема котельні теплової принципова; план розташування обладнання; план розташування обладнання після модернізації; схема монтажна аксонометрична; водогрійний котел потужністю 3 МВт.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Боднар Л. А., к.т.н., доц. кафедри ТЕ	<i>[Підпис]</i> 20.03.25	<i>[Підпис]</i> 26.03.25
5	Кобилянська І.М. к.пед.н., доцент	<i>[Підпис]</i>	<i>[Підпис]</i>
Н.контроль	Боднар Л. А., к.т.н., доц. кафедри ТЕ	<i>[Підпис]</i>	<i>[Підпис]</i> 14.06.

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Назви розділів		
1	Аналітичний огляд літературної інформації	20.03.2025 – 25.03.2025 р.	<i>вик</i>
2	Аналіз показників роботи котельні	26.03.2025– 10.04.2025 р.	<i>вик</i>
3	Технологія монтажу водогрійного котла на твердій біомасі	11.04.2025 – 27.04.2025 р.	<i>вик</i>
4	Водогрійний котел на твердій біомасі	28. 04. 20245– 15.05.20245 р.	<i>вик</i>
5	Охорона праці	16. 05.20245 – 26.05.20245 р.	<i>вик</i>
6	Оформлення БКР	27. 05.2025 – 04.06.2025 р.	<i>вик</i>
7	Попередній захист БКР	05.06.2025 р.– 16.06.2025 р	<i>вик</i>
8	Захист БКР	18.06.2025 р.	<i>вик</i>

Студент

[Підпис]
(підпис)

Баган М.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник БКР

[Підпис]
(підпис)

Боднар Л. А.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.1

Баган М. А. Модернізація водогрійної котельні Київського зоологічного парку. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – Теплоенергетика, освітня програма – Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2025, 73 с.

Бібліогр.: 64 назв; рис.: 4; табл. 11.

В бакалаврській кваліфікаційній роботі було модернізовано водогрійну котельню в м. Полонне. Проведено аналітичний огляд літературної інформації по особливостях спалювання біомаси, конструкціях водогрійних котлів на біомасі. На основі огляду літературної інформації обрано напрямок модернізації, прийняте рішення по розробці конструкції водогрійного котла на твердому паливі. Проведено розрахунок теплової схеми котельні при роботі на природному газі і визначено техніко-економічні показники роботи котельні. Проведено багатоваріантний аналіз шляхів модернізації котельні і обрано варіант переведення котельні на спалювання гранул з лущиння соняшнику. Визначено техніко-економічні та екологічні показники обраного варіанту модернізації. Проведено підбір обладнання необхідного для модернізації. Розроблено технологію монтажу водогрійного котла на твердій біомасі. Розроблено вискоєфективну конструкцію водогрійного котла для спалювання гранул з лущиння соняшнику. У розділі з охорони праці розроблено рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто заходи з дотримання електробезпеки. Графічна частина роботи складається з п'яти креслень.

Ключові слова: котел, котельня, гранули з лущиння соняшника, природний газ, щепа деревини, циклон, парникові гази, викиди оксидів азоту, модернізація.

ABSTRACT

Vakalyuk R. Yu. Bagan M. A. Modernization of the water heating boiler house of the Kyiv Zoological Park. Bachelor's qualification thesis on specialty 144 - Heat power engineering, educational program – Heat power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2024, 73 p.

Bibliogr: 64 titles; Fig.: 4; table 11.

In the bachelor's qualification work, a water-heating boiler house in the city of Polonne was modernized. An analytical review of literary information on the features of biomass combustion and designs of water-heating boilers on biomass was conducted. Based on the review of literary information, the direction of modernization was selected, and a decision was made to develop a design for a water-heating boiler on solid fuel. The thermal scheme of the boiler house was calculated when operating on natural gas and the technical and economic indicators of the boiler house's operation were determined. A multivariate analysis of ways to modernize the boiler house was conducted and the option of converting the boiler house to burning sunflower husk pellets was selected. The technical and economic and environmental indicators of the selected modernization option were determined. The equipment necessary for modernization was selected. The technology for installing a water-heating boiler on solid biomass was developed. A highly efficient design of a water-heating boiler for burning sunflower husk pellets was developed. The section on labor protection develops recommendations for improving working conditions, and also considers measures to comply with electrical safety. The graphic part of the work consists of five drawings.

Key words: boiler, boiler house, sunflower husk pellets, natural gas, wood chips, cyclone, greenhouse gases, emissions of nitrogen oxides, modernization.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	5
1.1 Технології спалювання твердої біомаси	5
1.2 Водогрійні котли з шаровим спалюванням твердої біомаси	5
2 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КОТЕЛЬНОЇ.....	8
2.1 Опис і розрахунок теплової схеми котельні, аналіз результатів.....	8
2.2 Розрахунок теплової схеми для найбільш холодного періоду опалювального сезону	9
2.3 Показники теплової схеми для середньо опалювального періоду.....	12
2.4 Техніко-економічні показники котельні.....	16
2.5 Обґрунтування варіантів модернізації котельні	20
2.5.1 Переведення котельні на спалювання твердої біомаси.....	20
2.5.2 Оцінка ефективності утилізації теплоти димових газів за газовими котлами	25
2.6 Підбір обладнання для проведення модернізації.....	27
2.6.1 Підбір водогрійного котла на пелетах	27
2.6.2 Бункер для подачі палива	29
2.6.3 Склад палива механізований.....	29
2.6.4 Підбір циклона	30
2.6.5 Розширювальний бак	30
2.7 Екологічна ефективність переведення котельні на спалювання пелет з лушпиння соняшника.....	32
2.7.1 Викиди шкідливих речовин під час спалювання природного газу.....	32
2.7.2 Розрахунок викидів шкідливих речовин під час спалювання пелет з лушпиння соняшника.....	35
3 ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА НА ТВЕРДІЙ БІОМАСІ.....	39
3.1 Розрахунок та підбір обладнання для обв'язки водогрійного котла	39
3.2 Склад та об'єми робіт для монтажу котла.....	40

3.3 Методи та об'єми робіт для монтажу котла	40
4 ВОДОГРІЙНИЙ КОТЕЛ НА ТВЕРДІЙ БІОМАСІ	44
4.1 Обґрунтування конструкції котла	44
4.2 Результати розрахунку водогрійного котла на твердому паливі	46
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	50
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	50
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць.....	50
5.1.2 Електробезпека	55
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	56
5.2.1 Мікроклімат	56
5.2.2 Склад повітря робочої зони.....	56
5.2.3 Виробниче освітлення	57
5.2.4 Виробничий шум.....	58
5.2.5 Виробничі вібрації	59
5.3 Пожежна безпека.....	60
ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	65
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи.....	73
Додаток Б (обов'язків) Технічне завдання	74
Додаток В (довідниковий) Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів.....	78
Додаток Г (довідниковий) Результати розрахунку водогрійного котла за допомогою програми «Тепловий розрахунок водогрійних котлів малої потужності на традиційних та альтернативних паливах»	83
Додаток Д (обов'язковий) Графічна частина	85

ВСТУП

Одним із актуальних завдань, що стоять перед Україною, є необхідність у скороченні споживання природного газу, збільшення частки в енергетичному секторі використання відновлюваних джерел енергії. В світі особливий інтерес викликає використання водню для виробництва енергії. Це дозволить суттєво зменшити викиди парникових газів. Але як показано в роботі [1], в Україні немає водневої інфраструктури, газотранспортних мереж для перекачування водню.

Для світу і України перспективним джерелом енергії є біомаса. Використання твердої біомаси як палива для котелень дозволить вирішити ряд актуальних завдань, як от зменшення викидів парникових газів, зменшення собівартості виробництва теплової енергії. Крім того, перехід на використання в енергетичних цілях біомаси сприятиме розвитку місцевої економіки регіонів. Очікується також соціальний вплив, що полягає в створенні робочих місць, зниження тарифів.

Джерелом біомаси є залишки та відходи сільського господарства, харчової промисловості, відходи деревообробних підприємств, тощо. Останнім часом в Україні набули популярності енергетичні культури (однорічні, багаторічні). Це культури, що спеціально вирощуються з метою виробництва теплової та електричної енергії.

Мета роботи: зменшення споживання природного газу шляхом часткового переведення котельні на спалювання твердої біомаси.

Завдання БКР:

- 1) аналітичний огляд літературної інформації;
- 2) аналіз показників роботи котельні;
- 3) розробка технології монтажу твердопаливного водогрійного котла;
- 4) розробка конструкції водогрійного котла на гранулах лущиння соняшнику;
- 5) розробка заходів з охорони праці.

Апробація роботи. Автором БКР опубліковано тези доповіді [1]

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

1.1 Технології спалювання твердої біомаси

Технології спалювання твердої біомаси залежать від типу палива. Для тріски деревини, пелет з рослинної сировини, енергетичних культур, дров необхідні використовують як пряме спалювання так і газифікацію з подальшим опалюванням горючих речовин. Пелети, тріска ефективно спалюються за допомогою ретортних пальників. Деревину, як правило, спалюють на колосникових решітках.

Існують такі способи спалювання твердої біомаси: пилове спалювання, сумісне спалювання, спалювання в псевдозрідженому стані. В свою чергу пилове спалювання поділяється на: пряме спалювання, та з попередньою газифікацією. Спалювання в шарі може виконуватись на решітках різних типів: на нерухомій решітці, на перештовхувальній решітці, на обертальній решітці, на рухомій решітці, на вібраційній решітці, з нижньою подачею палива. Спалювання палива в псевдо зрідженому стані може бути організоване в киплячому шарі та в циркулюючому киплячому шарі [2].

Застосування киплячого шару найбільш доцільно за теплових потужностей 5 МВт і більше, циркулюючим киплячим шаром 20 МВт і більше. Тому зосередимось на котлах з шаровим спалюванням [3].

1.2 Водогрійні котли з шаровим спалюванням твердої біомаси.

Водогрійні котли для залежно від потужності та виду палива застосовують як з ручним так і з автоматичним завантаженням палива. Для потужностей котлів до 2 МВт спалювання сипучих відходів деревини і пелет реалізовується в котлах з автоматичною подачею і відбувається в реторті або спеціальному пальнику. Реторти бувають з нижньою або верхньою подачею палива. За потужності більше 900 кВт встановлюють котли з похило-перештовхувальними решітками.

В Україні є 25 заводів [4] що випускають водогрійні котли на біомасі потужністю більше 1 МВт. Для котельні, що розглядається в даній роботі необхідна потужність котла становить 3 МВт.

Виконаємо огляд конструкцій котлів на твердій біомасі українського виробництва потужністю 3 МВт.

Котлозавод «Крігер» випускає модель котла GP12 потужністю 3000 кВт [5]. Це сталеві жаротрубні котли з рухомою та нерухомою колосниковою решіткою. Котел має діапазон регулювання потужності 30...100%, ККД не менше 88%, при цьому температура димових газів становить 160 °С. Термін експлуатації котла 20 років. Вартість комплекта поставки 13082000 грн.

Виробник «Ретра» [6] виготовляє котел на твердому паливі Ретра – 4МВіо потужністю 3000 кВт. В котлі можна спалювати пелети з різних видів деревини, соломи, торфу, вугілля фракцією до 25 мм, лушпиння соняшника, тріску деревини, тирсу, лушпиння соняшника. Мінімальне завантаження котла 50 % від номінального. ККД котла знаходиться в межах 80...84 %. Подача палива в котел здійснюється автоматично з бункера спеціальними шнеками, що приводяться в дію мотор-редукторами до двох пелетних пальників по 1500 кВт кожен [6].

Виробник «Ретра» виготовляє також котел твердопаливний котел Ретра-4М Тгіо 3000 кВт вартістю 1667500 грн. [7].

Огляд літератури показав, що лише два виробника з двадцяти п'яти виготовляють водогрійні котли на твердій біомасі потужністю 3000 кВт. Ринок насичений котлами потужністю до 1500 кВт. А котлів середньої і великої потужності українського виробництва бракує.

Серед закордонних виробників котлів слід відзначити енергоефективну конструкцію котла Magno-SR від Hargassner, що має ККД 93 % на твердому паливі [8]. Котел має систему рухомих ступінчатих колосникових решіток (SR) для підсушування, газифікації та горіння палива. Передбачене автоматичне видалення золи наприкінці колосників. При цьому ступінчаті колосникові решітки рухаються за допомогою гідравлічного приводу. В конструкції передбачено двостінний сталевий корпус для попереднього підігріву повітря.

Процес регулювання горіння палива відбувається залежно від температури димових газів за допомогою лямбда-зонду.

Італійський виробник Ferroli [9] виготовляє твердопаливні водогрійні котли потужністю від 900 до 4650 кВт з рухомою-перештовхувальною решіткою LEGNO GM/AP. Котел має ряд переваг: система переміщення палива з використанням рухомо-перештовхуючої решітки, забезпечує контроль над товщиною шару палива; камера згорання футерована жаростійким бетоном і цеглою ($Al_2O_3 > 60\%$); в котлі реалізоване двостадійне спалювання з газифікацією палива на решітці, при цьому передбачений широкий діапазон зміни первинного/вторинного дуттьового повітря залежну від типу палива. Котел обладнаний системою сопел для подавання стиснутого повітря для автоматичного чи ручного вивантаження золи з-під трубного пучка.

Компанія Navitas [10] пропонує два типи котлів ARDENZ: жаротрубні та водотрубні. Потужність котлів від 92 до 3000 кВт. В котлах можна спалювати дрова, тріску, пелети. Дане паливо спалюється на нерухомих колосникових решітках. ККД жаротрубного котла з економайзером становить 85 %, водотрубного без економайзера – 86 %.

Австрійська фірма Binder [11] випускає водогрійні і парові котли потужністю до 10 МВт. Для котлів на твердому паливі передбачено чотири різні камери згорання: ретортно-колосникова камера, пелетна камера з рухомими колосниками (вологість до 15 %), камера горіння з рухомими колосниками для палива з вологістю до 30 % і зольністю до 7%, а також камера з рухомими колосниками для палив з вологістю до 50 %. Товщина стінок корпуса не менше 6 мм. Передбачено очищення теплообмінника від золових відкладень. Система подачі палива обладнана клапаном захисту від зворотнього горіння. Завантаження палива відбувається за допомогою шнека або гідравлічною системою.

Отже, на ринку енергетичного обладнання представлено достатньо енергоефективних котлів.

2 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КОТЕЛЬНОЇ

2.1 Опис і розрахунок теплової схеми котельні, аналіз результатів

Водогрійна котельня розташована на території Київського зоологічного парку. Будівля котельні окремо розташована і має розміри 18 на 16 м і висоту 6 м. Котельня зала має об'єм 1535 м³. Конструкції мають другий ступінь вогнестійкості, при цьому категорія вибухопожежної небезпеки – Г. Огороджувальні конструкції котельні це залізобетонні пустотні плити перекриття. Котельня побудована з цегляної кладки товщиною 380 мм; вікна – мають одинарне скління, площа скління $F_{\text{скл}} = 133,4 \text{ м}^2$.

Котельня Київського зоологічного парку призначена для теплопостачання адміністративних приміщень і споруд, де проживають тварини. Всі приміщення розташовані на території зоопарку. Зовнішніх споживачів теплової енергії немає. Котельня працює протягом опалювального періоду. Котельня має таке теплогенерувальне обладнання: три водогрійних котли типу NPR 2500 потужністю 3 МВт кожен, ККД котлів фірми «Garioni Naval» Італія становить 92%. Котли цієї марки оснащені газовими пальником типу M 5001.1. Ці пальники мають потужність від 700 до 3500 кВт, виробник пальників – фірма «Draizler» Німеччина. Теплоносій системи теплопостачання зоопарку – вода з параметрами 95...70 °С.

Не допускається зниження рівня температури в спорудах зоопарку нижче встановлених вимог, тому потрібне безперебійне теплопостачання. У разі виходу з ладу найбільшого за потужністю котла, котельні першої категорії повинні забезпечувати безперебійне теплопостачання споживачів. В котельні встановлено два робочих водогрійних котла та один резервний. Розрахункова максимальна потужність існуючої котельні з урахуванням власних потреб складає $Q = 5,2 \text{ МВт}$. В приміщенні котельні встановлено таке важливе сучасне обладнання як різні типи насосів (мережні, підживлювальні, циркуляційні, рециркуляційні) встановлено також лічильник виробленої теплової енергії, водопідготовка в

котельні – одноступенева, встановлено також баки запасу підживлювальної води. На кожному газоході котла є запобіжні клапани, котельня також оснащена лічильником газу. Димові гази відводяться в загальну для всіх котлів металеву димову трубу, виконану з металу, що має діаметр $\varnothing$ 1 м і висоту 35 м. Опалення існуючої котельної – водяне. Припливне повітря надходить до котельної зали через вікна, при цьому воно не підігрівається. Вентиляція котельної зали – природна. Трубопроводи в котельні ізолювані скловолокном товщиною 0,035 м, зверху прокладено захисну фольгу.

2.2 Розрахунок теплової схеми для найбільш холодного періоду опалювального сезону

Згідно завдання: потужність системи опалення $Q_{\text{опал}}=5000$ кВт, система теплопостачання замкнута, температурний графік мережної води 95 на 70 °С, температура сирої води взимку 5 °С. Температура зовнішнього повітря -22 °С. В котельні спалюється газ з $Q_{\text{н}}^{\text{р}}=35,58$ МДж/м³. Розрахунок схеми проводимо за методиками з літератури [12, 13].

Температура води в прямому трубопроводі теплової мережі в тепловому пункті на 2 градуси менша, ніж прямої мережної води і становить $t'_{\text{п}}=93$ (°С), а температура води в зворотному трубопроводі в тепловому пункті на 2 градуси більша, ніж температура зворотної мережної води і становить $t'_{\text{зв}}=72$ (°С).

Витрата води в тепловій мережі

$$G_{\text{тм}}^{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{C_{\text{р}} \cdot (t'_{\text{п}} - t'_{\text{зв}})}, \quad (2.1)$$

$$G_{\text{тм}}^{\text{оп}} = \frac{5000}{4,19 \cdot (93 - 72)} = 56,82 \text{ (кг/с)}.$$

Загальна витрата в тепловій мережі $G_{\text{тм}} = G_{\text{тм}}^{\text{оп}}=56,62$ (кг/с).

З врахуванням втрат в мережі, витрата води для підживлення становитиме

$$G_{\text{пж}} = G_{\text{тм}} \cdot \alpha, \quad (2.2)$$

$$G_{\text{пж}} = 56,82 \cdot 0,005 = 0,284 \text{ (кг/с)}.$$

де $\alpha = 0,5 \%$ – частка втрат мережної води.

Необхідна кількість сирі води

$$G_{\text{сир.вод.}} = G_{\text{пж}} \cdot 1,2, \quad (2.3)$$

$$G_{\text{сир.вод.}} = 0,284 \cdot 1,2 = 0,34 \text{ (кг/с)}.$$

Перед лінією рециркуляції витрата води

$$G'_{\text{тм}} = G_{\text{тм}} \cdot (1 - \alpha) + G_{\text{пж}} \quad (2.4)$$

$$G'_{\text{тм}} = 56,82 \cdot (1 - 0,005) + 0,284 = 56,82 \text{ (кг/с)}.$$

Зворотна вода повертається в кількості

$$G_{\text{зв}} = G_{\text{тм}} - G_{\text{пж}}, \quad (2.5)$$

$$G_{\text{зв}} = 56,82 - 0,284 = 56,536 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата води в мережному насосі

$$G_{\text{мн}} = G_{\text{зв}} + G_{\text{пж}}, \quad (2.6)$$

$$G_{\text{мн}} = 56,536 + 0,284 = 56,82 \text{ (кг/с)}.$$

Визначимо температуру води, що виходить з мережного насосу

$$t_{\text{мн}} = \frac{G_{\text{зв}} \cdot t_{\text{зв}} + G_{\text{пж}} \cdot t_{\text{св}}}{G_{\text{мн}}}, \quad (2.7)$$

$$t_{\text{мн}} = \frac{56,536 \cdot 70 + 0,284 \cdot 5}{56,82} = 69,7 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Витрата води на лінії рециркуляції

$$G_{\text{рец}} = G_{\text{тм}} \cdot \frac{t_{\text{зв}} - t_{\text{мн}}}{t_{\text{пр}} - t_{\text{зв}}} \quad (2.8)$$

$$G_{\text{рец}} = 56,82 \cdot \frac{70 - 69,7}{95 - 70} = 0,68 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата котлової води $G_{\text{к}} = G_{\text{мн}} = 56,82 \text{ (кг/с)}$.

