

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 ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«Модернізація водогрійної котельні в місті Могилів-Подільський»

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ – 22 мс
спеціальності 144 – Теплоенергетика

(шифр і назва спеціальності)

Куленко О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТЕ

Боднар Л. А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент каф. БМГА

Андрухов В.М.
(прізвище та ініціали)

Допущено до захисту

завідувач кафедри ТЕ

К.т.н., доц. Степанов Д.В.

(прізвище та ініціали)

« 18 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТЕ
Д. В. Степанов
" 16 " 09 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Куленку Олександру Олексійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи "Модернізація водогрійної котельні в місті Могилів-Подільський"

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 11.03.2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи 17.06.2024 року

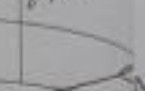
3. Вихідні дані до роботи: потужність системи опалення $Q_{op}=1600$ кВт, система
закрита, графік мережної води $95/70^{\circ}\text{C}$, температура сирогої води 5°C ; температура
зовнішнього повітря -21°C ; марки встановлених котлів КСВа-1.0Гн «ВК-22» (2 шт),
паливо газ з $Q_p = 35,58$ МДж/м³, відновлювані види палива; коефіцієнт корисної дії
котла на газу становить 91%; тривалість опалювального періоду 189 діб; тривалість
максимальноопалювального періоду 20 діб.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналітичний огляд літературної інформації; розрахунок теплової схеми
котельні і багатоваріантний аналіз шляхів її модернізації; водогрійний котел на трісці
деревини; технологія монтажу водогрійного котла на твердому паливі та
допоміжного обладнання; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
схема котельні теплової принципова; план розташування обладнання; план
розташування обладнання після модернізації; трубопроводи добудованої котельні,

план на відмітці -0,270; модернізована схема котельні теплова принципно
 водогрійний котел потужністю 800 кВт.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видан	завдан прийм
1-4	Боднар Л.А., к.т.н., доц. кафедри ТЕ		
5	Кобилянський О.В., д.пед.н., професор кафедри БЖДПБ		
Н.контроль	Співак О.Ю., к.т.н., доц. кафедри ТЕ		

7. Дата видачі завдання 15 березня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прізвище
	Назви розділів		
1	Аналітичний огляд літературної інформації	15.03.2024 – 20.03.2024 р.	
2	Розрахунок теплової схеми котельні і багатоваріантний аналіз шляхів її модернізації	21.03.2024 – 10.04.2024 р.	
3	Водогрійний котел на трісці деревини	11.04.2024 – 27.04.2024 р.	
4	Технологія монтажу водогрійного котла на твердому паливі та допоміжного обладнання	28.04.2024 – 15.05.2024 р.	
5	Охорона праці	16.05.2024 – 25.05.2024 р.	
6	Оформлення БДР	26.05.2024 – 01.06.2024 р.	
7	Захист БДР	19.06.2024 р.	

Студент


(підпис)

Куленко О. О.
(прізвище та ініціали)

Керівник БДР


(підпис)

Боднар Л. А.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.1

Куленко О.О. Модернізація водогрійної котельні в місті Могилів-Подільський. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – Теплоенергетика, освітня програма – Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2024, 81 с.

Бібліогр.: 51 назв; рис.: 4; табл. 12.

В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи проведено модернізацію водогрійної котельні в м. Могилів-Подільський. Виконано аналітичний огляд літературної інформації по конструкціях водогрійних котлів на відновлюваних видах палива та технологіях спалювання твердого палива в котельні. Проаналізовано технологічні проблеми під час спалювання біомаси. На основі огляду літературної інформації, визначено сучасні конструкції водогрійних котлів на твердому паливі та обрано раціональну технологію спалювання твердого палива в котельні.

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 тріски деревини. Визначено техніко-економічні та екологічні показники обраного варіанту модернізації. Проведено підбір обладнання необхідного для модернізації. Розроблено технологію монтажу водогрійного котла на твердому паливі. Розроблено високоефективну конструкцію водогрійного котла для спалювання тріски деревини. У розділі з охорони праці розроблено рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто заходи з дотримання електробезпеки. Графічна частина роботи складається з шести креслень.

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

ABSTRACT

Kulenko O.O. Modernization of the water heating boiler house in the city of Mohyliv-Podilskyi. Bachelor's qualification thesis on specialty 144 - Heat and power engineering, educational program - Heat power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2024, 81 p. Bibliogr: 51 titles; Fig.: 5; table 12.

As a result of completing the bachelor's thesis, the modernization of the water heating boiler house in the city of Mogilev-Podilskyi was carried out. Analytical review of literature information on constructions of water heating boilers on renewable types of fuel and solid fuel burning technologies in the boiler room was carried out. Technological problems during biomass burning are analyzed. Based on the literature review, modern designs of water heating boilers on solid fuel were determined and a rational technology of burning solid fuel in the boiler room was chosen.

The calculation of the thermal scheme of the boiler room when operating on natural gas was carried out and the technical and economic indicators of the boiler room operation were determined. A multivariate analysis of ways to modernize the boiler room was conducted and the option of converting the boiler room to burning wood chips was chosen. The technical, economic and environmental indicators of the chosen modernization option were determined. Equipment necessary for modernization was selected. The technology of installation of a water heating boiler on solid fuel has been developed. A highly efficient design of a water heating boiler for burning wood chips has been developed. six drawings. The section on labor protection has developed recommendations for improving working conditions, as well as measures to comply with electrical safety. The graphic part of the work consists of six 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	6
1.2 Водогрійні котли на відновлюваних видах палива	6
1.2 Вибір технології спалювання твердого палива в котельні	7
2 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ І	І
БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЇЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ.....	9
2.1 Аналіз і розрахунок теплової схеми котельні.....	9
2.2 Розрахунок теплової схеми для середньоопалювального режиму	12
2.3 Вибір основного та допоміжного обладнання	16
2.3.1 Перевірка котлоагрегатів.....	16
2.3.2 Перевірка насосів	16
2.3.3 Розрахунок діаметрів трубопроводів	19
2.4 Техніко-економічні показники роботи котельні.....	20
2.5 Аналіз варіантів модернізації котельні.....	25
2.6. Розрахунок техніко-економічних показників роботи водогрійної котельні на різних типах біопалива.....	27
2.7 Розрахунок валових викидів забруднювальних речовин під час спалювання природного газу	32
2.8 Розрахунок валових викидів забруднювальних речовин під час спалювання тріски деревини.....	35
2.9 Підбір обладнання для проведення модернізації.....	40
2.9.2 Бункер для подачі палива.....	41
2.9.4 Механізований склад палива	41
2.9.5 Підбір циклона.....	42
2.10 Визначення висоти димової труби в котельні.....	42
3 ВОДОГРІЙНИЙ КОТЕЛ НА ТРІСЦІ ДЕРЕВИНИ.....	55
3.1 Обґрунтування конструкції котла	55
3.2 Початкові дані для розробки водогрійного котла на твердому паливі	56

4 ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА НА ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ ТА ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	57
4.1 Організаційно-технічна підготовка монтажу.....	57
4.2 Склад робіт.....	58
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	65
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	65
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	65
5.1.2 Електробезпека.....	68
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	69
5.2.1 Мікроклімат	69
5.2.2 Склад повітря робочої зони.....	69
5.2.3 Виробниче освітлення	70
5.2.4 Виробничий шум.....	71
5.2.5 Виробничі вібрації	72
5.3. Пожежна безпека.....	73
ВИСНОВКИ	75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	77
ДОДАТКИ.....	83
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	84
Додаток Б (обов'язковий) Технічне завдання	85
Додаток В (довідниковий) Результати розрахунку водогрійного котла за допомогою програми “Тепловий розрахунок водогрійних котлів малої потужності на традиційних та альтернативних паливах”	88
Додаток Г (обов'язковий) Графічна частина.....	90

ВСТУП

Комунальні та приватні котельні потребують модернізації. Основну їх частину було введено в експлуатацію 40 і більше років тому. За цей час обладнання зносилося фізично та морально. Тому пошук оптимальних рішень для модернізації котелень – актуальна тема.

Переобладнання котелень актуальне в різних ситуаціях: значне фізичне та моральне зношування обладнання; низький коефіцієнт корисної дії встановлених котлів; зношеність мереж. Застаріле обладнання, яке потребує модернізації, характеризується викидами в атмосферу великих обсягів отруйних частинок. Оновлення котельного обладнання – значні фінансові вкладення. Однак вони згодом окупаються [1].

Модернізація котелень буває двох видів: часткова і комплексна. Відрізняється обсягом робіт і підходом до реалізації поставлених завдань

Часткова модернізація полягає в заміні окремих вузлів, частин. Проводиться, коли виявлено зношування частини обладнання. Роботи дозволяють усунути аварії у майбутньому, або мінімізувати їхню ймовірність. В окремих випадках часткова модернізація дозволяє підвищити рівень ККД, знизити витрати.

Комплексна модернізація передбачає повний цикл робіт із заміни обладнання. У деяких випадках можуть проводитися зміни у конструкції будівлі. Обов'язково опрацьовується детальна проектна документація. У ході роботи фахівці підбирають оптимальні котли, системи управління, виконують монтаж, здійснюють пуско-налагоджувальні роботи [2].

Результатом модернізації є: вихід на оптимальний режим роботи та подачі тепла; підвищення показників продуктивності; збільшення ККД; підвищення теплової потужності; зниження витрат обслуговування системи; зменшення обсягу споживаного палива; зменшення кількості обслуговуючого персоналу; зниження обсягів викиду негативних частинок.

Наразі Україна не в повній мірі використовує потенціал переробної промисловості та агросектору для виробництва альтернативних видів енергії, які можуть задовольняти енергетичні потреби цих галузей, а також і економіки. За даними Енергетичного балансу України, у виробництві теплової енергії частка твердого біопалива та відходів у 2020 р. не досягала 5 %, а у Швеції вона становить 60 %, Австрії – 31 %, Фінляндії – 27 %, Латвії – 15 % [3]. В зв'язку з цим, модернізація котелень із застосуванням відновлюваних видів палива є актуальною задачею.

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

Завдання БДР:

- 1) аналітичний огляд літературної інформації;
- 2) аналіз показників роботи котельні і багатоваріантний аналіз шляхів її модернізації;
- 3) розробка конструкції водогрійного котла на трісці деревини;
- 4) розробка технології монтажу водогрійного котла на трісці деревини;
- 5) розробка заходів з охорони праці.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

1.2 Водогрійні котли на відновлюваних видах палива

На сьогоднішній день існує багато різних конструкцій водогрійних котлів на твердому паливі. Твердопаливні котли працюють на дровах, деревних брикетах, гранулах, вугіллі. В деяких котлах може спалюватись суміш палив. Існують також комбіновані моделі твердопаливних котлів, які здатні переключатися на рідке паливо або газ [4]. Перевагою котлів на твердому паливі є економічність і можливість створення повністю автономної системи опалення.

Недоліком твердопаливних котлів є необхідність періодичної закладки палива, що вимагає постійного обслуговування котла. В залежності від типу і конструкції котла та режиму роботи, час між закладками може становити від декількох годин, до двох-трьох днів.

Котли на твердому паливі класифікують [5]: за функціональним призначенням; за матеріалом, з якого виготовлений котел; за залежністю від електроенергії; за способом видалення відхідних газів; за способом спалювання; за способом завантаження.

Можна виділити шість типів котлів на твердому паливі [6]: дров'яні котли, котли тривалого горіння, котли верхнього горіння, котли шахтного типу (Холмова), піролізні котли (або газогенераторні), пелетні котли.

В роботі [7] описано конструкцію твердопаливного водогрійного котла, що містить корпус, виконаний у вигляді сорочки із теплоносієм (водою), яка утворена подвійними стінками, завантажувальну камеру із завантажувальними отворами та зоною первинного окиснення в нижній частині, камеру догорання генераторного газу і теплообмінник. В цій конструкції топка вимощена шамотною цеглою, а котел містить систему регулювання та подавання первинного та вторинного повітря.

В роботі [8] наведено конструкцію котла твердопаливного водогрійного циліндричного, що складається з корпуса з подвійною стінкою, спірального

теплообмінника, камери згоряння, отворів завантаження палива, видалення золи та виходу димових газів, пристрій подачі повітря, при цьому водяний контур сформований двома конструктивними частинами - подвійними стінками камери згорання та теплообмінником з трубчатими каналами перемінного перерізу.

На ринку опалювального обладнання набули популярності газогенераторні водогрійні котли [9]. В основі роботи таких котлів лежить принцип термічного розкладання твердого палива: в камері завантаження, під впливом високої температури, в умовах нестачі окиснювача, з палива виділяється генераторний газ, що містить СО, та інші гази; утворений газ, проходячи через керамічне сопло, змішується з вторинним повітрям і далі згорає в камері згоряння у вигляді факела; димові гази з камери згоряння, проходячи по газотрубному теплообміннику, віддають своє тепло воді і через димохід відводяться в димову трубу. Такі котли мають високий ККД і можуть спалювати вологе паливо. Досить часто теплообмінники таких котлів оснащують інтенсифікаторами.

З огляду літератури видно, що сучасні водогрійні котли на твердому паливі як правило конструюють з двостадійною подачею повітря, що забезпечує ефективне спалювання палива, жаротрубні теплообмінники котлів оснащують інтенсифікаторами теплообміну. Внутрішню поверхню топки в сучасних котлах викладають з кераміки.

1.2 Вибір технології спалювання твердого палива в котельні

Технологічні рішення для виробництва теплової енергії з біомаси залежать від масштабу та призначення теплогенеруючих установок, а також виду біомаси, що використовується як паливо.

Технології спалювання біомаси розділяють на три основні типи: спалювання в шарі, пилове спалювання, спалювання в псевдозрідженому стані, а також комбінований тип – сумісне спалювання біомаси з іншими паливами [10].

Котел, призначений для спалювання в шарі включає [11]: паливну решітку на якій відбувається процес горіння, паливоживильний пристрій (механічний, гідравлічний чи пневматичний), систему подачі повітря та видалення золи.

Первинне повітря подається під колосникову решітку і через отвори проникає в шар палива, де викликає процес газифікації горючих газів. Вторинне повітря подається над шаром палива, що горить й супроводжує процес допалювання газоподібних речовин. Зола, яка утворилась в процесі спалювання періодично видаляється з котла. Переваги цього способу спалювання: низькі інвестиційні витрати; невисокі експлуатаційні витрати; менша чутливість до шлакування колосників. Цей спосіб має також недоліки: неоднорідність спалювання, необхідне вдосконалення керування процесом спалювання з метою зниження рівня викидів при навантаженнях відмінних від номінального. При такому способі спостерігається неефективне спалювання суміші різних типів біомаси.

Технологія спалювання в киплячому шарі передбачає спалювання свіжого палива в суміші розігрітого інертного матеріалу та золених часток. Переваги такого способу [10]: низький рівень емісії шкідливих речовин; низький надлишок повітря (3-4%) підвищує ефективність. Недоліки цього способу: високі інвестиційні та експлуатаційні витрати; доцільно застосовувати для великих установок (більше 20 МВт); частинки палива повинні бути менші 80 мм; необхідність у розпалювальному пальнику.

Під час спалювання біомаси виникає ряд технологічних проблем [9]. При спалюванні занадто ского палива виникає небезпека перегріву та пошкодження колосникової решітки, розплавлення золи (характерно для соломи), припікання золи до вогнетривів, а також створення агломератів в шарі палива.

Якщо спалювати запилене паливо (тирсу, соломі зернових, тощо), то виникає небезпека забруднення в котельні та навколо паливозавантажувальної станції; виникає ризик пожежі та вибуху (як у котлі так і в системі обробки димових газів).

При спалюванні вологого палива спостерігається зменшена потужність котла, неповне згорання палива, висока температура димових газів. У місцях складування такого палива можливе його замерзання. Спостерігається перевантаження паливоприймального пункту, конвеєрів.

2 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ І БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЇЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

2.1 Аналіз і розрахунок теплової схеми котельні

Система опалення живиться від водогрійної котельні. Згідно завдання потужність системи опалення $Q_{\text{оп}}=1600$ кВт, система замкнута, графік мережної води 95/70°C, температура сирої води 5 °C. Температура зовнішнього повітря -21 °C. Марки встановлених котлів КСВа-1.0Гн «ВК-22», паливо – природний газ з $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 35,58$ МДж/м³, ККД котла 91%. Розрахунок теплової схеми проводимо за методиками наведеними у [12 – 13]:

Температура води в прямому трубопроводі теплової мережі в тепловому пункті

$$t'_{\text{пр}} = t_{\text{пр}} - 2, \quad (2.1)$$

$$t'_{\text{пр}} = 95 - 2 = 93 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура води в зворотному трубопроводі в тепловому пункті

$$t'_{\text{зв}} = t_{\text{зв}} + 2, \quad (2.2)$$

$$t'_{\text{зв}} = 70 + 2 = 72 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Витрата мережної води на опалення

$$G_{\text{тм}}^{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{C_p \cdot (t'_{\text{пр}} - t'_{\text{зв}})}, \quad (2.3)$$

$$G_{\text{тм}}^{\text{оп}} = \frac{1600}{4,19 \cdot (93 - 72)} = 18,2 \text{ (кг/с)}.$$

Загальна витрата мережної води

$$G_{\text{тм}} = G_{\text{тм}}^{\text{оп}}, \quad (2.4)$$

$$G_{\text{тм}} = 18,2 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата води для підживлення мережі

$$G_{\text{пж}} = G_{\text{тм}} \cdot \alpha, \quad (2.5)$$

$$G_{\text{пж}} = 18,2 \cdot 0,015 = 0,273 \text{ (кг/с)}.$$

де α – частка втрат мережної води, пов'язаних з витіканням води в мережах.

Витрата сирі води

$$G_{\text{сир.вод.}} = G_{\text{пж}} \cdot 1,2, \quad (2.6)$$

$$G_{\text{сир.вод.}} = 0,273 \cdot 1,2 = 0,327 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата мережної води перед лінією рециркуляції

$$G'_{\text{тм}} = G_{\text{тм}} \cdot (1 - \alpha) + G_{\text{пж}}, \quad (2.7)$$

$$G'_{\text{тм}} = 18,2 \cdot (1 - 0,015) + 0,273 = 18,5 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата зворотної води

$$G_{\text{зв}} = G_{\text{тм}} - G_{\text{пж}}, \quad (2.8)$$

$$G_{\text{зв}} = 18,2 - 0,273 = 17,93 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата води через мережний насос

$$G_{\text{мн}} = G_{\text{зв}} + G_{\text{пж}}, \quad (2.9)$$

$$G_{\text{мн}} = 17,93 + 0,273 = 18,2 \text{ (кг/с)}.$$

Температура води на виході з мережного насосу

$$t_{\text{мн}} = \frac{G_{\text{зв}} \cdot t_{\text{зв}} + G_{\text{пж}} \cdot t_{\text{св}}}{G_{\text{мн}}}, \quad (2.10)$$

$$t_{\text{мн}} = \frac{17,93 \cdot 70 + 0,273 \cdot 5}{18,2} = 69 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Витрата котлової води

$$G_{\text{к}} = G_{\text{мн}}, \quad (2.11)$$

$$G_{\text{к}} = 18,2 \text{ (кг/с)}.$$

Потужність підігрівника хімічещеної води

$$Q_{\text{пхво}} = G_{\text{пм}} \cdot C_p \cdot (t_{\text{дв}} - t_{\text{св}}) \quad (2.12)$$

$$Q_{\text{пхво}} = 0,273 \cdot 4,19 \cdot (20 - 5) = 17,2 \text{ (кВт)}.$$

Потужність котельні

$$Q_{\text{кот}} = G_{\text{к}} \cdot C_p \cdot (t'' - t'), \quad (2.13)$$

$$Q_{\text{кот}} = 18,2 \cdot 4,19 \cdot (95 - 70) = 1906 \text{ (кВт)}.$$

Розрахункова витрата палива

$$B_p = \frac{Q_{\text{кот}}}{Q_{\text{н}}^p \cdot \eta_{\text{кот}}}, \quad (2.14)$$

де $Q_{\text{н}}^p = 35,58 \text{ МДж/м}^3$ – нижня теплота згорання природного газу,

$\eta_{\text{кот}}$ – ККД котла, який дорівнює 91%.

$$B_p = \frac{1,906}{35,58 \cdot 0,91} = 0,059 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Витрата умовного палива

$$B_y = \frac{Q_{\text{кот}}}{Q_{\text{ну}}^p \cdot \eta_{\text{кот}}} \quad (2.15)$$

$$B_y = \frac{1,906}{29,3 \cdot 0,91} = 0,071 \text{ (кг/с)} = 257 \text{ (кг/год)}.$$

ККД котельні

$$\eta = \frac{Q_{\text{оп}}}{B_y \cdot Q_{\text{нy}}}, \quad (2.16)$$

$$\eta = \frac{(1600) \cdot 10^{-3}}{0,071 \cdot 29,3} = 0,769.$$

2.2 Розрахунок теплової схеми для середньоопалювального режиму

Розрахункова внутрішня температура опалювальних приміщень $t_{\text{в,р}}=19^\circ\text{C}$.

