

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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

## БАКАЛАВРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«Модернізація парової котельні товариства з додатковою відповідальністю «Вапнярський молокозавод»

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ-21 мс  
спеціальності 144 – Теплоенергетика  
(шифр і назва спеціальності)

Огірчук О.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к. т. н., доцент каф. ТЕ

Резидент Н.В.  
(прізвище та ініціали)

« 13 » 06 2023 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. БМГА

Попович М.М.  
(прізвище та ініціали)

« 14 » 06 2023 р.

Допущено до захисту  
В.о. завідувача кафедри ТЕ

К.Т.Н., доц. Степанов Д. В.  
(прізвище та ініціали)

« 14 » 06 2023 р.

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  
В.о. завідувача кафедри ТЕ  
Д. В. Степанов  
2023 року



## ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чорному Володимиру Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи «Модернізація парової котельні товариства з обмеженою відповідальністю «АВІС»  
керівник роботи Резидент Наталія Володимирівна, к.т.н., доц. каф. ТЕ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» березня 2023 року № 67.
- Строк подання студентом роботи 11.06.2023
- Вхідні дані до роботи: витрата пари на промислові споживачі 1  $D_{nc1} = 0,6$  т/год; витрата пари на промислові споживачі 2  $D_{cn2} = 1,3$  т/год; параметри пари для промислових споживачів 1  $P_{cn1} = 0,4$  МПа,  $t_{cn1} = 143$  °С; параметри пари для промислових споживачів 2  $P_{cn2} = 0,8$  МПа,  $t_{cn2} = 170$  °С; частка повернення конденсату від промислових споживачів  $\alpha = 0,7$ ; температура зворотного конденсату  $t_{зк} = 45$  °С; температура води після хімводоочистки  $t_{хво} = 10$  °С; температура води після підігрівника додаткової води  $t_{пдв} = 50$  °С; паливо – природний газ, відновлювані види палива; річна тривалість роботи котельні 165 діб.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналітичний огляд джерел інформації щодо заміщення викопних видів палива в котельнях; аналіз показників роботи котельні за існуючою тепловою схемою; обґрунтування вибраного варіанту модернізації котельні; конструктивна частина; технологічна частина; охорона праці.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
план котельні на відм. 0.000; теплова схема котельні; парогенератор Е-1.0-0.9 (розрізи); схема монтажна аксонометрична.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Резидент Н. В., к.т.н., доц. кафедри ТЕ	<i>Н.В.</i> 22.03.23	<i>Н.В.</i> 12.06.23
5	Віштак І.В., к.т.н., доц. кафедри БЖД/75	<i>І.В.</i>	<i>І.В.</i>
Н.контроль	Співак О.Ю., к.т.н., доц. кафедри ТЕ	<i>О.Ю.</i> 13.06.23	

7. Дата видачі завдання 22.03.2023

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналітичний огляд джерел інформації щодо заміщення викопних видів палива в котельнях	22.03.23...02.04.23	<i>вик.</i>
2	Аналіз показників роботи котельні за існуючою тепловою схемою. Обґрунтування вибраного варіанту модернізації.	03.04.23...21.04.23	<i>вик.</i>
3	Конструктивна частина	22.04.23...09.05.23	<i>вик.</i>
4	Технологічна частина	10.05.23...24.05.23	<i>вик.</i>
5	Охорона праці	25.05.23...01.06.23	<i>вик.</i>
6	Оформлення БДР	02.06.23...09.06.23	<i>вик.</i>
7	Попередній захист БДР	10.06.23...13.06.23	<i>вик.</i>
8	Захист БДР	14.06.23...22.06.23	<i>вик.</i>

Студент *Виниц*  
(підпис)Чорний В. С.  
(прізвище та ініціали)Керівник БДР *Віштак*  
(підпис)Резидент Н.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.1

Огірчук О. В. Модернізація парової котельні товариства з додатковою відповідальністю «Вапнярський молокозавод. Бакалаврська дипломна робота зі спеціальності 144 – теплоенергетика, освітня програма – теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2023. 72 с.

Бібліогр.: 42 назв.; рис.: 1; табл. 20.

У бакалаврській дипломній роботі розроблені принципові рішення щодо зменшення собівартості виробництва теплоти та зменшення шкідливого впливу на довкілля парової котельні шляхом заміщення викопного виду палива відновлюваними видами палива. У загальній частині проаналізовано ефективність заходів в напрямку заміщення природного газу іншими видами палива, зокрема відновлюваними, техніко-економічними показниками обґрунтована доцільність розробки. В конструктивній частині виконано перевірний розрахунок котла ДЕ-2,5-0,9 в разі роботи на твердому паливі – деревині. Підібрано систему очищення відхідних газів твердопаливних котлів, виконано перевірний розрахунок димової труби. У технологічній частині розроблено технологію монтажу системи очищення відхідних газів твердопаливних котлів від вискодисперсної золи. Виконано компоновку обладнання, розроблені схеми прокладання газопроводів, розроблені відомості на виконання робіт. Графічна частина містить 4 креслення. У розділі з охорони праці розроблено технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта, з гігієни праці та виробничої санітарії та пожежної безпеки.

Ключові слова: парові котли, біомаса, відновлювані види палива, циклон-утилізатор.

## ABSTRACT

Ohirchuk O. V. Modernization of the steam boiler house of the company with additional responsibility "Vapnyarskyi molokozavod. Bachelor thesis on specialty 144 – thermal power engineering, educational program - thermal power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. 72 p.

Bibliography: 42 titles; Fig.: 1; table 20.

In the bachelor's thesis, principled solutions were developed to reduce the cost of heat production and reduce the harmful impact on the environment of a steam boiler plant by replacing fossil fuels with renewable fuels. In the general part, the effectiveness of measures in the direction of replacing natural gas with other types of fuel, in particular renewable ones, is analyzed, the feasibility of development is substantiated by technical and economic indicators. In the structural part, a check calculation of the boiler was performed DE-2.5-0.9 when working on solid fuel - wood. The exhaust gas cleaning system of solid fuel boilers was selected, and the smoke pipe was checked. In the technological part, the technology of installation of the exhaust gas cleaning system of solid fuel boilers and their cleaning from highly dispersed ash has been developed. The layout of the equipment was carried out, gas pipeline laying schemes were developed, information on the performance of the works was developed. The graphic part contains 4 drawings. The labor protection section has developed technical solutions for the safe operation of the facility, occupational hygiene and industrial sanitation, and fire safety.

Key words: steam boilers, biomass, renewable fuels, cyclone-utilizer.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В КОТЕЛЬНЯХ ВІДНОВЛЮВАНИМИ ВИДАМИ ПАЛИВА .....	8
2 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КОТЕЛЬНІ ЗА ІСНУЮЧОЮ ТЕПЛОВОЮ СХЕМОЮ. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ .....	12
2.1 Загальна характеристика об'єкта.....	12
2.2 Розрахунок теплової схеми для опалювального періоду.....	13
2.3 Розрахунок теплової схеми для міжопалювального періоду .....	17
2.4 Розрахунок електричної потужності власних потреб котельні.....	18
2.5 Техніко-економічні показники роботи котельні за існуючою тепловою схемою .....	22
2.6 Техніко - економічне обґрунтування варіантів модернізації котельні .....	26
3 ПЕРЕВІРНИЙ РОЗРАХУНОК КОТЛА ДЕ-2,5-0,9 НА ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ .....	30
3.1 Розрахунок процесу горіння палива.....	30
3.2 Тепловий розрахунок котла .....	35
3.3 Перевірка висоти димової труби на розсіювання золи в атмосферу .....	43
4 ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ КОТЛІВ.....	46
4.1 Загальна характеристика об'єкта, який підлягає монтажу .....	46
4.2 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей.....	47
4.3 Визначення складу і об'єму робіт .....	49
4.4 Підбір машин, механізмів, пристосувань для монтажних робіт .....	51
5 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	54
5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта .....	55
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	59
5.3 Технічні рішення з пожежної безпеки .....	64
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	68
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки БДР .....	73
Додаток Б (обов'язковий). Технічне завдання .....	74
Додаток В (обов'язковий). Графічна частина .....	77

## ВСТУП

В останні роки у конкурентній боротьбі за споживача на перший план поряд з необхідністю технічної реконструкції, впровадженням європейських стандартів контролю якості, розробкою нових видів продуктів, вийшли проблеми зниження собівартості продукції і в першу чергу – економія палива та електроенергії [1].