Потужність водогрійної котельні

$$Q_{\text{кот}} = G_{\text{к}} \cdot C_{\text{р}} \cdot (t_{\text{пр}} - t_{\text{зв}}), \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{кот}} = 56,82 \cdot 4,19 \cdot (95 - 70) = 5952 \text{ (кВт)}.$$

Необхідна витрата палива

$$B_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{котла}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{кот}}}, \quad (2.10)$$

$\eta_{\text{кот}} = 91 \%$ ККД котла.

$$B_p = \frac{5,952}{35,58 \cdot 0,91} = 0,184 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Визначимо витрату умовного палива

$$B_y = \frac{Q_{\text{котла}}}{Q_{\text{ну}}^p \cdot \eta_{\text{кот}}}, \quad (2.11)$$

$$B_y = \frac{5,952}{29,3 \cdot 0,91} = 0,223 \text{ (кг/с)} = 803 \text{ (кг/год)}.$$

ККД котельні

$$\eta = \frac{Q_{\text{оп}}}{B_y \cdot Q_{\text{ну}}^p}, \quad (2.12)$$

$$\eta = \frac{(5000) \cdot 10^{-3}}{0,223 \cdot 29,3} = 0,77.$$

2.3 Показники теплової схеми для середньоопалювального періоду

Середня температура наколишнього повітря Згідно ДСТУ–НБВ.1.-27:2010 [14] для м. Києва становить $t_3 = -1,1$ °С. Розрахункова температура повітря для опалення в Києві $t_{3,0} = -22$ °С. Розрахункова внутрішня температура в опалюваних приміщеннях зоопарку $t_{в,р} = 18$ °С.

Відносне теплове навантаження для опалення при t_3

$$\frac{Q'_0}{Q_0} = \frac{t_{в,р} - t_3}{t_{в,р} - t_{3,0}}, \quad (2.13)$$

$$\left(\frac{Q'_0}{Q_0} \right)_{\text{оп}} = \frac{18 + 1,1}{18 - (-22)} = 0,4775.$$

Температурний напір опалювального приладу

$$\Delta t_o = \frac{(t_{1.под} + t_{2.зв})}{2} - t_{вр}, \quad (2.14)$$

$$\Delta t_o = \frac{95 + 70}{2} - 18 = 64,5 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

де $t_{1.под}$ – температура в подавальному трубопроводі, $t_{1.под} = 95 \text{ }^\circ\text{C}$;

$t_{2.зв}$ – температура в зворотньому трубопроводі, $t_{2.зв} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$.

Перепад температури мережної води для розрахункового режиму

$$\Delta \tau_o = t_{10} - t_{20}, \quad (2.15)$$

$$\Delta \tau_o = 95 - 70 = 25 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Перепад температур води в системі $\Theta_o = \Delta \tau_o = 25 \text{ (}^\circ\text{C)}.$

Температура в подавальному трубопроводі

$$\tau_1 = t_{вр} + \Delta t_o \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right)_{оп}^{0,8} + (\Delta \tau_o - 0,5 \cdot \Theta_o) \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right), \quad (2.16)$$

$$\tau_1 = 18 + 64,5 \cdot 0,4775^{0,8} + (25 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,4775 = 59,7 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Температура в зворотньому трубопроводі

$$\tau_2 = t_{вр} + \Delta t_o \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right)_{оп}^{0,8} - 0,5 \cdot \Theta_o \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right), \quad (2.17)$$

$$\tau_2 = 18 + 64,5 \cdot 0,4775^{0,8} - 0,5 \cdot 25 \cdot 0,4775 = 47,74 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Для розрахунку беремо такі початкові дані (середньо опалювальний режим):
 $\tau_{1.под}=59,7\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\tau_{2.зв}=47,74\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{св}=5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Максимальна теплова потужність опалення
 $Q_{оп} = 5000\text{ кВт}$. Калорійність палива $Q_H^p=35,58\text{ МДж/м}^3$. ККД котла $\eta = 91\%$.

Витрата мережної води через систему опалення

$$G_{\text{тм}}^{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{оп}} \cdot \left(\frac{Q'_0}{Q_0} \right)_{\text{оп}}}{C_p \cdot (\tau_1 - \tau_2)}, \quad (2.18)$$

$$G_{\text{тм}}^{\text{оп}} = \frac{5000 \cdot 0,4775}{4,19 \cdot (59,7 - 47,74)} = 47,64 \text{ (кг/с)}.$$

Загальна витрата мережної води $G_{\text{тм}} = 47,64\text{ (кг/с)}$.

Витрата води для підживлення мережі

$$G_{\text{пж}} = G_{\text{тм}} \cdot \alpha, \quad (2.19)$$

$$G_{\text{пж}} = 47,64 \cdot 0,005 = 0,2382 \text{ (кг/с)}.$$

де $\alpha = 0,005$ – частка втрат мережної води.

Витрата сирії води

$$G_{\text{с.вод.}} = G_{\text{пж.}} \cdot 1,2, \quad (2.20)$$

$$G_{\text{с.вод.}} = 0,2382 \cdot 1,2 = 0,286 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата мережної води перед рециркуляційною лінією

$$G_{\text{тм}}' = G_{\text{тм}} \cdot (1 - \alpha) + G_{\text{пж}}, \quad (2.21)$$

$$G'_{\text{TM}} = 47,64 \cdot (1 - 0,005) + 0,2382 = 47,64 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата зворотної води

$$G_{\text{ЗВ}} = G_{\text{TM}} - G_{\text{ПЖ}}, \quad (2.22)$$

$$G_{\text{ЗВ}} = 47,64 - 0,2382 = 47,4 \text{ (кг/с)}.$$

На виході з мережного насосу температура води становить

$$t_{\text{MH}} = \frac{G_{\text{ЗВ}} \cdot t_{\text{ЗВ}} + G_{\text{ПЖ}} \cdot t_{\text{СВ}}}{G_{\text{MH}}}, \quad (2.23)$$

$$t_{\text{MH}} = \frac{47,4 \cdot 47,74 + 0,2382 \cdot 5}{47,64} = 47,52 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Витрата води в лінії рециркуляції [12]

$$G_{\text{рец}} = G'_{\text{TM}} \cdot \frac{t_{\text{БК2}} - t_{\text{MH}}}{t_{\text{БК1}} - t_{\text{MH}}}, \quad (2.24)$$

де $t_{\text{БК1}}$ – розрахункова температура води на виході з котла, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{БК2}}$ – необхідна температура води на вході в котел, $^{\circ}\text{C}$ (за даними виробника котла $t_{\text{БК2}}=55 \text{ }^{\circ}\text{C}$);

$$G_{\text{рец}} = 47 \cdot \frac{55 - 47,52}{59,7 - 47,52} = 1,833 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата котлової води $G_{\text{к}}=47,64 \text{ (кг/с)}$.

Потужність котельні

$$Q_{\text{кот}} = G_{\text{к}} \cdot C_{\text{р}} \cdot (\tau_1 - \tau_2), \quad (2.25)$$

$$Q_{\text{кот}} = 47,64 \cdot 4,19 \cdot (59,7 - 47,74) = 2387 \text{ (кВт)}.$$

Розрахункова витрата палива

$$B_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{кот}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{кот}}}, \quad (2.26)$$

$$B_{\text{р}} = \frac{2387 \cdot 10^{-3}}{35,58 \cdot 0,91} = 0,0737 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Опалювальний період триває 189 діб. Тривалість максимального зимового періоду 20 діб, тривалість середньоопалювального періоду беремо 169 діб.

Річна витрата палива

$$B_{\text{річ}} = B_{\text{р}}^{\text{макс}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{макс}} + B_{\text{р}}^{\text{ср}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{ср}}, \quad (2.27)$$

$$B_{\text{річ}} = 0,184 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 20 + 0,0737 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 169 = 1394090 \text{ (м}^3\text{/рік)}.$$

2.4 Техніко-економічні показники котельні

Витрати на паливо

$$B_{\text{пал}} = B_{\text{річ}} \cdot \Pi_{\text{пал}} \cdot k_{\text{вп}}, \quad (2.28)$$

де $k_{\text{вп}} = 1,007$, коефіцієнт врахування втрат палива;

$\Pi_{\text{пал.}} = 17 \text{ грн/м}^3$ вартість природного газу [15]

$$B_{\text{пал}} = 1,39409 \cdot 17 \cdot 1,007 = 23,865 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Кількість споживаної електричної енергії насосами в
максимальноопалювальний період

$$N = N_{\text{е}}^{\text{оп}} \cdot \tau, \quad (2.29)$$

де $N_{\text{е}}^{\text{оп}}$ – потужність приводів насосів, кВт;

τ – тривалість максимальнозимового періоду, беремо 20 діб;

$$N_{\text{н.макс.}} = 19,27 \cdot 20 \cdot 24 = 9249,6 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

В середньоопалювальний період споживання електричної енергії становить

$$N_{\text{н.со}} = 8,34 \cdot 169 \cdot 24 = 33827 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Споживання електричної енергії вентилятором пальника

$$N_{\text{в.пальн.}} = N_{\text{е}}^{\text{в}} \cdot \tau, \quad (2.30)$$

де $N_{\text{е}}^{\text{в}} = 10$ кВт – електрична потужність електродвигуна вентилятора пальника (в середньоопалювальний період 5,5 кВт).

$$N_{\text{в.пальн.}} = 10 \cdot 20 \cdot 24 + 5,5 \cdot 24 \cdot 169 = 27108 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Споживання електричної енергії нагнітачами

$$\Sigma N = N_{\text{н.макс}} + N_{\text{н.со}} + N_{\text{в.пальн.}}, \quad (2.31)$$

$$\Sigma N = 9249,6 + 33827 + 27108 = 36165 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Витрати на електричну енергію

$$B_{\text{ел}} = \Sigma N \cdot C_{\text{еe}}, \quad (2.32)$$

де $C_{\text{еe}} = 10$ грн/кВт·год вартість електроенергії [16]

$$B_{\text{еe}} = 36165 \cdot 10 = 361650 \text{ (грн./рік)}.$$

Капітальні вкладення на обладнання котельні складають $k_c = 2,4$ млн.грн.

Частка капіталовкладень на монтаж, доставлення та налагодження обладнання котельні становлять 40% від суми капіталовкладень на обладнання

$$k_{\text{м.}} = 0,4 \cdot k_c, \quad (2.33)$$

$$k_{\text{м.}} = 0,4 \cdot 2400000 = 960000 \text{ (грн.)}.$$

Сумарні капіталовкладення на котельню

$$k_{\text{кот}} = k_{\text{м}} + k_c, \quad (2.34)$$

$$k_{\text{кот}} = 2400000 + 960000 = 3360000 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на амортизацію

$$B_{\text{амор}} = k_{\text{кот}} \cdot H_{\text{амор}}, \quad (2.35)$$

де $H_{\text{амор}}$ – норма амортизаційних відрахувань;

$$B_{\text{амор}} = 3360 \cdot 0,07 = 235,2 \text{ (тис.грн./рік)}.$$

Витрати на ремонт – 20% від амортизаційних відрахувань

$$B_{\text{пр}} = 0,2 \cdot B_{\text{амор}}, \quad (2.36)$$

$$B_{\text{пр}} = 0,2 \cdot 235,2 = 47,04 \text{ (тис.грн./рік)}.$$

Витрати на заробітню плату за даними підприємства $C_{\text{зп}} = 1,345$ млн. грн.

Затрати на воду

$$B_{\text{в}} = V_{\text{в}} \cdot \Pi_{\text{в}}, \quad (2.37)$$

де $V_{\text{в}}$ – витрата підживлювальної води, $\text{м}^3/\text{рік}$;

$\Pi_{\text{пал.}}$ – вартість води, яка становить 25,704 грн/ м^3 [17].

$$B_{\text{в}} = ((1,125 / 999,8) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 20 + (0,943 / 999,8) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 168) \cdot 25,704 = 401881 \text{ (грн/рік)}.$$

Інші витрати (становлять 6% від всіх витрат)

$$B_{\text{i}} = 0,06 \cdot (B_{\text{пал}} + B_{\text{ел}} + B_{\text{в}} + B_{\text{а}} + B_{\text{пр}} + B_{\text{зп}}) \quad (2.38)$$

$$B_{\text{i}} = 0,06 \cdot (23,865 + 0,36165 + 0,235 + 0,401881 + 0,047 + 1,345) = 1,57 \text{ (млн.грн / рік)}.$$

Загальні річні експлуатаційні витрати

$$B_{\text{річ.експл}} = (B_{\text{пал}} + B_{\text{ел}} + B_{\text{в}} + B_{\text{ам}} + B_{\text{пр}} + B_{\text{зп}} + B_{\text{i}}), \quad (2.39)$$

$$B_{\text{річ.експл.}} = (23,865 + 0,36165 + 0,235 + 0,401881 + 0,047 + 1,345 + 1,57) = 27,82 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Річний відпуск теплоти

$$Q_{\text{річ}} = Q_{\text{сп}}^{\text{макс}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{макс}} + Q_{\text{сп}}^{\text{со}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{со}} \quad (2.40)$$

$$Q_{\text{річ}} = 5 \cdot 20 \cdot 24 \cdot 3600 + 2,387 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 169 = 43494 \text{ (ГДж/рік)}.$$

Собівартість виробництва теплової енергії

$$CB_{\text{ТЕПЛОТИ}} = \frac{B_{\text{річ.експл.}}}{Q_{\text{річ}}}, \quad (2.41)$$

$$CB_{\text{ТЕПЛОТИ}} = \frac{27,82 \cdot 10^6}{43494} = 640 \text{ (грн/ГДж) або } 2529 \text{ грн/Гкал}.$$

З метою зменшення затрат на паливо, а також зменшення собівартості виробництва теплової енергії, розглянемо варіанти модернізації котельні.

2.5 Обґрунтування варіантів модернізації котельні

2.5.1 Переведення котельні на спалювання твердої біомаси

Визначимо витрату палива на котельню, у разі переведення її на спалювання пелет з лушпиння соняшника [13].

Розрахунок витрати палива на котельню в максимальнозимовий період у разі спалювання пелет з лушпиння соняшника

$$B_{\text{р.пелет}} = \frac{Q_{\text{кот}}}{Q_{\text{н,пелет}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{кот.пел}}}, \quad (2.42)$$

де $Q_{\text{н,пелет}}^{\text{р}} = 15,43 \text{ МДж/кг}$ — теплота згорання пелет з лушпиння соняшнику,

$\eta_{\text{кот.пел}} = 84 \%$ ККД котла.

$Q_{\text{кот}} = 5$ МВт потужність котельні (пункт 2.5).

$$B_{\text{р.пелет}}^{\text{макс}} = \frac{5}{15,43 \cdot 0,84} = 0,386 \text{ (кг/с)}.$$

За формулою 2.42 витрата пелет в середньоопалювальний період

$$B_{\text{р.пелет}}^{\text{со}} = \frac{2,387}{15,43 \cdot 0,84} = 0,184 \text{ (кг/с)}.$$

Річна витрата палива пелет з соняшникового лушпиння,

$$B_{\text{річ.пелет}} = B_{\text{р}}^{\text{макс}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{макс}} + B_{\text{р}}^{\text{со}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{со}} \text{ (кг/рік)},$$

$$B_{\text{річ}} = 0,386 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 20 + 0,184 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 169 = 3353702 \text{ (кг/рік)},$$

або 3354 (т).

Витрати на паливо знайдемо за формулою (2.28). Вартість пелет з соняшникового лушпиння [18] становить 6000 грн/тону коефіцієнт, який враховує втрати палива, для твердого палива становить 1,015. Тоді

$$B_{\text{пал}} = 3354 \cdot 6000 \cdot 1,015 = 20425860 \text{ (грн./рік)} \text{ або } 20,43 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Сумарне споживання електричної енергії котельнею визначене вище і становить 36165 кВт·год.

Після переведення котельні на спалювання твердої рослинної біомаси, з'явиться додаткова потреба в електричній енергії, оскільки потрібно забезпечити автоматичне подавання палива. Подача палива буде здійснюватись зі складу палива в бункер, а з бункера в котел. При цьому витрата електричної енергії

приблизно збільшиться на 10 %. Тому для подальших розрахунків споживання електричної енергії беремо 39781 кВт·год. Витрати на електричну енергію за формулою (2.32)

$$B_{ee} = 39781 \cdot 10 = 0,398 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

За даними котельні, кількість води, що необхідна для підживлення теплової мережі, становить $V = 3500 \text{ м}^3/\text{рік}$.

Затрати на воду залишаємо такі ж, які для котельні на природному газі $C_v = 401881 \text{ грн}$.

Витрати на амортизацію визначимо за формулою (2.35), але після модернізації капітальні вкладення поміняються. Балансова вартість котельні існуючої 3,36 млн.грн, капіталовкладення в модернізацію беремо 20 млн. грн, (вартість котла 4,6 млн.грн та інші витрати) тоді $K = 20 \text{ млн. грн}$. Тоді

$$B_a = 7,96 \cdot 0,07 = 0,5572 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Витрати коштів, необхідні для поточного ремонту, знайдемо за формулою (2.36)

$$B_{пр} = 0,2 \cdot 0,5572 = 0,111 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Витрати на заробітню плату беремо без змін $C_{зп} = 1,345 \text{ млн. грн}$.

Інші витрати, якщо котельня працює на твердому паливі становлять 8,5 % від попередніх витрат. Визначимо за формулою (2.38)

$$B_i = 0,085 \cdot (20,43 + 0,398 + 0,402 + 0,5572 + 0,111 + 1,345) = 1,97 \text{ (млн.грн.)}.$$

Загальні річні експлуатаційні витрати за формулою (2.39)

$$B_{\text{річ.експл.}} = 20,43 + 0,398 + 0,402 + 0,5572 + 0,111 + 1,345 + \\ + 1,97 = 25,2 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Річний відпуск котельнею теплової енергії становить 43494 (ГДж/рік).

Собівартість вироблення теплової енергії за формулою (2.40)

$$CB_{\text{теплоти}} = \frac{25,2 \cdot 10^6}{43494} = 579 \text{ (грн./ГДж)}.$$

Собівартість виробництва теплової енергії в разі переведення на спалювання пелет з соняшника менша на $\Delta CB_T = 640 - 579 = 61$ грн/Гкал. Річна економія внаслідок модернізації становитиме

$$E_k = Q_{\text{річ}} \cdot \Delta CB_T, \quad (2.43)$$

$$E_k = 43494 \cdot 61 = 2653134 \text{ (грн)}.$$

Простий термін окупності капіталовкладень становить

$$T_{\text{ок}} = K/E_k, \quad (2.44)$$

де K – капіталовкладення в модернізацію, млн.грн., що включає вартість обладнання, проєктні роботи, монтажні роботи, супровід проєкту, інші витрати, беремо 16 млн.грн.

$$T_{\text{ок}} = 16/2,65 = 6 \text{ (років)}.$$

За формулами (2.28) – (2.42) проведемо розрахунки техніко-економічних показників, в разі роботи котельні на трісці деревини та гранулах з соломи.

Теплота згорання пелет з соломи 15,7 МДж/кг, тріски деревини (вологістю 30 %) 12,3 МДж/кг. Ціна тріски деревини становить 800 грн/м³. Насипна щільність тріски залежить від тип у деревини та її вологості і коливається в межах від 176 до 320 кг/м³. Беремо для розрахунків 200 кг/м³. Тоді тона тріски [19] коштує 4000 грн/тону. Вартість пелет з соломи беремо 7000 грн/т [20]. Отримані результати зведемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники роботи котельні на різних видах палива

Показник	Розмірність	Котельня на газу	Котельня на пелетах з лушпиння соняшнику	Котельня на пелетах з соломи пшениці	Котельня на трісці деревини
1	2	3	4	5	6
Річна витрата палива	Газ – млн. м ³ /рік Тверде паливо тон/рік	1,3941	3355	3298	4209
Річні витрати на паливо	млн.грн.	23,865	20,43	23,43	21,36
Загальні річні експлуатаційні витрати	млн.грн.	27,82	25,21	28,46	26,22
Річний відпуск теплоти	ГДж/рік	43494	43494	43494	43494
Собівартість виробництва теплової енергії	грн/ГДж	640	579	654	602

Як бачимо з таблиці, переведення котельні на спалювання твердої біомаси є економічно доцільним. Собівартість виробництва теплової енергії значною мірою залежить від вартості палива, яка досить часто змінюється. Оскільки в котельні не передбачено місця для встановлення нового котла на твердій біомасі, необхідно добудувати приміщення до котельні і там встановлювати нове обладнання.

Необхідно також встановити нову димову трубу. Потужність нового котла беремо 3000 кВт, він буде працювати в середньоопалювальний період.

2.5.2 Оцінка ефективності утилізації теплоти димових газів за газовими котлами

Розглянемо доцільність встановлення за котлами GarioniNaval NPR2500 утилізаторів теплоти димових газів. За даними виробника котла GarioniNaval NPR2500, годинна витрата палива становить 319 м³/год, температура відхідних газів $t=150$ °С, ККД котла 92%.

Визначимо підвищення енергетичної ефективності, якщо температуру димових газів знизити до від 150 до 120 °С.

Для розрахунків беремо вміст вуглецевмісних компонентів $\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 = 9,8$ %. Температура повітря, що надходить на горіння $t_{\text{air}} = 14$ °С.