Відносне теплове навантаження для опалення при t_3

$$\frac{Q'_0}{Q_0} = \frac{t_{\text{в,р}} - t_3}{t_{\text{в,р}} - t_{3,0}}, \quad (2.17)$$

де $t_{\text{в,р}}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря, $t_{\text{в,р}}=18^\circ\text{C}$;

t_3 – середня температура опалювального періоду, $t_3 = -1,1^\circ\text{C}$;

$t_{3,0}$ – температура зовнішнього повітря, $t_{3,0} = -21^\circ\text{C}$;

$$\left(\frac{Q'_0}{Q_0} \right)_{\text{оп}} = \frac{18+1,1}{18-(-21)} = 0,48.$$

Температурний напір опалювального приладу в розрахунковому режимі

$$\Delta t_0 = \frac{(t_{10} + t_{20})}{2} - t_{\text{вр}} \quad (2.18)$$

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

де t_{10} – температура в подавальному трубопроводі, без використання елеватора становить $t_{10} = 95 \text{ } ^\circ\text{C}$;

t_{20} – температура в зворотному трубопроводі, $t_{20} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Перепад температур мережної води для розрахункового режиму

$$\Delta \tau_o = t_{10} - t_{20}, \quad (2.19)$$

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

де $\tau_{10} = 95 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура в прямому трубопроводі,

$\tau_{20} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура в зворотному трубопроводі.

Перепад температур води в опалювальній системі для розрахункового режиму

$$\Theta_o = \Delta \tau_o = 25 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура в подавальному трубопроводі при t_3

$$\tau_1 = t_{\text{в.п}} + \Delta t_o \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right)_{\text{оп}}^{0,8} + (\Delta \tau_o - 0,5 \cdot \Theta_o) \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right), \quad (2.20)$$

$$\tau_1 = 18 + 64,5 \cdot 0,48^{0,8} + (25 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,48 = 59,86 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Беремо для подальших розрахунків $60 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Температура в зворотному трубопроводі при t_3

$$\tau_2 = t_{в.р} + \Delta t_o \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right)_{оп}^{0,8} - 0,5 \cdot \Theta_o \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right), \quad (2.21)$$

$$\tau_2 = 18 + 64,5 \cdot 0,48^{0,8} - 0,5 \cdot 25 \cdot 0,48 = 47,86 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Беремо для подальших розрахунків 48 °С.

Початкові дані для середньоопалювального періоду: температура води в прямому трубопроводі на виході з котельні становить $t_{пр}=60 \text{ } ^\circ\text{C}$; температура води в зворотному трубопроводі на вході в котельню $t_{зв} = 48 \text{ } ^\circ\text{C}$; температура сирії води $t_{св}=5 \text{ } ^\circ\text{C}$; теплова потужність опалення $Q_{оп} = 1600 \text{ кВт}$.

Витрата мережної води в системі опалення

$$G_{\text{тм}}^{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{оп}} \cdot \left(\frac{Q'_o}{Q_o} \right)_{оп}}{C_p \cdot (\tau_1 - \tau_2)}, \quad (2.22)$$

$$G_{\text{тм}}^{\text{оп}} = \frac{1600 \cdot 0,48}{4,19 \cdot (60 - 48)} = 15,3 \text{ (кг/с)}.$$

Загальна витрата мережної води $G_{\text{тм}} = 15,3 \text{ (кг/с)}$.

Витрата води для підживлення мережі

$$G_{\text{пж}} = G_{\text{тм}} \cdot \alpha, \quad (2.23)$$

де α – частка втрат мережної води, пов'язаних з витіканням води в мережах.

$$G_{\text{пж}} = 15,3 \cdot 0,015 = 0,23 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата сирії води

$$G_{\text{сир.вод.}} = G_{\text{пж.}} \cdot 1,2, \quad (2.24)$$

$$G_{\text{сир.вод.}} = 0,23 \cdot 1,2 = 0,27 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата мережної води перед лінією рециркуляції

$$G'_{\text{тм}} = G_{\text{тм}} \cdot (1 - \alpha) + G_{\text{пж}}, \quad (2.25)$$

$$G'_{\text{тм}} = 15,3 \cdot (1 - 0,015) + 0,23 = 15,3 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата зворотної води

$$G_{\text{зв}} = G_{\text{тм}} - G_{\text{пж}}, \quad (2.26)$$

$$G_{\text{зв}} = 15,3 - 0,23 = 15,07 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата котлової води $G_{\text{к}} = 15,3 \text{ (кг/с)}$.

Потужність котельні

$$Q_{\text{кот}} = G_{\text{к}} \cdot C_p \cdot (\tau_1 - \tau_2), \quad (2.27)$$

$$Q_{\text{кот}} = 15,3 \cdot 4,19 \cdot (60 - 48) = 769 \text{ (кВт)}.$$

Розрахункова витрата палива

$$B_p = \frac{Q_{\text{кот}}}{Q_{\text{н}}^p \cdot \eta_{\text{кот}}}, \quad (2.28)$$

$$B_p = \frac{769 \cdot 10^{-3}}{35,58 \cdot 0,91} = 0,024 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Витрата умовного палива

$$B_y = \frac{769 \cdot 10^{-3}}{29,3 \cdot 0,91} = 0,029 \text{ (кг/с)} = 103,8 \text{ (кг/год)}.$$

ККД котельні за формулою (2.16)

$$\eta = \frac{769 \cdot 10^{-3}}{0,029 \cdot 29,3} = 0,905.$$

2.3 Вибір основного та допоміжного обладнання

2.3.1 Перевірка котлоагрегатів

Вибір водогрійного котла проводимо по розрахунковій продуктивності котельні для максимально-опалювального періоду. $Q_{\text{кот}} = 1600$ кВт, на котельні встановлено 2 котла КСВа-1.0Гн «ВК-22» з загальною потужністю 2 МВт, це повністю забезпечує потреби котельні та споживачів по теплозабезпеченню.

2.3.2 Перевірка насосів

Подача мережного насосу

$$V_{\text{мн}} = \frac{1,1 \cdot G_{\text{мн}} \cdot 3600}{\rho_{\text{мн}}}, \quad (2.29)$$

де $G_{\text{мн}}$ – масова витрата мережної води, кг/с;

$\rho_{\text{мн}} = 983,2$ кг/м³ густина мережної води на вході в мережний насос.

Витрата води в 2-х розрахункових режимах: 18,2 кг/с; 15,3 кг/с.

$$V_{\text{мн}}^{\text{оп}} = \frac{1,1 \cdot 18,2 \cdot 3600}{983,2} = 73,3 \text{ (м}^3\text{/год)},$$

$$V_{\text{мн}}^{\text{соп}} = \frac{1,1 \cdot 15,3 \cdot 3600}{983,2} = 61,6 \text{ (м}^3\text{/год)},$$

На котельні встановлено насоси видатністю 100 м³/год, напором Н=32 м з електродвигуном 4АМ160S2, електричною потужністю 15 кВт, n=2900⁻¹. Отже, насоси підібрано правильно.

Потужність, яка споживається насосом в опалювальний, середньоопалювальний періоди

$$N_{\text{жн}} = (V_{\text{жн}} \cdot H_{\text{жв}} \cdot \rho \cdot g) / (3600 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ел}}), \quad (2.30)$$

де $\eta_{\text{н}}$ – ККД насосу;

$\eta_{\text{ел}}$ – ККД електромеханічний.

$$N_{\text{жн}}^{\text{оп}} = (73,3 \cdot 32 \cdot 983,2 \cdot 9,81) / (3600 \cdot 0,8 \cdot 0,96) = 8,2 \text{ (кВт)},$$

$$N_{\text{жн}}^{\text{соп}} = (61,6 \cdot 32 \cdot 983,2 \cdot 9,81) / (3600 \cdot 0,8 \cdot 0,96) = 6,9 \text{ (кВт)}.$$

Подача підживлювальних насосів

$$V_{\text{пж}} = \frac{1,1 \cdot G_{\text{пж}} \cdot 3600}{\rho_{\text{пж}}}, \quad (2.31)$$

де $G_{\text{пж}}$ – масова витрата підживлювальної води, кг/с;

$\rho_{\text{пж}}$ – густина підживлювальної води на вході в підживлювальний насос, яка дорівнює 999,8 кг/м³ при температурі 5 °С.

Подача підживлювальних насосів

$$V_{\text{пж}}^{\text{оп}} = \frac{1,1 \cdot 0,273 \cdot 3600}{999,8} = 1,1 \text{ (м}^3\text{/год)},$$

$$V_{\text{пж}}^{\text{соп}} = \frac{1,1 \cdot 0,23 \cdot 3600}{999,8} = 0,91 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено два підживлювальні насоси видатністю 25 м³/год, напором Н=32 м з електродвигуном 4АМ100L2, електричною потужністю 5,5 кВт, n=2900⁻¹. Видатність встановлених насосів значно перевищує розрахункові параметри.

Потужність, яка споживається насосом в опалювальний, середньоопалювальний періоди

$$N_{\text{пж}} = (V_{\text{жн}} \cdot H_{\text{жв}} \cdot \rho \cdot g) / (3600 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ел}}) \text{ [кВт]}, \quad (2.32)$$

де $\eta_{\text{н}}$ – ККД насосу;

$\eta_{\text{ел}}$ – ККД електромеханічний.

$$N_{\text{пж}}^{\text{оп}} = (1,1 \cdot 32 \cdot 999,8 \cdot 9,81) / (3600 \cdot 0,72 \cdot 0,96) = 0,14 \text{ (кВт)},$$

$$N_{\text{пж}}^{\text{соп}} = (0,91 \cdot 32 \cdot 983,2 \cdot 9,81) / (3600 \cdot 0,72 \cdot 0,96) = 0,1 \text{ (кВт)},$$

Розрахункову електричну потужність котельні знаходимо як суму потужностей мережного насосу, одного підживлювального насосу.

$$N_{\text{к}} = N_{\text{мн}} + N_{\text{пн}}, \quad (2.33)$$

$$N_{\text{к}}^{\text{оп}} = 8,2 + 0,14 = 8,34 \text{ (кВт)},$$

$$N_{\text{к}}^{\text{соп}} = 6,9 + 0,1 = 7 \text{ (кВт)}.$$

2.3.3 Розрахунок діаметрів трубопроводів

Розрахунок трубопроводів для опалювального контуру

Для розрахунково максимально-опалювального режиму діаметр теплової мережі буде становити [13]

$$d_{\text{TM}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{TM}}}{\pi \cdot \omega \cdot \rho_{\text{B}}}}, \quad (2.34)$$

де ω – швидкість теплоносія в трубопроводі, приймаємо $\omega=1$ м/с;

ρ – густина теплоносія в трубопроводі, кг/м³.

$$d_{\text{TM}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 18,2}{3,14 \cdot 1 \cdot 983,2}} = 0,153 \text{ (м)}.$$

Приймаємо стандартний діаметр $d=159 \times 3,5$ мм.

Діаметр труб системи підживлення для середньоопалювального режиму

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{ПЖ}}}{\pi \cdot \omega \cdot \rho_{\text{B}}}} \quad (2.33)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,273}{3,14 \cdot 1 \cdot 999,8}} = 0,019 \text{ (м)}.$$

Приймаємо стандартний діаметр $d=25 \times 2,5$ мм.

2.3.4 Розрахунок та вибір вентилятора

Розрахункова подача вентилятора

$$Q_b = 1,1 \cdot B_p \cdot V^0 \cdot \alpha_b \cdot (t + 273) / 273 \text{ [м}^3/\text{с]}, \quad (2.34)$$

де B_p – витрата палива при роботі котла, $0,03 \text{ м}^3/\text{с}$;

$V^0 = 9,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – об'єм теоретичної кількості повітря;

$\alpha_b = 1,25$ – коефіцієнт надлишку повітря;

$t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура повітря перед вентилятором.

$$Q_b = 1,1 \cdot 0,03 \cdot 9,2 \cdot 1,25 \cdot (20 + 273) / 273 = 0,41 \text{ (м}^3/\text{с)}.$$

Переводимо в $\text{м}^3/\text{год}$

$$Q_b = 0,41 \cdot 3600 = 1476 \text{ (м}^3/\text{год)}.$$

За визначеною подачею вентилятора вибираємо вентилятор ВК-15/10 видатністю $1500 \text{ м}^3/\text{год}$, потужність електродвигуна $1,1 \text{ кВт}$, $n=2770 \text{ об/хв}$, напір 2780 Па [9].

2.4 Техніко-економічні показники роботи котельні

Розрахунок виконано згідно [12].

Тривалість роботи підприємства складає 187 днів .

Річна витрата палива

$$B_{\text{річ}} = B_p^{\text{макс}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{макс}} + B_p^{\text{со}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{со}}, \quad (2.33)$$

$$B_{\text{річ}} = 0,059 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 20 + 0,024 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 169 = 452390 \text{ (млн.м}^3/\text{рік)}.$$

Витрати на паливо

$$C_{\text{пал}} = B_{\text{річ}} \cdot \Pi_{\text{пал}} \cdot k_{\text{вп}}, \quad (2.34)$$

де $k_{\text{вп}}$ – коефіцієнт, який враховує втрати палива, 1,007;

$\Pi_{\text{пал}}$ – вартість палива, яка становить 17,763 грн/м³ [8]

$$C_{\text{пал}} = 0,45239 \cdot 17,763 \cdot 1,007 = 8,09 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Споживання електричної енергії насосами в максимальноопалювальний період

$$N = Ne^{\text{оп}} \cdot \tau, \quad (2.35)$$

де $Ne^{\text{оп}}$ – потужність приводів нагнітачів, кВт;

τ – тривалість максимальноопалювального періоду, годин, беремо 20 діб;

$$N_{\text{н.макс.}} = (8,2 + 0,14) \cdot 20 \cdot 24 = 4000 \text{ (кВт·год)}.$$

Аналогічно визначимо споживання електричної енергії в середньоопалювальний період

$$N_{\text{н.ср.}} = (6,9 + 0,1) \cdot 169 \cdot 24 = 28392 \text{ (кВт·год)}.$$

Споживання електричної енергії вентилятором

$$N_{\text{в}} = Ne^{\text{в}} \cdot \tau, \quad (2.36)$$

де $Ne^{\text{в}}$ – електрична потужність електродвигуна вентилятора, в максимальноопалювальний період беремо 1,1 кВт, в середньоопалювальний 0,8 кВт.

$$N_B = 1,1 \cdot 20 \cdot 24 + 0,8 \cdot 24 \cdot 169 = 3773 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Сумарне споживання електричної енергії

$$\Sigma N = N_{H.макс} + N_{H.со} + N_B, \quad (2.37)$$

$$\Sigma N = 4000 + 28392 + 3773 = 36165,$$

Витрати на електричну енергію

$$C_{ел} = N \cdot \Pi_{ее}, \quad (2.38)$$

де $\Pi_{ее}$ – вартість електроенергії, яка становить 6 грн за кВт·год [8]

$$C_{ее} = 36165 \cdot 6 = 0,217 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Затрати на воду

$$C_B = V \cdot \Pi_B, \quad (2.39)$$

де Π_B – вартість води 25 грн/м³.

$$C_B = 2000 \cdot 25 = 50000 \text{ (грн/рік) або } 0,05 \text{ (млн.грн./рік)}$$

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

Капітальні вкладення на монтаж доставку та налагодження обладнання складає 40% від суми капіталовкладень на обладнання, тобто

$$k_M = 0,4 \cdot k_c, \quad (2.40)$$

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

Сумарні капіталовкладення на котельню

$$k = k_m + k_c, \quad (2.41)$$

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

Витрати на амортизацію

$$C_a = k \cdot H_a, \quad (2.42)$$

де H_a – норма амортизаційних відрахувань;

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

Витрати на поточний ремонт розраховуються як 20% від амортизаційних відрахувань

$$C_{пр} = 0,2 \cdot C_a, \quad (2.43)$$

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

Витрати на заробітню плату

$$C_3 = n \cdot ЗП, \quad (2.44)$$

де n – кількість працюючих людей, приймаємо 8 осіб;

ЗП – заробітня плата, 10000 грн./місяць;

$$C_3 = 8 \cdot 10000 \cdot 12 = 0,96 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Норми відрахувань:

1) до пенсійного фонду, 33,2%;

2) до фонду соціального страхування у зв'язку із тимчасовою втратою працездатності, 2,9%;

3) до фонду соціального страхування на випадок безробіття, 1,6%;

4) до фонду соціального страхування внаслідок нещасного випадку, 2,42%.

Загальні річні витрати на заробітну плату працівникам

$$C_{зп} = C_3 + C_3 \cdot (0,332 + 0,029 + 0,016 + 0,0242), \quad (2.45)$$

$$C_{зп} = 0,96 + 0,96 \cdot (0,332 + 0,029 + 0,016 + 0,0242) = 1,345 \text{ (млн. грн/рік)}.$$

Інші витрати

$$C_i = 0,06 \cdot (C_{пал} + C_{ел} + C_v + C_a + C_{пр} + C_{зп}), \quad (2.46)$$

$$C_i = 0,06 \cdot (8,09 + 0,217 + 0,05 + 0,235 + 0,047 + 1,345) = 0,6 \text{ (млн.грн.)}$$

Загальні річні експлуатаційні витрати

$$C_{річ} = C_{пал} + C_{ел} + C_v + C_{ам} + C_{пр} + C_{зп} + C_i, \quad (2.47)$$

$$C_{річ} = 8,09 + 0,217 + 0,05 + 0,235 + 0,047 + 1,345 + 0,6 = 10,584 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Річний відпуск теплоти

$$Q_{річ} = Q_{сп}^{макс} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{макс} + Q_{сп}^{со} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{со}, \quad (2.48)$$

$$Q_{річ} = 1,6 \cdot 20 \cdot 24 \cdot 3600 + 0,768 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 169 = 13978 \text{ (ГДж/рік)}.$$

Собівартість виробництва теплової енергії

$$CB_{\text{ТЕПЛОТИ}} = \frac{C_{\text{річ}}}{Q_{\text{річ}}}, \quad (2.49)$$

$$CB_{\text{ТЕПЛОТИ}} = \frac{10,584 \cdot 10^6}{13978} = 757 \text{ (грн/ГДж)}.$$

Собівартість виробництва теплової енергії на даній водогрійній котельні висока. Тому потрібно провести модернізацію даної котельні.