Підвищення енергоефективності зменшує загальні витрати підприємства, і як наслідок знижує вартість продукції. У промисловому секторі часто не використовують усі доступні економічно доцільні технології. Відповідно з оцінками експертів 10-20% споживання енергії промислових підприємств можна зменшити шляхом малозатратних енергоефективних заходів. Більшість енергоефективних технологій сприяють підвищенню ефективності виробництва. Таким чином, енергоефективність безпосередньо впливає на конкурентоспроможність: як на рівні підприємств, так і окремих галузей економіки [2].

Молочна галузь в значній мірі є залежною від природного газу. Така залежність пов'язана зі значним використанням теплової енергії у виробництві, зокрема, у процесах сепарування, гомогенізації, теплової обробки та пастеризації. Частка використання електроенергії на підприємствах молочної галузі в середньому становить 31,4%. Основними споживачами електроенергії є: технологічне обладнання, компресори, холодильне обладнання, підготовка молока. На потреби опалення та гарячого водопостачання також використовують деревину та вугілля (10,8%).

Найбільш поширені енергоефективні технології та практики, які можна застосовувати майже на більшості підприємств, наступні:

- застосування енергоефективних пальників та котлів;
- застосування енергоефективних електроприводів;
- рекуперація теплоти від технологічного обладнання;
- поліпшення теплової ізоляції виробничого обладнання;
- поліпшення теплової ізоляції елементів теплових мереж;

- впровадження системи енергетичного менеджменту
- оптимізація систем виробництва та розподілу стисненого повітря [2].

Споживання паливно-енергетичних ресурсів промисловістю країни становить понад 30% у загальному паливно-енергетичному балансі України.

Ріст цін на паливно-енергетичні ресурси змушує українських виробників замислитися про зниження собівартості молочної продукції, зокрема через ефективне розпорядження відходами виробництва [3].

Мета роботи – заміщення природного газу, як джерела енергії, шляхом переведення парових котлів на відновлюваний вид палива.

Завдання бакалаврської дипломної роботи:

- виконати розрахунки існуючої теплової схеми котельні для опалювального та міжопалювального періодів;
- визначити техніко-економічні показники роботи котельні на природному газі і відновлюваних видах палива;
- виконати перевірний розрахунок котлів на відновлюваному виді палива;
- розробити технологію монтажу системи очищення відхідних газів парових котлів;
- розробити заходи з охорони праці.



# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В КОТЕЛЬНЯХ ВІДНОВЛЮВАНИМИ ВИДАМИ ПАЛИВА

В умовах економічної кризи актуальним питанням для України є енергетична незалежність, що обумовлює використання відновлюваних та місцевих видів палива. Поряд з тим державна політика передбачає зменшення шкідливого впливу на довкілля джерелам енергії.

Одним із найбільших споживачів природного газу є харчова промисловість. Переведення харчової промисловості на альтернативні джерела енергії є одним з пріоритетних напрямків розвитку енергетики в державі. Розробка проектів з переведення частини котелень харчової промисловості з природного газу на інші види палива, впровадження твердопаливних котелень перспективним напрямком поліпшення стану енергетичної галузі України. Використання відходів деревини і вирощування енергетичних лісів – один із шляхів стійкого розвитку в одержанні енергетичної деревної та кущової біомаси. Отриману біомасу можна використовувати в енергетичних цілях для безпосереднього спалювання твердого біопалива, а також у переробленому – гранули або брикети вигляді, що має величезні переваги в порівнянні з використанням традиційних видів палива. Для виробництва гранул чи брикетів витрачається близько 3 % енергії, тим часом як, під час переробки нафти ці енерговитрати складають 10 %, а під час вироблення електроенергії – 60 % [4].

Одним із альтернативних перспективних видів палива для промислових підприємств, який поступово завойовує ринок відновлюваних джерел енергії в різних країнах і на різних континентах є біогаз [5]. На підприємствах біогаз використовується як паливо в котлах для виробництва теплової енергії, в когенераційних машинах для виробництва електроенергії та супутньої теплової енергії.

Вибір виду палива для котельні залежить від ряду факторів: доступності сировини, ціни, зручності у використанні, наявності обладнання.

Котельні на природному газі можуть облаштовуватися в житлових приміщеннях, адміністративних будівлях, виробничих будівлях, будівельних майданчиках, сільськогосподарських об'єктах. Газоподібне паливо можна застосовувати в будь-яких типах котельних – блочно-модульних, дахових, вбудованих, стаціонарних [7]. В природного газу, як палива, є наступні недоліки:

- висока вартість підключення абонентів до елементів газопостачання;
- низька якість газу;
- зменшення запасів природного газу і постійне здорожчання цього виду палива;
- якщо нестабільний тиск в системі, то це призводить до збоїв в роботі обладнання;
- підключення та поточне обслуговування здійснюють лише сертифіковані організації;

Перевага газоподібних палив полягає в тому, що вони добре піддаються автоматизації, яка дозволяє заощаджуючи витрати газу та електричної енергії.

Котли на паливних гранулах та паливній трісці відносяться до класу твердопаливного обладнання. В котлах такого типу зможна використовувати компактні, спресовані в гранули відходи деревообробки та сільськогосподарські відходи – тирсу, дрібні стружки, солому тощо.

Переваги деревини, як палива:

- вартість деревних гранул нижче у порівнянні з природним газом, дровами, вугіллям, дизпаливом або мазутом;
- спалювання пелет і тріски можна автоматизувати;
- висока пожежо- та вибухобезпечність в порівнянні з газом або дизпаливом.
- гранули порівняно зручно використовувати, зберігати і транспортувати. Пелети упаковуються в поліетиленові мішки по 15-25 кг або в великі м'які контейнери (біг-беги) по 500-1000 кг. Таким чином, їх можна зберігати навіть на вулиці.

– порівняно проста конструкція котла, що зумовлює надійність та зручність в експлуатації.

Основна проблема, що виникає під час спалювання соломи і пелет – плавлення золи, яка викликає її спікання та призводить до блокування рухомих елементів топки, відкладення розплавлених часток на конвективних поверхнях теплообміну, внаслідок чого погіршуються умови тепловіддачі та перегріваються труби. Найбільшою проблемою щодо спалювання соломи в парових котлах є високотемпературна корозія, яка пошкоджує труби пароперегрівників [7].

У процесі спалювання соломи виявлено підвищене утворення твердих частинок і аерозолів у відхідних газах, що обумовлює необхідність спорудження дороговартісних систем очищення і створює додаткове навантаження на діючі системи очищення відхідних газів, може створювати певні обмеження щодо їх використання з погляду охорони довкілля. Також потрібно враховувати більші, інколи в 10–15 разів об'єми золи, які утворюються під час спалювання соломи, порівняно зі спалюванням деревного палива. Такі роблеми залежать переважно від хімічного складу палива, тобто від складу елементів, що формують негорючу, зольну частину палива та переходять у золу. Проблеми щодо хімічного складу можуть бути більшими або меншими, залежно від способів спалювання, конструкції обладнання і способів керування процесом [8].

Умови дотримання правил пожежної безпеки вимагають встановлювати котли на твердому паливі в окремому приміщенні.

Під час виробництва молочних продуктів утворюється велика кількість сироватки – 90 % від об'єму молока, яке має перероблятися. Сироватка містить до 50 % сухих речовин молока, в тому числі до 5 % лактози, жирів, білки, амінокислоти, органічні кислоти. Відомі наступні методи утилізації сироватки: ультрафільтрація, сушіння, виробництво етилового спирту та інших продуктів. На підприємстві є цех сушки знежиреної сироватки, але по технології не всю сироватку можна сушити - це солена сироватка, яка скидається в каналі-

зацію разом із стічною водою, що створює екологічну проблему. ХСК сироватки і стічних вод становить відповідно близько 30000 та 2000 мг/л. Недостатнє промислове використання відходів призводить до великих втрат цінних речовин, зниження ефективності роботи та потужності очисних споруд на підприємстві. Сьогодні залишається актуальним пошук альтернативних засобів утилізації сироватки та ефективного очищення стічних вод [9]. Технологія очищення в аеротенках, яка є традиційною є економічно не ефективною і доцільно застосовувати анаеробне зброджування під час якого концентрація забруднень суттєво знижується і додатково дає можливість отримати з 1 м<sup>3</sup> сироватки понад 15 м<sup>3</sup> біогазу. Суть нового підходу до теплозабезпечення молокопереробних підприємств – виробництво теплової енергії при спалюванні біогазу.