Втрати теплоти з відхідними газами в котлі без утилізації [21]

$$q_2 = 0,01 \cdot (t - 0,85 \cdot t_{\text{air}}) \cdot X, \quad (2.45)$$

де X – емпіричний коефіцієнт, береться з додатку [22].

$$q_2 = 0,01 \cdot (150 - 0,85 \cdot 14) \cdot 4,75 = 6,56 \text{ \%}.$$

Втрати теплоти з димовими газами котлом при зниженні температури до 120 °С.

$$q_{2,\text{cux}} = 0,01 \cdot (120 - 0,85 \cdot 14) \cdot 4,75 = 5,13 \text{ \%}.$$

Зменшення втрат теплоти

$$\Delta q_2 = q_{2,\text{cux}} - q_2 \quad (2.46)$$

$$\Delta q_2 = 6,56 - 5,13 = 1,43 (\%).$$

ККД котла при застосуванні сухого економайзера [21].

$$\eta_{2.сух} = \eta_1 + \Delta q_2 \quad (2.47)$$

$$\eta_{2.сух} = 92 + 1,43 = 93,43.$$

Втрати теплоти з димовими газами в разі встановлення конденсаційного утилізатора і зниженні температури газів до 70 °С.

$$q_{2.к.е} = 0,01 \cdot (70 - 0,85 \cdot 14) \cdot 4,75 = 2,76 \, \%.$$

$$\Delta q_2 = 6,56 - 2,76 = 3,8 (\%).$$

ККД котла при застосуванні конденсаційного утилізатора

$$\eta_{2.к.е.} = 92 + 3,8 = 95,8.$$

Економія палива після встановлення конденсаційного економайзера

$$\Delta B_{\text{конд}} = B_1 \cdot \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_{2.\text{конд}}} \right), \quad (2.48)$$

$$\Delta B_{\text{конд}} = 319 \cdot \left(1 - \frac{92}{95,8} \right) = 12,65 \, (\text{м}^3/\text{год}).$$

Економія палива на відпуск теплової енергії після встановлення конденсаційного економайзера

$$\Delta B_{\text{сух}} = B_1 \cdot \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_{2.\text{сух}}} \right), \quad (2.49)$$

$$\Delta B_{\text{сух}} = 319 \cdot \left(1 - \frac{92}{93,43} \right) = 4,88 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

Отже, встановлення утилізатора теплоти є доцільним, оскільки досягається економія природного газу. Суттєвої економії можна досягти під час глибокої утилізації теплоти, але для впровадження даного варіанту необхідна заміна димових труб. Незважаючи на енергоефективність утилізаторів конденсаційного типу, вони набули широкого розповсюдження в Україні [23]. Однією з причин є корозія обладнання, через високу кислотність конденсату. В зв'язку з цим, обладнання необхідно виготовляти з легованих сталей, що дорого. Тому такий варіант відхилено.

2.6 Підбір обладнання для проведення модернізації

2.6.1 Підбір водогрійного котла на пелетах

Огляд літератури показав, що доцільно встановити котел українського виробництва Ретра – 4М Біо потужністю 3000 кВт [6]. Це багатопаливний котел, що може працювати на різних видах твердої рослинної біомаси. Котел буде працювати в середньоопалювальний період. Для встановлення котла необхідне прибудоване приміщення.

Котлоагрегати Ретра – 4М Біо забезпечені мікропроцесорним регулюванням температури теплоносія, примусовим регулюванням подачі повітря, автоматизованою подачею палива і механізованим золовидаленням призначені для теплопостачання житлових і промислових будівель, обладнаних системами опалення з примусовою циркуляцією теплоносія з робочим тиском до 0,6 МПа і максимальною температурою нагріву води 95 °С.

Котли мають ряд переваг: робота в автоматичному режимі; можливість використання різних видів палива; самоочисний пальник совкового типу з водяним охолодженням, придатний для спалення низькоякісного дрібнофракційного палива; система запобігання загоранню у шнеці; термін експлуатації більше 11 років; сучасна автоматика; котли виготовляються зі котлової сталі товщиною не менше 8 мм; передбачено систему бездимного горіння при використанні горючих відходів та твердого палива..

Вартість котла 3,6 млн. грн. На сайті виробника наведено технічні характеристики котла Ретра – 4М Біо . Деякі з них наведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики водогрійного котла Ретра – 4М Біо

Назва параметру та розміру	Модель Ретра – 3М
Номінальна продуктивність, кВт	3000
Габаритні розміри котла в комплектації з бункером, мм	
Довжина	7456
Ширина	4800
Висота	3080
Вид палива	Пелети, дрібно-фракційне вугілля (фракція до 15 мм); при установці системи ворущіння – тріска, тирса; Резервне паливо: вугілля кам'яне, антрацит, брикети, дрова
Коефіцієнт корисної дії, %	80
Максимальна температура води, °С	
- на виході з котла, не більше	95
- на вході в котел, не менше	55
Температура димових газів, °С	160
Об'єм бункера для палива Біо, м ³	8
Діаметр димової труби, мм/ Висота, м, не менше	900/30
Маса котла, (без води), кг	13200

2.6.2. Бункер для подачі палива

Згідно [24] ДБН В.2.5-77:2014. 13.2.13 запас твердого біопалива беруть для не менш, ніж півторагодинної роботи котла.

Витрата гранул з лушпиння соняшника становить $V_{p.пелет} = 0,184$ кг/с. За годину спалюється 662,4 кг/год. Для забезпечення трьох годин роботи котла необхідна маса палива 1987,2 кг. Для визначення об'єму бункера потрібно насипну густину пелет помножити на їх витрату. Насипна густина становить $\rho_{нас \cdot пел.} = 450$ кг/м³. Об'єм бункера визначимо з запасом – для тригодинної роботи котла становить $V_{бун} = 1987,2 / 450 = 4,42$ м³. В комплект поставки котла входить бункер об'ємом 8 м³, тобто об'єму бункеру вистачить, більш, ніж для тригодинної роботи котла.

2.6.3 Склад палива механізований

Місткість складів палива повинна передбачати запас для семи днів роботи котла на максимальній потужності. Оскільки модернізація передбачає роботу твердопаливного котла в середньоопалювальний період, то витрату палива беремо для цього періоду.

Витрата палива за сім опалювальних діб $M_{пел.} = 111283,2$ кг. Насипна густина пелет з лушпиння соняшника $\rho_{нас} = 450 \dots 550$ кг/м³

Об'єм, що займає паливо в складі

$$V_{склад} = M_{пел.} / \rho_{нас}, \quad (2.50)$$

$$V_{склад} = 111283,2 / 450 = 247,3 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Обираємо механізований склад палива від «Ретра» [25]. До механізованого складу сипучих матеріалів входить: склад, накидувач, транспортер і система керування. Механізований склад палива розробляється індивідуально відповідно до технічного завдання, відрізняється кількістю поворотних секцій, їх довжиною, частотою установки скребоків, а також розташуванням приводу. Система

автоматизованого керування здійснює контроль рівня палива в складі палива та паливних бункерах котлів, забезпечує автоматизацію процесів контролю, сигналізації, управління, регулювання, необхідні захисту і блокування.

2.6.4 Підбір циклона

Об'ємна витрата продуктів згорання

$$V_{\text{д.г.}} = B_p \cdot V_{\text{г}} \cdot \frac{t'_{\text{г}} + 273}{273}, \quad (2.52)$$

де $V_{\text{г}}$ – дійсний об'єм димових газів, м³/кг;

B_p – розрахункова витрата палива, кг/с;

$t'_{\text{г}}$ – температура димових газів на виході з котла, °С.

$$V_{\text{д.г.}} = 0,184 \cdot 5,36 \cdot \frac{160 + 273}{273} = 1,56 \text{ (м}^3\text{/с)} \text{ або } 5631 \text{ м}^3\text{/год.}$$

Обираємо циклон ЦБ-16 виробництва заводу котельного обладнання «Енергетик» [26] з ККД золовловлювання 80 %.

2.6.5 Розширювальний бак

В добудованій частині котельні необхідно встановити розширювальний бак. Найбільш ефективними є мембранні розширювальні баки [12]

Орієнтовний надлишковий тиску в баку

$$P_{0,\text{бак}} = P_{\text{стат}} + P_{\text{пари}}, \quad (2.53)$$

де $P_{\text{стат}}$ – тиск в системі теплопостачання зоопарку (статичний), бар;

$P_{\text{пари}}$ – тиск пари, що утворюється в розширювальному баку, бар.

$$P_{0.бак}=2 +0,2=2,2 \text{ (бар)}.$$

Реальний надлишковий тиск пари пари буде менший за тиск запобіжного клапана на 0,5 бар, $P_{бак}=6,5 - 0,5=6$ бар.

Об'єм води у всій системі теплопостачання зоопарку

$$V_{с.тепл} = v_{сист.} \cdot Q_{т.котл.}, \quad (2.54)$$

де $v_{сист.}=10$ л/кВт – питомий об'єм води для сучасних опалювальних систем;

$Q_{т.котл.}$ – потужність котла, кВт.

$$V_{с.тепл} = 10 \cdot 3000 = 30000 \text{ (л)}.$$

Під час нагрівання води, її об'єм збільшиться. Визначимо це збільшення. Коефіцієнт розширення теплоносія $K_{роз}=4,005$ % для температури 95 С.

Тоді збільшення об'єму становитиме

$$V_p = V_{с.тепл} \cdot K_{роз} / 100, \quad (2.55)$$

$$V_p = 30000 \cdot 4,005 / 100 = 1201,5 \text{ (л)}.$$

Об'єм розширювального мембранного баку

$$V_{бак} = (V_p + V_{затв}) \cdot P_{кін.а} / (P_{бак} - P_o), \quad (2.56)$$

де $V_{затв}$ – об'єм водяного затвору, л; розраховується як 0,5 % від $V_{с.тепл}$, тобто

$$V_{затв} = 0,5 \cdot 30000 / 100 = 150 \text{ л};$$

$P_{кін.а}$ – абсолютний тиск кінцевий, бар.

$$P_{\text{кін.а}} = P_{\text{бак}} + P_{\text{бар}}, \quad (2.57)$$

де $P_{\text{бар}}$ – барометричний тиск, бар.

$$P_{\text{кін.а}} = 6 + 1 = 7 \text{ (бар)}.$$

$$V_{\text{бак}} = (1201,5 + 150) \cdot 7 / (6 - 2,2) = 2490 \text{ (л)}.$$

До встановлення приймаємо три мембранні баки від Zilmet по 900 л кожен.
Висота бачка 2105 мм, діаметр 750 мм.

2.7 Екологічна ефективність переведення котельні на спалювання пелет з лущиння соняшника

2.7.1 Викиди шкідливих речовин під час спалювання природного газу

Для визначення викидів шкідливих речовин, що утворюються під час згорання палива, використаємо методики наведені в [27, 28]. Початковими даними необхідними для розрахунку є витрата палива за розрахунковий період (опалювальний сезон, рік, тощо); елементний склад палива та його теплота згорання, технологія спалювання палива. Розрахунок можна виконувати за узагальненими чи специфічними показниками емісії. Будемо рахувати за специфічними, оскільки вони більш точні.

Об'ємний склад природного газу, перерахований на масовий, беремо з методики [27]: масовий елементний склад природного газу, %: азот – $N^r = N^{\text{daf}} = 1,56$; водень – $H^r = H^{\text{daf}} = 24,65$; вуглець – $C^r = C^{\text{daf}} = 73,67$; кисень – $O^r = O^{\text{daf}} = 0,12$; густина природного газу становить $0,723 \text{ кг/м}^3$. Витрата палива за опалювальний сезон $V_{\text{оп.с}} = 1394100 \text{ м}^3$.

Масова нижча теплота згорання

$$Q_{\text{LH}}^r = Q_{\text{LH}}^{\text{daf}} = Q_{\text{iv}}^{\text{daf}} / \rho_{\text{gas}}, \quad (2.58)$$

$$Q_{LH}^r = 35,5/0,723 = 49,1 \text{ (МДж/кг)}.$$

Масова витрата природного газу

$$B = B_{оп.с} \cdot \rho_{gas} / 1000, \quad (2.59)$$

$$B = 1394100 \cdot 0,723 / 1000 = 1008 \text{ (т)}.$$

Показник емісії оксидів азоту $(k_{NOx})_0 = 150 \text{ г/ГДж}$. З таблиці Д.6 [27] беремо коефіцієнт $z=1,25$. Первинні заходи зменшення викиду оксидів азоту мають ефективність $x=0,40$. Азотоочисну установку для котелень малої потужності не встановлюють, тому ефективність вторинних заходів $\eta_{II}=0$, $\beta=0$.

Показник емісії оксидів азоту

$$u_{NOx} = (k_{NOx})_0 \cdot (563/704)^{1,25} (1-x), \quad (2.60)$$

$$u_{NOx} = 150 \cdot (563/704)^{1,25} (1-0,40) = 90 \text{ (г/ГДж)}.$$

Викиди оксидів азоту протягом опалювального сезону

$$E_{NOx} = 10^{-6} \cdot u_{NOx} \cdot Q_{LH}^r \cdot B_{gas}, \quad (2.61)$$

$$E_{NOx} = 10^{-6} \cdot 90 \cdot 49,1 \cdot 1008 = 4,454 \text{ (т)}.$$

Показник емісії вуглекислого газу

$$u_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_C, \quad (2.62)$$

де $\varepsilon_C=0,995$ коефіцієнт, що характеризує міру вигорання вуглецю палива [27].

$$u_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{73,67}{100} \cdot \frac{10^6}{49,1} \cdot 0,995 = 54705 \text{ (г/ГДж)}.$$

Викиди оксидів вуглецю протягом опалювального періоду

$$E_{CO_2} = 10^{-6} \cdot u_{CO_2} \cdot Q_{LH}^r \cdot B_{gas}, \quad (2.63)$$

$$E_{CO_2} = 10^{-6} \cdot 54705 \cdot 49,1 \cdot 1008 = 2707,5 \text{ (т)}.$$

Викиди закису азоту N_2O протягом опалювального періоду визначаються за даними таблиці Е.3 [27]:

$$E_{N_2O} = 10^{-6} \cdot u_{N_2O} \cdot Q_{LH}^r \cdot B_{gas}, \quad (2.64)$$

$$E_{N_2O} = 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 49,1 \cdot 1008 = 0,0049 \text{ (т)}.$$

Викиди метану CH_4 протягом опалювального періоду (показник емісії беремо з таблиці Е.4 $u_{CH_4}=1$ г/ГДж [27])

$$E_{CH_4} = 10^{-6} \cdot u_{CH_4} \cdot Q_{LH}^r \cdot B_{gas}, \quad (2.65)$$

$$E_{CH_4} = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 49,1 \cdot 1008 = 0,05 \text{ (т)}.$$

2.7.2 Розрахунок викидів шкідливих речовин під час спалювання пелет з лушпиння соняшника

Показники емісії для лушпиння соняшника: $u_{N_2O} = 5$ г/ГДж, $u_{CH_4} = 9$ г/ГДж, $u_{NO_x} = 88$ г/ГДж. ККД золотловлювача $\eta_z = 80$ %. Витрата пелет становить $V_{пел.} = 3354$ т/рік., нижча теплота згорання пелет з лушпиння соняшника $Q_{н.пелет}^p = 15,43$ МДж/кг. Елементний склад палива: $C^p = 42,5\%$, $H^p = 4,9\%$, $O^p = 34,6\%$, $N^p = 0,44$, $S^p = 0,16\%$, $W^p = 10\%$.

Показник емісії вуглекислого газу знайдемо за формулою (2.62). Частка винесення золи $a_{вин} = 0,6$. В котлах, що спалюють тверду біомасу є механічне недопалювання палива. Міра окислення вуглецю для твердого палива $\epsilon_c = 0,9942$

$$u_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{42,5}{100} \cdot \frac{10^6}{15,275} \cdot 0,9942 = 101954 \text{ (г/ГДж)}$$

Викиди вуглекислого газу протягом опалювального періоду за формулою (2.63)

$$E_{CO_2} = 10^{-6} \cdot 101954 \cdot 15,275 \cdot 3354 = 5223 \text{ (т/рік).}$$

Викиди закису азоту N_2O під час опалювального періоду за умови спалювання пелет з лушпиння соняшнику розраховується за формулою (2.64)

$$E_{N_2O} = 10^{-6} \cdot 5 \cdot 15,275 \cdot 3354 = 0,256 \text{ (т/рік).}$$

де $K_{N_2O} = 5$ г/ГДж – для палива з відходів соняшника.

Викиди метану за опалювальний період формулою (2.65)

$$E_{CH_4} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot 15,275 \cdot 3354 = 0,051 \text{ (т/рік).}$$

де $K_{CH_4} = 9$ г/ГДж – береться зі збірника показників емісії.

Показник емісії оксиду сірки

$$u_{SO_2} = \frac{10^6}{Q_{н.пелет}^p} \cdot \frac{2 \cdot S^p}{100}, \quad (2.66)$$

$$u_{SO_2} = \frac{10^6}{15,275} \cdot \frac{2 \cdot 0,16}{100} = 209,5 \text{ (г/ГДж)}.$$

Викиди оксидів сірки

$$E_{SO_2} = 10^{-6} \cdot u_{SO_2} \cdot Q_{н.пелет}^p \cdot B_{пел.}, \quad (2.67)$$

$$E_{SO_2} = 10^{-6} \cdot 209,5 \cdot 15,275 \cdot 3354 = 10,73 \text{ (т/рік)}.$$

Показник емісії твердих частинок

$$u_{тв} = \frac{10^6}{Q_{н.пелет}^p} \cdot \frac{A^p}{100 - \Gamma_{вин}} \cdot a_{вин}, \quad (2.68)$$

де $a_{вин}$ – частка винесення золи, $a_{вин} = 0,6$,

$\Gamma_{вин}$ – вміст горючих речовин у леткій золі, $\Gamma_{вин} = 1\%$

$$u_{тв} = \frac{10^6}{15,26} \cdot \frac{2,4}{100 - 1} \cdot 0,6 = 953 \text{ (г / ГДж)}.$$

Валові викиди золи

$$E_{тв} = 10^{-6} \cdot u_{тв} \cdot Q_{н.пелет}^p \cdot B_{пел.}, \quad (2.69)$$

$$E_{\text{ТВ}} = 10^{-6} \cdot 953 \cdot 15,26 \cdot 3354 = 48,78 \text{ (т/рік)}.$$

У разі встановлення батарейного циклона з ККД 80 % [26] (для розрахунків беремо 90 %):

$$u_{\text{ТВ}} = \frac{10^6}{Q_{\text{н.пел.}}^p} \cdot \frac{A^p}{100 - \Gamma_{\text{вин}}} \cdot a_{\text{вин}} \cdot (1 - \eta_{\text{зу}}), \quad (2.70)$$

$$u_{\text{ТВ}} = \frac{10^6}{15,26} \cdot \frac{2,4}{100 - 1} \cdot 0,6 \cdot (1 - 0,8) = 190,63 \text{ (г / ГДж)}.$$

Тоді викиди твердих частинок за опалювальний період за формулою (2.69)

$$E_{\text{ТВ}} = 10^{-6} \cdot 190,63 \cdot 15,26 \cdot 3354 = 9,76 \text{ (т/рік)}.$$

Отримані результати представлені на рисунку 2.1

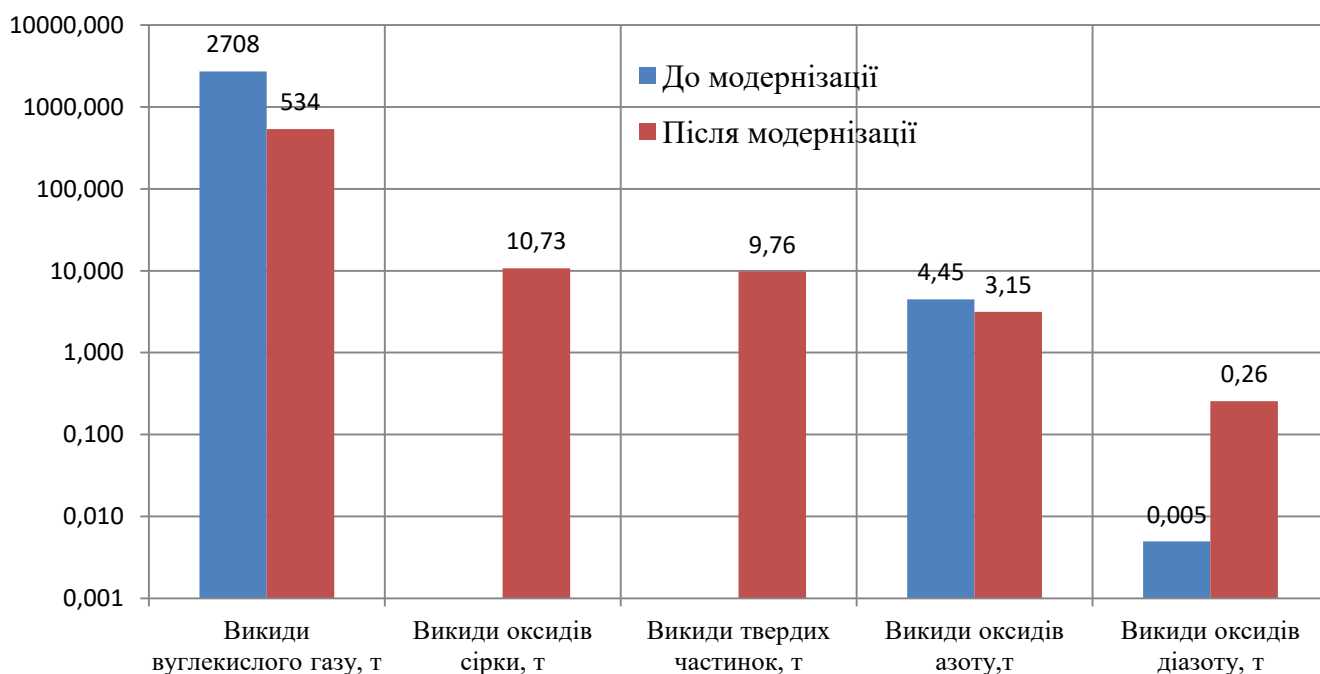


Рисунок 2.1 – Викиди забруднювальних речовин до та після модернізації

Оскільки рослинна тверда біомаса вважається вважається CO₂-нейтральною, то вважаємо, що досягнуто позитивного екологічного ефекту з точки зору

парникового ефекту. Але внаслідок вмісту в паливі сірки будемо мати додаткові 10,73 тон валових викидів оксидів сірки. Крім того, маємо збільшення викидів N_2O з 0,0049 т/рік до 0,256 т/рік. Також додатково будуть викиди твердих частинок, що становлять 9,76 т/рік.