2.5 Аналіз варіантів модернізації котельні

Одним із шляхів модернізації котельні є впровадження ефективної системи регулювання [13]. Високоєфективне регулювання дозволяє заощадити в середньому від 4 до 5 % теплової енергії і окуповується протягом року.

Одним із варіантів модернізації котельні є встановлення утилізатора теплоти димових газів [14]. Переваги теплоутилізації: максимальне використання теплоти продуктів згоряння; підвищення коефіцієнта використання палива (КВП); збільшення енергетичного КПД; одержання додаткової гарячої води для потреб опалення й гарячого водопостачання; зниження собівартості виробництва теплової енергії; поліпшення якості тепlopостачання споживачів; зниження викидів в атмосферу шкідливих речовин і зменшення теплового забруднення.

Застосування технологій утилізації димових газів дозволяє одержати значний економічний, екологічний та соціальний ефекти. Економічний ефект визначається такими основними чинниками: підвищенням ефективності використання теплоти палива в котельних установках на 3-10%; організацією виробництва теплоутилізаційного устаткування на вітчизняних підприємствах машинобудівного комплексу.

Екологічна ефективність від реалізації заходів з енергозбереження шляхом утилізації теплоти відхідних газів котлоагрегатів пов'язана зі зменшенням викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище (NO_x, SO₂, тощо); зменшенням

обсягу викидів парникових газів (CO_2 , H_2O); зменшенням теплового забруднення навколишнього середовища [15].

Утилізовану теплоту в системах тепlopостачання доцільно використовувати для попереднього підігріву зворотної води теплових мереж, підігріву води системи гарячого водопостачання, підігріву дуттьового повітря котлоагрегатів, тощо. При цьому коефіцієнт використання енергії палива може бути підвищено до 10%.

Використання теплоти відхідних газів є найбільш ефективним при охолодженні їх до температури нижче точки роси водяної пари, що міститься в газах; при цьому утилізується не тільки фізична теплота газів, але і теплота конденсації пари. Слід зазначити, що при впровадженні технологій утилізації теплоти наявність конденсату у відхідних газах може спричиняти руйнування димової труби та газоходів внаслідок корозії під дією вологи, що може містити в собі кислоти.

Можливі такі варіанти реконструкції та модернізації водогрійної котельні в м. Могилів-Подільський:

- 1) встановлення котла на твердому паливі (гранулах лушпиння соняшнику, гранулах соломи зернових, щепі деревини, деревині, вугіллі);
- 2) встановлення перед котлом передтопки для спалювання твердого палива;
- 3) створення когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна;
- 5) встановлення конденсаційних теплоутилизаторів за котлом;
- 6) заміна газових котлів на конденсаційні котли в котельні;
- 7) встановлення когенераційної установки на основі органічного циклу Ренкіна.

За рекомендаціями фірми Viessmann [16], для того, щоб когенераційну установку було вигідно встановлювати, річна кількість годин роботи установки має бути більшою 5000 год. Оскільки водогрійна котельня працює менше, то встановлювати КГУ на базі газопоршневого двигуна не будемо.

Встановлення когенераційної установки на основі органічного циклу Ренкіна для даної котельні є недоцільною, оскільки котельня працює лише в опалювальний період. Крім того, такі установки досить дорогі.

Модернізація котлів зі встановленням утилізаторів теплоти димових газів є ефективним методом підвищення ефективності котелень. Встановимо теплоутилізатор за газовим водогрійним котлом, що буде працювати в максимальноопалювальний період.

Також розглянемо варіанти переведення котельні на спалювання твердого палива.

2.6. Розрахунок техніко-економічних показників роботи водогрійної котельні на різних типах біопалива

Проведемо розрахунки техніко-економічних показників роботи водогрійної котельні на різних типах твердого біопалива. Вартість біопалива беремо з сайту Prozotto [17]: гранули з лущиння соняшнику 3846 грн/т; гранули з соломи зернових 5000 грн/т; тріска з деревини 4600 грн/т; брикети паливні з змішаних порід дерев 8680 грн/т; брикети паливні з листових порід дерев 9000 грн/т; вугілля кам'яне 7200 грн/т.

Визначимо витрату палива на котельню, у разі спалювання тріски деревини.

Розрахункова витрата тріски деревини в максимальноопалювальний період у разі спалювання тріски деревини

$$B_p = \frac{Q_{\text{кот}}}{Q_H^p \cdot \eta_{\text{кот}}}, \quad (2.50)$$

де $Q_H^p = 12,3$ МДж/кг – нижня теплота згорання тріски деревини;

$\eta_{\text{кот}} = 87\%$ – ККД котла на твердому паливі.

$Q_{\text{кот}}$ – потужність котельні (з розрахунку теплової схеми).

$$B_p^{\max} = \frac{1,906}{12,3 \cdot 0,86} = 0,1802 \text{ (кг/с)}.$$

Розрахункова витрата палива в середньоопалювальний період (за формулою 2.50)

$$B_p^{\text{co}} = \frac{0,769}{12,3 \cdot 0,86} = 0,072 \text{ (кг/с)}.$$

Річна витрата палива

$$B_{\text{річ}} = B_p^{\max} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\max} + B_p^{\text{co}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{co}}, \quad (2.51)$$

$$B_{\text{річ}} = 0,1802 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 20 + 0,072 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 169 = 1360667 \text{ (кг/рік) або} \\ 1360 \text{ (т/рік)}.$$

Витрати на паливо

$$C_{\text{пал}} = B_{\text{річ}} \cdot \text{Ц}_{\text{пал}} \cdot k_{\text{вп}}, \quad (2.52)$$

де $k_{\text{вп}}$ – коефіцієнт, який враховує втрати палива, 1,015;

$\text{Ц}_{\text{пал}}$ – вартість палива, яка становить 4600 грн/тону [8]

$$C_{\text{пал}} = 1360 \cdot 4600 \cdot 1,015 \cdot 10^{-6} = 6,353 \text{ (млн. грн./рік)}$$

Сумарне споживання електричної енергії вентиляторами і насосами згідно розрахунку теплової схеми котельні становить 36165 кВт·год. Після переведення котельні на спалювання твердого палива витрата електричної енергії орієнтовно

збільшиться на 10 %. Тому беремо сумарне споживання електричної енергії 39781,5 кВт·год. Витрати на електричну енергію

$$C_{\text{ел}} = N \cdot \Pi_{\text{ее}}, \quad (2.53)$$

де $\Pi_{\text{ее}}$ – вартість електроенергії, яка становить 6 грн за кВт·год [9]

$$C_{\text{ее}} = 39781,5 \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 0,24 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Затрати на воду залишаємо таким ж, як і при роботі котельні на газу
 $C_{\text{в}} = 0,05 \text{ (млн. грн./рік)}.$

Витрати на амортизацію за формулою (3.9).

Балансова вартість котельні існуючої 3,36 млн.грн, капіталовкладення в модернізацію беремо 2,5 млн. грн, тоді $K = 2,4 + 2,5 = 4,9$ млн. грн,

$$C_{\text{а}} = 4,9 \cdot 0,07 = 0,343 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Витрати на поточний ремонт розраховуються як 20% від амортизаційних відрахувань за формулою (3.10).

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot 0,343 = 0,0686 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Витрати на заробітню плату залишаємо без змін $C_{\text{зп}} = 1,345 \text{ (млн. грн/рік)}.$

Інші витрати

$$C_{\text{і}} = 0,085 \cdot (C_{\text{пал}} + C_{\text{ел}} + C_{\text{в}} + C_{\text{а}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{зп}}), \quad (2.54)$$

$$C_{\text{і}} = 0,085 \cdot (6,353 + 0,179 + 0,05 + 0,273 + 0,0686 + 1,345) = 0,703 \text{ (млн.грн.)}$$

Загальні річні експлуатаційні витрати

$$C_{\text{річ}} = C_{\text{пал}} + C_{\text{ел}} + C_{\text{в}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{і}}, \quad (2.55)$$

$$C_{\text{річ}} = 6,353 + 0,179 + 0,05 + 0,343 + 0,0686 + 1,345 + \\ + 0,703 = 9,04 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Річний відпуск теплоти

$$Q_{\text{річ}} = Q_{\text{сп}}^{\text{макс}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{макс}} + Q_{\text{сп}}^{\text{со}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{со}} \quad (2.56)$$

$$Q_{\text{річ}} = 1,6 \cdot 20 \cdot 24 \cdot 3600 + 0,769 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 169 = 13978 \text{ (ГДж/рік)}.$$

Собівартість виробництва теплової енергії

$$CB_{\text{теплоти}} = \frac{C_{\text{річ}}}{Q_{\text{річ}}}, \quad (2.57)$$

$$CB_{\text{теплоти}} = \frac{9,04 \cdot 10^6}{13978} = 646 \text{ (грн./ГДж)}.$$

Собівартість виробництва теплової енергії в разі переведення на спалювання тріски деревини суттєво менша, ніж при спалюванні природного газу

За формулами (1.1) – (1.12) проведемо розрахунки техніко-економічних показників, в разі роботи котельні гранулах соломи, соняшнику, вугіллі.

Характеристики палива наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 2.1 – Склад деяких видів палива

Паливо	C ^p , %	H ^p , %	S ^p , %	O ^p , %	N ^p , %	A ^p , %	W ^p , %	Q _н ^p , кДж/кг
Гранули з соломи	42,7	5,3	0,1	36,9	0,5	4,5	10	15,7
Гранули з лушпиння соняшнику	42,5	4,9	0,16	34,6	0,44	2,4	15	15,43
Тріска деревини	34,6	4,2	0	30,1	0,4	0,7	30	12,3
Вугілля	49,8	3,3	2,8	6,2	0,9	27	10	19,47

Показники роботи котельні на різних видах палива наведемо в таблиці 1.4.

Таблиця 2.2 – Показники роботи котельні на різних видах палива

Показник	Розмірність	Котельня на газу	Котельня на гранулах з лушпиння соняшнику	Котельня на гранулах з соломи пшениці	Котельня на вугіллі
1	2	3	4	5	6
Річна витрата палива	Газ – млн. м ³ /рік Тверде паливо тон/рік	0,452	1085	1063	837
Річні витрати на паливо	млн.грн.	8,09	4,23	5,39	6,115

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
Загальні річні експлуатаційні витрати	млн.грн.	10,584	6,72	7,97	8,76
Річний відпуск теплоти	ГДж/рік	13978	13978	13978	13978
Собівартість виробництва теплової енергії	грн/ГДж	757	481	571	626

Отже, найменша собівартість виробництва теплової енергії найменша під час спалювання гранул з лушпиння соняшнику. Але оскільки навколо Могилів-Подільського багато садів, під час обрізання яких утворюється багато відходів, реалізація яких ускладнена, то найбільш доцільним варіантом їх утилізації, є спалювання в котельні. Тому пропонуємо перевести котельню на спалювання тріски деревини.

2.7 Розрахунок валових викидів забруднювальних речовин під час спалювання природного газу

Визначимо валові викиди забруднювальних речовин у разі спалювання природного газу. Розрахунки проводимо з використанням специфічних показників емісії забруднювальних речовин.

При спалюванні природного газу потрібно розраховувати викиди оксидів азоту, вуглецю, оксиду діазоту та метану.

Значення масового елементного складу природного газу, %: вуглець – $C^r = C^{daf} = 73,67$; водень – $H^r = H^{daf} = 24,65$; кисень – $O^r = O^{daf} = 0,12$; азот – $N^r = N^{daf} = 1,56$; масова нижча теплота згоряння $Q_i^r = 49,1$ МДж/кг.

Масова витрата природного газу

$$B = B_v \cdot \rho_{\Pi} / 1000, \quad (2.58)$$

$$B = 452390 \cdot 0,723 / 1000 = 324,3 \text{ (т)}.$$

Показник емісії оксидів азоту $(k_{NOx})_0$ без урахування первинних заходів згідно з даними таблиці Д.5 [18] дорівнює 150 г/ГДж. У таблиці Д.6 [18] емпіричний коефіцієнт z для природного газу становить 1,25. Відповідно до вихідних даних та згідно з таблицею Д.7 [18] ефективність первинних заходів зменшення викиду оксидів азоту η_I становить 0,40. Азотоочисна установка відсутня, тому ефективність $\eta_{II}=0$, $\beta=0$. Вважаємо, що фактична потужність котла дорівнює номінальній.

Показник емісії оксидів азоту

$$k_{NOx} = (k_{NOx})_0 \cdot (Q_{\Phi} / Q_H)^{1,25} (1 - z), \quad (2.59)$$

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

Валовий викид оксидів азоту

$$E_{NOx} = 10^{-6} \cdot k_{NOx} \cdot Q_i^r \cdot B, \quad (2.60)$$

$$E_{NOx} = 10^{-6} \cdot 90 \cdot 49,1 \cdot 324,3 = 1,433 \text{ (т)}.$$

Показник емісії вуглекислого газу під час спалювання органічного палива

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_C, \quad (2.61)$$

Ступінь окислення вуглецю $\varepsilon_C=0,995$ [18].

Показник емісії вуглекислого газу

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{73,67}{100} \cdot \frac{10^6}{49,1} \cdot 0,995 = 54705 \text{ (г/ГДж)}.$$

Валовий викид оксидів вуглецю

$$E_{\text{CO}_2} = 10^{-6} \cdot k_e \cdot Q_i^r \cdot B, \quad (2.62)$$

$$E_{\text{CO}_2} = 10^{-6} \cdot 54705 \cdot 49,1 \cdot 324,3 = 871 \text{ (т)}.$$

Валовий викид оксиду діазоту N_2O при спалюванні природного газу розраховується за даними таблиці Е.3 [18]:

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = 10^{-6} \cdot k_{\text{N}_2\text{O}} \cdot Q_i^r \cdot B, \quad (2.63)$$

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 49,1 \cdot 324,3 = 0,0016 \text{ (т)}.$$

Валовий викид метану CH_4 під час спалювання природного газу розраховується за даними таблиці Е.4 [18]

$$E_{\text{CH}_4} = 10^{-6} \cdot k_{\text{CH}_4} \cdot Q_i^r \cdot B, \quad (2.64)$$

$$E_{\text{CH}_4} = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 49,1 \cdot 324,3 = 0,016 \text{ (т)}.$$

2.8 Розрахунок валових викидів забруднювальних речовин під час спалювання тріски деревини

Склад палива наведено в таблиці 2.1. Показники емісії для тріски деревини: $k_{N_2O} = 5$ г/ГДж, $k_{CH_4} = 5$ г/ГДж, $k_{NO_x} = 200$ г/ГДж. Показники емісії для лущиння соняшника: $k_{N_2O} = 5$ г/ГДж, $k_{CH_4} = 9$ г/ГДж, $k_{NO_x} = 88$ г/ГДж. Ефективність золовловлювача взято 95%.

Показник емісії вуглекислого газу при тріски деревини за формулою (2.15). Частка золи, яка видаляється у вигляді леткої золи $a_{вин} = 0,6$. У котлі відбувається неповне згоряння палива, у першу чергу через механічне недопалювання. Ступінь окислення вуглецю для робочої маси палива ε_c в паливі беремо 0,9942

$$K_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{34,6}{100} \cdot \frac{10^6}{12,3} \cdot 0,9942 = 102545 \text{ (г/ГДж)}$$

Валовий викид вуглекислого газу за формулою (2.62)

$$E_{CO_2} = 10^{-6} \cdot 102545 \cdot 12,3 \cdot 1360 = 1715 \text{ (т/рік)}.$$

Валовий викид оксиду діазоту N_2O під час спалювання гранул з лущиння соняшнику розраховується за формулою (2.63)

$$E_{N_2O} = 10^{-6} \cdot 5 \cdot 12,3 \cdot 1367 = 0,0841 \text{ (т/рік)}.$$

де $K_{N_2O} = 5$ г/ГДж – довідникова інформація.

Валовий викид метану за формулою (2.64)

$$E_{\text{CH}_4} = 10^{-6} \cdot 5 \cdot 12,3 \cdot 1367 = 0,084 \text{ (т/рік)}.$$

Де показник емісії $K_{\text{CH}_4} = 5 \text{ г/ГДж}$ – довідникова інформація.

Викидів оксидів сірки під час спалювання тріски не буде, оскільки до складу палива не входить сірка.

Визначимо CO_2 еквівалент. Потенціали глобального потепління: для викидів метану 26, для викидів N_2O – 265.

$$E_{\text{CO}_2}^{\text{екв}} = E_{\text{CO}_2} + E_{\text{CH}_4}^{\text{CO}_2\text{екв}} + E_{\text{N}_2\text{O}}^{\text{CO}_2\text{екв}}, \quad (2.65)$$

$$E_{\text{CO}_2}^{\text{екв}} = 1715 + 0,0841 \cdot 26 + 0,084 \cdot 265 = 1739 \text{ (тон } \text{CO}_2 \text{ -екв)}.$$

Проведено також розрахунки викидів забруднювальних речовин в разі спалювання твердого палива: вугілля, гранул з лушпиння соняшнику і соломи.

Результати розрахунків показано на рисунках 2.1 – 2.4.

Як показали результати досліджень (рис. 2.1), найбільше валових викидів буде під час спалювання твердого палива: граул з лушпиння соняшника, тріски деревини, гранул соломи.

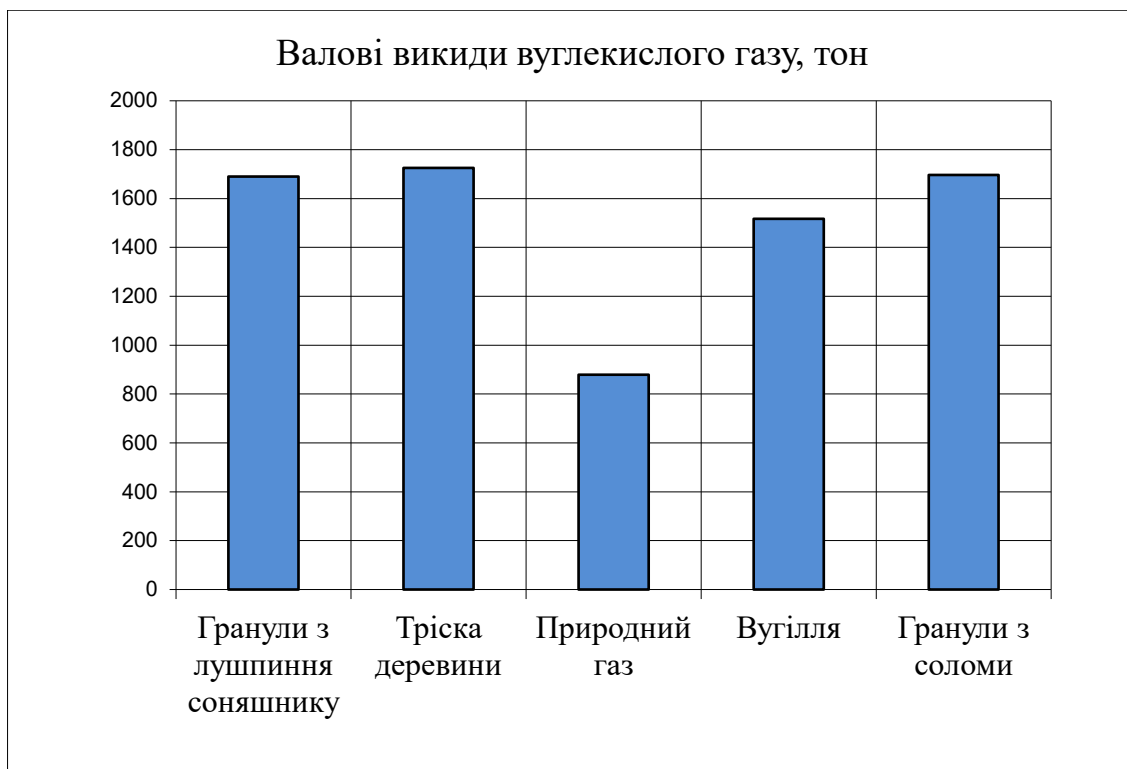


Рисунок 2.1 – Валові викиди вуглекислого газу під час спалювання природного газу, тріски деревини, гранул з лушпиння соняшнику та вугілля.