Переваги використання біогазу наступні:

- біогаз – відновлюване джерело енергії;
- універсальність відносно сировинної бази;
- широкий спектр подальшого використання біогазу. Біогаз можна доочистити в біометан;
- стабільність енергоносія.

Недоліками цього виду палива вважають великі першопочаткові капітальні вкладення та необхідність спорудження ефективної системи доочищення біогазу [10].

## **2 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КОТЕЛЬНІ ЗА ІСНУЮЧОЮ ТЕПЛОВОЮ СХЕМОЮ. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ**

### 2.1 Загальна характеристика об'єкта

Забезпечення тепловою енергією ТДВ «Вапнярський молокозавод» здійснюється від парової котельні.

Компоновка котельні виконана закритим розташуванням тягодудуттєвих машин. В приміщенні розміщені парові котли, щит теплового контролю, захисту та автоматики. В котельні розміщене устаткування хімводоочистки, насоси, побутові приміщення.

В котельні встановлено два парові котли ДЕ-2,5-0,9, що працюють на газоподібному паливі середнього тиску – природному газі. Подача газу здійснюється від ГРП, що розташована за територією котельні. Котли парові ДЕ-2,5-0,9 (продуктивністю 2,5 т/год) належать до типу вертикально-водотрубних двобарабанних котлів з природною циркуляцією що працюють під наддувом, тобто без димососа. Котли призначені для вироблення насиченої пари робочим тиском до 0,8МПа з температурою до 175 °С, використовуваного в промисловості і сільському господарстві для технологічних, господарських і побутових потреб.

Вода до котлів подається з температурою 5 – 15 °С залежно від температури навколишнього середовища. Після проходження через хімводоочистку, для її обезкиснення застосовується речовина «Рондофос».

В котельні встановлені два живильні насоси (один робочий, один резервний) марки ЦВ-4/85 продуктивністю 5 м<sup>3</sup>/год, напором 1,88 м. вод. ст., потужністю 17 кВт.

Водопостачання здійснюється безпосередньо від існуючої міської мережі водогону. Передбачена безперервна і періодична продувки котла для запобігання випадання з котлової води накипоутворюючих солей і утворення накипу. Продувальна вода виливається в продувальний колодезь.

Трубопроводи котельні заізолювані та мають дренаж в найнижчих точках. Циркуляція мережної води в системі опалення забезпечується двома мережними насосами, один з яких резервний.

Відхідні гази котлів видаляються в димову трубу, діаметр гирла якої становить 1,5 м, а висота 30 м. Розрахунок димової труби виконаний за умови дотримання граничної допустимої концентрації (ГДК) шкідливих викидів в наземному шарі атмосфери. Розрахунки розсіювання оксидів азоту виконанні за методикою СН-369-4, за умови, що фонові ГДК дорівнює нулю.

Пара від котлів поступає на колектор, звідки розподіляється на пункти опалення, гарячого водопостачання та до промислового споживача. Конденсат не повертається.

## 2.2 Розрахунок теплової схеми для опалювального періоду

Початкові дані для розрахунку теплової схеми в опалювальний період:

- параметри пари на виході з котла:  $P_0 = 0,7$  МПа;  $t_0 = 165$  °С;  $h_0 = 2763$  кДж/кг;
- витрата пари на промислові споживачі  $D_{оп} = 1,2$  т/год = 0,33 кг/с;
- витрата пари на опалення  $D_{оп} = 0,9$  т/год = 0,25 кг/с;
- витрата пари на гаряче водопостачання  $D_{гвп} = 0,12$  т/год = 0,033 кг/с;
- ККД парогенератора:  $\eta_{пг} = 91$  %;
- температура холодної води:  $t_{хв} = 5$  °С;
- конденсат не повертається.

Принципова тепла схема котельні Вапнярського молокозаводу показана на рис. 2.1.

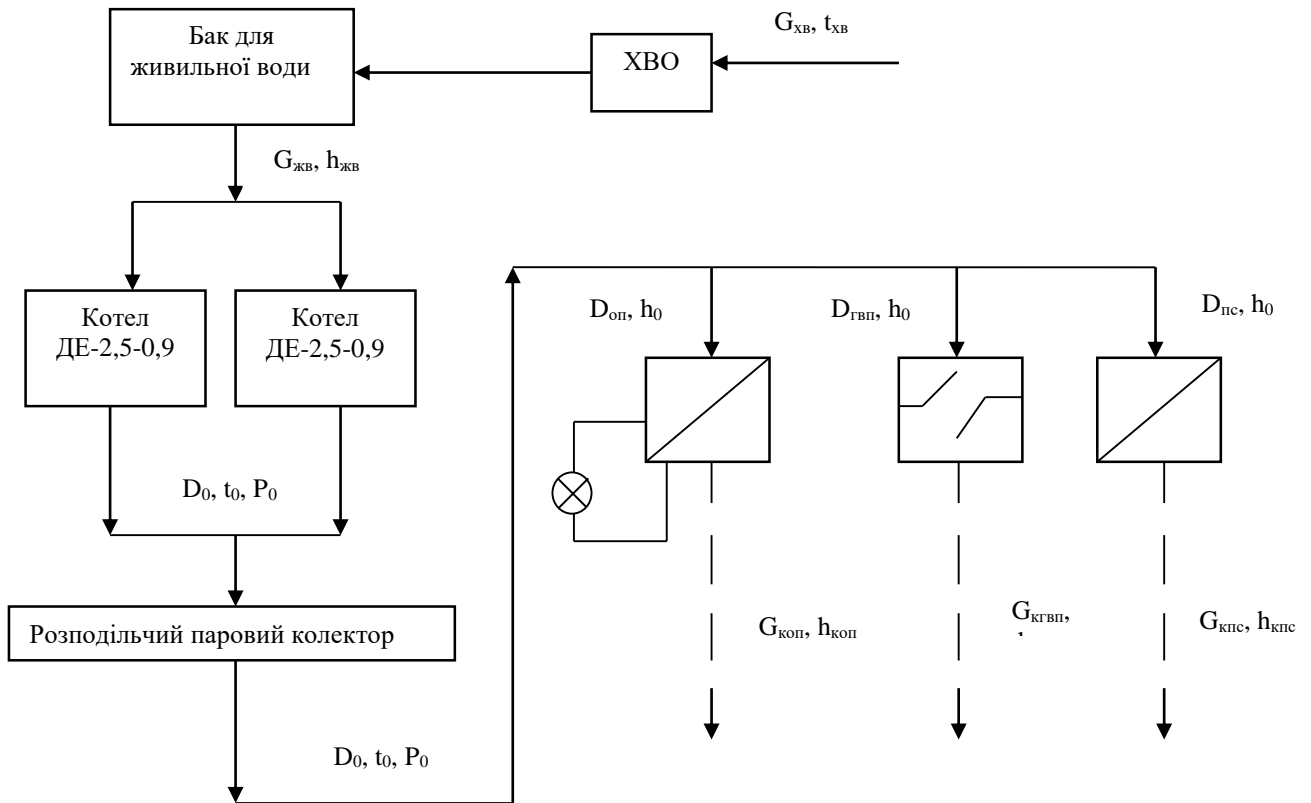


Рисунок 2.1 – Принципова теплова схема котельні

Для розрахунків теплової схеми використаємо методичку, яка показана в [11].