Проведені дослідження показали, що заміщувати природний газ твердою рослинною біомасою у вигляді пелет досить ефективно з точки зору капіталовкладень. Собівартість теплової енергії зменшилась на 61 грн/Гкал, капіталовкладення склали 7,96 млн,грн., що включають добудову котельні, складу, купівлю котла з бункером, трубопроводів та арматури трубопроводів, встановлення димової труби та циклона. При цьому термін окупності склав три роки.

Викиди вуглекислого газу після модернізації зменшились, з'явилися викиди твердих частинок та оксидів сірки.

З ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА НА ТВЕРДІЙ БІОМАСІ

3.1 Розрахунок та підбір обладнання для обв'язки водогрійного котла

Паливом для твердопаливного котла Ретра-4М Біо 3000 кВт прийнято пелети з лушпиння соняшнику, з мають теплоту згорання $Q_H^p = 15,24$ МДж/кг.

Витрата твердої біомаси на Ретра-4М Біо 3000 кВт

$$B_p = \frac{Q_{BK}}{Q_H^p \cdot \eta_{BK}}, \quad (3.1)$$

де Q_{BK} – номінальна потужність твердопаливного водогрійного котла, кВт;

η_{BK} – коефіцієнт корисної дії водогрійного котла.

$$B_p = \frac{3}{15,24 \cdot 0,86} = 0,232 \text{ (кг/с)}.$$

Номінальна витрата димових газів з Ретра-3М Біо 900 кВт

$$V_{d,газів.} = B_p \cdot V_{\Gamma} \cdot [(t_{BG} + 273) / 273], \quad (3.2)$$

$$V_{d,г.} = 0,232 \cdot 7,7 [(160 + 273) / 273] = 2,83 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Подача димососа

$$V_d = 1,1 \cdot V_{d,газів.} \cdot 3600, \quad (3.3)$$

$$V_d = 1,1 \cdot 2,83 \cdot 3600 = 11220 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

Для відведення газів підходить димосос ДН-9 з $Q=12500 \text{ м}^3/\text{год}$, тиск $P=2700 \text{ Па}$, потужність електродвигуна марки (АИР160М4) $N_e=15 \text{ кВт}$ за кількості обертів $n=1500 \text{ об/хв}$ [29].

Площа газоходу для проходження димових газів

$$f = (V_{\text{д.г.}} / \omega), \quad (3.4)$$

де ω – швидкість відхідних газів в газоході, приймаємо $\omega = 6 \text{ м/с}$;

$$f = 2,83 / 6 = 0,472 \text{ (м)}.$$

Беремо стандартний розмір газоходу $500 \times 800 \text{ мм}$.

Відведення димових газів та розсіювання їх у верхніх шарах атмосфери здійснюємо за допомогою двостінної димової труби Versia-Luux $\varnothing 960/900 \text{ мм}$ та висотою 30 м [30].

3.2 Склад та об'єми робіт для монтажу котла

Необхідно провести такі роботи.

1. Доставка деталей до місця монтажу.
2. Розмітка місць прокладання газоходів.
3. Монтаж твердопаливного водогрійного котла Ретра-4М Віо потужністю 3000 кВт .
4. Монтаж живильного бункера об'ємом 8 м^3 .
5. Монтаж димососа ДН-9 з електродвигуном.
6. Встановлення щогли для димової труби висотою $H = 30 \text{ м}$.
7. Встановлення димової труби Версія-Люкс $D = 960/900 \text{ мм}$ і $H = 30 \text{ м}$.
8. Встановлення циклона МЦ-У 1500.
9. Прокладання газоходів і фасонних частин $500 \times 800 \text{ мм}$ та $\varnothing 600 \text{ мм}$.
10. Монтаж шибера $D = 600 \text{ мм}$ Versia-Lux.
11. Пневматичне випробування газоходів.

12. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію.

13. Повернення допоміжного обладнання на склад.

Об'єми робіт визначаємо за [31 – 34]

1. Доставка деталей до місця монтажу. Одиниці вимірювання – тони. Загальна маса твердопаливного котла системи відведення димових газів, основних та допоміжних матеріалів виробів та обладнання складає 19799,72 кг (19,8 т). Візьмемо $V = 19,8$.

2. Розмітка місць прокладання газоходів. Одиниці вимірювання – 100 м. Загальна довжина всіх газоходів складає $L = 19,28$ м. Візьмемо $V = 0,1928$.

3. Монтаж твердопаливного водогрійного котла Ретра-4М Віо потужністю 3000 кВт. Одиниці вимірювання – тони. У котельні встановлюється 1 водогрійний котел потужністю 3000 кВт, що має масу 13200 кг. Візьмемо $V = 13,2$.

4. Монтаж живильного бункера об'ємом 8 м^3 . Одиниці вимірювання – тони. Маса щогли складає 600 кг (0,6 т). Отже, $V = 0,6$.

5. Монтаж димососа ДН-9 з електродвигуном. Одиниці вимірювання – 1 штука. У газовому тракті водогрійного котла встановлюється 1 димосос. Отже, $V = 1$.

6. Встановлення щогли для димової труби $H = 30$ м. Одиниці вимірювання – тони. Маса щогли складає 595 кг (0,6 т). Візьмемо $V = 0,6$.

7. Встановлення димової труби $D = 960/900$ мм і $H = 30$ м. Одиниці вимірювання – тони. Маса утепленої двостінної димової труби складає 2361,7 кг (2,36 т). Отже, $V = 2,36$.

8. Встановлення циклона МЦ-У 1500. Одиниці вимірювання – 10 штук. У котла встановлюється 1 циклон. Отже, візьмемо $V = 0,1$.

9. Прокладання газоходів і фасонних частин 800×500 мм та $\varnothing 600$ мм. Одиниці вимірювання – 100 м^2 . У газовому тракті водогрійного котла монтується $41,39 \text{ м}^2$ газоходів і фасонних частин 500×800 мм, $\varnothing 600$ мм. Отже $V = 0,4139$.

10. Монтаж шиберу Versia-Lux $D = 600$ мм. Одиниця вимірювання – 1 шт.

У газовому тракті водогрійного котла монтується 1 шибер $D = 600$ мм.

Беремо $V = 1$

11. Пневматичне випробування газоходів. Одиниці вимірювання – 100 м. Довжина всіх газоходів складає $L = 19,28$ м. Отже $V = 0,1928$.

12. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання – 100 м. Довжина всіх газоходів складає $L = 19,28$ м. Отже $V = 0,1928$.

13. Повернення допоміжного обладнання на склад. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна маса допоміжного обладнання для монтажу складає 1575,35 кг (1,57 т). Отже $V = 1,57$.

3.3 Методи і обладнання для виконання монтажу котла

Водогрійний котел з бункером, циклон, елементи димової труби, димосос доставляються на монтажний майданчик вантажним автомобілем Mercedes-Benz Astros 2536 3 pedals вантажопідйомністю 15,9 т [35] за два рази. Витрата палива цим автомобілем становить 33 літри на 100 км.

Зварювальні роботи виконуються за допомогою зварювального інверторного апарату Procraft industrial RWI400 Long Range з технічними характеристиками [36]: споживана електрична енергія, кВт – 5,9; зварювальний струм, А – 20 – 400; напруга мережі живлення, В – 220 ; діаметр електродів , мм – 1,5 – 6,0; коефіцієнт корисної дії, % - 85; маса апарату – 5,8 кг.

Крім того, є потреба в наборі пристосувань для монтажників [37]. Необхідні такі пристосування: плоскогубці, гайкові ключі, викрутки, молотки, слюсарні зубила, гумові молотки, металевий рівень, вимірювальна стрічка 20 м, а також ящик для інструментів. Загальна маса цього обладнання становить 11,7 кг.

Для підйомних робіт використовуємо кран автомобільний XCMG ХСТ16_1, що має такі технічні характеристики: вантажопідйомність 16 т; максимальний вантажний момент 735 кН·м; максимальна висота підйому 33,4 м; висота підйоми за максимального вильоту 10,5 м; довжина основної стріли 41,15 м; габаритні розміри : 12060x2500x3360 мм; повна маса – 23300 кг [38].

Випробування газоходів виконується за допомогою пересувного компресора INTERTOOL PT-0005, що має такі характеристики: тип – поршневий; об’єм ресивера – 100 л; потужність двигуна – 2,23 кВт; максимальний тиск – 10 бар; продуктивність – 354 л/хв.; маса – 54,8 кг [39].

Монтаж газоходів виконуємо за допомогою ножичного підйомника GS 1932, що має такі характеристики [40]: вантажопідйомність максимальна – 227 кг; довжина та ширина підйомної платформи – 2540 та 810 мм відповідно; висота підйому максимальна – 7800 мм; маса – 1503 кг.

Загальна маса допоміжного обладнання складає 1575,35 кг.

Комплектувальну відомість наведено в додатку В.

4 ВОДОГРІЙНИЙ КОТЕЛ НА ТВЕРДІЙ БІОМАСІ

4.1 Обґрунтування конструкції котла

Як показано в розділі 1, існує велика кількість заводів по виготовленню котлів. Аналіз інформації, розміщеної на сайтах виробників показав, що конструкції котлів для спалювання твердої біомаси досить різноманітні [5-11]. Вибір конструкції котла залежить від виду палива, його вологості.

Для спалювання вологих палив використовують якісне футерування топки [42]. Для спалювання сипучих видів палива: тріски деревини, гранул, брикетів необхідно передбачити автоматичну подачу палива.

Тверда рослинна біомаса за своїми фізико-маханічними властивостями досить сильно відрізняється.. Це необхідно мати на увазі під час проектування паливоспалювального пристрою. На одній і тій же колосниковій решітці неможливо, наприклад, спалювати лущиння соняшника чи гречки і деревину. Це пов'язано з тим, що спостерігатимуться значні втрати з паливом, що незгоріло через провалювання і винесення.

В літературі немає узагальнених рекомендацій по проектуванню топкових пристроїв для спалювання різної твердої біомаси рослинного походження. В роботі [43] наводяться деякі поради, які варто враховувати під час розробки котла. Зокрема: зниження надлишкового повітря на 5% підвищує ефективність котла на 1%; зменшення температури газів на виході з конвективної частини на 22 °С підвищує ефективність котла на 1 %; підвищення температури повітря для горіння на 20 °С, призводить до заощадження 1 % палива; накопичення сажі товщиною 3 мм на поверхні теплообміну може викликати 2,5 % збільшення споживання пального; відкладення товщиною 1 мм з боку води може збільшити споживання палива на 5...8%.

Важливим моментом під час проектування котла, є вибір способу подачі палива. Вибір способу подачі палива в котел залежить від типу котла, типу палива, а також від бажаної ефективності та зручності використання. Основні

способи подачі палива включають ручну подачу, механізовану подачу (шнекову, ланцюгову, плунжерну) та автоматичну подачу. Ручна подача є найпростішим, але менш зручним варіантом, в той час як механізована та автоматична подача забезпечують більш високу ефективність та зручність, але потребують додаткових витрат на обладнання. Під час спалювання сипучих видів твердої біомаси, найбільш доцільно використовувати або шнекову подачу. Шнекова подача пелет має як переваги так і недоліки. До переваг слід віднести: автоматизація, рівномірна подача палива, зменшення ручної праці, підвищення ефективності спалювання. Як недолік слід віднести можливе заклинювання шнека при використанні різнофракційного палива. Для даної конструкції обираємо шнекову подачу, тобто в конструкції топки необхідно передбачити отвір для встановлення шнеку [44].

Вибір потужності котла залежить від потужності системи опалення. В середньо зимовий період потужність опалення 2400 кВт, тому для розробки беремо потужність котла 3000 кВт. Котел буде працювати на 80 % своєї потужності. Проектне паливо – пелети з відходів соняшника.

Існують водотрунні і жаротрунні котли. Для подальшого проектування обираємо жаротрубне виконання теплообмінника. Для забезпечення компактності котла, необхідно встановити в котлі інтенсифікатори теплообміну. Для подачі палива будемо використовувати шнек. Паливо будемо спалювати на рухомій колосниковій решітці, а для видалення золи встановимо спеціальний шнек.

Рухомі колосники використовують як правило для промислових котлів. Така опція дозволяє рівномірно розподіляти паливо.

Для покращення спалювання палива, в котлах як правило, потік повітря на горіння розділяють на дві частини [42]. В найкращих котлах вторинне повітря регулюють за допомогою лямбда-зонду. Вторинне повітря покращує змішування димових газів з киснем повітря, а це сприяє спалюванню СО, та інших горючих газів.

В разі горизонтального виконання теплообмінника, необхідно передбачити автоматичну систему очищення труб теплообмінника.

Одним із ефективних способів зменшення габаритів котла є застосування спеціальних вставок, що дозволяють інтенсифікувати теплообмін.

В конструкції топки важливо утримати частинки палива до їх вигорання. Це може бути забезпечене за рахунок правильної організації спалювання і руху газів в топці. В цьому питанні може допомогти чисельне моделювання за допомогою CFD пакетів спеціальних програм.

Для розрахунку котла використаємо спеціалізоване програмне забезпечення [45] розроблене на кафедрі ТЕ ВНТУ. В програмі можна виконати як конструктивний, так і перевірний розрахунок водогрійних котлів на різних видах палива (природний газ, біогаз, інші гази, різні типи вугілля, деревина волога, свіжа, та інше). Слід також зазначити, що в програмі можна обрати тип інтенсифікатора (пластина, вставка оригінальної конструкції, зігнута пластина з різним кроком згину, а також скручена пластина з різним кроком скручування). Інтенсифікатори дозволяють зменшити габарити котла.

4.2 Результати розрахунку водогрійного котла на твердому паливі

Перед введенням початкових даних в програму, визначимо попередні орієнтовні розміри топки, площу топки, що омиватиметься водою. Необхідно також визначитись з сортаментом труб, їх кількістю, довжиною, тощо. Крім того, необхідно визначити площу дзеркала горіння F_R , m^2 , та об'єм топки V_T , m^3 . Рекомендації по розрахунку топок котлів наведені в [42, 46 – 47]. Попередньо задаємось розмірами топки котла: висота 1 м, ширина 2085 м, а глибина 3750 м. Площа дзеркала горіння становить $F_R = 7,82 m^2$. Площа бічних поверхонь становить $7,5 m^2$. Площа фронтової та задньої стінок топки $6,17 m^2$. Загальна площа – $29,3075 m^2$. Площа екранованої поверхні $F_{екр} = 20,65 m^2$. Діаметр труб приймаємо $d \times \delta = 71/65$ мм.

Потужність водогрійного котла на твердій рослинній біомасі 3000 кВт; температури води на виході та вході в котел 95/70 °С, коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,4$; втрати: $q_3 = 1 \%$, $q_5 = 2\%$, $q_4 = 2 \%$; частка винесення золи 0,6; температура повітря $t_{пов} = 20$ °С.

Тип інтенсифікатора - пластина. Температура димових газів на виході з газотрубного теплообмінника 160 °С. Розбіжність теплового балансу допускається до ± 3 %.

Результати отримані за допомогою програми наведено в додатку Г. Таким чином, коефіцієнт корисної дії спроектованого котла $\eta_{\text{boiler}}=86,9$ %; температура газів на виході з конвективної частини $t_{\text{вг}}=150$ °С; витрата котлової води $G_{\text{к}}=28,639$ кг/с; витрата пелет $B_{\text{р}}=0,221163$ кг/с або 796 кг/год; теплообмінник котла складається з 196 труб з середньою довжиною 3200 мм та діаметром $d \times \delta=71/65$ мм.

Технічні характеристики спроектованого котла відповідають аналогічним розробкам котлів як українського так і закордонного виробництва.

Визначимо діаметр труби для підведення і відведення котлової води. В котлах середньої потужності, зокрема Binder, досить часто встановлюють два патрубки для відведення теплоносія, тому діаметр одного становитиме

$$d_{\text{п}} = 1,13 \sqrt{\frac{G_{\text{к.в.}} / 2}{\rho_{\text{к.в.}} \cdot w_{\text{т}}}}, \quad (4.1)$$

$$d_{\text{п}} = 1,13 \sqrt{\frac{28,639 / 2}{961,75 \cdot 1}} = 0,137 \text{ (м)}.$$

Стандартний діаметр штуцера з приварними фланцями, що розрахований на тиск 1 МПа становить $d=159 \times 6$. Обираємо штуцер 1,0-150-220 Н999-65 з сталі В Ст.3 [48].

За рекомендаціями фірми Binder [11], блок котла слід виконувати зі сталі товщиною 6 мм, а корпус 5 або 10 мм.

Оберемо також стропувальні пристрої котла (монтажні вушка). Орієнтовна маса котла 13000 кг. Тобто вага котла становить 127400 Н або 127,4 кН. Потрібно чотири монтажних вушка. Обираємо вушко вантажопідйомністю 160 кН. Умовне позначення вушка «Вушко 3-16 ГОСТ 13716-68».

Досить часто виробники котлів зазначають, що їхні котли можуть працювати на різних видах палива. При цьому вказують, як при цьому змінюється ККД. Нами проведено дослідження показників розробленого у роботі котла при роботі на різних видах палива: трісці з вологої деревини (робоча вологість $W=40\%$), трісці висушеної деревини (вологість 10%) соломи з вологістю 10% . Отримані результати порівняно і показано на гістограмах 4.1-4.4.

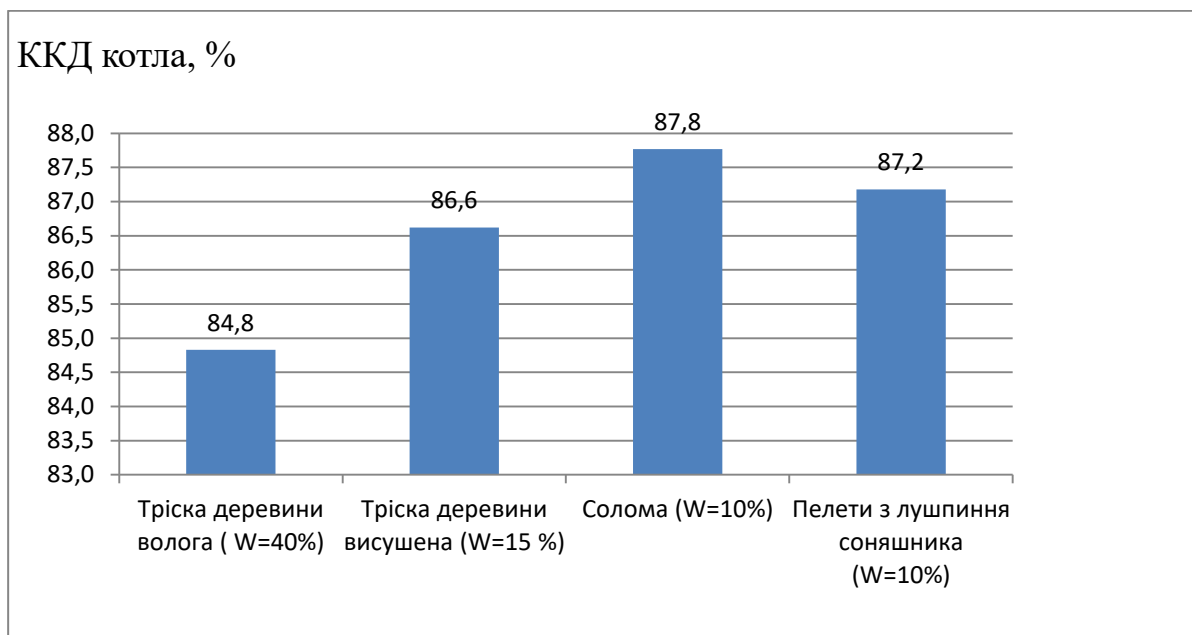


Рисунок 4.1 – Порівняння ефективності котла на різних паливах

Найменший ККД котла при спалюванні вологого палива, $\eta=84,8\%$, а найбільший для соломи $\eta=87,8\%$. Слід зазначити, що ККД при роботі на сухих видах палива несуттєво відрізняється.

На рисунку 4.2 показано споживання палива котлом за годину.