На рисунку 2.2 наведено результати розрахунків викидів оксидів азоту під час спалювання природного газу, щепи деревини, гранул з лушпиння соняшника. Викиди оксидів азоту більші під час спалювання природного газу. Це пояснюється тим, що показник емісії оксидів азоту найбільший серед порівнюваних палив і становить 150 г/ГДж.

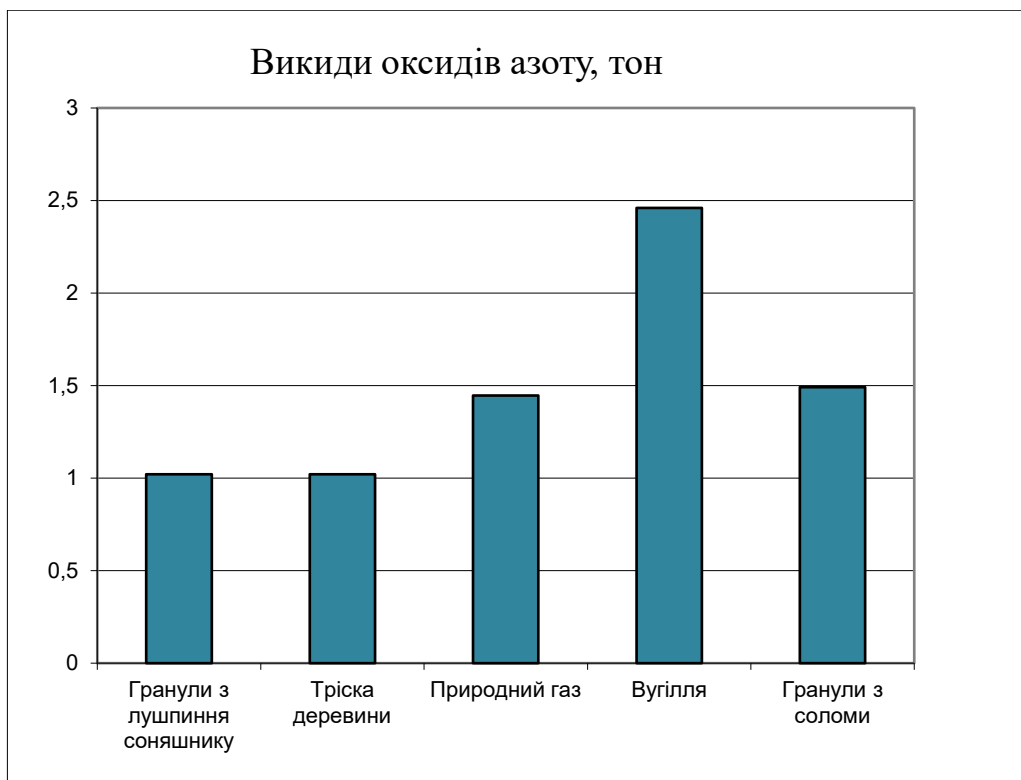


Рисунок 2.2 – Валові викиди оксидів азоту під час спалювання природного газу, тріски деревини, гранул з лушпиння соняшнику та вугілля.

На рисунку 2.3 наведено порівняння викидів твердих частинок.

Як видно, з рисунку 2.3, найбільше викидів твердих частинок викидається під час спалювання вугілля: у 31 раз більше, ніж при спалюванні тріски деревини і в 6,3 рази більше, ніж при спалюванні гранул соломи. Викиди твердих частинок залежать від зольності палива і ефективності золовловлювача. Золовловлювачі, що встановлюються за котлами малої потужності (до 3 МВт) мають ефективність 95 %.

Оскільки зольність лушпиння становить 2,4 %, тріски деревини 0,7 %, вугілля 27% то відповідно, викиди більші для вугілля.

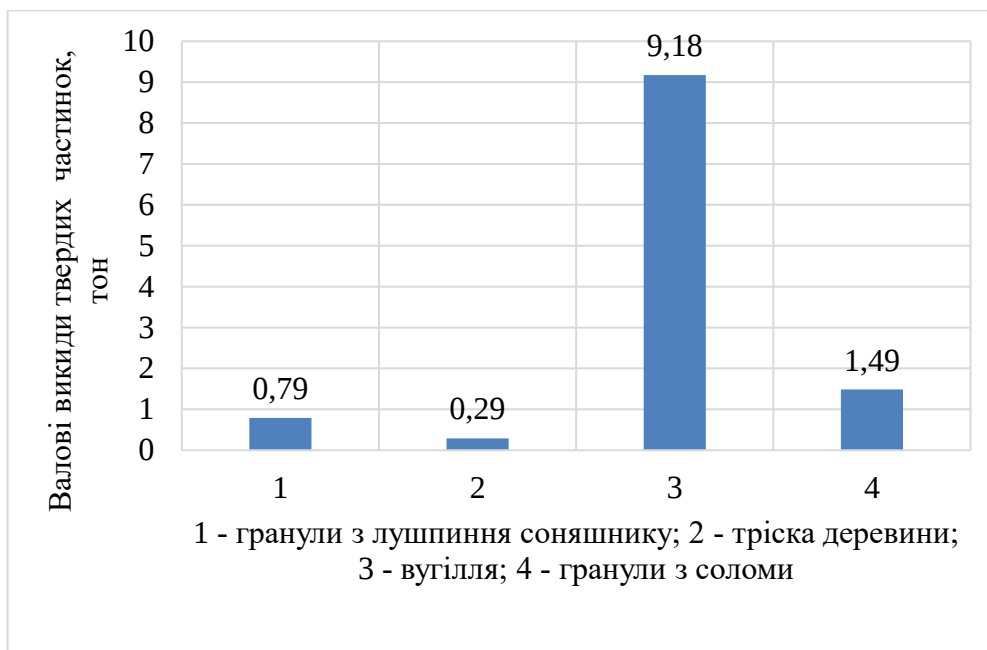


Рисунок 2.3 – Валові викиди твердих частинок під час спалювання тріски деревини, гранул з лушпиння соняшнику, вугілля, гранул з соломи

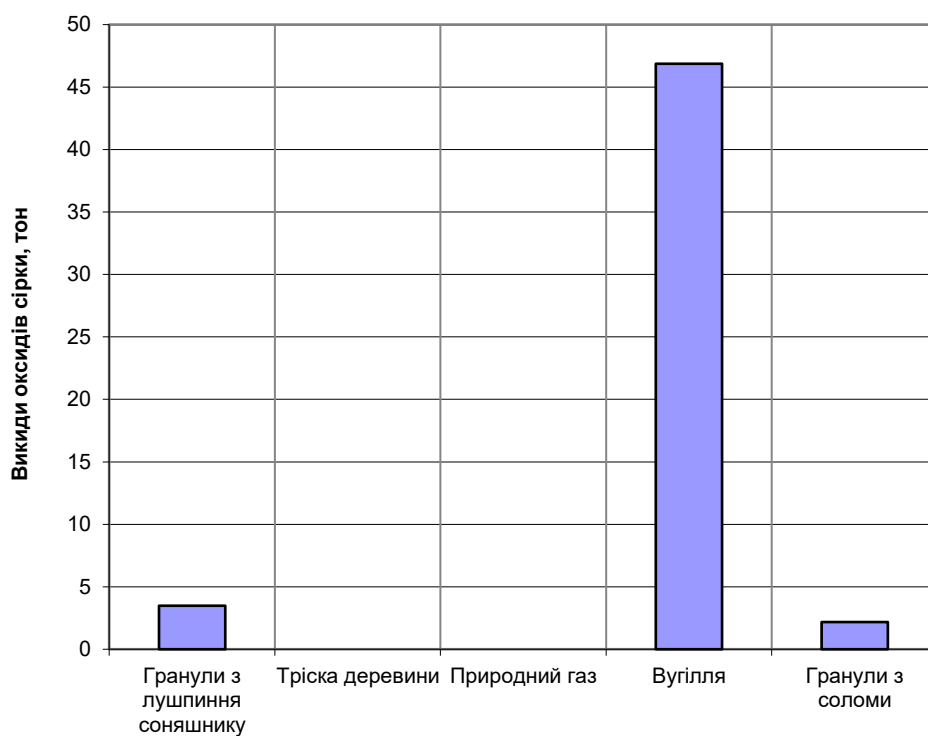


Рисунок 2.4 – Валові викиди оксидів сірки під час спалювання природного газу, щепи деревини, гранул з лушпиння соняшнику та вугілля.

На рисунку 2.5 визначено сумарні викиди парникових газів для порівнюваних видів палив.

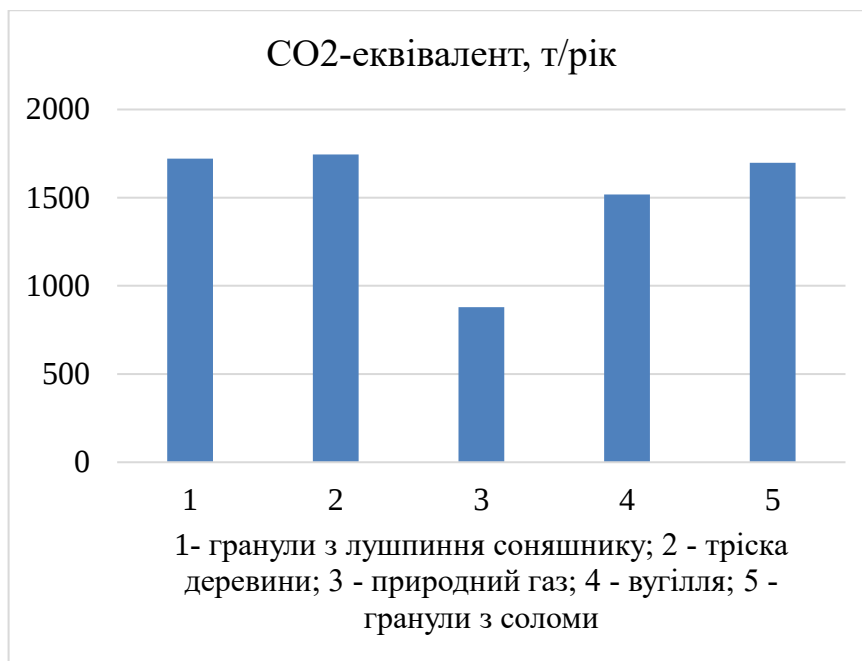


Рисунок 2.5 – Сумарні викиди парникових газів під час спалювання природного газу, щепи деревини, гранул з лущиння соняшнику та вугілля

Як видно з рисунку 2.5, CO₂-екв майже в 2 рази більший для біопалив, ніж для природного газу, для вугілля – 1,72 рази.

2.9 Підбір обладнання для проведення модернізації

2.9.1 Підбір котла

Для встановлення обираємо твердопаливний котел K3OT BRS 800 Comfort LM потужністю 800 кВт [19].

BRS 800 Comfort LM – сталевий триходовий водогрійний котел з механізованою подачею палива. Котел може працює на таких видах палива: паливні пелети, тирса (розміром не більше 50x50 см), тріска. В котлах цієї серії є можливість установки механізму подачі палива на вибір в лівому або правому виконанні. Трубний теплообмінник котла виготовлений з суцільнотягнутої безшовної труби і має форму, відповідну спеціальним вимогам по організації якісного згорання твердого палива з наступним полегшеним очищенням теплообмінних поверхонь. Завдяки сучасній конструкції і принципу «ступеневого

горіння» котел гарантує надійну, стабільну і безпечну роботу протягом всього терміну служби, забезпечує зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Вартість котла 400000 грн. Технічні характеристики котла наведено на сайті виробника [19].

2.9.2 Бункер для подачі палива

Згідно ДБН В.2.5-77:2014. 13.2.13 [20] місткість паливних бункерів котлів і відповідний режим роботи паливоподавання, а також доцільність улаштування загальних паливних бункерів котельні визначають на основі порівняльного аналізу техніко-економічних показників можливих варіантів. Запас вугілля у бункерах кожного котла приймають не менше ніж на 3 год його роботи, запас фрезерного торфу, біопалива – не менше ніж на 1,5 год.

Секундна витрата щепи становить $B_p = 0,071$ кг/с, годинна 255,6 кг/год. Для забезпечення трьох годин роботи котла необхідна маса палива 766,8 кг. Насипна густина щепи 450 кг/м³. Необхідний об'єм бункера для забезпечення тригодинної роботи котла становить $766,8/450 = 1,704$ м³. Беремо стандартний бункер 2 м³.

Технічні характеристики бункера: об'єм 2 м³; діаметр шнека 162 мм; довжина шнека 1550 мм; споживана потужність 1,1 кВт; маса основного бункера 700 кг [21]

2.9.4 Механізований склад палива

Згідно [20] місткість витратних складів палива передбачають: при постачанні палива автотранспортом – не більше ніж 7-добової витрати (у даному розділі добова витрата палива визначається для режиму, що відповідає тепловому навантаженню котельні в середньоопалювальному режимі).

Витрата палива за 7 діб становить $M = 42941$ кг. Насипна густина щепи $\rho_{\text{нас}} = 450 \dots 550$ кг/м³

Об'єм, що займає паливо в складі $V = M / \rho_{\text{нас}} = 42941 / 450 = 95$ м³.

2.9.5 Підбір циклона

Об'ємна витрата продуктів згорання

$$V_{\text{д.г.}} = B_p \cdot V_r \cdot \frac{t'_r + 273}{273}, \quad (2.66)$$

де B_p – розрахункова витрата палива, кг/с;

V_r – дійсний об'єм димових газів, м³/кг;

t'_r – температура димових газів на виході з котла, °С.

$$V_{\text{д.г.}} = 0,18 \cdot 5,36 \cdot \frac{160 + 273}{273} = 1,53 \text{ (м}^3\text{/с) або 5508 (м}^3\text{/год)}$$

Обираємо золовловлювач М221.02.00.00 СБ виробництва
Монастирищенського заводу котельного обладнання [22].

Вартість циклона 32000 грн.

2.10 Визначення висоти димової труби в котельні

Визначимо висоту димової труби. Склад тріски деревини наведено в таблиці

2.1. Використаємо методику, наведену в [13].

Теоретична витрата повітря

$$V^0 = 0,0889 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p) + 0,265 \cdot H^p - 0,033 \cdot O^p, \quad (2.67)$$

$$V^0 = 0,0889 \cdot (34,6 + 0,375 \cdot 0) + 0,265 \cdot 4,2 - 0,033 \cdot 30,1 = 3,196 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Об'єм триатомних газів для твердого палива

$$V_{\text{RO}_2} = 0,01866 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p), \quad (2.68)$$

$$V_{\text{RO}_2} = 0,01866 \cdot (34,6 + 0,375 \cdot 0) = 0,6456 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теоретичний об'єм азоту:

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,008 \cdot N^p, \quad (2.69)$$

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 \cdot 3,196 + 0,008 \cdot 0,4 = 2,53 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теоретичний об'єм водяної пари для твердого палива

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V^0, \quad (2.70)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,111 \cdot 4,2 + 0,0124 \cdot 30 + 0,0161 \cdot 3,196 = 0,89 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Дійсний об'єм двоатомних газів для твердого палива

$$V_{\text{R}_2} = V_{\text{N}_2} = V_{\text{N}_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0, \quad (2.71)$$

$$V_{\text{R}_2} = V_{\text{N}_2} = 2,53 + (1,4 - 1) \cdot 3,196 = 3,81 \text{ (м}^3\text{/кг)}$$

Дійсний об'єм водяної пари для твердого та рідкого палива

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0, \quad (2.72)$$

$$V_{H_2O} = 0,89 + 0,0161 \cdot (1,4 - 1) \cdot 3,196 = 0,91 \text{ (м}^3\text{/кг)}$$

Дійсний об'єм димових газів

$$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}, \quad (2.73)$$

$$V_r = 0,6456 + 3,81 + 0,91 = 5,36 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Витрата палива на котел

$$B_p = \frac{Q_k}{\eta_k \cdot Q_H}, \quad (2.74)$$

де Q_k – потужність встановленого котла на щепі, кВт

η – коефіцієнт корисної дії котла.

$$B_p = \frac{800}{11984 \cdot 0,87} = 0,0767 \text{ (кг/с)}.$$

Температура відхідних газів 160 °С.

Ступінь охолодження димових газів для ізольованих димових труб [13]

$$\Delta t_{охл} = \frac{B}{\sqrt{\frac{Q_k}{1000}}}, \quad (2.75)$$

де B – тепловий коефіцієнт, для ізольованих димових труб складає 0,34.

$$\Delta t_{охл} = \frac{0,34}{\sqrt{\frac{800}{1000}}} = 0,38 \text{ (°C/п.м)}.$$

Середня температура димових газів в димовій трубі,

$$\bar{t}_r = t'_r - \frac{(L + H) \cdot \Delta t_{\text{охл}}}{2}, \quad (2.76)$$

де t'_r - розрахункова температура димових газів на виході з котла- на вході в димову трубу, °C;

L – горизонтальна ділянка відведення димових газів від котла до димової труби, м;

H – висота димової труби, м;

$\Delta t_{\text{охл}}$ – ступінь охолодження димових газів на горизонтальній ділянці і в димовій трубі, для ізольованих димових труб, °C/п.м.

Беремо в першому наближенні $L=7$ м, $H=30$ м.

$$\bar{t}_r = 160 - \frac{(7 + 30) \cdot 0,38}{2} = 152,97 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Обємна витрата продуктів згорання

$$V_{\text{д.г.}} = B_p \cdot V_r \cdot \frac{\bar{t}_{\text{дг}} + 273}{273}, \quad (2.77)$$

$$V_{\text{д.г.}} = 0,0767 \cdot 5,36 \cdot \frac{152,97 + 273}{273} = 0,641 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Діаметр димової труби

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{д.г.}}}{w_r}}, \quad (2.78)$$

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,641}{9}} = 0,302.$$

Обираємо димову трубу з внутрішнім діаметром 300 мм.