Потужність системи опалення

$$Q_{оп} = D_{оп} \cdot (h_0 - h_{коп}) + (1 - \alpha_k) \cdot D_{оп} \cdot (h_{коп} - h_{хв}), \quad (2.1)$$

де  $D_{оп}$  – витрата пари на теплообмінник системи опалення, кг/с;

$h_{коп}$  – ентальпія конденсату, який повертається з системи опалення,

кДж/кг;  $h_{коп} = 293$  кДж/кг;

$h_0$  – ентальпія пари на теплообмінник системи опалення, кДж/кг;

$\alpha_k$  – частка повернення конденсату;

$h_{хв}$  – ентальпія холодної води, кДж/кг.

$$Q_{оп} = 0,25 \cdot (2763 - 293) + (1 - 0) \cdot 0,25 \cdot (293 - 21) = 685,5 \text{ кВт} = 0,686 \text{ (МВт)}.$$

Потужність промислових споживачів

$$Q_{пс}^{оп} = D_{пс} \cdot (h_0 - h_{кпс}) + (1 - \alpha_k) \cdot D_{пс} \cdot (h_{кпс} - h_{хв}), \quad (2.2)$$

де  $D_{\text{пс}}$  – витрата пари на промислові споживачі, кг/с;

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

$$Q_{\text{пс}}^{\text{оп}} = 0,33 \cdot (2763 - 293) + (1 - 0) \cdot 0,33 \cdot (293 - 21) = 904,9 \text{ кВт} = 0,905 \text{ (МВт)}.$$

Потужність системи гарячого водопостачання

$$Q_{\text{ГВП}}^{\text{оп}} = D_{\text{ГВП}} \cdot (h_0 - h_{\text{кГВП}}) + (1 - \alpha_{\text{к}}) \cdot D_{\text{ГВП}} \cdot (h_{\text{кГВП}} - h_{\text{хв}}), \quad (2.3)$$

де  $D_{\text{ГВП}}$  – витрата пари на систему ГВП, кг/с;

$h_{\text{кГВП}}$  – ентальпія конденсату після ГВП, кДж/кг.

$$Q_{\text{ГВП}}^{\text{оп}} = 0,033 \cdot (2763 - 293) + (1 - 0) \cdot 0,033 \cdot (293 - 21) = 90,5 \text{ кВт} = 0,095 \text{ (МВт)}.$$

Витрата пари з парогенератора

$$D_0 = D_{\text{пс}} + D_{\text{оп}} + D_{\text{ГВП}}, \quad (2.4)$$

$$D_0 = 0,33 + 0,25 + 0,033,$$

$$D_0 = 0,613 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата живильної води

$$G_{\text{жв}}^{\text{оп}} = D_0 \cdot (p + \alpha_{\text{ВП}} + 1), \quad (2.5)$$

де  $\alpha_{\text{ВП}}$  – частка власних потреб;

$p$  – частка безперервної продувки.

$$G_{\text{жв}}^{\text{оп}} = 0,613 \cdot (0,03 + 0,02 + 1) = 0,64 \text{ (кг/с)}.$$

Теплова потужність котельні [9]

$$Q_{\text{пт}}^{\text{оп}} = D_0 \cdot (1 + \alpha_{\text{ВП}}) \cdot (h_0 - h_{\text{жв}}) + D_0 \cdot p \cdot (h_{\text{кв}} - h_{\text{жв}}), \quad (2.6)$$



де  $h_{жв}$  – ентальпія живильної води, кДж/кг;

$h_{кв}$  – ентальпія котлової води, кДж/кг.

$$Q_{пг}^{оп} = 0,613 \cdot (1 + 0,02) \cdot (2763 - 21) + 0,613 \cdot 0,03 \cdot (721 - 21) = 1777,8 \text{ (кВт)}.$$

Витрата робочого палива

$$V_p^{оп} = Q_{пг}^{оп} / (Q_H^p \cdot \eta_k), \quad (2.7)$$

де  $Q_H^p$  – нижча теплота згорання робочого палива, МДж/м<sup>3</sup>.

Робоче паливо – природний газ з  $Q_H^p = 33,8$  (МДж/м<sup>3</sup>).

$$V_p^{оп} = 1,778 / (33,8 \cdot 0,91) = 0,058 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Витрата умовного палива

$$V_y^{оп} = Q_{пг}^{оп} / (Q_H^y \cdot \eta_k), \quad (2.8)$$

де  $Q_H^y$  – теплота згорання умовного палива, МДж/кг;

$\eta_k$  – ККД котла.

$$V_y^{оп} = 1,778 / (29,3 \cdot 0,91) = 0,067 \text{ (кг/с)}.$$

ККД котельні

$$\eta_{кот}^{оп} = (Q_{пс}^{оп} + Q_{гвп}^{оп} + Q_{оп}) / (V_y^{оп} \cdot Q_H^p), \quad (2.9)$$

$$\eta_{кот}^{оп} = (0,905 + 0,095 + 0,686) / (0,067 \cdot 29,3) = 0,859.$$

### 2.3 Розрахунок теплової схеми котельні для міжопалювального періоду

Вхідні дані для розрахунку теплової схеми в міжопалювальний період:

- витрата пари на промислові споживачі  $D_{пс}^{мо} = 0,55$  кг/с;

- параметри і ентальпія пари на виході з котла:  $P_o = 5$  бар = 0,5 МПа;

$t_o = 152$  °C;  $h_o = 2748$  кДж/кг;

- витрата пари на теплообмінники гарячого водопостачання  $D_{\text{ГВП}}^{\text{МО}} = 0,037$  кг/с;
- ККД парогенератора  $\eta_{\text{пг}} = 91$  %;
- температура холодної води  $t_{\text{хв}} = 15$  °С;
- конденсат не повертається.

Потужність промислових споживачів за формулою (2.2)

$$Q_{\text{пс}}^{\text{МО}} = 0,55 \cdot (2748 - 293) + (1 - 0) \cdot 0,55 \cdot (293 - 63) = 1476,8 \text{ (кВт)}.$$

Потужність системи гарячого водопостачання за рівнянням (2.3)

$$Q_{\text{ГВП}}^{\text{МО}} = 0,037 \cdot (2748 - 293) + (1 - 0) \cdot 0,037 \cdot (293 - 63) = 99,3 \text{ (кВт)}.$$

Витрата пари з парогенератора

$$D_o = D_{\text{пс}}^{\text{МО}} + D_{\text{ГВП}}^{\text{МО}}, \quad (2.10)$$

$$D_o = 0,55 + 0,037,$$

$$D_o = 0,587 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата живильної води в міжопалювальний період за рівнянням (2.5)

$$G_{\text{жв}}^{\text{МО}} = 0,587 \cdot (0,03 + 0,02 + 1) = 0,616 \text{ (кг/с)}.$$

Теплова потужність котельні в міжопалювальний період за (2.6)

$$Q_{\text{к}}^{\text{МО}} = 0,587 \cdot (1 + 0,02) \cdot (2748 - 63) + 0,587 \cdot 0,03 \cdot (670,5 - 63) = 1618 \text{ (кВт)}.$$

Витрата робочого та умовного палива за формулами (2.7) і (2.8)

$$B_p^{\text{МО}} = 1,618 / (33,8 \cdot 0,91) = 0,053 \text{ (кг/с)},$$

$$B_y^{\text{МО}} = 1,618 / (29,3 \cdot 0,91) = 0,061 \text{ (кг/с)}.$$

ККД котельні

$$\eta_{\text{кот}}^{\text{MO}} = (Q_{\text{пс}}^{\text{MO}} + Q_{\text{ГВП}}^{\text{MO}}) / (B_{\text{y}} \cdot Q_{\text{H}}^{\text{y}}), \quad (2.10)$$

$$\eta_{\text{кот}}^{\text{MO}} = (1476,8 + 99,3) / (0,061 \cdot 29300) = 0,882.$$

## 2.4 Розрахунок електричної потужності власних потреб котельні

Потужність насоса

Подача живильного насоса

$$V_{\text{жн}} = (1,1 \cdot G_{\text{жв}} \cdot 3600) / \rho_{\text{жв}}, \quad (2.11)$$

де  $G_{\text{жв}}$  – витрата живильної води, кг/с;

$\rho_{\text{жв}}$  – густина живильної води, кг/м<sup>3</sup>.

$$V_{\text{жн}}^{\text{оп}} = (1,1 \cdot 0,64 \cdot 3600) / 955,3 = 2,65 \text{ (м}^3\text{/Год)},$$

$$V_{\text{жн}}^{\text{моп}} = (1,1 \cdot 0,616 \cdot 3600) / 955,3 = 2,55 \text{ (м}^3\text{/Год)}.$$

В котельні встановлено 2 живильних насоси (один насос працює, один в резерві) марки ЦВ-4/85 з наступними технічними характеристиками: подача насоса – 5 м<sup>3</sup>/год, тиск  $P_{\text{жн}} = 1,88$  МПа, потужність електродвигуна – 17 кВт [11].