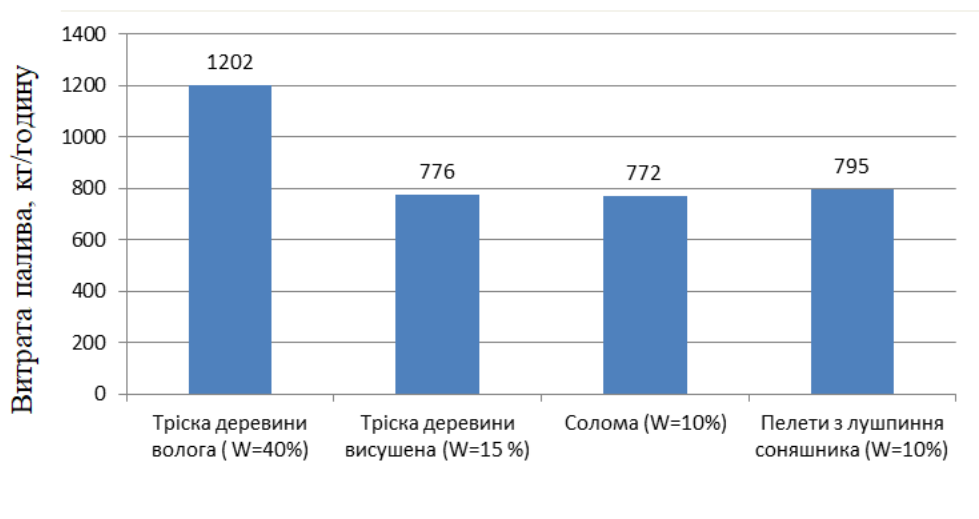


Рисунок 4.2 – Споживання палива котлом, кг/год

Як видно, спалювання вологої тріски деревини неефективне, витрата палива більша на 407 кг/год порівняно з пелетами з соняшника. Витрата сухих палив приблизно однакова 772...795 кг/год. Але слід зазначити, що спалювати соломі чи паливо з неї (брикети, пелети) краще в спеціалізованих топках. Оскільки температура плавлення соломи пшениці досить низька, (1150 °C), то потрібно організувати охолодження колосників. Крім того, в соломі є хлор, що викликає хлорну корозію.

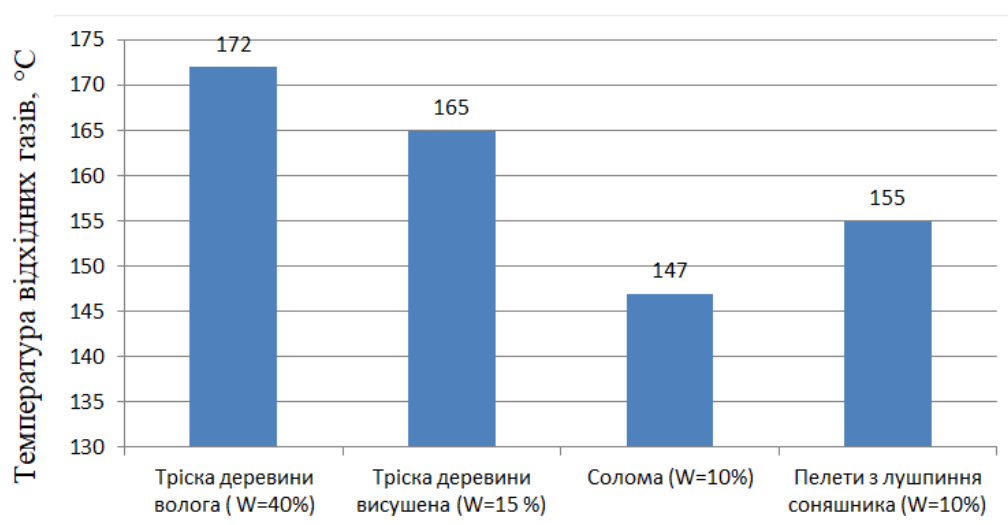


Рисунок 4.4 – Температура газів на виході з жаротрубного теплообмінника котла

Досліджено також енергетичні показники котла при зміні кількості повітря, що надходить на горіння. Результати наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати дослідження котла

Визначена величина	Коефіцієнт зайвини повітря α			
	1,4	1,2	1,6	1,8
ККД котла η_{boiler} , %	87,18	88,6	85,88	84,36
Витрата пелет, кг/с	0,220739	0,2172	0,22408	0,2281
Температура газів на виході з конвективної частини, °C	155	145	161	169

Найвища ефективність котла при коефіцієнті зайвини повітря 1,2.

Отримані результати свідчать про високі енергетичні показники котла.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі розглянуто питання охорони праці стосовно робіт з монтажу обладнання під час модернізації водогрійної котельні Київського зоологічного цирку. Під час монтажу та демонтажу системи опалення потрібно використовувати проєктну та нормативно-технічну документацію. Для безпечного та ефективного виконання монтажних робіт працівники повинні бути забезпечені всім необхідним будівельним обладнанням та інструментами. Крім того, необхідно створити сприятливі умови праці для працівників.

Отже на будівельно-монтажний персонал, що здійснює модернізацію обладнання опалювальної водогрійної котельні, впливають такі шкідливі виробничі фактори [1, 2]: фізичні, хімічні та трудового процесу.

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Під час монтажу інженерних систем будинків чи споруд монтажники повинні отримуватися правил охорони праці в будівництві [3], за якими потрібно

перебувати на раніше встановлених і надійно закріплених конструкціях чи засобах підмоцнування. Забороняється перебування людей на елементах конструкцій і обладнання під час їх піднімання та переміщення.

Навісні монтажні площадки, сходи та інші пристосування, що необхідні для виконання робіт на висоті, потрібно встановлювати на конструкціях, які монтуються до їх піднімання. Для переходу монтажників з однієї конструкції на іншу необхідно застосовувати драбини, перехідні містки і трапи, що мають огорожі. Забороняється перехід монтажників по встановлених конструкціях та їх елементах (фермах, ригелях тощо), на яких неможливо забезпечити необхідну ширину проходу при встановлених огорожах, без застосування спеціальних запобіжних пристроїв (натягнутого уздовж ферми чи ригеля каната для закріплення карабіна запобіжного поясу). Місця і способи кріплення каната повинні бути зазначені в ПВР. Спосіб стропування елементів конструкцій та обладнання повинен забезпечувати їх подавання до місця розміщення в положенні, близькому до проектного.

Заготівлю та припасування труб необхідно виконувати в заготівельних майстернях. Виконання цих робіт на риштуваннях, призначених для монтажу трубопроводів, забороняється.

Ліквідацію недоліків, виявлених під час випробувань змонтованої системи та обладнання, необхідно виконувати на підставі розроблених і затверджених замовником і генеральним підрядником разом із субпідрядними організаціями заходів щодо безпеки виконання цих робіт.

Встановлення і зняття перемичок (зв'язків) між змонтованим і діючим устаткуванням, а також підключення тимчасових установок до діючих систем (електричних, парових, технічних тощо) без письмового дозволу генерального підрядника і замовника не допускається.

Монтаж трубопроводів і повітроводів на естакадах необхідно виконувати з інвентарного риштування, обладнаного сходами для піднімання та спускання працівників. Піднімання та спускання конструкціями естакад не допускається.

Забороняється перебування людей під обладнанням, що встановлюється, монтажними вузлами обладнання і трубопроводів до їх остаточного закріплення.

Опускати труби у закріплену траншею необхідно так, щоб не порушувати кріплення траншеї. Не дозволяється скочувати труби в траншею за допомогою ломів і ваг, а також використовувати розпірки кріплення траншей як опори для труб.

Монтаж обладнання, трубопроводів і повітропроводів поблизу електричних мереж (у межах відстані, яка дорівнює найбільшій довжині вузла чи ланки трубопроводу, що монтується) виконується при знятій напрузі. За неможливості зняття напруги роботи необхідно виконувати за нарядом-допуском, затвердженим у визначеному порядку.

Будівельно-монтажний персонал під час використання електрифікованого інструменту повинен дотримуватися таких правил з охорони праці [4, 5]. Електрифікований інструмент за умовами безпеки поділяється на такі класи:

I – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, ізолювані і штепсельна вилка має заземлювальний контакт. У електроінструмента класу I всі деталі, що перебувають під напругою, можуть бути з основною, а окремі деталі – з подвійною або посиленою ізоляцією; II – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, мають подвійну або посилену ізоляцію, Цей електроінструмент не має пристроїв для заземлення. Номінальна напруга для електроінструмента класів I і II має бути не більше 220 В для електроінструмента постійного струму; 380 В – для електроінструмента змінного струму; III – електроінструмент на номінальну напругу не вище 42 В, у якого ні внутрішні, ні зовнішні кола не перебувають під іншою напругою. Електроінструмент класу III призначений для живлення від безпечної наднизької напруги.

Якщо безпечну наднизьку напругу одержують перетворенням вищої напруги, то це слід здійснювати за допомогою безпечного ізолювального трансформатора, далі за текстом – "розподільчий трансформатор безпеки", або перетворювача з окремими обмотками. Електроінструмент, який живиться від електромережі, слід

обладнувати незнімним гнучким кабелем (шнуром) зі штепсельною вилкою. Незнімний гнучкий кабель електроінструмента класу I повинен мати жилу, яка з'єднує заземлювальний затискач електроінструмента із заземлювальним контактом штепсельної вилки.

Кабель в місці введення до електроінструмента класу I слід захищати від стирань і перегинів еластичною трубкою з ізоляційного матеріалу. Трубку слід закріплювати в корпусних деталях електроінструмента, вона повинна виступати з них на довжину не менше п'яти діаметрів кабелю. Закріплення трубки на кабелі поза інструментом забороняється.

Для приєднання однофазного електроінструмента шланговий кабель повинен мати три жили: дві – для живлення, одну – для заземлення. Для приєднання трифазного електроінструмента застосовується чотирижильний кабель, одна жила якого слугує для заземлення. Ці вимоги стосуються тільки електроінструмента із таким корпусом, який слід заземлювати.

Доступні для доторкання металеві деталі електроінструмента класу I, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, повинні бути з'єднані із заземлювальним затискачем. Електроінструмент класів II і III не заземлюють.

Заземлення корпусу електроінструмента слід здійснювати спеціальною жилою живильного кабелю, яка не може одночасно бути провідником робочого струму. Використовувати з цією метою нульовий робочий провід забороняється. Штепсельна вилка повинна мати відповідну кількість робочих і один заземлювальний контакт. Конструкція вилки повинна забезпечувати випереджальне замикання заземлювального контакту під час ввімкнення та більш запізнене розмикання його під час вимикання. Конструкція штепсельних вилок електроінструмента класу III повинна унеможливити з'єднання їх з розетками на напругу понад 42 В.

Працівники, допущені до роботи з електроінструментом, повинні спочатку пройти навчання і перевірку знань щодо безпечного виконання робіт з застосуванням електроінструменту. До роботи з електроінструментом класу I в

приміщеннях з підвищеною небезпекою та поза приміщеннями допускаються працівники з II групою електробезпеки. До роботи з електроінструментом II і III класу достатньо I групи з електробезпеки.

У електроінструмента класу I, крім того, має бути перевірена справність кола заземлення між його корпусом і заземлювальним контактом штепсельної вилки. Працівнику мають бути видані засоби індивідуального захисту (діелектричні рукавички, калоші, килими) або розподільчий трансформатор, чи перетворювач із окремими обмотками, чи захисно вимикальне устаткування.

Забороняється видавати для роботи електроінструмент, який не відповідає хоча б одній із перелічених вимог або електроінструмент з протермінованою датою періодичної чергової перевірки.

У приміщеннях без підвищеної небезпеки ураження працівників електричним струмом достатньо застосувати діелектричні рукавиці, а в приміщеннях зі струмопровідними підлогами – також і діелектричні калоші або килими. Електроінструментом класів II і III дозволяється працювати без застосування індивідуальних засобів захисту в приміщеннях без підвищеної небезпеки ураження працівників електричним струмом.

У посудинах, апаратах та інших металевих спорудах в умовах обмеженої можливості переміщення і виходу з них дозволяється працювати електроінструментом класів I і II за умови, якщо тільки один електроінструмент одержує живлення від автономної двигун-генераторної установки, розподільчого трансформатора безпеки або перетворювача частоти із роздільними обмотками, а також електроінструментом класу III. В цьому разі джерело живлення (трансформатор, перетворювач тощо) слід розміщувати поза вказаними посудинами, а вторинне коло джерела не слід заземлювати.

Забороняється підключати електроінструмент напругою до 12 В до електричної мережі загального користування через автотрансформатор, резистор або потенціометр.

Під час монтажу трубопроводів і обладнання стикування та з'єднання отворів і перевіряння їх збігу в деталях, що монтуються, необхідно виконувати за

допомогою спеціального інструменту (конусних оправок, складальних пробок тощо). Перевіряти збіг отворів у деталях, що монтуються, пальцями рук не допускається.

Під час монтажу обладнання повинні бути вжиті заходи із запобігання самовільному чи випадковому його вмиканню. Під час монтажу обладнання з використанням домкратів необхідно вжиття заходів, що запобігають перекосу чи перекиданню домкратів.

Під час переміщення конструкцій чи обладнання відстань від них і до частин змонтованого обладнання, конструкцій, що виступають, повинна бути по горизонталі не менше ніж 1,0 м, а по вертикалі – не менше ніж 0,5 м. Під час перерви у роботі залишати підняті елементи конструкцій і обладнання у піднятому стані заборонено.

Установлені в проектне положення елементи конструкцій чи обладнання повинні бути закріплені так, щоб забезпечувалася їх стійкість і геометрична незмінність. Забороняється виконання монтажних робіт на висоті у відкритих місцях за швидкості вітру 15 м/с і більше, під час ожеледі, грози, туману, що унеможливорює видимість у межах фронту робіт.

5.1.2 Електробезпека

Живлення будівельного обладнання та системи освітлення здійснюється трифазною чотирьохпровідною мережею із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ ПБЕ [4, 5] умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що будуються, є струмопровідною.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення. Електропривід насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

Обов'язкова установка захисного заземлення та захисного відключення. При роботі з електроустаткуванням використовуються основні та додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі та струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [6]. Мікроклімат цеху характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання. Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень наведені в таблиці 6.1. Робота з монтажу системи опалення та її обладнання відноситься до категорії Пб по важкості праці.

Таблиця 5.1 – Допустимі норми параметрів повітря на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху, X
Холодний	Пб	13-23	75	не більше
Теплий		15-29	70 при 25	0,2-0,5

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [6].

Під час монтажу системи опалення виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і

знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [6] наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери в робочій зоні монтажника

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення допустимих показників мікроклімату та складу повітря робочої зони відповідно до ДБН проектом передбачені наступні рішення [7]:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами , які встановленні безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;
- необхідно здійснювати контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;
- застосовувати природну вентиляцію: організовану та неорганізовану.

5.2.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення – один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи. Приміщення забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу, але вечері постає проблема в штучному освітленні.

Характеристика зорових робіт – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [8] розряд зорової роботи V, підрозряд «в». Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характер зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при-родне комбінованого освітлення		Природне $E_{нпр}$	Сумісне $E_{сум}$
						всього	у т. ч. від загального		
Малої точності	Від 1,0 до 5,0 включно	V	в	малий	світлий	-	200	3	1,8

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

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

5.2.4 Виробничий шум

Під час монтажу системи опалення на будівництві джерелом шуму є будівельне обладнання, машини, механізми та переносний електроінструмент – механічний шум. Шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки – дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності. Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо

шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

- нормування за гранично допустимим спектром шуму;
- нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум – широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою – постійний; за походженням – гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [9] і наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи

сидить (підосви ніг або сідниці). Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [10] і наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	<u>1,3</u> 108	<u>0,45</u> 99	<u>0,22</u> 93	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	<u>0,2</u> 92	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

5.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [11, 12]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [13], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [14].

Отже, приміщення, де встановлене обладнання водогрійної котельні, за вибухонебезпечною та пожежонебезпечною відноситься до категорії Г – негорючі речовини і/або матеріали у гарячому стані; горючі гази, рідини і/або тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо з зонами П-III, де зберігаються тверді горючі речовини.

Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення

горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо-вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується IV ступенем вогнестійкості.

До IV ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з деревини або інших горючих, захищених від дії вогню та високих температур штукатуркою або іншими листовими, плитними матеріалами. До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості та межі поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 5.6.

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 5.7.

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 5.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 5.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 5.8 (знаменник) [15].

Таблиця 5.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
IV	REI 30 M1	REI 15 M1	E 15 M1	E1 15 M1	R 30 M1	R 15 M1	REI 15 M1	Не нормуються	

Таблиця 5.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	4	REI 15	3	2

Таблиця 5.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
IV	10/12	10/15	15/18

На території водогрійної котельні встановлено 7 водо-пінних вогнегасників ВВП-5 і 4 порошкових вогнегасника ВП-5 [16].

ВИСНОВКИ

В роботі проведено модернізацію водогрійної котельні Київського зоологічного парку. Проведено огляд літературної інформації. Проаналізовано сучасні способи спалювання твердої біомаси, а також конструкції водогрійних котлів вітчизняних та закордонних виробників. Показано, що на ринку опалювального обладнання достатньо енергоефективних котлів середньої потужності на твердій біомасі. Це дозволяє переводити котельні на спалювання біомаси.

Розраховано теплову схему водогрійної котельні в Київського зоологічного парку. В котельні встановлено 3 газових котла NPR 2500 від Garioni Naval потужністю 2907 кВт кожен. Під час розрахунків було визначено витрати палива у максимально-зимовий і середньоопалювальний період. Отже, для максимально зимового опалювального періоду розрахункова витрата робочого палива склала $B_p = 0,184 \text{ м}^3/\text{с}$; у середньоопалювальний період – $B_p = 0,0737 \text{ м}^3/\text{с}$, річні затрати на паливо становлять. Собівартість виробництва теплової енергії котельні на газу 640 грн/ГДж.

За результатами багатоваріантного аналізу обрано варіант для модернізації котельні. Розглянуті варіанти часткового переведення котельні на тріску деревини, пелети з соняшникового лушпиння, пелети з соломи. При цьому собівартість виробництва теплової енергії з пелет з соняшникового лушпиння становить 579 грн/ГДж., тріски деревини – 602 грн/ГДж, гранул з соломи – 654 грн/ГДж. Проаналізовано також варіант встановлення утилізаторів теплоти димових газів. Розрахунки показали, що при зниженні температури газів з 160 до 120 °C, економія палива становить 4,88 м³/год, а до 70 °C – 12,65 м³/год.

Проведено розрахунок викидів шкідливих речовин до та після модернізації. Оскільки рослинна тверда біомаса вважається вважається CO₂-нейтральною, то вважаємо, що досягнуто позитивного екологічного ефекту з точки зору парникового ефекту. Але внаслідок вмісту в паливі сірки будемо мати додаткові 10,73 тон валових викидів оксидів сірки. Крім того, маємо збільшення викидів

N_2O з 0,0049 т/рік до 0,256 т/рік. Також додатково будуть викиди твердих частинок, що становлять 9,76 т/рік.

Визначено, що собівартість виробництва теплової енергії після часткового переведення котельні на спалювання пелет з соняшникового лушпиння складає 579 грн/ГДж. Необхідні інвестиції в проєкт $K=16$ млн. грн, при цьому термін окупності 6 років.

Розроблено технологію монтажу водогрійного котла Ретра-4М Віо потужністю 3000 кВт для роботи на твердій рослинній біомасі.

Розроблено монтажну схему, на якій розташовано водогрійний котел на твердій біомасі Ретра-4М Віо, живильний бункер для палива, циклон, димосос, димову трубу, а також газоходи. Підібрано основне та допоміжне обладнання для монтажу. Маса основного обладнання і матеріалів склала 17946,37, а допоміжного – 278 кг.

Крім того, визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах і механізмах.

Розроблено конструкцію водогрійного котла на твердій біомасі потужністю 3000 кВт для спалювання гранул з соняшникового лушпиння. ККД котла 86,9 %, витрата палива 796 кг/год, температурний режим 95/70 °С. Проведено моделювання роботи котла на вологій та висушеній трісці деревини, соломі. Визначено ефективність котла на цих видах палива, показано, що найменший ККД котла при спалюванні вологого палива $\eta_{\text{boiler}}=84,8$ %, а найбільший для соломи $\eta_{\text{boiler}}=87,8$ %. Проаналізовано показники спроектованого котла при різному коефіцієнті надлишку повітря і показано, що при $\alpha=1,2$ ККД котла найвищий і становить 88,6 %.