Дійсна швидкість димових газів в горизонтальному газоході

$$w_{\text{д.г.}} = \frac{4 \cdot V_{\text{д.г.}}}{\pi \cdot D^2}, \quad (2.79)$$

$$w_{\text{д.г.1}} = \frac{4 \cdot 0,641}{3,14 \cdot 0,25^2} = 13,06 \text{ (м/с)}.$$

Дійсна швидкість димових газів в димовій трубі

$$w_{\text{д.г.2}} = \frac{4 \cdot 0,641}{3,14 \cdot 0,3^2} = 9,07 \text{ (м/с)}.$$

За середньою температурою димових газів визначимо кінематичну в'язкість димових газів $\nu = 27,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Визначимо критерій Рейнольдса в горизонтальному газоході Re_1 та димовій трубі Re_2

$$Re = \frac{w_{\text{д.г.}} \cdot D}{\nu}, \quad (2.80)$$

$$Re_1 = \frac{13,06 \cdot 0,25}{27,5 \cdot 10^{-6}} = 118727,3,$$

$$Re_2 = \frac{9,07 \cdot 0,3}{27,5 \cdot 10^{-6}} = 98945.$$

Коефіцієнт опору тертя

$$\lambda = 0,11 \cdot \left[\left(K_{\text{екв}} / d_{\text{екв}} \right) + (68 / \text{Re}) \right]^{0,25}. \quad (2.81)$$

Коефіцієнт опору тертя в горизонтальному газоході λ_1

$$\lambda_1 = 0,11 \cdot \left[(0,1 / 250) + (68 / 118727,3) \right]^{0,25} = 0,019,$$

$$\lambda_2 = 0,11 \cdot \left[(0,1 / 300) + (68 / 98945) \right]^{0,25} = 0,001966.$$

Густина сухих димових газів за нормальних умов

$$\rho_{\text{с.г.}}^0 = \frac{\rho_{\text{RO}_2}^0 \cdot V_{\text{RO}_2}^0 + \rho_{\text{N}_2}^0 \cdot V_{\text{N}_2}^0 + \rho_{\text{сп}}^0 \cdot (\alpha_{\text{вг}} - 1) \cdot V_{\text{п}}^0}{V_{\text{RO}_2}^0 + V_{\text{N}_2}^0 + (\alpha_{\text{вг}} - 1) \cdot V_{\text{п}}^0}, \quad (2.82)$$

де $\rho_{\text{RO}_2}^0, \rho_{\text{N}_2}^0, \rho_{\text{сп}}^0$ – густини трьохатомних газів, азоту, сухого повітря відповідно, кг/м^3 .

$$\rho_{\text{с.г.}}^0 = \frac{1,96 \cdot 0,6456 + 1,25 \cdot 2,53 + 1,293 \cdot (1,4 - 1) \cdot 3,196}{0,6456 + 2,53 + (1,4 - 1) \cdot 3,196} = 1,365 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Маса сухих димових газів

$$G_{\text{г}}^{\text{с}} = V_{\text{RO}_2}^0 \cdot \rho_{\text{RO}_2}^0 + V_{\text{N}_2}^0 \cdot \rho_{\text{N}_2}^0 + V_{\text{п}}^0 \cdot \rho_{\text{с.п.}}^0 \cdot (\alpha_{\text{вг}} - 1), \quad (2.83)$$

$$G_{\text{г}}^{\text{с}} = 1,96 \cdot 0,6456 + 1,25 \cdot 2,53 + 1,293 \cdot (1,4 - 1) \cdot 3,196 = 6,08 \text{ (кг/кг)}.$$

Вологовміст димових газів

$$d_r = \frac{V_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O}^0}{G_r^c}, \quad (2.84)$$

$$d_r = \frac{0,91 \cdot 0,804}{6,08} = 0,12 \text{ (кг/кг с.г.)}.$$

Густина димових газів

$$\rho_r = 273 \frac{(\rho_{с.г.}^0 + \rho_{H_2O}^0 \cdot d_r)}{(1 + d_r) \cdot (273 + \bar{t}_r)}, \quad (2.85)$$

$$\rho_r = 273 \frac{(1,365 + 0,804 \cdot 0,12)}{(1 + 0,12) \cdot (273 + 152,97)} = 0,836 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Питомі втрати тиску на тертя на розрахункових ділянках

$$R = n \cdot \lambda \cdot \frac{\rho_{д.г.} \cdot w_{д.г.}^2}{2} \cdot \frac{1}{d_{екв}}, \quad (2.86)$$

де n – коефіцієнт шорсткості матеріалу димоходу (для сталевих газоходів і труб беруть 1);

$\rho_{д.г.}$ – густина димових газів на розрахунковій ділянці, кг/м³; коефіцієнт опору тертя;

$d_{екв}$ – еквівалентний діаметр газоходу чи димової труби, м.

Питомі втрати тиску в горизонтальному газоході

$$R_1 = 1 \cdot 0,019 \cdot \frac{0,836 \cdot 13,06^2}{2} \cdot \frac{1}{0,25} = 5,41 \text{ (Па/м)}.$$

$$R_2 = 1 \cdot 0,01966 \cdot \frac{0,836 \cdot 9,07^2}{2} \cdot \frac{1}{0,3} = 2,25 \text{ (Па/м)}.$$

Втрати тиску на місцеві опори

$$\Delta P_{\text{м.о.}} = \sum \xi \frac{\rho_{\text{д.г.}} \cdot w_{\text{д.г.}}^2}{2}, \quad (2.87)$$

Втрати тиску на місцеві опори в горизонтальному газоході

$$\Delta P_{\text{м.о.1}} = \sum (0,5 + 0,1 + 0,85 \cdot 3) \frac{0,836 \cdot 13,06^2}{2} = 224,58 \text{ (Па)}.$$

Втрати тиску на місцеві опори в димовій трубі

$$\Delta P_{\text{м.о.2}} = \sum (1 + 1) \frac{0,836 \cdot 9,07^2}{2} = 68,77 \text{ (Па)}.$$

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти місцевих опорів на ділянках

Вид місцевого опору	Значення ξ	Кількість опорів	
		Горизонтальний газохід	Димова труба
Дифузор	0,5	1	-
Шибер (заслонка)	0,1	1	-
Відвід під 90°	0,85	3	-
Вхід в димову трубу	1	-	1
Вихід з димової труби	1	-	1

Втрати тиску на розрахунковій ділянці (в горизонтальному газоході після котла і в димовій трубі)

$$\Delta P_{\text{д.г.}} = \sum_{i=1}^2 (R_i \cdot l_i + \Delta P_{\text{м.о.і}}), \quad (2.88)$$

$$\Delta P_{\text{д.г.}} = 5,41 \cdot 7 + 224,58 + 2,25 \cdot 30 + 68,77 = 398,72 \text{ (Па)}$$

Самотяга димової труби

$$P_c = g \cdot H \cdot (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{д.г.}}) \cdot \frac{P_{\text{б}}}{P_{\text{н}}}, \quad (2.89)$$

де $\rho_{\text{п}}$ – густина навколишнього повітря, кг/м^3 ;

$P_{\text{б}}$ і $P_{\text{н}}$ – дійсний і нормальний барометричний тиск, Па.

$$P_c = 9,81 \cdot (30 - 2) \cdot (1,19 - 0,836) \cdot \frac{99500}{101325} = 95,48 \text{ (Па.)}$$

Як видно з розрахунків, втрати тиску перевищують величину самотяги димової труби, тому у подальшому збільшимо діаметри горизонтального газоходу та димової труби і уточнимо розрахунки, використавши формули (3.13) – (3.22).

$$w_{\text{д.г.1}} = \frac{4 \cdot 0,641}{3,14 \cdot 0,4^2} = 5,1 \text{ (м/с)}.$$

$$w_{\text{д.г.2}} = \frac{4 \cdot 0,641}{3,14 \cdot 0,45^2} = 4,03 \text{ (м/с)}.$$

$$Re_1 = \frac{5,1 \cdot 0,4}{27,5 \cdot 10^{-6}} = 74182,$$

$$Re_1 = \frac{4,03 \cdot 0,45}{27,5 \cdot 10^{-6}} = 65945.$$

$$\lambda_1 = 0,11 \cdot \left[(0,1 / 400) + (68 / 74182) \right]^{0,25} = 0,0203,$$

$$\lambda_2 = 0,11 \cdot \left[(0,1 / 450) + (68 / 65945) \right]^{0,25} = 0,0207.$$

$$R_1 = 1 \cdot 0,0203 \cdot \frac{0,836 \cdot 5,1^2}{2} \cdot \frac{1}{0,4} = 0,5517 \text{ (Па/м)}.$$

$$R_2 = 1 \cdot 0,0207 \cdot \frac{0,836 \cdot 4,03^2}{2} \cdot \frac{1}{0,45} = 0,3123 \text{ (Па/м)}.$$

$$\Delta P_{\text{м.о.1}} = \sum (0,5 + 0,1 + 0,85 \cdot 3) \frac{0,836 \cdot 5,1^2}{2} = 33,27 \text{ (Па)}.$$

$$\Delta P_{\text{м.о.2}} = \sum (1 + 1) \frac{0,836 \cdot 4,03^2}{2} = 13,58 \text{ (Па)}.$$

$$\Delta P_{\text{д.г.}} = 0,5517 \cdot 5 + 33,27 + 0,3123 \cdot 30 + 13,58 = 59 \text{ (Па)}.$$

Таким чином для димової труби діаметром 450 мм і висотою $H=30$ м самотяга 95,48 перевищує опір газоходу і димової труби 59 Па.

Отриману в розрахунках висоту димової труби перевіримо виходячи з санітарних норм відведення продуктів згорання на необхідну висоту і розсіювання їх в атмосфері.

Масова витрата оксидів азоту

$$M_{\text{NO}_x} = C_{\text{NO}_x} \cdot B_p \cdot V_{\Gamma}, \quad (2.90)$$

де C_{NO_x} – масова концентрація і-ої речовини за нормальних умов, г/м^3 , за даними виробника котла $C_{\text{NO}_x} = 0,5 \text{ г/м}^3$;

V_{Γ} – об'єм димових газів, $\text{м}^3 / \text{кг}$.

$$M_{\text{NO}_x} = 0,5 \cdot 0,0767 \cdot 5,36 = 0,2 \text{ (г/с)}.$$

Кількість леткої золи (мінеральна частина твердих продуктів згорання), що входить в сумарну кількість твердих частинок, що виносяться в атмосферу

$$M_z = 0,01 \cdot B_p \cdot a_{\text{вн}} \cdot A^p \cdot (1 - \eta_{\text{зу}}), \quad (2.91)$$

де $a_{\text{вн}}$ – частка виносу золи;

$\eta_{\text{зу}}$ – частка твердих частинок, що вловлюються в золовловлювачах;

B – витрата палива, кг/с ;

$$M_z = 0,01 \cdot 0,0767 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot (1 - 0,95) = 1,61 \cdot 10^{-5} \text{ (кг/с)}.$$

Максимальна приземна концентрація шкідливої речовини C_m

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (2.92)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери;

M – маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу за одиницю часу, г/с ;

F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі;

m, n – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з джерела викиду; $m=1$;

H – висота джерела викиду над поверхнею землі, м ;

η – безрозмірний коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості;

ΔT – різниця між температурами суміші, що викидається з джерела та температурою навколишнього середовища, °C.

V_1 – витрата газоповітряної суміші, м³/с.

Коефіцієнт A приймається для несприятливих метеорологічних умов, при яких концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі від джерела викидів є максимальними. Для більшості частини України коефіцієнт A складає 160. η – безрозмірний коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості (для рівної або слабопересіченої місцевості з перепадом висот, що не перевищує 50 м на 1 км $\eta = 1$).

$$C_{NO_x} = \frac{160 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{30^2 \cdot \sqrt[3]{0,641 \cdot (160 - 23)}} = 0,008 \text{ (мг/м}^3 \text{)}.$$

Отримане значення менше за $ГДК_{NO_x}$ цієї шкідливої речовини в атмосферному повітря, $ГДК=0,085 \text{ мг/м}^3$.

Максимальна приземна концентрація золи C_m

$$C_3 = \frac{160 \cdot 0,0161 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{30^2 \cdot \sqrt[3]{0,641 \cdot (160 - 23)}} = 0,00064 \text{ (мг/м}^3 \text{)}.$$

Отже, висота димової труби забезпечує розсіювання викидів шкідливих речовин.

Оскільки в котельні немає місця для встановлення котла на твердому паливі і бункера для подачі палива, то прийнято рішення добудувати до існуючої котельні приміщення. В прибудованому приміщенні встановимо котел, бункер, прокладемо трубопроводи, встановимо насоси, теплоакумулюючу ємність. Крім того необхідно побудувати склад паливу типу “живе дно”. Димові газы

виведемо в димову трубу, встановлену для твердопаливного котла. Вартість такої модернізації за кошторисом становить 2,5 млн. грн. Визначимо термін окупності прийнятих рішень.

Простий термін окупності

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_{\text{річ}}}, \quad (2.93)$$

де K – капіталовкладення, грн,

$E_{\text{річ}}$ – чиста річна економія коштів, грн.

Річна економія коштів

$$E_{\text{річ}} = (CB_{\text{теплоти}}^{\text{газ}} - CB_{\text{теплоти}}^{\text{тріска}}) \cdot Q_{\text{річ}}, \quad (2.94)$$

де $CB_{\text{теплоти}}^{\text{газ}} = 757$ грн/ГДж – собівартість виробництва теплової енергії на газу;

$CB_{\text{теплоти}}^{\text{тріска}} = 646$ грн/ГДж – собівартість виробництва теплової енергії на трісці деревини;

$Q_{\text{річ}} = 13978$ ГДж – річний відпуск теплоти, ГДж.

$$T_{\text{ок}} = \frac{2500000}{(757 - 646) \cdot 13978} = 1,6 \text{ (року)}.$$

Термін окупності прийнятний для енергетичних об'єктів.

Результати досліджень, наведені в даному розділі опубліковані в роботах [23, 24].

3 ВОДОГРІЙНИЙ КОТЕЛ НА ТРІСЦІ ДЕРЕВИНИ

3.1 Обґрунтування конструкції котла

Потужність системи опалення в середньоопалювальний період становить 769 кВт, прийнято рішення встановити котел на твердому паливі потужністю 800 кВт, що буде працювати на трісці деревини. Для розробки обираємо жаротрубну конструкцію котла. Для підвищення інтенсивності теплообміну в трубах встановлюємо інтенсифікатори теплообміну у вигляді скрученої стрічки. Такі інтенсифікатори досить широко використовуються в конструкціях водогрійних котлів.

Для подачі деревної тріски в котел необхідно передбачити місце для шнека. Для спалювання тріски планується встановити пальник ретортного типу, а також рухому колосникову решітку. Для видалення золи з котла також передбачимо шнек.

Оскільки тріска паливо вологе, то для підтримання температури в топці внутрішню її поверхню утеплимо керамічним матеріалом. Для підвищення ефективності спалювання палива необхідно передбачити двостадійну подачу повітря.

Теплообмінник котла виконаємо горизонтальним. Для очищення горизонтальної поверхні необхідно встановити сучасну пневматичну систему періодичного обдуву труб

Для зменшення втрат теплоти в навколишнє середовище, поверхню котла необхідно ізолювати.

Для розрахунку водогрійного котла на трісці деревини використаємо комп'ютерну програму “Тепловий розрахунок водогрійних котлів малої потужності на традиційних та альтернативних паливах” [25] розроблену на кафедрі теплоенергетики ВНТУ. За допомогою програми можна виконати і перевірений і конструктивний розрахунок. Початковими даними необхідними для проведення розрахунку є: склад палива, коефіцієнт надлишку повітря, втрати

теплоти від хімічної неповноти згорання, механічної неповноти згорання, втрати теплоти з охолодженням котла, частка виносу золи, температурний графік котла. Попередньо проєктується конструкція котла. Задаємось орієнтовними розмірами топки, теплообмінника, визначаємо об'єм топки, площу стін, площу екранованої поверхні. Необхідно також задатись довжиною труб та їх кількістю. Потрібно також визначити площу дзеркала горіння, а також відношення площі дзеркала горіння до площі стін. В програмі можна обрати тип інтенсифікатора та його характеристики (товщину, крок згину чи крок закручування). Під час розробки конструкції взято до уваги рекомендації, наведені в [26, 27].

3.2 Початкові дані для розробки водогрійного котла на твердому паливі

Склад палива $W^p=30\%$, $S^p=0\%$, $H^p=4,2\%$, $O^p=29,28\%$, $A^p=0,7\%$, $N^p=0,47\%$, $C^p=35,35\%$. Потужність котла 800 кВт; температурний графік котла 95/70 °C; коефіцієнт надлишку повітря беремо 1,5; втрати теплоти з хімічним недопалюванням палива 1%; втрати теплоти з охолодженням котла 1 %; втрати теплоти з механічним недопалюванням 1 %; частка виносу золи 0,6; температура холодного повітря 20 °C.

Температурою відхідних газів задаємось таким чином, щоб відхил теплового балансу був менше 1,5 % по модулю. У випадку, якщо відхил більше 1,5 %, задаємось іншими геометричними розмірами топки і теплообмінника.

Результати проєктування котла за допомогою програми наведено в додатку В. За результатами розрахунку отримано такі результати: коефіцієнт корисної дії котла $\eta=87,6\%$; температура відхідних газів $t_{вг}=160\text{ °C}$; витрата котлової води $G_k=7,64\text{ кг/с}$; витрата палива $B_p=264\text{ кг/год}$; довжина труб теплообмінника $L=2\text{ м}$; кількість труб $n=84\text{ шт}$; тип інтенсифікатора скручена пластина з кроком закручування 5, товщиною 3 мм.

Результати розрахунку водогрійного котла в програмі [25] наведено в додатку В.

4 ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА НА ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ ТА ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

Під час будівництва котельні, необхідно знизити питомі капіталовкладення, експлуатаційні витрати і собівартість продукції. Такі показники залежать зокрема від якості монтажних і ремонтних робіт. Вже на стадії проектування обладнання і виготовлення його необхідно передбачити методи монтажу і ремонтпридатність технологічних машин і апаратів. Монтаж обладнання, як правило, складається з таких етапів: організаційно-технічне підготування монтажу; виконання монтажних робіт; пуско-налагоджувальні роботи. В даному розділі розробляється технологія монтажу водогрійного котла на трісці деревини, а також допоміжного обладнання і трубопроводів.

Оскільки в котельні не має місця для встановлення обладнання необхідного для модернізації, то виникла необхідність у добудові додаткового приміщення. Необхідно також побудувати склад для зберігання тріски деревини. Під час виконання даного розділу використано рекомендації [28-32].

4.1 Організаційно-технічна підготовка монтажу

Організаційно-технічна підготовка монтажу складається з таких заходів: отримання монтажною організацією від замовника технічної документації; організація монтажної площадки; забезпечення будівельної готовності об'єкту; організація доставки обладнання; оснащення ділянки монтажним обладнанням; розробка і створення безпечних умов праці; організація контролю якості робіт.

Монтажна організація складає план виконання робіт, який містить основні принципові рішення по монтажу.

Технічна документація містить план і розрізи котельні; креслення на трубопроводи і металоконструкції; кошторис на виконання монтажних робіт; додаткову документацію на монтаж окремих вузлів, тощо.

Документація на обладнання, що доставляється повинна містити: призначення машини і апарату; відомості про умови роботи (тиск, температура); способи і параметри випробування; таблицю штуцерів; специфікації деталей і вузлів зі вказанням маси; вказівки по встановленню і кріпленню обладнання; вказівки по тепловій ізоляції, тощо.

4.2 Склад робіт

1. Доставка обладнання і деталей до котельні.
2. Розмітка місць прокладання трубопроводів і газоходів.
3. Монтаж водогрійного котла потужністю 800 кВт на щепі деревини.
4. Монтаж бункера для палива об'ємом 2 м³.
5. Монтаж ємності теплоакумуючої, аварійного охолодження води.
6. Монтаж насоса циркуляційного Wilo -IPN 65/140-32.
8. Монтаж насоса котлового контура Wilo -Veroline IPL50/160-0.55/4.
9. Монтаж насоса змішувального Wilo -TOP S 65/7.
10. Монтаж насоса підживлювального Lowara 1 SV04.
11. Монтаж трубопроводів котельні.
11. Перевірка системи і здача в експлуатацію.
12. Повернення допоміжного обладнання на склад монтажної організації.