Потужність, яка споживається насосом в опалювальний та міжопалювальний періоди

$$N_{\text{жн}} = (V_{\text{жн}} \cdot P_{\text{жн}}) / (3600 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ем}}), \quad (2.12)$$

де  $\eta_{\text{н}}$  – ККД насоса;

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

$$N_{\text{жн}}^{\text{оп}} = (2,65 \cdot 1880) / (3600 \cdot 0,8 \cdot 0,96) = 1,80 \text{ (кВт)},$$

$$N_{\text{жн}}^{\text{моп}} = (2,55 \cdot 1880) / (3600 \cdot 0,8 \cdot 0,96) = 1,73 \text{ (кВт)}.$$

Потужність вентилятора

Теоретична кількість повітря, необхідна для згорання 1 м<sup>3</sup> газоподібного палива [12]

$$V_o = 0,0476 \cdot [0,5 \cdot H_2 + 1,5 \cdot H_2S + \sum (m+n/4) \cdot C_m H_n - O_2], \quad (2.13)$$

$$V_o = 0,0476 \cdot [(1+4/4) \cdot 98,9 + (2+6/4) \cdot 0,3 + (3+8/4) \cdot 0,1 + (4+10/4) \cdot 0,1] = 9,52 \text{ (м}^3/\text{м}^3\text{)}.$$

Розрахункова подача вентилятора для опалювального та міжопалювального періодів [13]

$$Q_B = k \cdot V_p \cdot V_o \cdot \alpha_B \cdot ((t_{\text{пов}} + 273) / 273) \cdot 3600, \quad (2.14)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу,  $k = 1,1$ ;

$\alpha_B$  – коефіцієнт надлишку повітря перед вентилятором,  $\alpha_B = 1,2$ ;

$V_p$  – розрахункова витрата робочого палива, м<sup>3</sup>/с.

$$Q_B^{\text{оп}} = 1,1 \cdot 0,058 \cdot 9,52 \cdot 1,2 \cdot ((20 + 273) / 273) \cdot 3,6 = 2,816 \text{ (тис. м}^3/\text{год)},$$

$$Q_B^{\text{мо}} = 1,1 \cdot 0,053 \cdot 9,52 \cdot 1,2 \cdot ((20 + 273) / 273) \cdot 3,6 = 2,573 \text{ (тис. м}^3/\text{год)}.$$

Подача вентилятора – 4,4 тис. м<sup>3</sup>/ год, напір вентилятора – 970 Па, потужність електродвигуна – 1,73 кВт [11].

Потужність електропривода вентилятора [13]

$$N_B = (0,277 \cdot Q_B \cdot H_B) / (\eta_B \cdot \eta_{\text{ел}} \cdot 3600), \quad (2.15)$$

$$N_B^{\text{оп}} = (0,277 \cdot 2816 \cdot 0,97) / (0,7 \cdot 0,96 \cdot 3600) = 0,313 \text{ (кВт)},$$

$$N_B^{\text{моп}} = (0,277 \cdot 2573 \cdot 0,97) / (0,7 \cdot 0,96 \cdot 3600) = 0,286 \text{ (кВт)}.$$

Потужність димососа

Паливо – природний газ Склад газу за об'ємом продуктів згорання:  
 $\text{CH}_4 = 98,9 \%$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,1\%$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,3\%$ ;  $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,1\%$ ,  $\text{CO}_2 = 0,2 \%$ .

Об'єм триатомних газів в продуктах згорання [12]

$$V_{\text{RO}_2} = 0,01(\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{S} + \sum m \cdot C_m \cdot H_n), \quad (2.16)$$

$$V_{\text{RO}_2} = 0,01 (0,2 + 0 + 0 + 1 \cdot 98,9 + 2 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1) = 1,004 \text{ (м}^3 \text{/м}^3\text{)}.$$

Об'єм  $\text{N}_2$  в продуктах згорання

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,01 \cdot N_2^p, \quad (2.17)$$

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 \cdot 9,52 + 0,01 \cdot 0,4 = 7,52 \text{ (м}^3 \text{/м}^3\text{)}.$$

Теоретичний об'єм  $\text{H}_2\text{O}$  в продуктах згорання

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,01 \cdot (\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2 + \sum n/2 \cdot C_m \cdot H_n + 0,0124 \cdot d_r) + 0,0161 \cdot V^0, \quad (2.18)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,01 \cdot (0 + 0 + 2 \cdot 98,9 + 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 0,0124 \cdot 0) + 0,0161 \cdot 9,52 = 2,15 \text{ (м}^3 \text{/м}^3\text{)}.$$

Теоретичний об'єм продуктів згорання палива

$$V_r^0 = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 + V_{\text{H}_2\text{O}}^0, \quad (2.19)$$

$$V_r^o = 1,004 + 7,52 + 2,15 = 10,67 \text{ (м}^3 \text{/м}^3\text{)}.$$

Розрахункова подача димососа для опалювального і міжопалювального періодів [13]

$$Q_d = \kappa \cdot V_p \cdot [V_r^o + (\alpha_d - 1) \cdot V^o] \cdot ((t_d + 273)/273) \cdot 3,6, \quad (2.20)$$

де  $\kappa$  – коефіцієнт запасу,  $\kappa=1,1$ ;

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

$\alpha_d$  – коефіцієнт надлишку повітря перед димососом,  $\alpha_d = 1,2$ ;

$t_d$  – температура димових газів перед димососом ( $t_d=120$  °C).

$$Q_d^{\text{оп}}=1,1 \cdot 0,058 \cdot [10,67 + (1,2 - 1) \cdot 9,52] \cdot ((120+273)/273) \cdot 3,6 = 4,16 \text{ (тис.м}^3\text{/год)},$$

$$Q_d^{\text{мо}}=1,1 \cdot 0,053 \cdot [10,67 + (1,2-1) \cdot 9,52] \cdot ((120+273)/273) \cdot 3,6 = 3,799 \text{ (тис.м}^3\text{/год)}.$$

В котельні встановлені димососи ДН-9У. Подача – 9,3 тис.  $\text{м}^3/\text{год}$ , напір – 850 Па, ККД – 82%, електрична потужність – 2,7 кВт [11].

Електрична потужність власних потреб котельні

$$N_d = (1,1 \cdot Q_d \cdot H_d) / (3600 \cdot \eta_d), \quad (2.21)$$

$$N_d^{\text{оп}} = (1,1 \cdot 4160 \cdot 0,85) / (3600 \cdot 0,82) = 1,318 \text{ (кВт)},$$

$$N_d^{\text{мо}} = (1,1 \cdot 3799 \cdot 0,85) / (3600 \cdot 0,82) = 1,203 \text{ (кВт)}.$$

Електрична потужність власних потреб котельні

$$N_{\text{вп}}^{\text{оп}} = N_{\text{жн}}^{\text{оп}} + N_{\text{в}}^{\text{оп}} + N_d^{\text{оп}}, \quad (2.22)$$

$$N_{\text{вп}}^{\text{оп}} = 1,8 + 0,313 + 1,318 = 3,413 \text{ (кВт)},$$

$$N_{\text{ВП}}^{\text{МО}} = N_{\text{ЖН}}^{\text{МО}} + N_{\text{В}}^{\text{МО}} + N_{\text{Д}}^{\text{МО}}, \quad (2.23)$$

$$N_{\text{ВП}}^{\text{МО}} = 1,73 + 0,206 + 1,203 = 3,139 \text{ (кВт)}.$$

2.5 Техніко-економічні показники роботи котельні за існуючою тепловою схемою

Розрахунки показників виконаємо за методикою [11, 14].