Розглянуто питання охорони праці стосовно робіт з монтажу обладнання під час модернізації водогрійної котельні Київського зоологічного парку.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Боднар Л. А., Баган М. А. Перспективи розвитку водневої енергетики в Україні. Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету. ВНТУ, Вінниця, 24.03.2025 – 27.03.2025 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23780> (дата звернення 15.05.2025 р).
2. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / Інститут технічної теплофізики НАН України; за ред. Г. Гелетути. Київ: Академперіодика, 2022. 373 с.
3. Гелетути Г. Г. Науково-технічні засади виробництва енергії з біологічних видів палива: дис. доктора техн. наук, Київ, 2021 р. 321 с.
4. Комплексне дослідження ринку котлів, що працюють на біомасі в Україні. URL: <https://uabio.org/materials/296/>
5. Котлозавод «Крігер» URL: <https://kriger.com.ua/boiler-gp12/> (дата звернення 20.05.2025 р).
6. Ретра 4М-Bio 3000 кВт. <https://retra.com.ua/vse-kotly/kotel-retra-4m/kotel-retra-4m-bio/kotel-retra-4m-3000-kvt> (дата звернення 20.05.2025 р).
7. Ретра 4М-Trio. URL: https://retra.org.ua/kotly-z-avtopodacheiu/tverdopalyvnyi-kotel-retra-4m-3000-kvt/?srsltid=AfmBOopD2yXfhuV7G6aiuJnopVOJhTMfKsrRg_5ssVSskJeqln68UNXb (дата звернення 20.05.2025 р).
8. Hargassner. URL: <https://www.hargassner.com/wp-content/uploads/2022/08/industrieheizungen-prospekt-de.pdf> (дата звернення 20.05.2025 р).
9. Ferroli. URL: <https://ferroli.ua/ua/catalog/industrial/firm/1231/> (дата звернення 20.05.2025 р).
10. Водогрійні котли. URL: <https://navitas.ua/promyslovi-kotly/vodogriyni-kotli/> (дата звернення 20.05.2025 р).

11. Котли на біомасі Binder. URL: <https://herz.ua/product-category/alternatyvna-energetyka/kotly-na-biomasi/> (дата звернення 20.05.2025 р).
12. Водогрійні котельні для систем децентралізованого та помірно-централізованого теплопостачання [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 170 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/9951a020-c769-4ab2-b6f9-2e7077a401d3/content> (дата звернення 20.04.2025 р).
13. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання. Навч. пос. Вінниця: ВНТУ, 2005. 137 с.
14. ДСТУ-НБВ.1.1 – 27:2010. Будівельна кліматологія: [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2011. 127 с.
15. Тарифи на газ для промислових підприємств. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/gas/prom/> (дата звернення 20.03.2025 р).
16. Мінфін. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/prom/trans/> (дата звернення 05.04.2025 р).
17. Київводоканал. URL: <https://www.vodokanal.kiev.ua/tarifi> (дата звернення 05.04.2025 р).
18. Біопаливо від ТОВ «Біо-Юнік» URL: https://bio-uniq.com.ua/bio-palyvo.html?gad_source=1&gad_campaignid=22521361092&gbraid=0AAAAADkpgmX6Do5b9CLo5gOuTY (дата звернення 05.04.2025 р).
19. Тріска паливна. URL: <https://baza-drov.com.ua/uk/pilomateriali/triska-palivna#tab-1> (дата звернення 05.04.2025 р).
20. Bioopt. URL: https://bioopt.ua/uk/pellety-iz-solomy.html?gad_source=5&gad_campaignid=22623012904&gclid=EAIaIQobChMIIts v7qf_XjQMVNAIGAB1mrhsaEAQYASABEG_Lxjfd_BwE
21. Димо Б. В., Пилипчак В. І. Оцінка енергетичної ефективності систем. Навч. пос.: Київ: Технології і ремонт, 2008. 144 с.

22. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентів з дисципліни «Енергоефективність та енергоаудит» Уклад.: С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар. Вінниця: ВНТУ. 2018. 59 с.
23. Підвищення ефективності конденсаційних утилізаторів і поводження з конденсатом. URL: <https://saf.org.ua/news/1908/> (дата звернення 20.03.2025 р).
24. ДБН В 2.5–77:2014. Котельні : [Чинний від 2015-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 65 с.
25. Механізований склад палива. URL: <https://retra.com.ua/modulnye-kotelnye/mehanizirovannyj-sklad-topliwa> (дата звернення 20.03.2025 р).
26. Завод котельного обладнання «Енергетик» URL: https://energetik.ua/ua/catalog/dopomijne_obladnanne/tsyklony-batareyni/ (дата звернення 06.04.2024 р).
27. ГКД 34.02.305–2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. 40 с.
28. Ткаченко С. Й., Боднар Л.А. Екологічні аспекти виробництва енергії Вінниця: ВНТУ, 2017. 83 с.
29. Димосос ДН-9. URL: <https://systemax.ua/ua/ventilyatory/dimososi/dn/dn-8-isp1.html> (дата звернення 01.05.2025 р.).
30. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Збірник 6. Теплосилове устаткування. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 190 с. URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-12-28/3d756bb9-88ac-4278-bc69-f8a09d09652a.pdf> (дата звернення 14.05.2025 р.).
31. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Збірник 7. Компресорні установки, насоси і вентилятори. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 57 с. URL : <https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-12-28/c464e588-eedb-417b-8d9f-83a4e5d3df86.pdf> (дата звернення 14.05.2025 р.).
32. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Металеві конструкції (Збірник 9). URL :

<https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/knu-resursni-elementni-koshtorysni-normy-na-budivelni-roboty.-metalevi-konstrukcziyi.-zbirnyk-9.pdf> (дата звернення 14.05.2025 р.).

33. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 20. Вентиляція та кондиціонування повітря. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 150 с. URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/2022-11-05/d55e5c6b-59be-464f-a9f6-0c2555f5ad79.pdf> (дата звернення 14.05.2025 р.).

34. Степанова Н. Д., Степанов Д. В. Монтаж теплоенергетичного та теплотехнологічного обладнання : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2022. 119 с.

35. Mercedes Actros 2536 6x2 3 pedal. URL: <https://www.truckscout24.com.ua/tsp/ts-174-36-553> (дата звернення 25.04.2025 р.).

36. Зварювальний інвертор Procraft industrial RWI400 Long Range. URL: <https://svarmarket.com.ua/uk/svarochnyy-invertor-procraft-industrial-rwi400-long-range-ua>. (дата звернення 15.04.2025 р.).

37. Каталог будівельних машин і інструментів URL: <http://powertools.co.nz>. (дата звернення 15.04.2025 р.).

38. Автокран XCMG XCT16_1 в Україні. URL: https://thk.kiev.ua/ua/product/avtokran-xcmg-xct16_1 (дата звернення 15.11.2024 р.).

39. Компресор INTERTOOL PT-0005. URL: <https://intertool.ua/catalog/kompressori/kompressori-porshnevie/intertool-pt-0005.html> (дата звернення 15.04.2025 р.).

40. Ножичні підйомники. URL: https://tedarent.com.ua/nozhichni-pidjomniki/?gclid=Cj0KCQiAiJSeBhCCARIsAHnAzT-BYvIK9hh6uwfwgwXBc0kFsc9KK8maGIykKmecOi-TvLSpd-kcz7IaAnwdEALw_wcB (дата звернення 01.04.2025 р.).

41. Шибер. URL: <https://unidim.com.ua/kagla-shyber-zaslonka-dlya-dymohoda-yz-nerzhavejky-odnostennaya-%C3%B8-600-mm-tolshchyna-stenky-05-mm-stal-aisi304> (дата звернення 01.04.2025 р.).

42. Степанов Д. В., Боднар Л. А. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності. Вінниця: Універсум, 2011. 132 с.
43. Aprilia Jaya. Boiler (engineering design guideline). Kimtechgroup. 2011. 53 pages.
44. Шнеки для пелет, тирси, тріски та інших видів твердого палива. URL: <https://technik.ua/produksiia/shnekovi-transportery/shneki-dlya-pelet-tirsi-triski-ta-inshikh-vidiv-tverdogo-paliva> (дата звернення 30.05.2025 р.).
45. Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір № 32324. Комп'ютерна програма “Тепловий розрахунок водогрійних котлів малої потужності на традиційних та альтернативних паливах”.
46. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Боднар Л. А. Котельні установки: електронний навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2016. 185 с.
47. Чепурний М. М., Степанов Д. В., Корженко Є. С. Теплові розрахунки парогенераторів: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2006. 155 с.
48. Пішенін В.О., Пішеніна Н.В. Основи конструювання в теплоенергетиці. Вінниця : ВНТУ, 2010. 87 с.
49. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073. (дата звернення 30.05.2025 р.).
50. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv-> (дата звернення 30.05.2025 р.).
51. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

52. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
53. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>. (дата звернення 30.05.2025 р.).
54. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>. (дата звернення 30.05.2025 р.).
55. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
56. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.
57. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>. (дата звернення 30.05.2025 р.).
58. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>. (дата звернення 30.05.2025 р.).
59. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від 2021-01-22]. Вид. офіц. К. : МВС України, 2014. 47 с.
60. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 84 с.
61. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 75 с.

62. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 31 с.

63. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-02-01]. Вид. офіц. К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 35 с.

64. Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників. Наказ МВС № 765 від 28.10.2020. [Чинний від 2021-01-26]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>. (дата звернення 30.05.2025 р.).

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Модернізація водогрійної котельні Київського зоологічного парку

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

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

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 10,6 %

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)

Резидент Н.В., доцент кафедри ТЕ
(прізвище, ініціали, посада)

Особа, відповідальна за перевірку

Співак О.Ю.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

Боднар Л.А.
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

Баган М.А.
(прізвище, ініціали)

У відповідності до розпорядження 03/15 від 01.06.2022 р на засіданні кафедри електроенергетики 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)

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТЕ
доц. Д. В. Степанов
12 березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ КИЇВСЬКОГО ЗООЛОГІЧНОГО
ПАРКУ

08-15.БКР. 005.00.00.000 ТЗ

Керівник роботи:

к.т.н., доц. кафедри ТЕ

Боднар Лілія Анатоліївна

Виконавець:

студент гр. ТЕ-23 мс

Баган Микола Анатолійович

Вінниця – 2025 рік

1 Найменування об'єкта та область застосування

Модернізація водогрійної котельні стосується підвищення її енергетичної та економічної ефективності шляхом переведення її на тверду рослинну біомасу. Робота спрямована на підвищення енергоефективності та економічності виробництва теплової енергії на котельні.

2 Підстава для розробки

Підставою для виконання роботи є індивідуальне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу, вхідні дані з підприємства, наказ ректора ВНТУ про затвердження теми БКР № 97 від “20” березня 2025 року

3 Мета і призначення розробки

Модернізація котельні шляхом встановлення водогрійного котла на гранулах з лущиння соняшнику, а також розробці високоефективної конструкції твердопаливного котла.

4 Джерела розробки

Основою для розробки є індивідуальне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу, дані літературних джерел, інтернет джерел та інші технічні матеріали про модернізацію водогрійних котелень

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

2. Степанов Д. В., Корженко Є.С., Боднар Л. А. Котельні установки промислових підприємств : навч. посібн. Вінниця : ВНТУ, 2011. 120 с.

3. Ткаченко С. Й., Боднар Л. А. Екологічні аспекти виробництва енергії : навч. посібн. Вінниця : ВНТУ, 2017. 100 с.

4. Степанова Н. Д., Степанов Д. В. Монтаж теплоенергетичного та теплотехнологічного обладнання: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2022. 119 с.

5 Технічні вимоги

1.1 Технічні характеристики

- потужність системи опалення в максимально-опалювальний період $Q_{оп}=5200$ кВт;
- система замкнута;
- температура сирої води $5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- графік мережної води $95/70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- марки встановлених котлів NPR 2500 від GarioniNaval (3 шт);
- тривалість опалювального періоду 189 діб;
- види палива: природний газ з $Q_{н}^p = 35,58$ МДж/м³, гранули з лушпиння соняшнику з $Q_{н}^p = 15,23$ кДж/кг.

1.2 Вимоги до стандартизації та уніфікації

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

1.3 Вимоги з надійності

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

6 Економічні вимоги

Проаналізувати роботу котельні до та після модернізації, визначити собівартість виробництва теплової енергії та термін окупності капіталовкладень.

7 Етапи розробки і терміни їх виконання

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Назви розділів		
1	Аналітичний огляд літературної інформації	20.03.2025 – 25.03.2025 р.	
2	Аналіз показників роботи котельні.	26.03.2025– 10.04.2025 р.	
3	Технологія монтажу водогрійного котла на твердій біомасі	11.04.2025 – 27.04.2025 р.	
4	Водогрійний котел на твердій біомасі	28. 04. 20245– 15.05.20245 р.	
5	Охорона праці	16. 05.20245 – 26.05.20245 р.	
6	Оформлення БКР	27. 05.2025 – 04.06.2025 р.	
7	Попередній захист БКР	05.06.2025 р.– 16.06.2025 р	
8	Захист БКР	18.06.2025 р.	

11 Порядок контролю і приймання

Порядок контролю за виконанням розробки здійснює дипломний керівник відповідно до встановлених термінів. Приймання розробки відбувається на попередньому і заключному етапах захисту за участю екзаменаційної комісії згідно з графіком захисту.

Коректування технічного завдання допускається з дозволу керівника роботи.

Початок розробки ”20” березня 2025 р.

Кінець розробки ”05” червня 2025 р.

Додаток В (довідниковий)

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

Розрахунок та комплектування основних матеріалів наведено у таблиці В.1, а допоміжних матеріалів та виробів – у таблиці В.2.

Таблиця В.1 – Комплектувальна відомість основних матеріалів і виробів

№ п\п	Найменування робіт та витрат, одиниця вимірювання	Одиниці вимірювання	Кількість	Вага	
				Одиниця	Всього
1	2	3	4	5	6
1	Твердопаливний водогрійний котел Ретра-4М Bio, $Q_{\text{вк}} = 3000$ кВт	шт.	1	13200	13200
2	Димосос ДН-8 з електродвигуном АІР132М4	шт.	1	436	436
3	Бункер живильний $V = 8 \text{ м}^3$	шт.	1	600	600
4	Шибер Versia-Lux $D = 600$ мм	шт.	1	16,72	16,72
5	Щогла для димової труби $H = 30$ м	шт	1	595	595
6	Циклон МЦ-У 1500	шт.	1	420	420
7	Підставка напольна Versia-Lux	шт.	1	9,37	9,37
8	Платформа розвантажувальна з кронштейном Versia-Lux	шт.	5	12,87	64,35
9	Конус $\varnothing 960/900$ товщина стінки 0.8 мм сталь AISI(201/201) довжина 220 мм Versia-Lux	шт.	1	20,29	20,29
10	Коліно 45° Versia-Lux утеплене $\varnothing 960/900$ товщина стінки 0.8 мм сталь AISI(201/201)	шт.	1	30,77	30,77
11	Трійник 45° Versia-Lux утеплений $\varnothing 960/900$ товщина стінки 0.8 мм сталь AISI(201/201), $H = 1658$ мм	шт	1	118,2	118,2
12	Труба димохідна утеплена Versia-Lux $\varnothing 960/900$ товщина стінки 0.8 мм сталь AISI(201/201) довжина 1000 мм	шт.	29	72,6	2105,4
13	Хомут обжимний Versia-Lux $\varnothing 1000$	шт.	29	1,52	44,08

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6
14	Перехід 1010×410 / Ø600 мм, L = 300 мм, $\delta = 0,7$ мм ($1,35 \text{ м}^2$)	шт.	1	10,93	10,93
15	Перехід Ø530/500×800 мм, (L = 300 мм, $\delta = 0,7$ мм ($0,76 \text{ м}^2$)	шт.	1	7,37	7,37
16	Перехід 500×800 / 1110×260 мм, L = 300 мм, $\delta = 0,7$ мм ($1,47 \text{ м}^2$)	шт.	1	10,74	10,74
17	Перехід 500×800 / Ø690 мм, L = 300 мм, $\delta = 0,7$ мм ($0,86 \text{ м}^2$)	шт.	1	8,48	8,48
18	Перехід 400×300 / 800×500 мм, L = 300 мм, $\delta = 0,7$ мм ($1,1 \text{ м}^2$)	шт.	1	8,12	8,12
19	Перехід 500×800/ Ø900 мм, L = 300 мм, $\delta = 0,7$ мм ($1,58 \text{ м}^2$)	шт.	1	13,18	13,18
20	Газохід Ø600 мм, $\delta = 0,7$ мм, L = 300 мм ($0,57 \text{ м}^2$)	шт.	1	7,34	7,34
21	Газохід 800×500 мм, $\delta = 0,7$ мм , L = 1000 мм ($2,6 \text{ м}^2$)	шт.	6	16,92	101,52
22	Газохід 800×500 мм, $\delta = 0,7$ мм , L = 1120 мм ($3,25 \text{ м}^2$)	шт.	1	18,95	18,95
23	Газохід 800×500 мм, $\delta = 0,7$ мм , L = 932 мм ($2,42 \text{ м}^2$)	шт.	1	15,77	15,77
24	Відвід на 90° 800×500 мм, $\delta = 0,7$ мм ($2,41 \text{ м}^2$)	шт.	4	15,89	63,56
25	Відвід на 90° Ø690 мм, $\delta = 0,7$ мм , ($2,79 \text{ м}^2$)	шт.	1	20,23	20,23

Таблиця В.2 – Комплектувальна відомість допоміжних матеріалів і виробів

№ п/п	Найменування робіт та витрат, одиниця вимірювання	Одиниці вимірювання	Кіль- кість	Маса	
				Одиниця	Всього
1	2	3	4	5	6
Допоміжні матеріали					
для монтажу твердопаливного водогрійного котла Ретра-4М Біо [6]					

Продовження таблиці В.2

1	2	3	4	5	6
1	Сода каустична технічна, марка ГР	т	13,2	0,00152	20,064
2	Тонколистовий прокат із сталі вуглецевої звичайної якості та якісної, гарячекатаний з обрізними кромками, товщина 3,9 мм	т	13,2	0,00152	20,064
3	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э50А	т	13,2	0,0002	2,64
4	Металеві прокладки	т	13,2	0,00571	75,372
5	Пароніт	т	13,2	0,00015	1,98
6	Набивки плетені просочені азбестові, круглі, квадратні, марка АП-31, діаметр, сторона квадрата 6-14 мм	т	13,2	0,00015	1,98
7	Вода технічна	т	13,2	0,23	3036
8	Очіс льняний	т	13,2	0,00004	0,528
Для монтажу димососа ДН-8 [29]					
10	Поковки масою 1,8 кг виготовлені із квадратних заготовок	т	1	0,02	20
11	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э50А	т	1	0,00011	0,11
12	Порошок графітовий	кг	1	0,8	0,8
Для монтажу живильного бункера $V=8 \text{ м}^3$					
13	Болти із шестигранною головкою оцинковані, діаметр різьби 12-[14] мм	т	0,6	0,00044	0,264
14	Цвяхи будівельні з плоскою головкою 1,6x50 мм	т	0,6	0,00001	0,006
15	Канати прядив'яні просочені	т	0,6	0,0001	0,06
16	Катанка гарячекатана у мотках, діаметр 6,3-6,5 мм	т	0,6	0,00003	0,018
17	Швелери N 40 з гарячекатаного прокату із сталі вуглецевої звичайної якості, марка Ст0	т	0,6	0,00194	1,164
18	Електроди, діаметр 2 мм, марка Э42	т	0,6	0,0004	0,24

Продовження таблиці В.2

19	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э46	т	0,6	0,011	6,6
20	Бруски обрізні з ялини, довжина 4-6,5 м, ширина 75-150 мм, товщина 40-75 мм, I сорт	м ³	0,6* 0,00103	520	0,321
21	Грунтовка ГФ-021 коричнево-червона	т	0,6	0,00031	0,186
22	Розчинник, марка Р-4	т	0,6	0,00006	0,036
23	Канат подвійного звивання, тип ТК, оцинкований, з дроту марки В, маркірувальна група 1770 Н/мм ² , діаметр 5,5 мм	10 м	0,6*0, 0187	1,2	0,013
Для монтажу газоходів 800×500 мм , Ø600 мм і фасонних частин					
24	Стрічка поліетиленова з липким шаром, марка А	кг	0,4139	8,82	3,65
25	Електроди, марка Э42, діаметр 2 мм	т	0,4139	0,008	3,311
26	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,4139	0,02265	9,375
Для монтажу щогли та димової труби [8]					
29	Болти із шестигранною головкою, діаметр різьби 10 мм	т	2,36 0,6	0,00253 0,00044	6,235
30	Цвяхи будівельні з плоскою головкою 1,8х60 мм	т	2,96	0,00001	0,0296
31	Канати прядив'яні просочені	т	2,96	0,0001	0,296
32	Розчинник для лакофарбових матеріалів N 649	т	2,36	0,00006	0,178
33	Розчинник, марка Р-4	т	0,6	0,00006	0,036
34	Електроди, діаметр 8 мм, марка Э46	т	2,36	0,0207	48,852
35	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э46	т	0,6	0,004	2,4
36	Електроди, діаметр 2 мм, марка Э42	т	0,6	0,0004	0,24
37	Дошки обрізні з хвойних порід, довжина 2-3,75 м, ширина 75-150 мм, товщина 16 мм, II сорт	м ³	2,36*0,001 0,6*0,00103	520	1,549
38	Шпали просочені для залізниць широкої колії, обрізні та необрізні хвойні [крім модрини], тип II	шт	2,36*0,08	80	15,104

Продовження таблиці В.2

1	2	3	4	5	6
39	Окремі конструктивні елементи будівель та споруд [колони, балки, ферми, зв'язки, ригелі, стояки тощо] з перевагою товстолистової сталі, середня маса складальної одиниці до 0,5 т	т	2,96	0,0105	31,08
40	Ґрунтовка ГФ-021 червоно-коричнева	т	2,96	0,00031	0,918
41	Канат подвійного звивання, тип ТК, оцинкований, з дроту марки В, маркірувальна група 1770 Н/мм ² , діаметр 5,5 мм	10 м	0,6× 0,0187	1,2	0,013
42	Швелери N 40 з гарячекатаного прокату із сталі вуглецевої звичайної якості, марка Ст0	т	0,6	0,00194	1,164
Для монтажу шиберів Ø600 мм [42]					
43	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметр 8,0- 10,0 мм	кг	1	0,00024	0,24
44	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	1	0,71	0,71
45	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	1	0,0005	0,5
Для монтажу циклона [26]					
	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	0,1	0,5	0,05
	Каболка	т	0,1	0,00001	0,001
	Оліфа комбінована К-3	т	0,1	0,00001	0,001
	Електроди, діаметр 5 мм, марка Е42	т	0,1	0,0098	0,98
	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,1	0,0038	0,38
	Фарба земляна густотерта олійна, мумія, сурик залізний, МА-015	т	0,1	0,00002	0,002

Маса основного обладнання і матеріалів – 17946,37 кг.