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

Таблиця 4.1 – Комплектувальна відомість основних матеріалів і виробів

№ п\п	Найменування робіт та витрат, одиниця вимірювання	Одиниці вимірюван ня	Кіль- кість	Вага	
				Одиниця	Всього
1	2	3	4	5	6
1	Твердопаливний водогрійний котел , $Q_{\text{вк}} = 800 \text{ кВт}$	шт.	1	4500	4500
2	Насос циркуляційний системи опалення Wilo IPN 65/140-3/2 [33]	шт.	2	44,2	88,4
3	Насос змішувальний Wilo -TOP S	шт.	1	18,5	18,5

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
4	Насос підживлювального Lowara 1 SV04. [33]	шт.	2	10	20
5	Ємність теплоакumuлююча , аварійного охолодження води, D=1500 м	шт.	1	470	470
6	Антинакипний фільтр СВВД-АС-ВВ20	шт.	1	30	30
7	Засувка поворотна дискова типу «Баттерфляй», Ду150, Ру16 (Danfoss)	шт.	2	9,2	18,4
8	Засувка поворотна дискова типу «Баттерфляй», Ду125, Ру16 (Danfoss)	шт.	3	7,7	23,1
9	Засувка поворотна дискова типу «Баттерфляй», Ду100, Ру16 (Danfoss)	шт.	9	6,3	56,7
10	Засувка поворотна дискова типу «Баттерфляй», Ду65, Ру16 (Danfoss)	шт	2	3,7	7,4
11	Клапан зворотній міжфланцевий тарільчатого типу Ду125, Ру16 (Danfoss) [34]	шт	1	8,55	8,55
12	Клапан зворотній міжфланцевий тарільчатого типу Ду100, Ру16 (Danfoss)	шт	2	3,55	7,1
13	Клапан зворотній міжфланцевий Ду65, Ру16	шт	2	8,1	8,1
14	Фільтр сітчатий Ду125, Ру16	шт	1	39	39
15	Фільтр сітчатий Ду100, Ру16	шт	2	25	25
16	Поворотний регулюючий клапан Ду100, Ру6	шт	1	22,5	22,5
17	Запобіжний клапан DN65	шт	2	6,25	12,5
18	Автоматичний повітровідвідник Ду15, Ру10	шт	3	0,154	0,462
19	Вентиль запірний прохідний муфтовий Ду25, Ру16	шт.	12	1,07	12,84
20	Вентиль запірний прохідний муфтовий Ду20, Ру16	шт.	3	0,72	2,16
21	Клапан зворотній муфтовий Ду25, Ру25	шт.	3	0,33	0,99
22	Труби сталеві електрозварні прямошовні Ø 159×5	м.п.	14	18,99	265,86

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
23	Труби сталеві електрозварні прямошовні Ø 133×4	м.п.	9,6	12,73	122,208
24	Труби сталеві електрозварні прямошовні Ø 108×4	м.п.	43	10,26	441,18
25	Труби сталеві електрозварні прямошовні Ø 76×3	м.п.	5,2	5,4	28,08
26	Труби сталеві електрозварні прямошовні Ø 63,5×3	м.п.	14,2	4,48	63,61 6
27	Труби сталеві водогазопровідні Ду25	м.п.	21	2,39	50,19
27	Труби сталеві водогазопровідні Ду20	м.п.	2,4	1,66	3,984
28	Відвід 90°, Д=159 мм (ДСТУ 17375-2003)	шт	4	8,4	33,6
29	Відвід 90°, Д=133 мм	шт	8	4,8	38,4
30	Відвід 45°, Д=133 мм	шт	1	2,4	2,4
31	Відвід 90°, Д=108 мм	шт	30	2,5	75
32	Відвід 45°, Д=108 мм	шт	2	1,3	2,6
33	Відвід 90°, Д=76 мм	шт	8	1	8
34	Трійник рівнопрохідний Д=133 мм	шт	1	5,3	5,3
35	Трійник рівнопрохідний Д=108 мм	шт	2	7,8	15,6
36	Перехід К159×8-108×6	шт	3	3,6	10,8
37	Перехід К133×4-89×3,5	шт	2	1,5	3
38	Перехід К133×4-57×3	шт	2	1	2
39	Перехід К108×4-76×3,5	шт	4	0,9	3,6
40	Фланець 1-150-16	шт	4	7,81	31,24
41	Фланець 1-125-16	шт	10	6,38	63,8
42	Фланець 1-100-16	шт	3	4,73	14,19
43	Фланець 1-80-16	шт	2	3,71	7,42
44	Фланець 1-65-16	шт	12	3,42	41,04
45	Фланець 1-50-16	шт	2	2,58	5,16
46	Болт М20×140, 20 ГОСТ 1050-88	шт	16	0,413	6,608
47	Болт М16×180, 20 ГОСТ 1050-88	шт	8	0,319	2,552
48	Болт М16×140, 20 ГОСТ 1050-88	шт	40	0,255	10,2
49	Болт М16×130, 20 ГОСТ 1050-88	шт	80	0,24	19,2
50	Болт М16×90, 20 ГОСТ 1050-88	шт	16	0,178	2,848

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
51	Болт М16×75, 20 ГОСТ 1050-88	шт	36	0,153	5,508
52	Болт М16×65, 20 ГОСТ 1050-88	шт	40	0,137	5,48
53	Гайка М20, 10 ГОСТ 1050-88	шт	16	0,063	1,008
54	Гайка М16, 10 ГОСТ 1050-88	шт	220	0,033	7,26
55	Прокладка А-150-16-ПОН	шт	4	0,066	0,264
56	Прокладка А-125-16-ПОН	шт	10	0,061	0,61
57	Прокладка А-100-16-ПОН	шт	30	0,047	1,41
58	Прокладка А-80-16-ПОН	шт	2	0,04	0,08
59	Прокладка А-65-16-ПОН	шт	4	0,033	0,132
40	Прокладка А-50-16-ПОН	шт	2	0,028	0,056
60	Бункер для щепи Ретра, 2 м ³	шт	1	600	600

Загальна маса становить 12649,362 кг.

Таблиця 4.2 – Комплектувальна відомість допоміжних матеріалів і виробів

№ п/п	Найменування робіт та витрат, одиниця вимірювання	Одиниці вимірюв ання	Кіль- кість	Маса	
				Одиниця	Всього
1	2	3	4	5	6
Допоміжні матеріали					
Для монтажу твердопаливного водогрійного котла [19]					
1	Фарба земляна густотерта олійна, мумія, сурик залізний	т	1	0,000075	0,075
2	Масло індустрієне И-20А	т	1	0,000055	0,055
3	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	1	0,004	4
4	Оліфа натуральна	кг	1	0,045	0,045
5	Вода	м ³	1	6,2	6200

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6
6	Очіс льняний	т	1	0,00005	0,05
7	Пароніт	т	1	0,00095	0,95
Для монтажу димососа радіального Д-3,5 М [35]					
8	Поковки масою 1,8 кг виготовлені із квадратних заготовок	т	1	0,021	21
9	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э50А	т	1	0,00012	0,12
10	Порошок графітовий	кг	1	0,81	0,81
Для монтажу бункера для щепи V=2 м³ [21]					
11	Болти із шестигранною головкою оцинковані, діаметр різьби 12-[14] мм	Т	0,21	0,00044	0,0924
14	Цвяхи будівельні з плоскою головкою 1,6x50 мм	т	0,22	0,00001	0,022
15	Канати прядив'яні просочені	т	0,23	0,0001	0,023
16	Катанка гарячекатана у мотках, діаметр 6,3-6,5 мм	т	0,21	0,00004	0,008
17	Швелери N 40 з гарячекатаного прокату із сталі вуглецевої звичайної якості, марка Ст0	т	0,21	0,002	4,2
18	Електроди, діаметр 2 мм, марка Э42	т	0,22	0,0004	0,088
19	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э46	т	0,21	0,012	2,52
20	Бруски обрізні з хвойних порід, довжина 4,5-6,5 м, ширина 80 -150 мм, товщина 40-75 мм, I сорт	м³	0,21* 0,00103	520	0,112
21	Ґрунтовка ГФ-021 червоно-коричнева	т	0,22	0,00031	0,068

Продовження таблиці 4.2

22	Розчинник, марка Р-4	т	0,25	0,00006	0,015
23	Канат подвійного звивання, тип ТК, оцинкований, з дроту марки В, маркірувальна група 1775 Н/мм ² , діаметр 5,6 мм	10 м	0,21* 0,0187	1,2	0,005
для монтажу газоходів 450×450 мм , Ø500 мм і фасонних частин					
24	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметр 8,0-10,0 мм	т	0,23	0,0031	0,71
25	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	0,23	2,81	0,65
26	Емульсія мильна	т	0,23	0,0014	0,322
27	Електроди, марка Э42, діаметр 2 мм	т	0,23	0,00055	0,126

Маса основного обладнання і матеріалів – 12649,362 кг.

Маса допоміжних матеріалів (без води) – 150 кг.

Маса допоміжного обладнання для монтажу складає 3000 кг

Необхідна кількість води – 6100 кг.

Маса матеріалів для доставки

$$M_{\text{дост}} = 12649,362 + 150 + 3000 = 15799,362 \text{ (кг)}.$$

4.2 Об'єми робіт [30 – 32]

1. Доставка деталей до добудованої котельні.. Одиниці вимірювання – тони. Загальна маса твердопаливного котла, бункера, теплоакumuлюючої ємності, насосів основних та допоміжних матеріалів виробів та обладнання становить 12800 кг (12,8 т). Приймаємо $V = 12,8$.

2. Розмітка місць прокладання трубопроводів. Одиниці вимірювання –

100 м. Загальна довжина всіх трубопроводів складає $L = 109,4$ м. Приймаємо $V = 1,094$.

3. Монтаж твердопаливного водогрійного котла BRS 800 кВт. Одиниці вимірювання – штуки. У котельні встановлюється 1 водогрійний котел потужністю 800 кВт. Приймаємо об'єм $V = 1$.

4. Монтаж живильного бункера об'ємом 2 м^3 . Одиниці вимірювання – тони. Маса бункера складає 600 кг (0,6 т). Приймаємо $V = 0,6$.

5. Монтаж димососа радіального. Одиниці вимірювання – 1 штука. У газовому тракті водогрійного котла встановлюється 1 димосос. Приймаємо $V = 1$

6. Монтаж насоса циркуляційного Wilo -IPN 65/140-32. Одиниці вимірювання – 1 штука. В котельні встановлюється 2 циркуляційні насоси. Приймаємо $V = 2$

7. Монтаж насоса котлового контура Wilo -Veroline IPL50/160-0.55/4. Одиниці вимірювання – 1 штука. В котельні встановлюється 2 насоси. Приймаємо $V = 2$

8. Монтаж насоса змішувального Wilo -TOP S 65/7. Одиниці вимірювання – 1 штука. В котельні встановлюється 1 насос. Приймаємо $V = 1$

9. Монтаж насоса підживлювального Lowara 1 SV04. Одиниці вимірювання – 1 штука. В котельні встановлюється 2 насоси. Приймаємо $V = 2$

10. Монтаж ємності теплоакumuлювальної $V = 5,4 \text{ м}^3$. Одиниці вимірювання – тона. Маса ємності 470 кг. (0,47 т). Приймаємо $V = 0,47$.

11. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання – 100 м. Довжина всіх трубопроводів складає $L = 109,4$ м. Приймаємо $V = 1,094$.

12. Повернення допоміжного обладнання на склад. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна маса допоміжного обладнання для монтажу складає 3000 кг (3 т). Приймаємо $V = 3$.

В даному розділі розроблено технологію монтажу водогрійного котла на твердому паливі потужністю 800 кВт та допоміжного обладнання. Визначено склад робіт, складено комплектувальну відомість основних матеріалів і виробів, визначено об'єми робіт.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі розглянуто питання охорони праці, що стосуються модернізації водогрійної котельні в м. Могилів-Подільський. Основна мета охорони праці – зведення до мінімуму імовірності травматизму та захворювань працівників. Це здійснюється за рахунок забезпечення належних умов праці.

На будівельно-монтажний персонал, що здійснює модернізацію водогрійної котельні, впливає комплекс таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів [36, 37].

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); іонізація повітря.

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі переважно фіброгенної дії (нетоксичний 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 та 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 конструкцій водогрійної котельні монтажники повинні дотримуватися правил охорони праці в будівництві [38], за якими потрібно перед початком монтажу електрообладнання вантажопідіймальних кранів змонтувати

постійні настили з огорожами відповідно до ГОСТ 12.4.059, ГОСТ 23407, ГОСТ 24258.

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.

Прокладати кабелі та проводи допускається тільки в повністю закріплені труби, лотки, короби тощо. У колекторах, тунелях, кабельних напівповерхах та інших приміщеннях, в яких прокладено кабелі, під час виконання робіт із використанням пропан-бутану сумарна кількість балонів з газом повинна бути об'ємом не більше ніж 5 л.

Під час роботи на конструкціях, під якими розташовані струмопровідні частини, що перебувають під напругою, ремонтні пристосування і інструмент прив'язуються для запобігання їх падінню. Застосовувати в цих випадках монтерські запобіжні паски зі стропами з металевого ланцюга забороняється. Подавати деталі на конструкції чи устаткування слід за допомогою «нескінченного» канату. Працівник, який стоїть внизу, повинен утримувати канат для запобігання його розгойдуванню і наближенню до струмовідних частин. Працівники, які виконують роботи на висоті або верхолазні роботи, повинні бути в спецодязі, що не заважає рухам. Особистий інструмент слід зберігати в сумці. Працівники, що здійснюють нагляд за членами бригади, які виконують верхолазні роботи або роботи на висоті, можуть розташовуватися на землі.

Електрифікований інструмент, що використовується при монтажі системи освітлення, за умовами безпеки поділяється на такі класи:

I – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, ізольовані 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;

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 унеможливлувати 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.

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

5.1.2 Електробезпека

Живлення будівельного обладнання та системи освітлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ ПБЕ [39, 40] умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що будуються, є струмопровідною.

Загальні вимоги 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 і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і 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 [41]. 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 [41].

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3 [42].

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 [42] наведено в табл. 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 [43]:

- 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 [44] розряд зорової роботи V, підрозряд «а».

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 освітленням, 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. Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характеристика зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрізд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне $E_{н.пр}$	Сумісне $E_{сум}$
						всього	у т. ч. від загального		
Малої точності	Від 1,0 до 5,0 включно	IV	в	малий	темний	400	200	3	1,8

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 – широкопasmовий 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 [45] і наведені в таблиці 5.4.

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.

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

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 (підшви ніг або сидниці). Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [46] 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 [47, 48]. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [48], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [49].

Отже, приміщення, де встановлене обладнання водоگрійної котельні для потреб теплопостачання, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Г (помірнопожежонебезпечна) – горючі гази, рідини і/або тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо.

До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в табл. 5.6.

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

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				колони	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекрыття між поверхами (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходові кліток	самонесучі	зовнішні несучі	внутрішні несучі (перегородки)				плити, настили, прогони	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120	REI 60	E 15	E1 15	R 120	R 60	REI 45	Не нормуються	
I	M0	M0	M0	M1	M0	M0	M1		

Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку [50]. Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в табл. 5.7.

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 тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських, сільськогосподарських будинків і споруд слід приймати за табл. 5.8 (знаменник).

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

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
III	8/9	8/12	10/15

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі [51]. В проектуваному приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м² наступна: до 1 – 100 м². На території будівництва встановлено 6 вогнегасників ВП-5.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи проведено модернізацію водогрійної котельні в м. Могилів-Подільський. Виконано аналітичний огляд літературної інформації по конструкціях водогрійних котлів на відновлюваних видах палива та технологіях спалювання твердого палива в котельні. Проаналізовано технологічні проблеми під час спалювання біомаси. На основі огляду літературної інформації, визначено сучасні конструкції водогрійних котлів на твердому паливі та обрано раціональну технологію спалювання твердого палива в котельні.

Проведено розрахунок теплової схеми котельні. Визначено річну витрату природного газу, що становить 45239 м^3 , затрати на паливо $C_{\text{пал}} = 8,09$ млн. грн, собівартість виробництва теплової енергії $СВ = 757$ грн/ГДж.

Виконано багатоваріантний аналіз способів модернізації котельні. Розглянуті варіанти переведення котельні на гранули з лущиння соняшнику, гранули з соломи, вугілля, тріску деревини. Запропоновано добудувати приміщення до котельні і встановити в ньому котел потужністю 800 кВт, що буде працювати в середньоопалювальний режим, бункер для палива, теплоакumuлюючу ємність, та інше обладнання, необхідне для функціонування котельні. Проведено аеродинамічний розрахунок димової труби з метою визначення самотяги і проведено розрахунок висоти димої труби на розсіювання викидів шкідливих речовин. Проведено оцінку екологічної ефективності переведення котельні на спалювання тріски деревини. Викиди парникових газів у разі переведення на спалювання тріски деревини в 1,98 рази перевищують такі викиди при спалюванні природного газу. Валові викиди оксидів азоту при спалюванні природного газу в 1,44 рази більші, ніж при спалюванні тріски деревини. Викиди твердих частинок найбільші для вугілля: в 31,6 рази більші, ніж для деревної тріски. Собівартість виробництва теплової енергії після модернізації – 646 грн/ГДж, витрати на паливо 6,353 млн. грн, витрата тріски деревини 1360 тон. Капіталовкладення в проєкт $K = 2,5$ млн. грн, а термін окупності 1,5 року.

Розроблено технологію монтажу водогрійного котла. Складено відомість основних та допоміжних матеріалів, необхідних для його монтажу. При цьому маса основного обладнання і матеріалів склала 12649 кг, а допоміжного – 150 кг.

Також визначено склад і об'єми робіт. Вибрано допоміжне обладнання для монтажу котла та іншого обладнання. Загальна маса обладнання – 3000 кг.

Спроектовано водогрійний котел потужністю 800 кВт для спалювання тріски деревини. Котел обладнано інтенсифікаторами теплообміну, шнеком для подачі палива та відведення золи, а також системою для пневматичного обдуву горизонтальних труб теплообмінника, що дозволить очищати поверхню від забруднень. За результатами розрахунку отримано такі результати: коефіцієнт корисної дії котла $\eta=87,6 \%$; температура відхідних газів $t_{вг}=160 \text{ }^{\circ}\text{C}$; витрата котлової води $G_k=7,64 \text{ кг/с}$; витрата палива $B_p=264 \text{ кг/год}$; довжина труб теплообмінника $L=2 \text{ м}$; кількість труб $n=84 \text{ шт}$; тип інтенсифікатора скручена пластина з кроком закручування 5, товщиною 3 мм.