Річна витрата палива

$$V_{\text{річ}} = V_{\text{р}}^{\text{оп}} \cdot 15 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{оп}} + V_{\text{р}}^{\text{МО}} \cdot 22 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{МО}}, \quad (2.24)$$

де  $V_{\text{р}}^{\text{оп}}$  – витрата палива в опалювальний період року,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V_{\text{р}}^{\text{МО}}$  – витрата палива в міжопалювальний період року,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\tau_{\text{оп}}$  – тривалість періоду, днів.

$$V_{\text{річ}} = (0,058 \cdot 15 \cdot 3600 \cdot 179 + 0,053 \cdot 22 \cdot 3600 \cdot 156) \cdot 10^{-6} = 1,216 \text{ (млн. м}^3/\text{рік)}.$$

Витрати на паливо

$$C_{\text{пал}} = V_{\text{річ}} \cdot \Pi_{\text{пал}} \cdot K_{\text{ВП}}, \quad (2.25)$$

де  $\Pi_{\text{пал}}$  – вартість палива [15], (грн./ $\text{м}^3$ );

$K_{\text{ВП}}$  – коефіцієнт, який враховує витрату палива на власні потреби.

$$C_{\text{пал}} = 1,216 \cdot 34,0 \cdot 1,006 \cdot 10^{-6} = 41,592 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Річне споживання електричної енергії

$$E_{\text{річ}} = N_{\text{ВП}}^{\text{оп}} \cdot 15 \cdot \tau_{\text{оп}} + N_{\text{ВП}}^{\text{МО}} \cdot 22 \cdot \tau_{\text{МО}}, \quad (2.26)$$

$$E_{\text{річ}} = 3,413 \cdot 15 \cdot 179 + 3,139 \cdot 22 \cdot 156 = 19936,9 \text{ (кВт}\cdot\text{год/рік)}.$$

Витрати на електричну енергію

$$C_{\text{еє}} = E_{\text{річ}} \cdot \Pi_{\text{еє}}, \quad (2.27)$$

де  $\Pi_{\text{еє}}$  – вартість електричної енергії [16], (грн./кВт·год);

$$C_{\text{еє}} = 19936,9 \cdot 5,5 \cdot 10^{-6} = 0,109 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Річне споживання води

$$G_{\text{в,річ}} = (G_{\text{в}}^{\text{оп}}/\rho_{\text{в}}) \cdot 15 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{оп}} + (G_{\text{в}}^{\text{мо}}/\rho_{\text{в}}) \cdot 22 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{мо}}, \quad (2.28)$$

$$G_{\text{в,річ}} = (0,64/999,8) \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 179 + (0,616/999,8) \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 156 = 18204 \text{ (м}^3\text{/рік)}.$$

Витрати на воду

$$C_{\text{в}} = G_{\text{в,річ}} \cdot \Pi_{\text{в}}, \quad (2.29)$$

де  $\Pi_{\text{в}}$  – вартість води [17], (грн./м<sup>3</sup>).

$$C_{\text{в}} = 18204 \cdot 6,5 \cdot 10^{-6} = 0,118 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Витрата на амортизацію

$$C_{\text{ам}} = K \cdot S_{\text{А}}, \quad (2.30)$$

$$C_{\text{ам}} = 25 \cdot 0,075 = 1,875 \text{ (млн. грн./рік)}.$$



Витрати на поточний ремонт

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot C_{\text{ам}}, \quad (2.31)$$

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot 1,875 = 0,375 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Витрати на заробітну плату

$$C_{\text{зп}} = Q_{\text{вст}} \cdot K_{\text{шт}} \cdot \Phi_{\text{зп}} \cdot K_{\text{дод}}, \quad (2.32)$$

де  $Q_{\text{вст}}$  – встановлена теплова потужність котельні, МВт;

$K_{\text{шт}}$  – штатний коефіцієнт (чисельність персоналу котельні);

$K_{\text{дод}}$  – коефіцієнт, що враховує додаткові нарахування,  $K_{\text{дод}} = 1,33$ ;

$\Phi_{\text{зп}}$  – середній річний фонд заробітної плати, грн./рік.

$$C_{\text{зп}} = 2,5 \cdot 2,4 \cdot 12000 \cdot 1,33 \cdot 10^{-6} = 0,096 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Інші витрати

$$C_{\text{ін}} = 0,06 \cdot (C_{\text{пал}} + C_{\text{еє}} + C_{\text{в}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{зп}}), \quad (2.33)$$

$$\begin{aligned} C_{\text{ін}} &= 0,06 \cdot (41,592 + 0,109 + 0,118 + 1,875 + 0,375 + 0,096) = \\ &= 2,65 \text{ (млн. грн./рік)}. \end{aligned}$$

Річні експлуатаційні витрати

$$C_{\text{річ}} = C_{\text{пал}} + C_{\text{еє}} + C_{\text{в}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{ін}}, \quad (2.34)$$

$$\begin{aligned} C_{\text{річ}} &= 41,592 + 0,109 + 0,118 + 1,875 + 0,375 + 0,096 + \\ &+ 2,65 = 46,815 \text{ (млн. грн./рік)}. \end{aligned}$$

Річний відпуск теплоти

$$Q_{\text{річ}} = Q^{\text{оп}} \cdot 15 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{оп}} + Q^{\text{мо}} \cdot 22 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{мо}}, \quad (2.35)$$

$$Q_{\text{річ}} = 1,778 \cdot 15 \cdot 3600 \cdot 179 + 1,618 \cdot 22 \cdot 3600 \cdot 156 = 37176861,6 \text{ (МДж/рік)}.$$

Собівартість виробництва теплової енергії

$$СВ_{\text{теплоти}} = C_{\text{річ}} / Q_{\text{річ}}, \quad (2.36)$$

$$СВ_{\text{теплоти}} = (46,815 \cdot 10^6) / 37176,9 = 1259,2 \text{ (грн/ГДж)}.$$

## 2.6 Техніко - економічне обґрунтування варіантів модернізації котельні

За постійного здорожчання природного газу доцільно розглянути варіанти переведення її на місцеві та відновлювані види палива. Виконаємо оцінку техніко–економічних показників роботи котельні для таких варіантів:

- реконструкція котлів із заміною пальників для спалювання біогазу;
- реконструкція котлів для спалювання паливних гранул з деревини або тріски.

Для виконання розрахунків приймаємо, що парова котельня працюватиме в опалювальному режимі 179 діб – 15 год, в міжопалювальному 156 діб – 22 год. Показники вибраних варіантів порівнюватимуться із показниками котельні, яка працювала б на природному газі.

Для точного розрахунку капітальних вкладень на виконання реконструкції котельні складається локальний кошторис. Для орієнтовних розрахунків витрат на амортизацію і ремонт задаємося, що 1 МВт встановленої потужності становить 7,6 млн.грн [8].

Визначимо техніко-економічні показники парової котельні на природному

газі, біогазі, паливній трісці та паливних гранулах. Нижча теплота згорання [18] біогазу –  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 20$  МДж/м<sup>3</sup>, паливних гранул –  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 17,7$  МДж/кг, паливної тріски –  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 12$  МДж/кг, ККД котлів на твердому паливі – 0,85.

Витрата робочого палива в опалювальний період

$$V_{\text{p}}^{\text{оп}} = Q_{\text{шт}}^{\text{оп}} / (Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot \eta_{\text{к}}), \quad (2.2)$$

де  $Q_{\text{H}}^{\text{P}}$  – нижча теплота згорання робочого палива, МДж/м<sup>3</sup>.

Робоче паливо – природний газ,  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 33,8$  (МДж/м<sup>3</sup>).

$$V_{\text{p}}^{\text{оп}} = 1,778 / (33,8 \cdot 0,91) = 0,058 \text{ (м}^3\text{/с)},$$

$$V_{\text{p}}^{\text{мо}} = 1,618 / (33,8 \cdot 0,91) = 0,053 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Робоче паливо – гранули з деревини,  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 17,7$  (МДж/кг).

$$V_{\text{p}}^{\text{оп}} = 1,778 / (17,7 \cdot 0,85) = 0,118 \text{ (кг/с)},$$

$$V_{\text{p}}^{\text{мо}} = 1,618 / (17,7 \cdot 0,85) = 0,107 \text{ (кг/с)}.$$

Робоче паливо – паливна тріска,  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 12,2$  (МДж/кг).

$$V_{\text{p}}^{\text{оп}} = 1,778 / (12,2 \cdot 0,85) = 0,171 \text{ (кг/с)},$$

$$V_{\text{p}}^{\text{мо}} = 1,618 / (12,2 \cdot 0,85) = 0,156 \text{ (кг/с)}.$$

Робоче паливо – біогаз,  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 20$  (МДж/м<sup>3</sup>).

$$V_{\text{p}}^{\text{оп}} = 1,778 / (20 \cdot 0,91) = 0,098 \text{ (м}^3\text{/с)},$$

$$V_{\text{p}}^{\text{мо}} = 1,618 / (20 \cdot 0,91) = 0,089 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

В таблиці 2.1 наведені результати орієнтовних розрахунків техніко-економічних показників котельні на різних паливах.