Маса допоміжних матеріалів (без води) – 278 кг.

Необхідна кількість води – 3036 кг.

Маса матеріалів для доставки

$$M_{\text{дост}} = 17946,37 + 278 + 1575,35 = 19799,72 \text{ (кг)}.$$

Результати розрахунку водогрійного котла за допомогою програми “Тепловий розрахунок водогрійних котлів малої потужності на традиційних та альтернативних паливах”

Рисунок Г1 – Вікно програми розрахунку водогрійного котла

Рисунок Г1 – Вікно програми розрахунку водогрійного котла

Початкові дані

Об'єм топки, м³

Площа стін топки, м²

Площа променеспр. поверхні, м²

Коефіцієнт, що враховує забруднення

Конструкція пальників шарові топки

Відношення дзеркала горіння до стін топки, м²/м

Виконати тепловий розрахунок топки

Тепловий розрахунок топки

Результати теплового розрахунку топки			
Корисне тепловиділення в топці	15264	кДж/кг	Ефективна товщина випром. шару 0,948 м
Адіабатна температура	1485	град.С	Добуток rms 0,023987
Температура на виході з топки	630,42	град.С	Коефіцієнт ослаблення променів 8,8829
Ентальпія газів на виході з топки	5912,	кДж/кг	Критерій Бугера 0,8422
Променисте тепловиділення	9136,	кДж/кг	Параметр М 0,6849

Початкові дані

Внутрішній діаметр труб, мм

Зовнішній діаметр труб, мм

Середня довжина труб, м

Кількість труб, шт.

Тип інтенсифікатора пластина

Товщина інтенсифікатора, м

Виконати тепловий розрахунок пучка

Тепловий розрахунок конвективного пучка

Результати теплового розрахунку конвективного пучка			
Площа поверхні нагріву	139,8	м ²	Коеф. промен.тепловіддачі від газів 2,670333 Вт/м ² К
Площа перерізу для проходу газів	0,6118	м ²	Температура вставки 304,71 град.С
Середньотемпературний напір	223,96	град.С	Коеф.тепловіддачі від вставки 8,1251 Вт/м ² К
Середня швидкість газів	5,591	м/с	Коеф.тепловіддачі сумарний 48,138 Вт/м ² К
Критерій Рейнольдса	6553,		Коефіцієнт теплопередачі 31,194 Вт/м ² К
Коеф.конвект.тепловіддачі від газів	37,34	Вт/м ² К	Нев'язка розрахунку пучка 0,4356 %

Температура стінки труби пучка	106,64	град.С	
Температура конденсації водяної пари	50,394	град.С	Конденсація водяної пари не відбуватиметься
Температура точки роси прод. згорання	93,649	град.С	Конденсація смол не відбуватиметься
Температура точки роси смол	94,427	град.С	

Нев'язка розрахунку котла -1,838 %

Кафедра теплоенергетики ВНТУ, Степанов Д.В., Боднар Л.А.

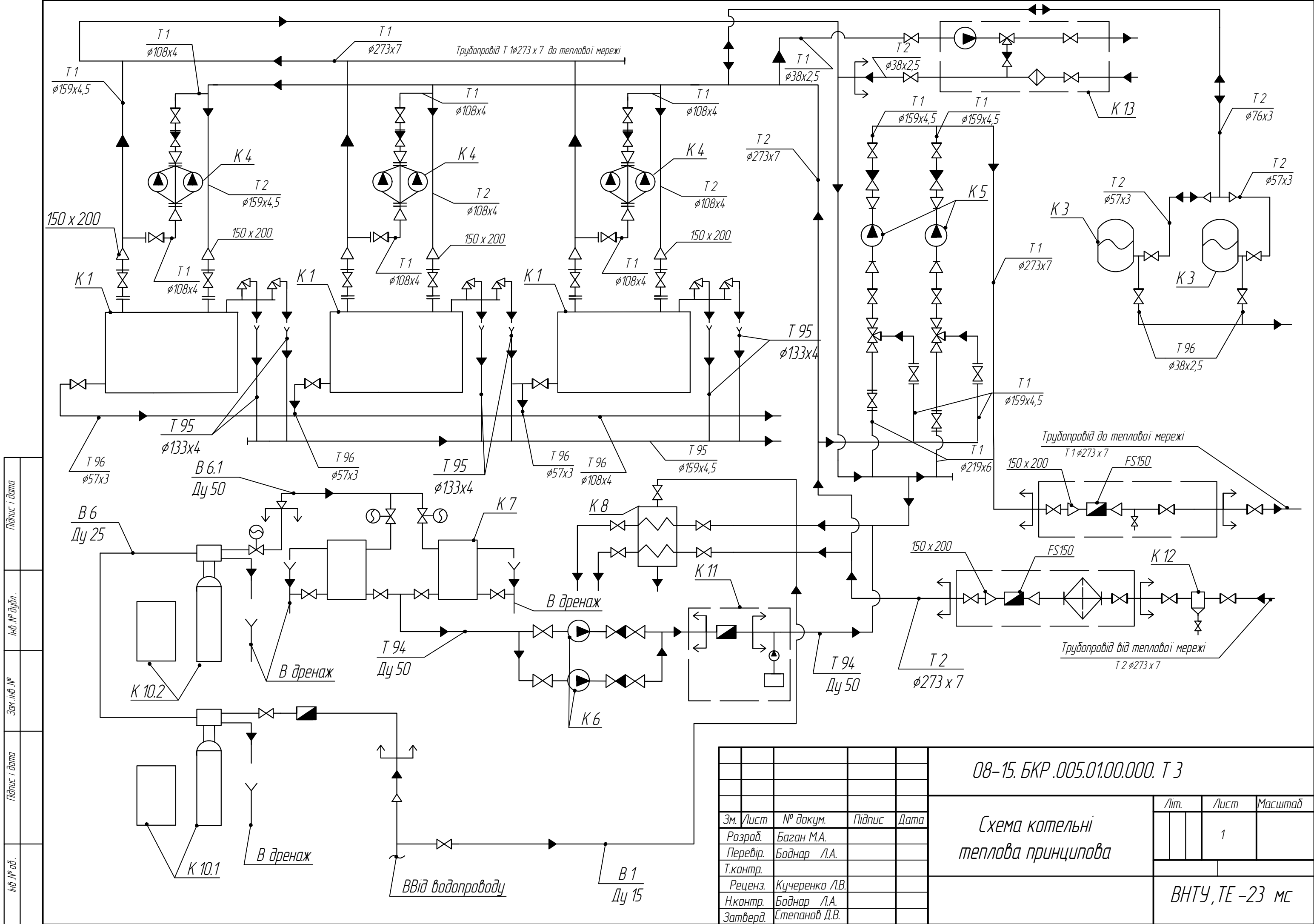
Рисунок Г2 – Вікно програми розрахунку водогрійного котла (продовження)

Додаток Д
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ КИЇВСЬКОГО ЗООЛОГІЧНОГО
ПАРКУ**

[illegible]



					08-15. БКР.005.01.00.000. Т 3									
					Схема котельні теплова принципова				Літ.		Лист	Масштаб		
												1		
									ВНТУ, ТЕ -23 мс					
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата											
Розроб.	Баган М.А.													
Перевір.	Боднар Л.А.													
Т.контр.														
Реценз.	Кучеренко Л.В.													
Н.контр.	Боднар Л.А.													
Затверд.	Степанов Д.В.													

Формат А3

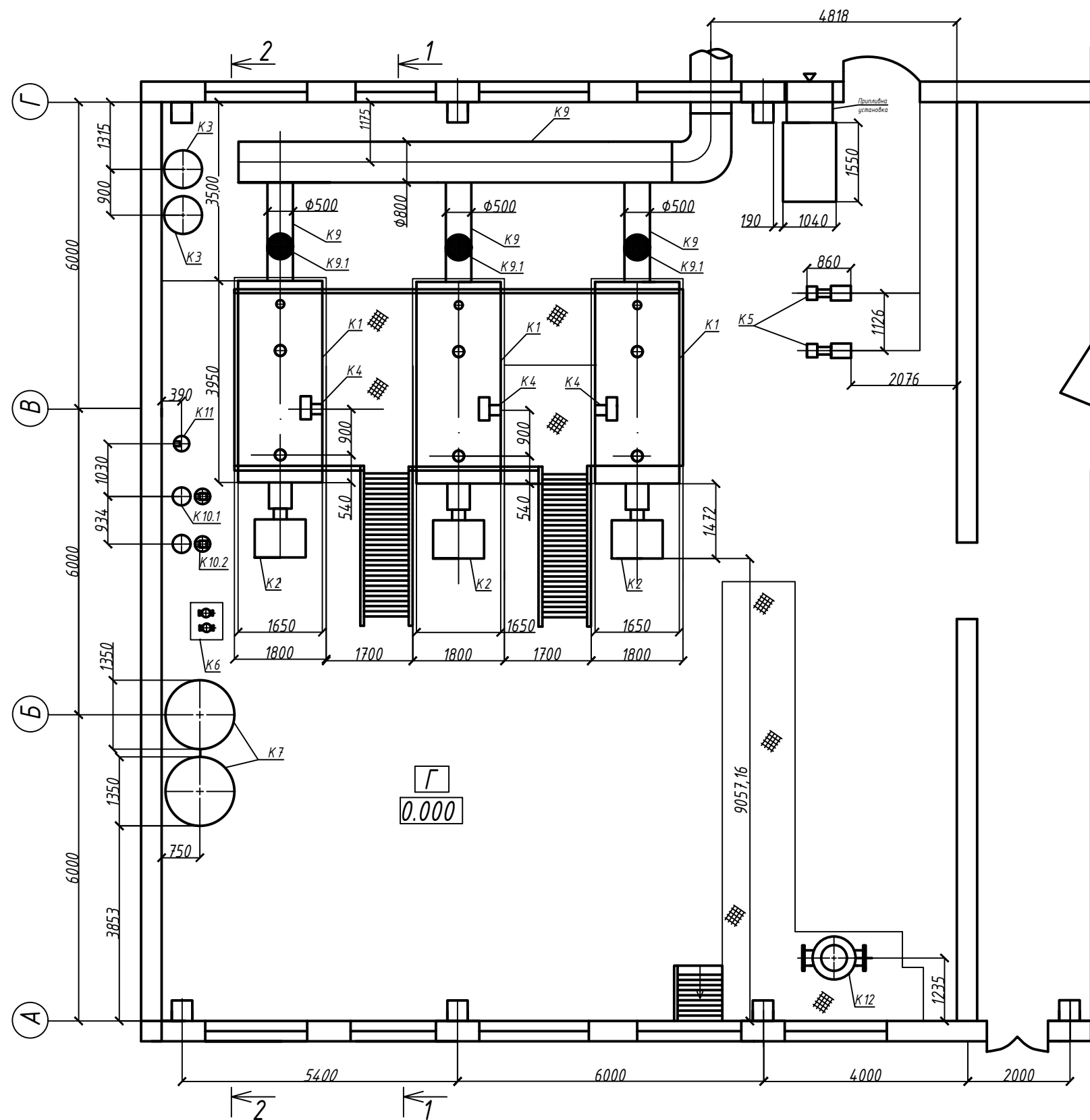
Інв.№од.

Копіював

Підпис і дата

Зам. інв.№

Погоджено:



Експлікація обладнання

Поз.	Найменування	Кіль.	Примітка
К1	Котел сталевий водогрійний Q=2,907МВт	3	NPR2500
К2	Пальник газовий Q=700-3500 кВт	1	M5001.1
К3	Бак розширювальний V=1000л, Рмах=10бар	1	Reflex
К4	Здвоєний насос котловий рециркуляційний	3	UPSD65-120F
К5	Насос мережної води G=375м3/год, Н=25мвод.ст	3	NB80-160/163
К6	Насос підживлювальний G=5м3/год, Н=50мвод.ст	3	CR15.11
	з електродвигуном N=2.2кВт		
К7	Бак запасу підживлювальної води V=3000 л	2	
К8	Холодильник взяття проб	1	
К9	Газоходи Ду500 та Ду800	3	
К9.1	Клапан запобіжний вибуховий Ду500	3	
К10.1	Блок фільтра змякшення першого ступеня	1	Clak
	На катіонування Ф356мм продуктивністю 2...3,3		
	м3/год з клапаном управління NHWB1		
К10.2	Блок фільтра змякшення другого ступеня	1	Clak
	На катіонування Ф356мм продуктивністю 2...3,3		
	м3/год з клапаном управління NHWB1		
К11	Станція дозування дісульфату На з насосом	1	
	дозатором DDE6-10 LWT-DS-60		Grundfos
К12	Магнітний шламовідводчик Ду250	1	RelizMSH
К13	Вузол водозмішувачий (праве виконання)	1	UWS2-3E

08-15.БКР.005.02.00.000АР

м. Київ

Водогрійна котельня Київського зоологічного парку

Стадія

Аркуш

Аркушів

План розташування обладнання

ВНТУ, ТЕ-23мс

Зм.

Кільк.

Арк.

№ док.

Підпис

Дата

Розробив

Баган М.А.

Перевірів

Боднар Л.А.

Т.контр.

Рецензент

Кучеренко Л.В.

Н.контр.

Боднар Л.А.

Затвердив

Степанов Д.В.

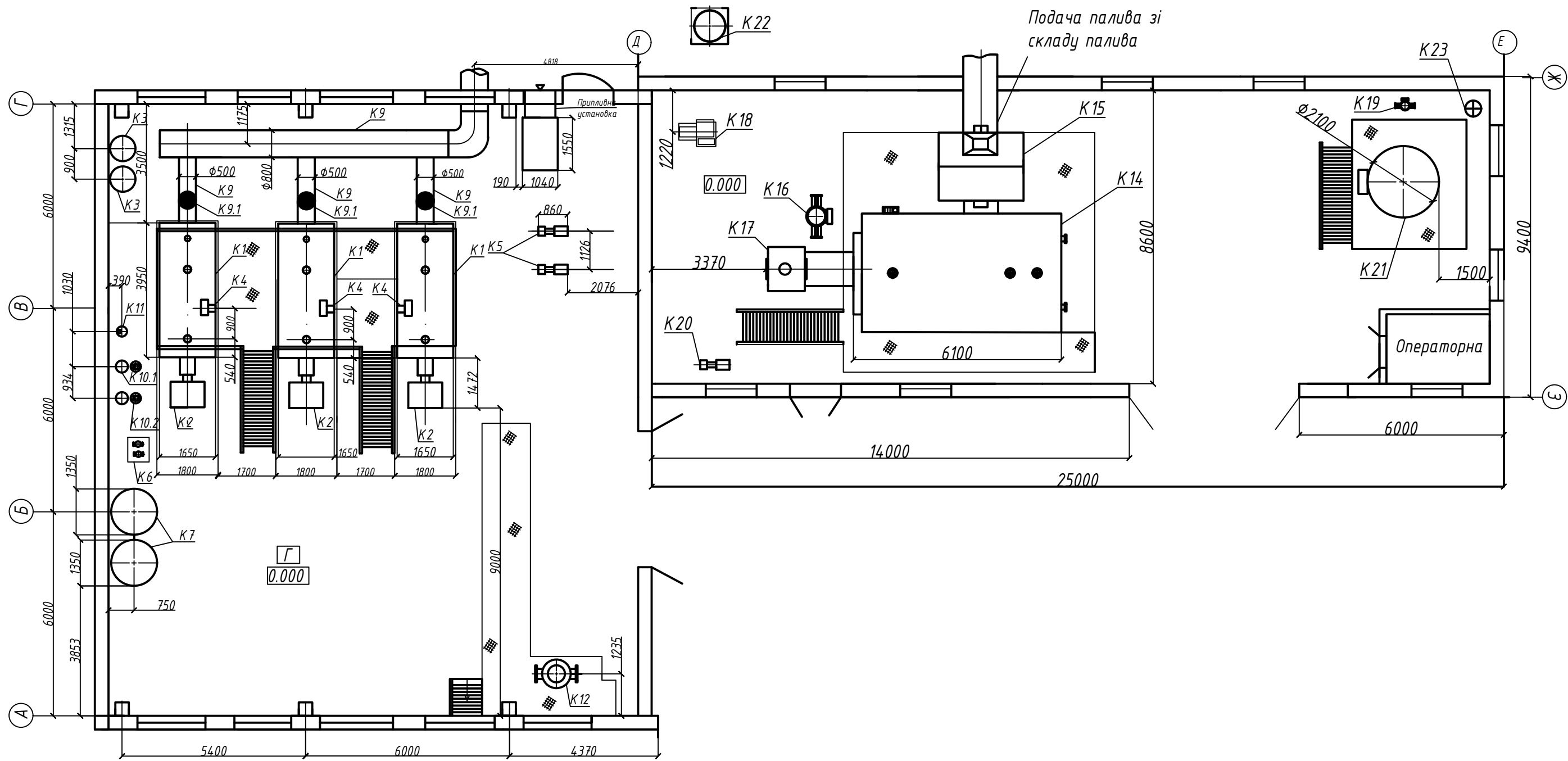
Формат А3

Копіював

Формат А3

					Поз.	Найменування	Кільк.	Примітка
Обладнання								
Погоджено Зам. інф. № Підпис і дата Інф. № орг.					K1	Котел сталевий водогрійний NPR2500	3	
					K2	Пальник газовий Dreisler	3	700-3500кВт
					K3	Бак розширювальний V=1000 л, P=10бар	2	2
					K4	Здвоєний насос котловий рециркуляційний	2	робочих 2шт
					K5	Насос мережної води NB80-160/163	2	
					K6	Насос підживлювальний CRI 5.11	2	
					K7	Бак запасу підживлювальної води	2	3000л
					K8	Холодильник взяття проб	1	
					K9	Газоходи Ду500 та Ду800	3	
					K9.1	Клапан запобіжний вибуховий Ду500	3	
					K10.1	Блок фільтра зм'якшення першого ступеня Na-катіонування	1	
					K10.2	Блок фільтра зм'якшення другого ступеня Na-катіонування	1	
					K11	Станція дозування дісульфату Na з насосом дозатором та лічильником	1	
					K12	Магнітний шламовідвідник Ду250	1	
					K13	Вузол водозмішувачий (праве виконання)	1	
					K14	Котел твердопаливний Ретра4МБіо		3000 кВт
K15	Бункер живильний Ретра		4м³					
K16	Насос циркуляційний Wilo							
					08-15. БКР.005.03.00.000			
Зм. Арк. № докумен. Підпис Дата					План розташування обладнання після модернізації Літ. Аркуш Аркушів ТЕ-23 мс, ВНТУ			
Розробив Баган М.А.								
Перевірив Боднар Л. А.								
Рецензент Кучеренко Л.В.								
Н.контр. Боднар Л. А.								
Затвердив Степанов Д.В.								