Розроблено заходи з охорони праці. Проаналізовано технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Долінський А.А., Басок Б.І., Кучін Г.П. Програми технічної модернізації комунальної теплоенергетики регіонів України. *Промислова теплотехніка*. 2009. №1. С. 5 – 14.
2. Оптимальні рішення для модернізації котелень URL: <https://www.kronaimpuls.com.ua/optimalni-rishennya-dlya-modernizatsiyi-kotelen-2/> (дата звернення 20.03.2024 р).
3. Біоенергетичний потенціал аграрного сектору і промисловості – джерело енергетичної стійкості України. URL <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/bioenerhetychnyy-potentsial-ahrarnoho-sektoru-i-promyslovosti-dzhereho> (дата звернення 20.03.2024 р).
4. Степанов Д.В., Ткаченко С.Й., Боднар Л.А. Тенденції розвитку теплогенерувального обладнання на твердому паливі. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2008. №3. С. 46-49.
5. Степанов Д. В., Боднар Л. А. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності. Вінниця: Універсум, 2011. 132 с.
6. Як вибрати твердопаливний котел для будинку? URL <https://xn--e1aamjjfht.com.ua/yak-vybraty-tverdopalyvnyj-kotel-dlya-domu> (дата звернення 20.04.2024 р).
7. Водогрійний твердопаливний котел: пат. 119134 Україна: МПК(2006) F24H1/00. № 201701972; заявл. 01.03.2017; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7. 5 с.
8. Водогрійний твердопаливний котел: пат. 115400 Україна: МПК(2006) F23B60/00. № 201611801; заявл. 21.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7. 5 с.
9. Використання твердої біомаси як палива на котельнях. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2024/05/2_Kramar_TE-z-BM.pdf
10. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». Практичний посібник/За ред. Г. Гелетухи. К.: «Поліграф плюс», 2015. 72 с.

11. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / Ін-т технічної теплофізики НАН України; за ред. Г. Гелетуки. — Київ: Академ періодика, 2022. 373 с.

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

13. 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 20.03.2024 р).

14. Утилізатори теплоти димових газів URL: https://energetik.ua/ua/catalog/dopomijne_obladnanne/utylizatory-ugv-i-eb/ (дата звернення 20.03.2024 р).

15. Навродська Р.О. Енергоефективна теплоутилізаційна система для підігрівання тепломережної води та дуттьового повітря котлів комунальної теплоенергетики. *Промислова теплотехніка*. 2017. №4. С. 69 – 75.

16. Когенераційна установка Viessmann https://static.viessmann.com/resources/technical_documents/UA/uk/VDP/6223265VDP00006_1.pdf?#pagemode=bookmarks&zoom=page-fit&view=Fit

17. Prozorro Market. URL: [23. Аналіз цін у Prozorro Market - Ціни товарів \(завершені закупівлі із одним предметом лота\) | Лист - Qlik Sense \(дата звернення 16.04.2024 р\)](#) (дата звернення 01.04.2024 р).

18. ГКД 34.02.305–2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. 40 с.

19. Котел BRS 800 Comfort LM. URL: <https://kzot-kotel.com.ua/tverdopalyvni-kotly/kotel-z-avtopodacheiu-kzot-brs-800-comfort-lm/> (дата звернення 06.04.2024 р).

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

21. Бункер для твердого палива. URL: <https://retra.com.ua/avtomaticheskaya-podacha/bunkery/pitatelnye-bunkery-na-schepu> (дата звернення 06.05.2024 р).

22. Монастирищенський завод котельного обладнання: URL: <https://tekom-zavod.com.ua/ua/p1020474630-tsiklon-tsn-kotlu.html> (дата звернення 06.05.2024 р).

23. Боднар Л. А., Вакулук Р. Ю., Куленко О.О. Енергетична та екологічна ефективність переведення водогрійної котельні на спалювання біопалива. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців “Молодь в науці” ВНТУ, Вінниця, 15.10.2023 – 20.05.2024 р. Електрон.текст. дані. 2024. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/21272>. (дата звернення 15.05.2024 р).

24. Боднар Л. А., Куленко О.О. Особливості спалювання суміші газів в промислових теплогенеруючих установках. Матеріали ЛІІ Науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету, Вінниця, 21-23 червня 2023 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2023/schedConf/presentations> (дата звернення 15.05.2024 р).

25. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 32324. Комп'ютерна програма “Тепловий розрахунок водогрійних котлів малої потужності на традиційних та альтернативних паливах”.

26. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Боднар Л. А. Котельні установки: електронний навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2016. 185 с.

27. Чепурний М.М., Степанов Д. В., Корженко Є. С. Теплові розрахунки парогенераторів: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2006. 155 с.

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

29. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Збірники 15. Внутрішні санітарно-технічні роботи. Чинний від 2023-02-07. Київ: Мінрегіон України, 2021. 143 с. URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/725f1280-5274-11ec-aebf-af65aba18177.pdf> (дата звернення 01.04.2024 р.).

30. 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 01.04.2024 р.).

31. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Металеві конструкції (Збірник 9). URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/knu-resursni-elementni-koshtorysni-normy-na-budivelni-roboty.-metalevi-konstrukciyi.-zbirnyk-9.pdf> (дата звернення 01.04.2024 р.).

32. 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 01.04.2024 р.).

33. Каталог насосів Wilo. URL: https://politex.com.ua/wilo?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwyJqzBhBaEiwAWDRJVP_LmpiM7hFiGKLvqHfuXMzzkhRcBT8vLdGI dw3CQ8Gy7s0jqECuLoBoCbNMQAvD_BwE (дата звернення 01.05.2024 р.).

34. Продукція Danfoss URL: <https://store.danfoss.com/ua/uk/> (дата звернення 01.05.2024 р.).

35. Каталог димососів. URL: https://ukrvent.ua/dimosos-d3-5m_75?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwyJqzBhBaEiwAWDRJVN6P1EU18xyzaDvxauCzOiWdQS6TFV4BPIEQ-Hu7UGz8KZ0SBNtRYxoCLasQAvD_BwE (дата звернення 01.05.2024 р.).

36. 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 10.05.2024 р.).

37. 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 10.05.2024 р.).

38. 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.

39. 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.

40. 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 11.05.2024 р.).

41. 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 11.05.2024 р.).

42. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

43. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

44. 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 11.05.2024 р.).

45. 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 11.05.2024 р.).

46. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [Чинний від 2021-01-22]. Вид. офіц. К. : МВС України, 2014. 47 с.

47. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 84 с.

48. 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.

49. 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.

50. 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.

51. 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 11.05.2024 р.).

ДОДАТКИ

Додаток А

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

Назва роботи: Модернізація водогрійної котельні в місті Могилів-Подільський

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра теплоенергетики, ФБЦЕІ
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

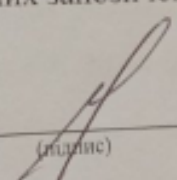
Оригінальність 65,6 Схожість 34,4

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

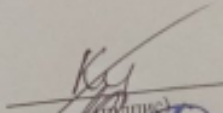
☐ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

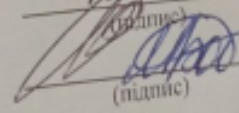
☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

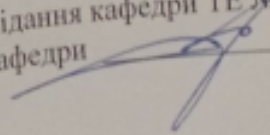
Особа, відповідальна за перевірку  Співак О.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи  Куленко О.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Боднар Л.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

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

Протокол засідання кафедри ТЕ № 18 від 14.05.2024 р.
Зав. кафедри  Д.В. Степанов

Додаток Б
(обов'язковий)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕ
доц. Д. В. Степанов

2024 р

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ В МІСТІ МОГИЛІВ-
ПОДІЛЬСЬКИЙ

08-15.БКР. 015.00.00.000 ТЗ

Керівник роботи:

к.т.н., доц. кафедри ТЕ

Боднар Лілія Анатоліївна

Виконавець:

студент гр. ТЕ-22 мс

Куленко Олександр Олексійович

Вінниця – 2024 рік

1 Найменування об'єкта та область застосування

Модернізація водогрійної котельні стосується підвищення енергетичної та економічної ефективності котельні, шляхом переведення її на відновлювальні види палива. 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 БДР № 80 від “11” березня 2024 року

3 Мета і призначення розробки

Модернізація котельні шляхом встановлення водогрійного котла на трісці деревини, 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 теплопостачання : 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

5.1 Технічні характеристики

- потужність системи опалення $Q_{оп}=1600$ кВт;
- система закрита;
- графік мережної води 95/70 °С;
- марки встановлених котлів КСВа-1.0Гн «ВК-22» (2 шт);
- тривалість опалювального періоду 189 діб;
- види палива: природний газ, тріска деревини.

5.2 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.

5.3 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.

7 Етапи розробки і терміни їх виконання

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	2	3	4
	Назви розділів		
1	Аналітичний огляд літературної інформації	15.03.2024 – 20.03.2024 р.	
2	Аналіз показників роботи котельні багатоваріантний аналіз шляхів її модернізації	21.03.2024– 10.04.2024 р.	

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4
3	Технологія монтажу водогрійного котла на твердому паливі	11.04.2024 – 27.04.2024 р.	
4	Водогрійний котел на твердому паливі	28.04.2024 – 15.05.2024 р.	
5	Охорона праці	16.05.2024 – 25.05.2024 р.	
6	Оформлення БДР	26.05.2024 – 01.06.2024 р.	
7	Захист БДР	19.06.2024 р.	

11 Порядок контролю і приймання

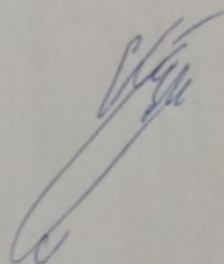
Порядок контролю за виконанням розробки здійснює дипломний керівник відповідно до встановлених термінів. Приймання розробки відбувається на попередньому і заключному етапах захисту за участю екзаменаційної комісії згідно з графіком захисту.

Коректування технічного завдання допускається з дозволу керівника роботи.

Початок розробки "15" березня 2024 р.

Кінець розробки "05" червня 2024 р.

Розробив студент групи ТЕ-22 мс



Куленко О.О.

Додаток В (довідниковий)

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

Тепловий розрахунок теплогенератора

Початкові дані

Потужність котла, кВт	800
Температура в подавальному трубопроводі, град.С	95
Температура в зворотному трубопроводі, град.С	70
Коефіцієнт надлишку повітря в котлі	1,5
Температура відхідних газів, град.С	160
Температура холодного повітря, град.С	20
Частка виносу золи	0,9
Вид палива	тверде паливо
Родовище	інше
Концентрація смол, мг/нм3	1000

Розрахувати об'єми та ентальпії повітря і продуктів згорання

Результати розрахунку об'ємів продуктів згорання

Теоретичний об'єм повітря	3,324	куб.м/кг
Теоретичний об'єм триатомних газів	0,659	куб.м/кг
Теоретичний об'єм двоатомних газів	2,630	куб.м/кг
Теоретичний об'єм водяної пари	0,891	куб.м/кг
Теоретичний об'єм димових газів	4,181	куб.м/кг
Дійсний об'єм двоатомних газів	4,292	куб.м/кг
Дійсний об'єм водяної пари	0,918	куб.м/кг
Дійсний об'єм димових газів	5,870	куб.м/кг
Концентрація золи	0,01073	кг/кг
Об'ємна частка триатомних газів	0,112	
Об'ємна частка водяної пари	0,156	
Сумарна частка триатомних газів та пари	0,268	

Тепловий баланс і витрата палива

Втрати теплоти від хімічної невідомості згорання, %	1
Втрати теплоти від механічної невідомості згорання, %	1
Втрати теплоти від зовнішнього охолодження, %	1

Розрахувати тепловий баланс та витрату палива

Результати розрахунку теплового балансу і витрати палива

Нижча теплота згорання палива	12326	кДж/кг	ККД котла	87,60	%
Ентальпія холодного повітря	86,442	кДж/кг	Коефіцієнт збереження теплоти	0,988	
Ентальпія відхідних газів	1299,6	кДж/кг	Розрахункова витрата палива	0,073344	кг/с
Втрати теплоти з відхідними газами	9,396	%	Витрата котлової води	7,6372	кг/с

Початкові дані

Об'єм топки, м3	2
Площа стін топки, м2	10
Площа променеспр. поверхні, м2	7,4
Коефіцієнт, що враховує забруднення	0,4
Конструкція пальників	шарові топки
Відношення дзеркала горіння до стін топки, м2/м3	0,151

Виконати тепловий розрахунок топки

Результати теплового розрахунку топки

Корисне тепловиділення в топці	12331	кДж/кг	Ефективна товщина випром. шару	0,72	м
Адіабатна температура	1320	град.С	Добуток pms	0,019296	
Температура на виході з топки	797,32	град.С	Коефіцієнт ослаблення променів	4,3237	
Ентальпія газів на виході з топки	7109,	кДж/кг	Критерій Бутера	0,3113	
Променисте тепловиділення	5158,	кДж/кг	Параметр М	0,6422	

Рисунок В1 – Вікно програми розрахунку водогрійного котла

Початкові дані

Внутрішній діаметр труб, мм

0,042

Зовнішній діаметр труб, мм

0,048

Середня довжина труб, м

2

Кількість труб, шт.

84

Тип інтенсифікатора

скручена пластина

Товщина інтенсифікатора, м

0,003

Відносний крок згину, м/м

5

Виконати тепловий розрахунок пучка

Тепловий розрахунок конвективного пучка

Результати теплового розрахунку конвективного пучка

Площа поверхні нагріву	25,32	м2	Коеф. промен.тепловіддачі від газів	2,231363	Вт/м2К
Площа перерізу для проходу газів	0,1057	м2	Температура вставки	397,66	град.С
Середньотемпературний напір	274,25	град.С	Коеф.тепловіддачі від вставки	12,521	Вт/м2К
Середня швидкість газів	11,21	м/с	Коеф.тепловіддачі сумарний	101,78	Вт/м2К
Критерій Рейнольдса	6886,		Коефіцієнт теплопередачі	60,915	Вт/м2К
Коеф.конвект.тепловіддачі від газів	87,03	Вт/м2К	Нев'язка розрахунку пучка	-0,486	%

Температура стінки труби пучка	122,84	град.С			
Температура конденсації водяної пари	54,581	град.С	Конденсація водяної пари	не відбуватиметься	
Температура точки роси прод. згорання	54,581	град.С	Конденсація смол	не відбуватиметься	
Температура точки роси смол	94,427	град.С			

Нев'язка розрахунку котла -1,185 %

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

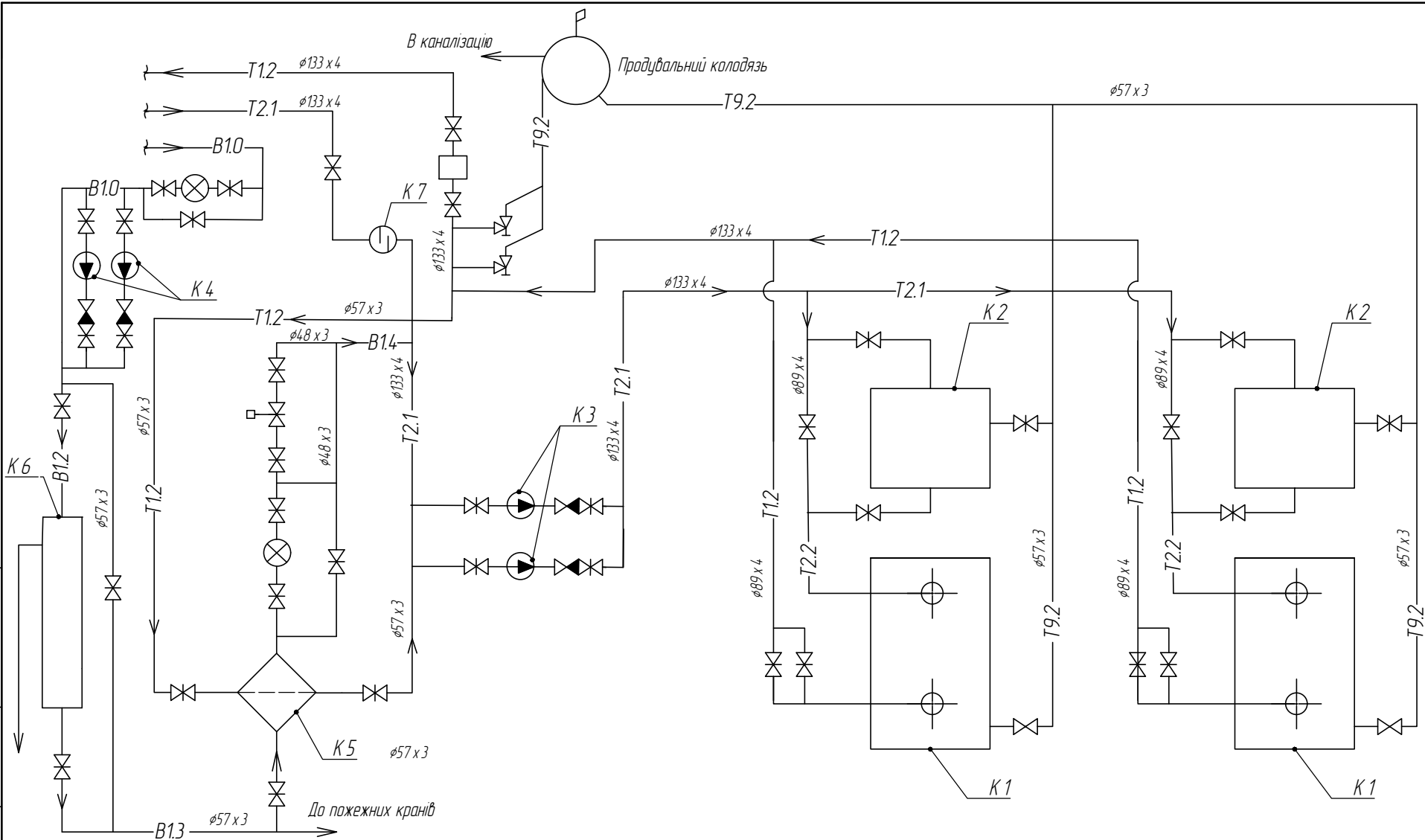
Рисунок В1 – Вікно програми розрахунку водогрійного котла (продовження)

Додаток Г
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ В МІСТІ МОГИЛІВ-
ПОДІЛЬСЬКИЙ