Таблиця 2.1 – Техніко-економічні показники роботи котельні на різних видах палива

	Існуюча схема на природ- ному газі	Переве- дення кот- лів на спа- лювання біогазу	Переве- дення кот- лів на спа- лювання паливних гранул	Переве- дення котлів на спа- лювання палив- ної трі- ски
Ціна природного газу [15], грн/м <sup>3</sup>	34,0	–	–	
Собівартість виробництва біо- газу [19], грн/м <sup>3</sup>		8,5		
Ціна паливних гранул [20, 21], грн/кг	–	-	8,1	
Ціна паливної тріски [21], грн/кг	–	–	-	3,1
Ціна на електроенергію, грн/(кВт год)	4,76	-//-		
Витрата робочого палива в опа- лювальний період, кг/с, м <sup>3</sup> /с	0,058	0,098	0,118	0,171
Витрата робочого палива в міжопалювальний період, кг/с, м <sup>3</sup> /с	0,053	0,089	0,107	0,156
Річна витрата природного газу, млн.м <sup>3</sup>	1,216	–	–	
Річна витрата біогазу, млн.м <sup>3</sup>		2,047		
Річна витрата паливних гранул, т	–	-	2460	
Річна витрата тріски, т				3580
Річні витрати коштів на паливо, млн.грн	41,592	17,504	11,897	11,165
Річна витрата електроенергії, кВт·год	19936,9	19936,9	32170,9	32170,9
Річні витрати коштів на електро- енергію, млн.грн	0,109	0,109	0,177	0,177
Річні витрати коштів на воду, млн.грн	0,118	0,118	0,118	0,118
Річні витрати коштів на аморти- зацію, млн.грн	1,875	1,14	1,25	1,25

Продовження таблиці 2.1

Річні витрати коштів на поточний ремонт, млн.грн	0,375	0,228	0,25	0,25
Річні витрати коштів на заробітну плату, млн.грн	0,096	0,106	0,106	0,106
Інші витрати, млн.грн	2,65	1,152	0,828	0,784
Загальні експлуатаційні витрати, млн.грн	46,815	20,357	14,626	13,85
Річне виробництво теплоти, ГДж/рік	37176,86	37176,86	37176,86	37176,86
Собівартість вироблення теплової енергії, грн/ГДж	1259,2	547,57	393,42	547,57
Вартість основних фондів, млн.грн	15,2	15,2	16,7	16,7

За результатами наведених вище розрахунків можна зробити висновок, що доцільно замінити природний газ, як джерело енергії, паливними гранулами або паливною тріскою, оскільки собівартість виробництва теплової енергії в разі роботи котельні на цих відновлюваних видах палива є найнижчою. Але робота котельні на цих видах палива супроводжується значними викидами високодисперсної золи у довкілля. Тому необхідно передбачити заходи щодо зменшення концентрації забруднюючих речовин (золи) в навколишньому середовищі.

### 3 ПЕРЕВІРНИЙ РОЗРАХУНОК КОТЛА ДЕ-2,5-0,9 НА ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ

Теплова схема котельні та компоновка обладнання залишаються незмінними, але модернізацією передбачено встановлення додаткового обладнання до парових котлів для подавання і спалювання твердого палива.

Початкові дані для розрахунку:

- тип котла – ДЕ-2,5-0,9;
- паропродуктивність котла – 2,5 т/год;
- тиск в барабані котла – 0,9 МПа;
- тиск перегрітої пари – 0,8 МПа;
- температура насиченої пари – 175 °С;
- температура живильної води – 60 °С;
- температура відхідних газів – 210 °С;
- температура холодного повітря – 20 °С.

Паливо: деревина із складом: вміст в робочій масі палива: вологи –  $W_p = 20\%$ ; мінеральних домішок –  $A_p = 0,8\%$ ; вуглецю –  $C_p = 40,4\%$ ; водню –  $H_p = 4,8\%$ ; азоту –  $N_p = 0,53\%$ ; кисню –  $O_p = 33,47\%$ .

Нижча теплота згорання  $-Q_H^p = 14443$  кДж/кг.

Розрахунковий коефіцієнт надлишку повітря в топковій камері  $\alpha_T'' = 1,3$ . Розрахунки виконаємо за методиками [12, 22].

#### 3.1 Розрахунок процесу горіння палива

##### 3.1.1 Теоретичні об'єми повітря та продуктів спалювання.

Теоретична кількість повітря, яка необхідна для повного спалювання 1 кг деревини

$$V^0 = 0,0889(C^p + 0,375S_{II}^p) + 0,265H^p - 0,0333O^p, \quad (3.1)$$

$$V^0 = 0,0889(40,4 + 0,375 \cdot 0,5) + 0,265 \cdot 4,8 - 0,0333 \cdot 33,5 = 3,75 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Об'єм трьохатомних газів, який утворився в результаті окислення 1 кг деревини з киснем повітря

$$V_{\text{RO}_2} = 1,866 \cdot \frac{C^p + 0,375 S_{\text{Л}}^p}{100}, \quad (3.2)$$

$$V_{\text{RO}_2} = 1,866 \cdot \frac{40,4 + 0,375 \times 0}{100} = 0,75 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теоретичний об'єм азоту, який виник в результаті спалювання 1 кг палива і внесеного з повітрям в топкову камеру

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79V^0 + 0,8 \frac{N_p}{100}, \quad (3.3)$$

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 \times 3,75 + 0,8 \frac{0,53}{100} = 2,97 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теоретичний об'єм водяної пари, яка утворилася в результаті окислення водню палива, занесеного з повітрям в топкову камеру і парів, що виділились із самого палива

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,111H^p + 0,0124W^p + 0,0161V^0, \quad (3.4)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,111 \cdot 4,8 + 0,0124 \cdot 20 + 0,0161 \cdot 3,75 = 0,84 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

3.1.2 Розрахунок об'ємів повітря та продуктів спалювання з урахуванням присмоктувань повітря на ділянках котла.

В табл. 3.1 наведено об'єми повітря та продуктів в залежності від коефіцієнту надлишку повітря і ділянки котла

Таблиця 3.1 – Об'єми повітря та продуктів в залежності від коефіцієнту надлишку повітря і ділянки котла.

Назва величини і розрахункова формула	Позначення	Од. вим.	$V^o = 3,75 \text{ м}^3/\text{кг}$ $V_{\text{RO}_2} = 0,75, \text{ м}^3/\text{кг}$ $V_{\text{N}_2}^o = 2,97, \text{ м}^3/\text{кг}$ $V_{\text{H}_2\text{O}}^o = 0,84, \text{ м}^3/\text{кг}$	
			Ділянки газоходу котла	
			Топка	Конвективний пучок
1	2	3	4	5
Присмоктування повітря	$\Delta\alpha$	-	0,1	0,02
Розрахунковий коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha_T$	-	1,40	1,5
Надлишкова кількість повітря: $V_{\text{N}_2}^o + (\alpha - 1)V^o$	$V^H$	$\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$	4,466	4,840
Об'єм водяної пари: $V_{\text{H}_2\text{O}}^o + 0,0161 * (\alpha - 1)V^o$	$V_{\text{H}_2\text{O}}$	$\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$	0,865	0,871
Повний об'єм продуктів спалювання: $V_{\text{RO}_2} + V_{\text{R}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}$	$V_T$	$\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$	6,085	6,466
Об'ємна частка трьохатомних газів: $\frac{V_{\text{RO}_2}}{V_T}$	$r_{\text{RO}_2}$	-	0,124	0,117
Об'ємна частка водяної пари $\frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_T}$	$r_{\text{H}_2\text{O}}$	-	0,142	0,135
Сумарна об'ємна частка: $r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}}$	$r_n$	-	0,266	0,251



### 3.1.3 Розрахунок ентальпій повітря та продуктів спалювання в залежності від температури

В таблиці 3.2 наведено розрахунок ентальпій повітря та продуктів спалювання в залежності від температури.