Формат А3	Копіював		Погоджено:	
	Інв. № об.	Підпис і дата	Зам. інв. №	

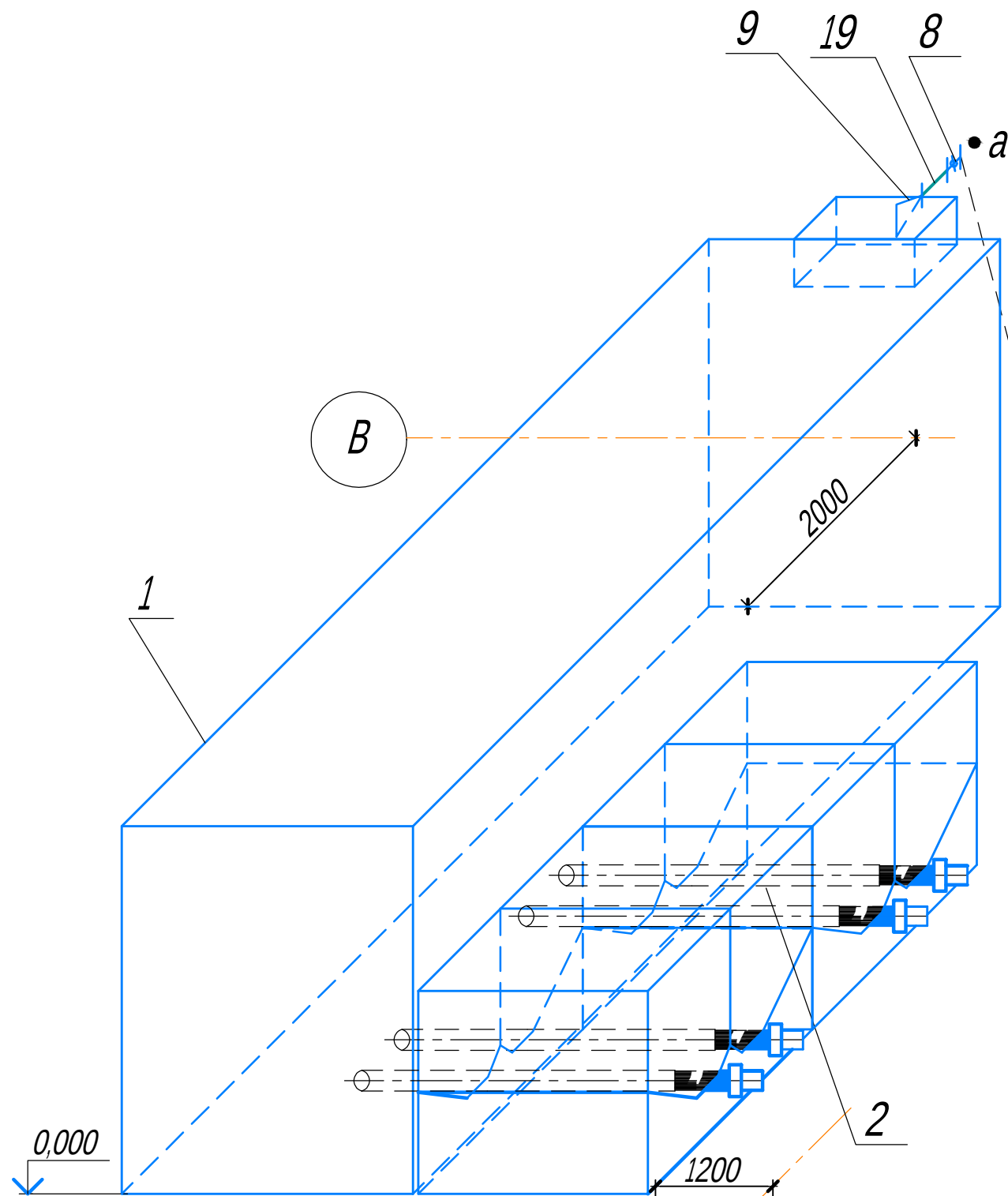


						08-15.БКР.005.03.00.000АР			
						м. Київ			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				
Розробив		Баган М.А.				Водогрійна котельня Київського зоологічного парку	Стадія	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Боднар Л.А.							
Т.контр.									
Рецензент		Кучеренко Л.В.				План розташування обладнання після модернізації	ВНТУ, ТЕ-23мс		
Н.контр.		Боднар Л.А.							
Затвердив		Степанов Д.В.							

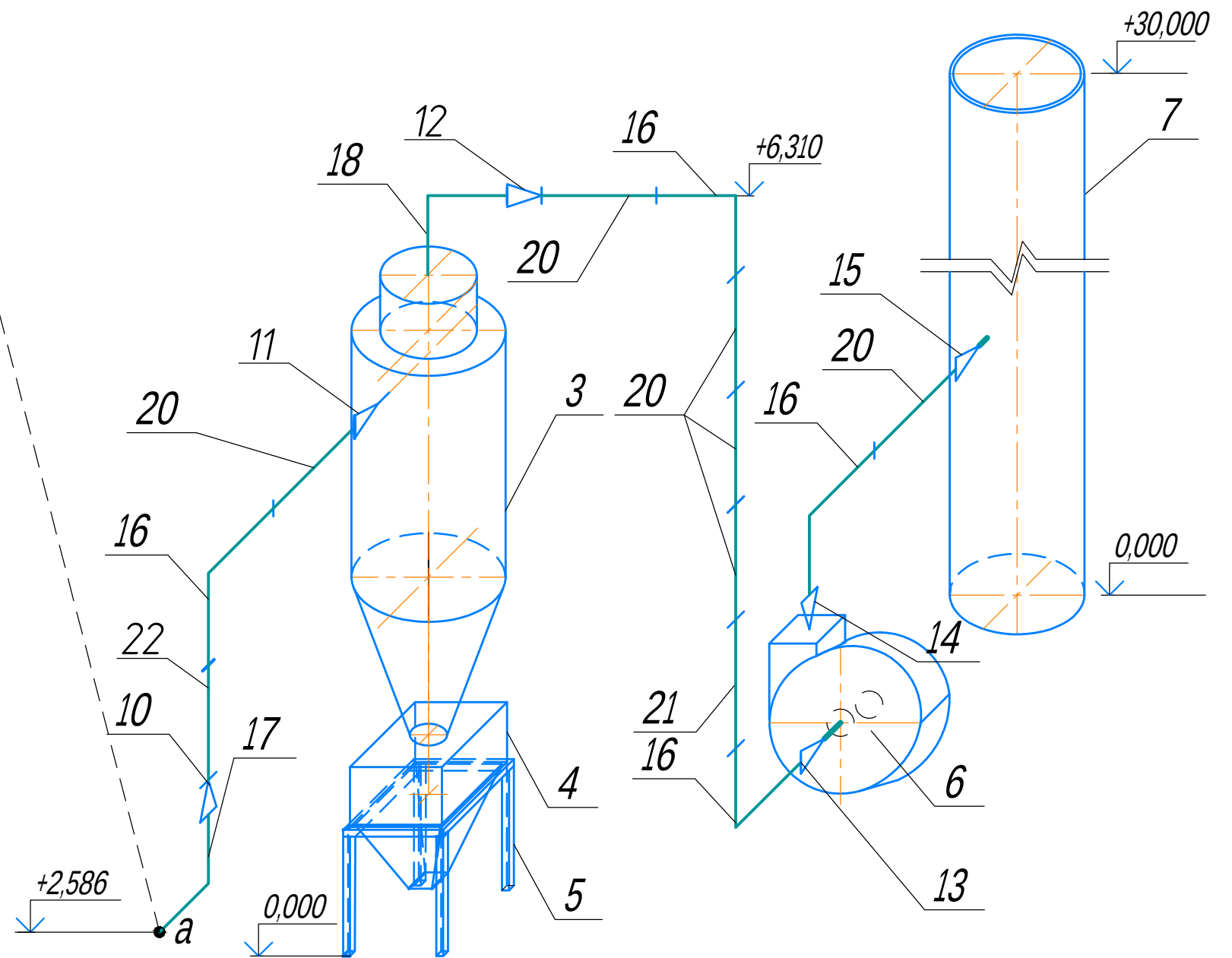
Пер. заст.	Познач.	Найменування	Кіль- кість	Примітки
Додатк. №	1	Водогрійний котел Ретра-4М Віа, Q=3000 кВт	1	
	2	Бункер витратний щеповий V = 8 куб. м	1	
	3	Циклон МЦ-У 1500	1	
	4	Бункер циклона	1	не монтується
	5	Опора бункера і циклона H=1,1 м	1	не монтується
	6	Димосос ДН-8	1	
	7	Димова труба Versia-Lux D=960/900 мм, H=30м	1	
	8	Шибєр Ø600 мм Versia-Lux	1	
	9	Перехід 1010×410 / Ø600 мм, L=300 мм	1	
	10	Перехід 800×500 / Ø600 мм, L=300 мм	1	
	11	Перехід 800×500 / 260×1110 мм, L=300 мм	1	
Підп. і дата	12	Перехід Ø690 / 800×500мм, L=300 мм	1	
	13	Перехід 800×500 / Ø530 мм, L=300 мм	1	
	14	Перехід 800×500 / 400×300 мм, L=300 мм	1	
	15	Перехід 800×500 / Ø900 мм, L=300 мм	1	
	16	Відвід 90°, 800×500 мм	4	
	17	Відвід 90°, Ø600 мм	1	
	18	Відвід 90°, Ø690 мм	1	
	19	Газохід Ø600 мм, L = 300 мм	1	
	20	Газохід 800×500 мм, L=1000 мм	6	
	21	Газохід 800×500 мм, L=1120 мм	1	
	22	Газохід 800×500 мм, L=932 мм	1	
Інв. № ориг.	08-15. БКР.005.04.00.000			
	Зм.	Архш.	№ док.м.	Підп.
	Розроб.	Баган М.А.		
	Перев.	Боднар Л.А.		
	Рецензент	Кучеренко Л.В.		
	Н.контр.	Боднар Л.А.		
	Затв.	Степанов Д.В.		
	Схема			Літ.
	МОНТАЖНА АКСОНОМЕТРИЧНА			Архш.
				Архшів
				ВНТУ, зр. ТЕ-23мс

Узгоджено

Інв.	№ подл	Підрис і дата	Взам инв №		

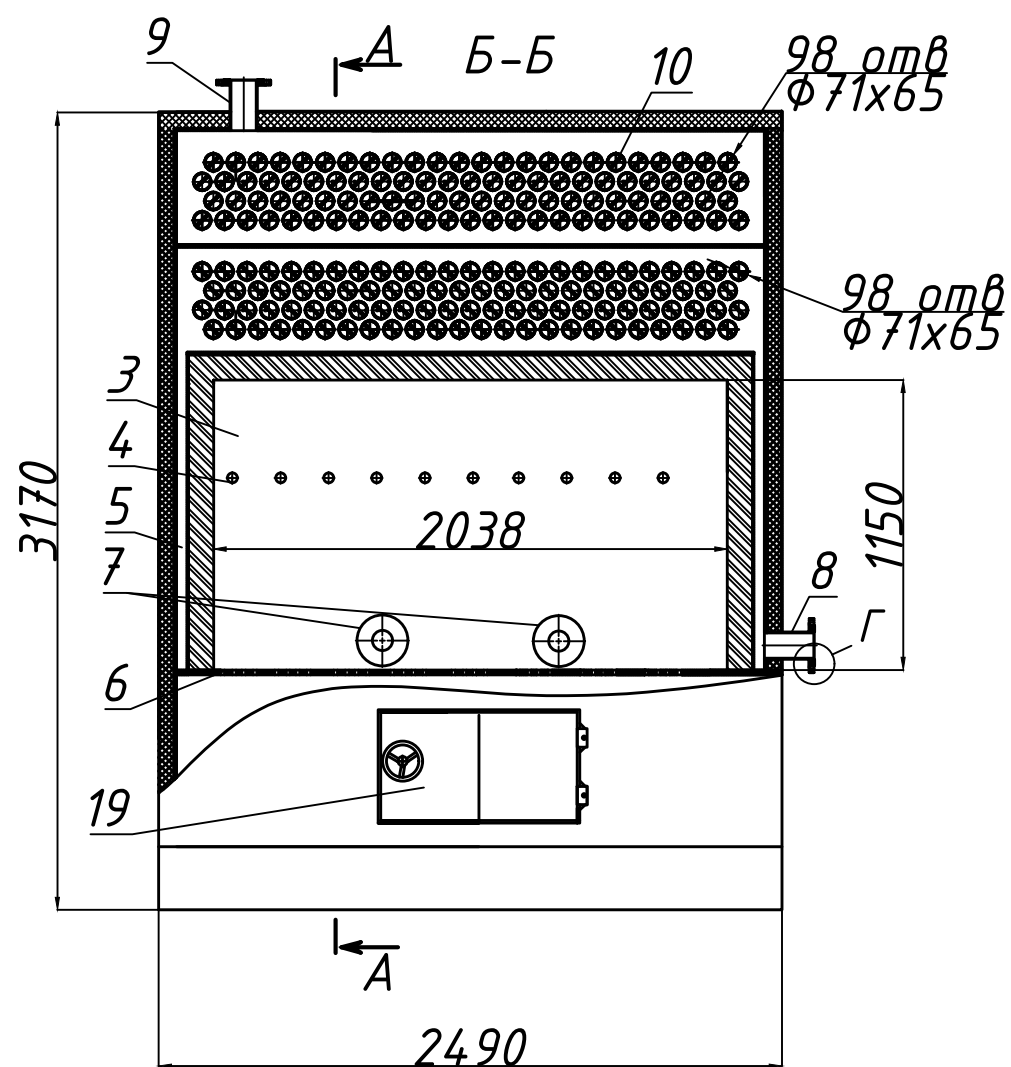


1

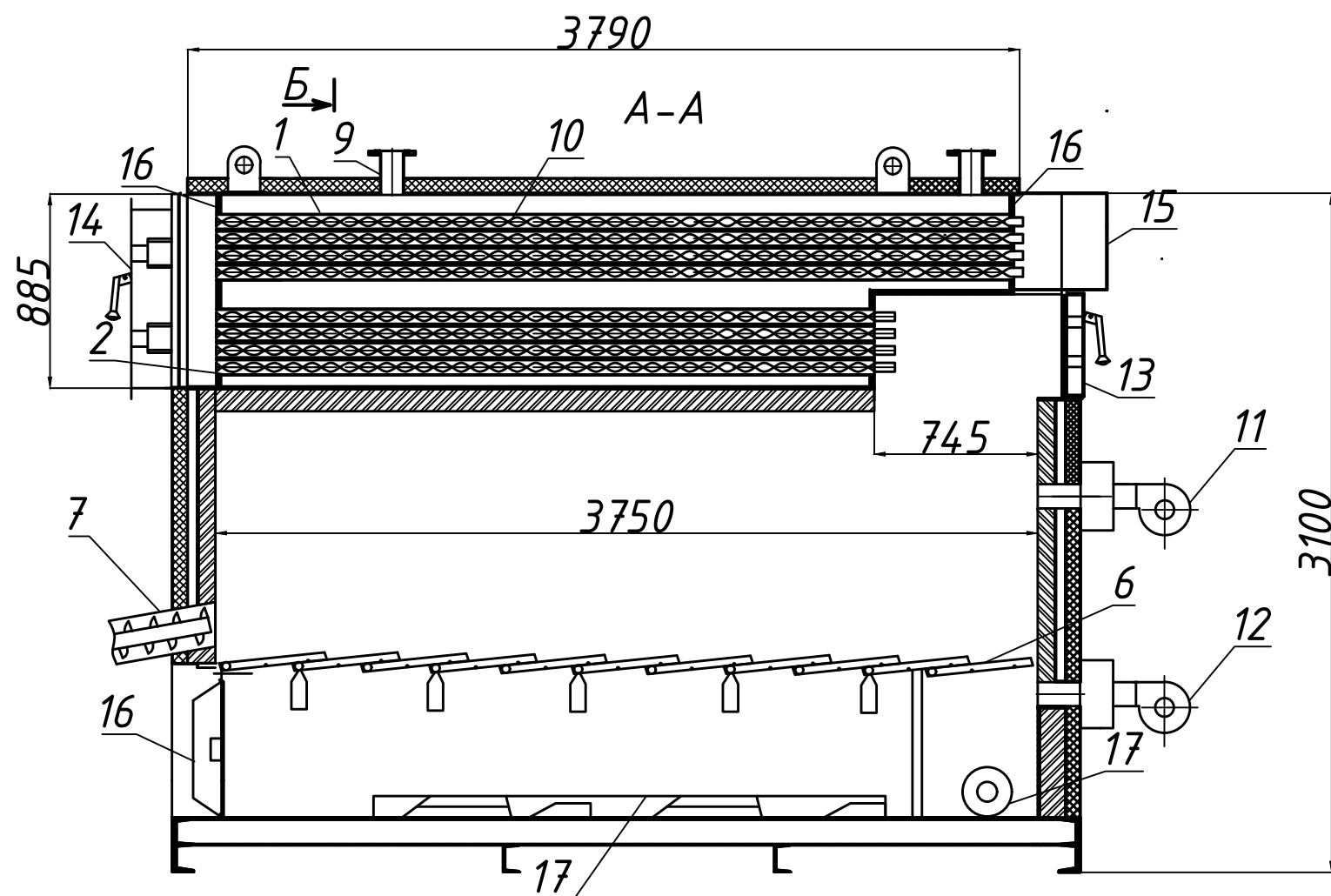
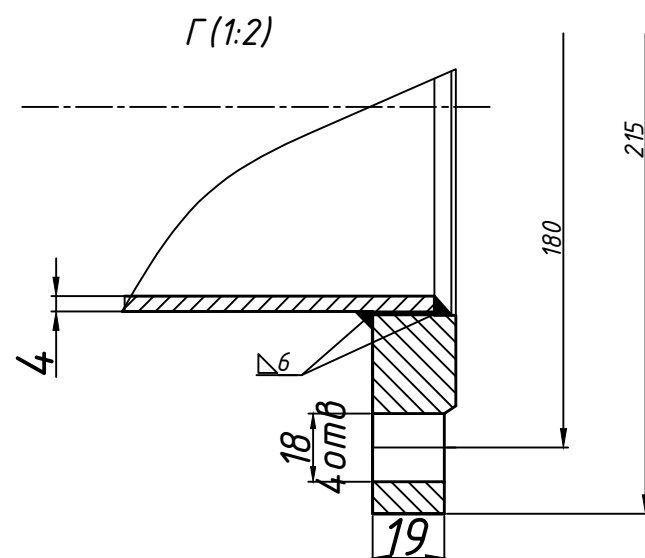
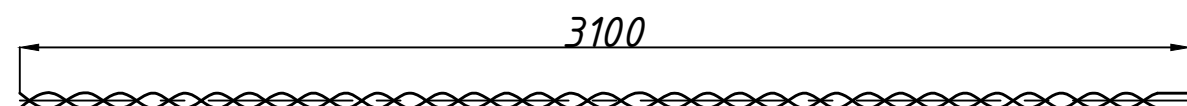


						08-15.BKP.005.04.00.000 Г5		
						м. Київ		
Зм.	Кіл. уч.	Аркуш	№ док.	Підп.	Дата	Модернізація водогрійної котельні Київського зоологічного парку	Стадія	Аркуш
Розробив	Баган М.А.							
Перевірив	Боднар Л.А.					Схема монтажна аксонометрична		
Т.контроль								
Рецензент	Кучеренко Л.В.						ВНТУ, ст. гр. ТЕ-23мс	
Н.контроль	Боднар Л.А.							
Затвердив	Степанов Д.В.							

Формат		Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіль.	Примітка
А3					Документація		
				08-15.БКР.005.05.00.000.СК	Складальне креслення		
					Складальні одиниці		
Справ. №			1	08-15.БКР.005.05.01.000	Конвективний пучок (2 хід)	1	
			2	08-15.БКР.005.05.02.000	Конвективний пучок (1 хід)	1	
			3	08-15.БКР.005.05.03.000	Топка котла	1	
			4	08-15.БКР.005.05.04.000	Отвори для подачі вторинного повітря	15	
			5	08-15.БКР.005.05.05.000	Водяна сорочка топки	1	
			6	08-15.БКР.005.05.06.000	Рухома колосникова решітка	1	
			7	08-15.БКР.005.05.07.000	Шнек для подачі палива	1	
			8	08-15.БКР.005.05.08.000	Штуцер для подачі зворотної води	1	
			9	08-15.БКР.005.05.09.000	Штуцер для подачі прямої води	1	
			10	08-15.БКР.005.05.10.000	Інтенсифікатор теплообміну	196	
			11	08-15.БКР.005.05.11.000	Вентилятор для подачі вторинного повітря		
			12	08-15.БКР.005.05.12.000	Вентилятор для подачі первинного повітря		
			13	08-15.БКР.005.05.13.000	Люк		
			14	08-15.БКР.005.05.14.000	Люк з вмонтованими елементами системи обдуву труб		
			15	08-15.БКР.005.05.15.000	Димохід		
			16	08-15.БКР.005.05.16.000	Ревізійний отвір		
			17	08-15.БКР.005.05.17.000	Шнек для видалення золи		
			18	08-15.БКР.005.05.18.000	Зольний скребок		
			19	08-15.БКР.005.05.19.000	Дверцята		
Підп. і дата							
Взам. інв. №							
Інв. № дціл.							
Підп. і дата							
Інв. № орг.							



Інтенсифікатор теплообміну (М 1:20)



Технічні характеристики

Потужність 3000 кВт

Температура прямої мережної води 95°C

Температура зворотної води 70 °C

Паливо - гранули з лушпиння соняшнику

Витрата котлової води 28,64 кг/с

Витрата палива 795 кг/год

ККД котла 87 %

08-15. БКР.006.05.00.000. СК					Лім.			Лист		Масштаб	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Водогрійний котел потужністю 3 МВт			1		1:30	
Розроб.	Баган М.А.										
Перевір.	Боднар Л.А.										
Т.контр.											
Реценз.	Кучеренко Л.В.										
Н.контр.	Боднар Л.А.				ВНТУ, ТЕ-23 мс						
Затверд.	Степанов Д.В.										