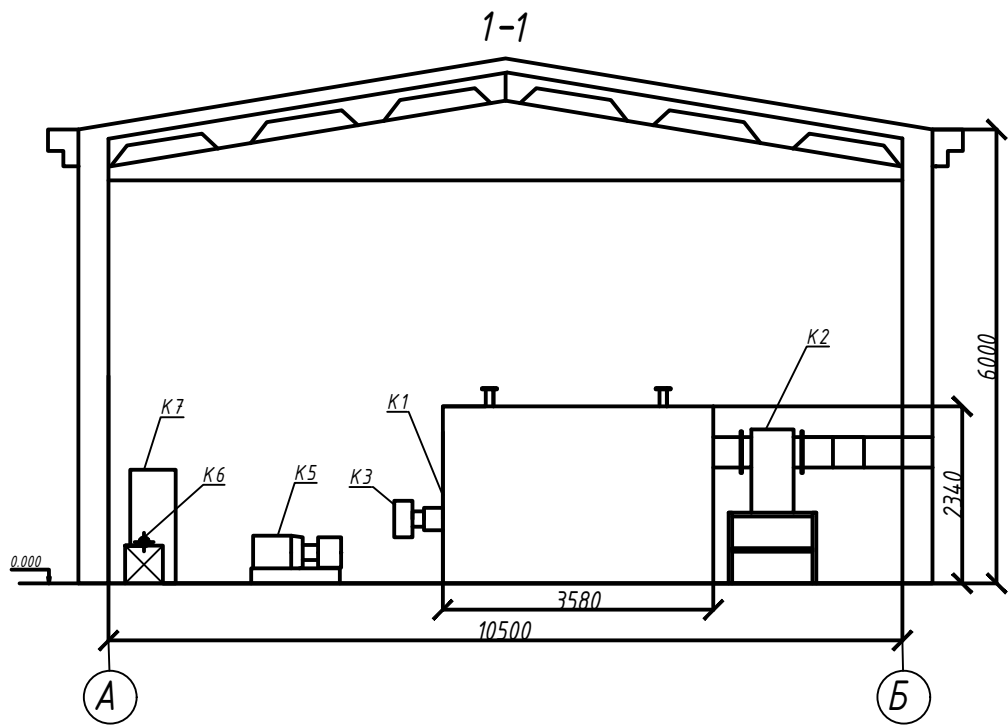
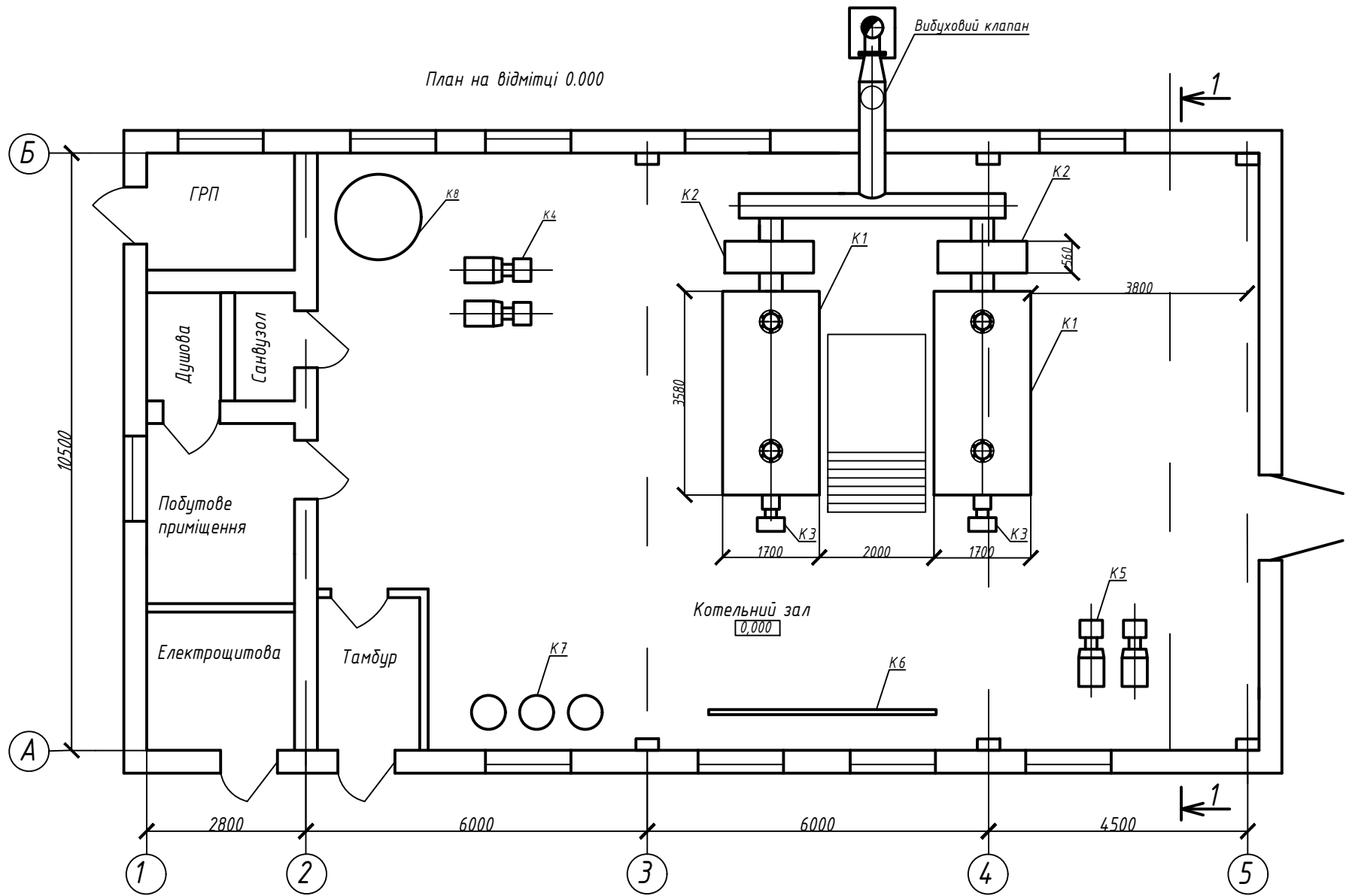
№№ об.	Підпис і дата	Зам. № об.	Підпис і дата



Умовні позначення

B1.0	Початкова вода	T9.1	Зливні трубопроводи напірні
B1.2	Початкова вода від насосів ХВО	T9.2	Зливні трубопроводи самотечійні
B1.3	Вода з ХВО до підігрівника	⌘	Засувка, вентиль
B1.4	Підживлення тепломережі	⌘	Зворотній клапан
T1.2	Пряма мережна вода	⊗	Водомір
T2.1	Зворотний трубопровід	⌘	Клапан запобіжний
T2.2	Зворотня вода від утилізатора	□	Первинний перетворювач витрати

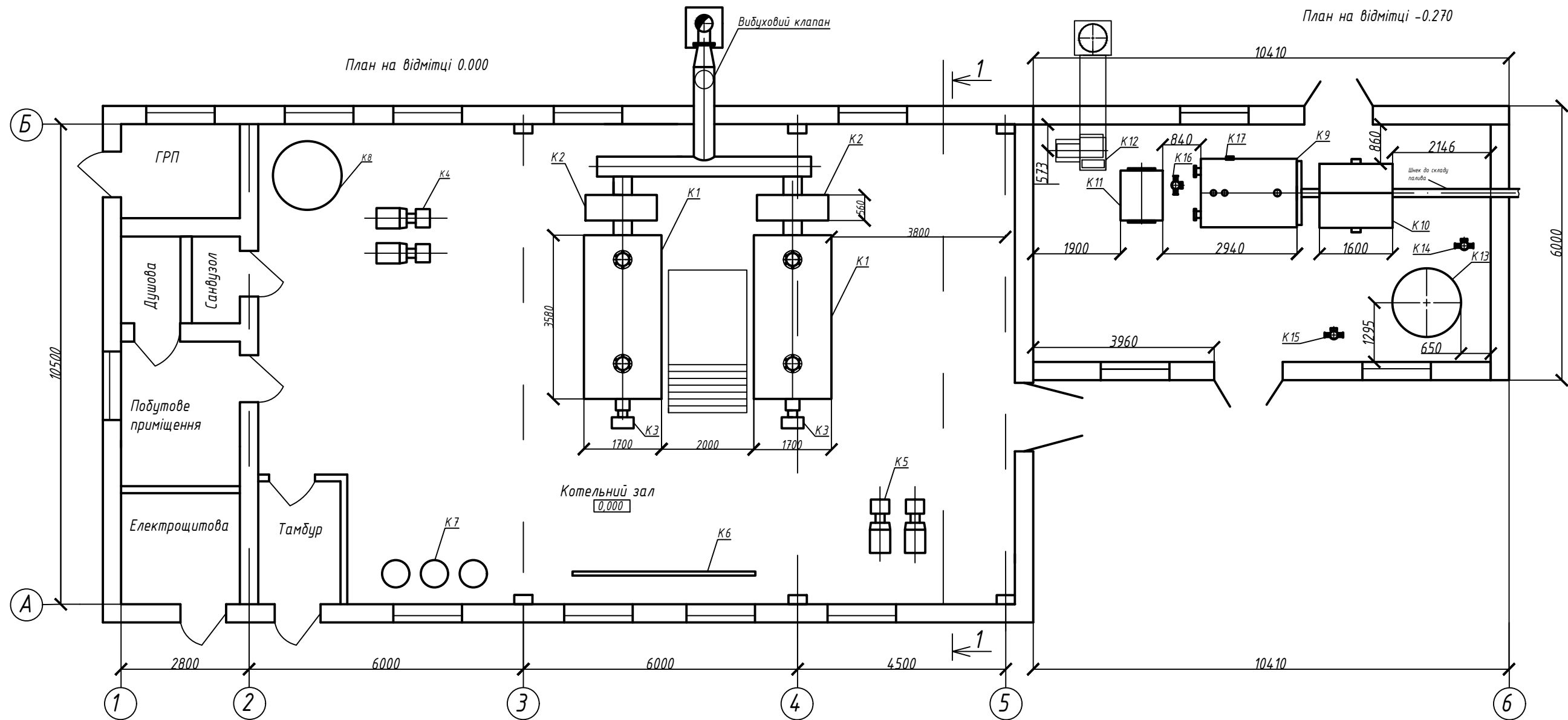
						08-15. БДР.015.01.00.000. Т 3			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Схема котельні теплова принципова		Лит.	Лист	Масштаб
Розроб.	Кученко О.О.							1	
Перевір.	Баднар Л.А.								
Т.контр.									
Реценз.					ВНТУ, гр. ТЕ-22 мс				
Н.контр.	Співак О.Ю.								
Затверд.	Степанов Д.В.								



Експлікація обладнання

Поз.	Найменування	Кіль.	Примітка
К1	Котел сталевий водогрійний Q=1МВт	2	
К2	Теплоутилізатор ТКП 0,9-70	2	
К3	Пальник ГГС-БМ-1,4	2	
К4	Насос підживлювальний	2	
К5	Насос мережний	2	
К6	Підігрівник хімоочищеної води	1	
К7	Водопідготовча установка ВПУ-1К	1	
К8	Бак запасу підживлювальної води V=1 м³	1	

						08-15.БДР.015.02.00.000.АР			
						м. Могилів-Подільський			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Модернізація водогрійної котельні в м. Могилів-Подільський	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив	Куленко О.О							1	
Перевірів	Боднар Л.А.								
Т.контр.									
Рецензент						План розташування обладнання			
Н.контр.	Снівак О.Ю.								
Затвердив	Степанов Д.В.								



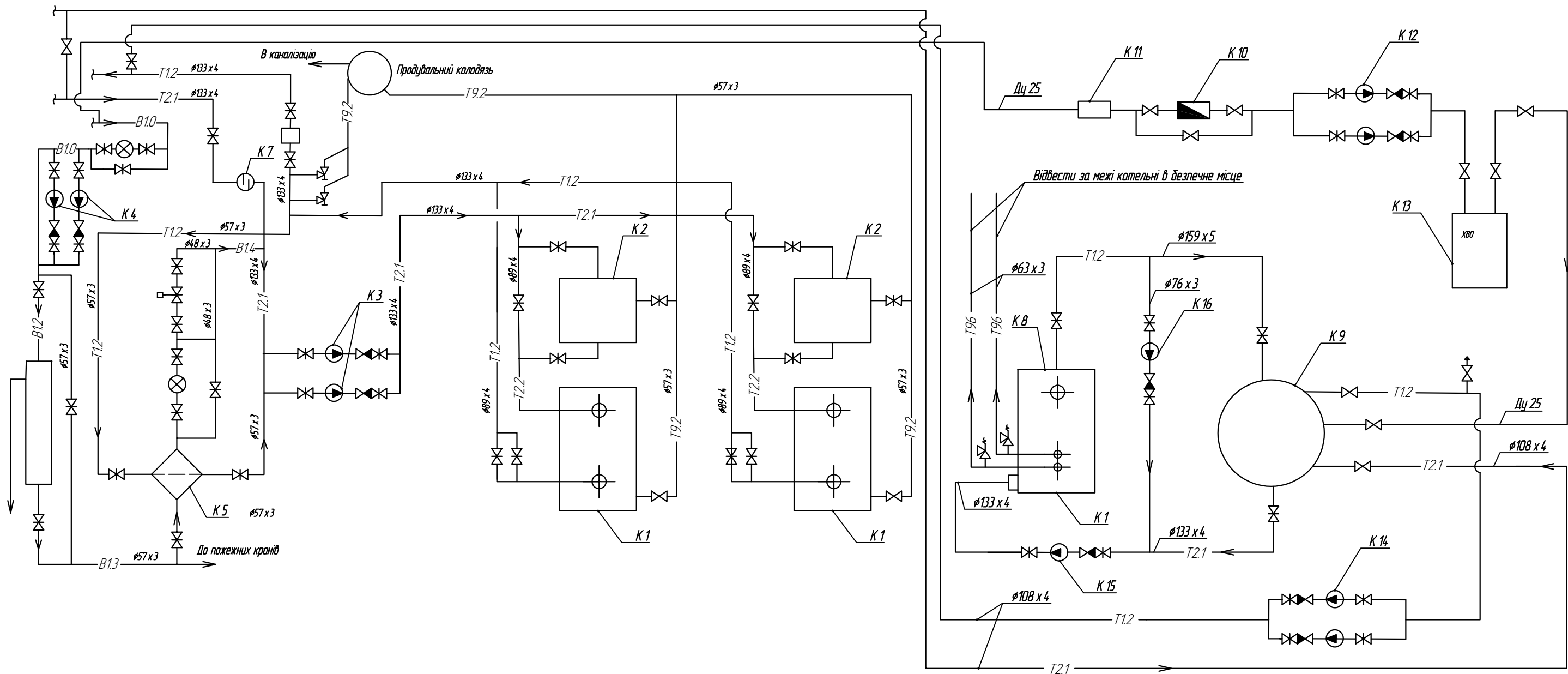
Експлікація обладнання

Поз.	Найменування	Кіль.	Примітка
К1	Котел сталевий водогрійний Q=1МВт	2	
К2	Теплоутилізатор ТКП 0,9-70	2	
К3	Пальник ГГС-БМ-1,4	2	
К4	Насос підживлювальний	2	
К5	Насос мережний	2	
К6	Підігрівник хімоочищеної води	1	
К7	Водопідготовка установка ВПУ-1К	1	
К8	Бак запасу підживлювальної води V=1 м³	1	
К9	Котел твердопаливний Q=800 кВт	1	
К10	Бункер для щепи V=2 м³	1	
К11	Золотловлювач ЗУ-1-2	1	
К12	Димосос радіальний Д-3,5М	1	

Поз.	Найменування	Кіль.	Примітка
К13	Ємність теплоакumuлююча, аварійного охолодження води	1	V=5.3 м³
К14	Насос підживлювальний Lowaga, Q=0,7 м³/год	1	H=21 м вод.ст
К15	Насос циркуляційний Wilo-IPN65/40-3/2	1	
К16	Насос котлового контура Wilo-Veroline IPL50/160-0,55-4	1	
К17	Насос рециркуляційний Wilo-TOP-S65-7	1	

08-15.БДР.015.03.00.000.АР					
м. Могилів-Подільський					
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата
Розробив	Куленко О.О				
Перевірів	Боднар Л.А.				
Т.контр.					
Рецензент					
Н.контр.	Снівак О.Ю.				
Затвердив	Степанов Д.В				
Модернізація водогрійної котельні в м. Могилів-Подільський				Стадія	Аркуш
План розташування обладнання після модернізації				Аркушів	

					Поз.	Найменування	Кільк.	Примітка			
						Обладнання					
					K1	Котел сталевий водогрійний ВК-22	2	Пальник ГГС-БМ-1,4			
					K2	Теплоутилізатор ТКП 0,9-70	2				
					K3	Насос мережний з електродвигуном 4AM160S2, N=5,5кВт, n=2900 ⁻¹	2	Q=100 м ³ /год, H=32 м			
					K4	Насос підживлювальний КМ-65-50-160 з електродвигуном 4AM100L2, N= 5,5 кВт, n=2900 ⁻¹	2	Q=25 м ³ /год, H=32 м			
					K5	Підігрівник хімічищеної води, Ø89 мм, l=4000 мм, 1 секція	1				
					K6	Водопідготовча установка ВПУ-1К	1				
					K7	Грязевик	1				
					K8	Котел твердопаливний Q=800кВт	1				
					K9	Ємність теплоакumuлююча, аварійного охолодження води	1	V=5,3 м ³			
					K10	Лічильник витрати води	1				
					K11	Фільтр сітчастий муфтовий	1				
					K12	Насос підживлювальний Lowaga	1				
						Q=0,7 м ³ /год, H=23,5 м.вод.ст	2				
					K13	Антинакипний фільтр	1				
					K14	Насос циркуляційний системи опалення	1				
					08-15. БДР .015.05.00.000						
					Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата		
					Разробив	Куленко О.О.					
					Перевірів	Боднар Л.А.					
					Т.контр.						
					Н.контр.	Співак О.Ю.					
					Затвердив	Степанов Д.В.					
					Модернізована схема котельні теплова принципова				Літ.	Аркуш	Аркушів
										1	2
									TE -22 мс, ВНТУ		



Умовні позначення

B1.0	Початкова вода	T9.1	Зливні трубопроводи напірні
B1.2	Початкова вода від насосів ХВО	T9.2	Зливні трубопроводи самотечійні
B1.3	Вода з ХВО до підігрівника	✕	Засувка, вентиль
B1.4	Підживлення тепломережі	✕	Зворотній клапан
T1.2	Пряма мережна вода	✕	Водомір
T2.1	Зворотний трубопровід	✕	Клапан запобіжний
T2.2	Зворотня вода від утилізатора	□	Первинний перетворювач витрати

08-15. БДР .015.05.00.000. Т 3					Модернізована схема котельні теплова принципова			Літ.	Лист	Масштаб
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					1	
Розроб.	Куленко О.О.				ВНТУ, ТЕ-22 мс					
Перевір.	Боднар Л.А.									
Т.контр.										
Реценз.										
Н.контр.	Співак О.Ю.									
Затверд.	Степанов Д.В.									

Формат А3

Формат		Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка	
Справ. №								
					Документація			
				08-15.БДР.015.06.00.000.СК	Складальне креслення			
					Складальні одиниці			
			1	08-15.БДР.015.06.01.000	Газотрубний теплообмінник	1		
			2	08-15.БДР.015.06.01.000	Патрубок для прямої мережної води	1		
			3	08-15.БДР.015.06.03.000	Дверцята	1		
			4	08-15.БДР.015.106.04.000	Обмурівка	1		
			5	08-15.БДР.015.06.05.000	Люк для чищення труб	2		
			6	08-15.БДР.015.06.06.000	Колосникова решітка	1		
			7	08-15.БДР.015.06.07.000	Накопичувач золи	1		
			8	08-15.БДР.015.06.08.000	Люк для видалення золи	1		
			9	08-15.БДР.015.06.09.000	Вентилятор для первинного повітря	1		
Інв. № докл.				10	08-15.БДР.015.06.10.000	Шнек для подачі палива	1	
				11	08-15.БДР.015.06.11.000	Ретортний пальник	1	
				12	08-15.БДР.015.06.12.000	Вентилятор для подачі вторинного повітря	1	
				13	08-15.БДР.015.06.13.000	Водяна сорочка топки	1	
				14	08-15.БДР.015.06.14.000	Патрубок для зворотної води	1	
				15	08-15.БДР.015.06.15.000	Патрубки для системи пневматичного обдуву	8	
					Деталі			
				16	08-15.БДР.015.06.00.016	Пластина	1	
				17	08-15.БДР.015.06.00.017	Інтенсифікатори	84	
					08-15.БДР.015.06.00.000			
Зм. / лист		№ докум.		Підп.	Дата			
Розробив		Куленко О.О.						
Перевірив		Баднар І.А.						
Рецензент								
Н.контр.		Співак О.Ю.						
Затвердив		Степанов Д.В.						
Водогрійний котел потужністю 800 кВт						Літ.	Аркулш	Аркулшів
								1
						ВНТУ, ТЕ-22мс		