Таблиця 3.2 – Визначення ентальпій повітря та продуктів спалювання залежно від температури

$\Theta$ , $^{\circ}\text{C}$	$V_{\text{RO}_2} = 0,75, \text{ м}^3/\text{кг}$ $V_{\text{N}_2}^0 = 2,97, \text{ м}^3/\text{кг}$ $V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,84, \text{ м}^3/\text{кг}$ $V^0 = 3,75 \text{ м}^3/\text{кг}$				
	$I_{\text{RO}_2}^0 = V_{\text{RO}_2} (c\theta)_{\text{RC}}$	$I_{\text{N}_2}^0 = V_{\text{N}_2}^0 (c\theta)_{\text{N}_2}$	$I_{\text{H}_2\text{O}}^0 = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 (c\theta)_{\text{H}_2\text{O}}$	$I_{\text{П}}^0 = V^0 (c\theta)_{\text{П}}$	$I_{\Gamma}^0 = I_{\text{RO}_2}^0 + I_{\text{N}_2}^0 + I_{\text{H}_2\text{O}}^0$
1	2	3	4	5	6
30				146	
100	127	386	127	495	640
200	269	771	256	997	1296
300	421	1163	389	1511	1974
400	582	1563	527	2032	2672
500	751	1969	668	2564	3388
600	921	2385	813	3112	4119
700	1101	2806	965	3670	4872
800	1285	3242	1123	4236	5649
900	1471	3687	1282	4802	6439
1000	1660	4135	1451	5384	7246
1100	1852	4582	1619	5980	8054
1200	2048	5027	1793	6576	8868
1300	2243	5487	1972	7239	9702
1400	2443	5959	2152	7783	10553
1500	2642	6418	2338	8394	11397
1600	2840	6890	2524	9009	12254
1700	3042	7362	2714	9620	13118
1800	3244	7836	2909	10231	13989
1900	3446	8320	3102	10861	14868
2000	3651	8791	3302	11487	15744
2100	3856	9275	3487	12143	16618

У таблиці 3.3 наведено результати розрахунку ентальпій продуктів спалювання з врахуванням коефіцієнта надлишку повітря на ділянках газоходу.

Таблиця 3.3 – Розрахунок ентальпій продуктів спалювання з урахуванням коефіцієнту надлишку повітря на ділянках газоходу (1-Θ таблиця)

q, °C	I <sup>o</sup> <sub>Г</sub> , кДж/кг	I <sup>o</sup> <sub>В</sub> , кДж/кг	Топка		Конвективний пучок	
			α <sub>Т</sub> = 1,25		α <sub>І</sub> = 1,27	
			I	ΔI	I	ΔI
100	640	495			887	907
200	1296	997			1795	934
300	1974	1511			2729	959
400	2672	2032			3688	983
500	3388	2564			4670	1005
600	4119	3112			5675	1032
700	4872	3670			6707	1060
800	5649	4236	7344	1017	7768	1073
900	6439	4802	8360	1039	8841	1097
1000	7246	5384	9399	1047	9937	1106
1100	8054	5980	10446	1053	11044	
1200	8868	6576	11498	1100		
1300	9702	7239	12598	1068		
1400	10553	7783	13666	1089		
1500	11397	8394	14755	1103		
1600	12254	9009	15858	1108		
1700	13118	9620	16966	1115		
1800	13989	10231	18081	1131		
1900	14868	10861	19212	1127		
2000	15744	11487	20339	1136		
2100	16618	12143	21475	1141		
2200	17519	12743	22616			

### 3.2 Тепловий розрахунок котла

#### 3.2.1 Визначення коефіцієнту корисної дії і витрат палива.

У таблиці 3.4 показано значення коефіцієнта корисної дії і витрат палива.

Таблиця 3.4 – Визначення коефіцієнта корисної дії і витрат палива

Назва величини	Позн.	Формула або метод знаходження	Один, вим.	Розрахунок та результат розрахунку
1	2	3	4	5
Нижча теплота спалювання палива	$Q_H^p$	Із характер-ристики палива	кДж/кг	14443
Наявна теплота палива, що надходить в топку	$Q_H^H$	$Q_H^H + i_{пл}$	кДж/м	14443
Втрати теплоти від хімічної неповноти спалювання	$q_3$	Табл. 5-4 [22]		0,5
Втрати теплоти від механічної неповноти спалювання	$q_4$	Табл. 5-6 [22]		1,5
Температура відхідних газів	$\Theta_{вг}$	Із завдання	°С	210
Ентальпія відхідних газів	$I_{вг}$	Із 1- $\Theta$ табл.	кДж/ м <sup>3</sup>	1888,4
Температура повітря, яке подається в котел	$t_{хп}$	Із завдання	°С	20
Ентальпія холодного повітря	$I_{хп}^0$	Із 1- $\Theta$ табл..	кДж/ м <sup>3</sup>	146
Втрати теплоти з відхідними газами	$q_2$	$\frac{I_{вг} - \alpha_{вг}'' \times I_{хп}^0}{Q_H^H} \times (100 - q_4)$	%	$\frac{1888,4 - 1,5 \times 146}{14443} \times 100 = 11,6$

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5
Втрати теплоти від зовнішніх ого-	$q_5$	Табл. 4-1 [22]	%	2,9
Сума теплових втрат	$\sum q_i$	$q_2+q_3+q_4+q_5$	%	$11,6+2,9+0,5+1,5=16,5$
ККД котлоагрегату	$\eta_{\text{пр}}$	$100 - \sum q_i$	%	$100-16,5=83,5$
Коефіцієнт зберігання теплоти	$\varphi$	$1 - \frac{q_5}{\eta_{\text{пр}} + q_5}$	-	$1 - \frac{2,9}{83,5 + 2,9} = 0,966$
Паропродуктивність котла	Дк	Із завдання	кг/с	0,69
Тиск пари в барабані котла	$P_6$	Із завдання	МПа	0,9
Тиск насиченої пари	$P_{\text{пп}}$	Із завдання	МПа	0,8
Температура насиченої пари	$t_{\text{пп}}$	Із завдання	°С	175
Температура живильної води	$t_{\text{жв}}$	Із завдання	°С	60
Ентальпія насиченої пари	$h_{\text{пп}}$	Табл.3 [22]	кДж/кг	2774
Ентальпія живильної води	$h_{\text{жв}}$	Табл. 1 [22]	кДж/кг	251,4
Ентальпія киплячої рідини	$h_{\text{кип}}$	Табл. 2 [22]	кДж/кг	742,8
Величина продувки	$Z_{\text{пр}}$	Приймаємо	%	3
Теплота, що корисно використана	$Q_{\text{пр}}$	$D_k(h_{\text{пп}}-h_{\text{жв}})+$ $+(h_{\text{кип}}-h_{\text{жв}}) \times$ $\times \frac{D}{100} Z_{\text{пр}}$	КВт	$0,69(2774-251,4)+$ $+(742,2-251,4) \times \frac{0,69}{100} \times 3=$ $= 1842,2$
Витрати палива	$B$	$\frac{Q_{\text{пр}} \times 100}{Q_{\text{н}} \times \eta_{\text{пр}}}$	м <sup>3</sup> /с	$\frac{1842,2 \times 100}{14443 \times 83,5} = 0,153$
Розрахункові витрати палива	$B_p$	$B \frac{100 - q_4}{100}$	м <sup>3</sup> /с	0,15

### 3.2.2 Перевірний розрахунок теплообміну в топковій камері

У таблиці 3.6 представлено перевірний розрахунок теплообміну в топковій камері. У таблиці 3.5 наведені її конструктивні характеристики.

Таблиця 3.5 – Конструктивні характеристики топки

Величина	Позначення	Розмірність	Стінки топки			
			фронтова	Бокова	задня	Сумарна
Сумарна площа стін	$F_{ст}$	$m^2$	2,29	1,38	3,46	7,13
Площа, зайнята променесприймальною поверхнею	$F_{пр}$	$m^2$	1,95	1,17	2,94	6,06
Кутовий коефіцієнт екрана	$\chi$	-	1	1	1	
Площа променистої поверхні	$H_{пр}$	$m^2$	1,95	1,17	2,94	6,06
Коефіцієнт забруднення екранної поверхні [22]	$\xi$		0,4	0,6	0,4	

Згідно з наведеними даними виконуємо розрахунок топки.

Таблиця 3.6 – Перевірний розрахунок теплообміну в топковій камері

Найменування	Позначення	Розрахункова формула, або спосіб визначення	Розмірність	Розрахунок
Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha$	за початковими даними		1,3
Температура повітря	$t_{хп}$	приймаємо попередньо	$^{\circ}C$	20
Ентальпія повітря	$I_{хп}$	за I - 9 таблицею	$\frac{кДж}{кг}$	146

Продовження таблиці 3.6

Найменування	Позначення	Розрахункова формула, спосіб визначення	Розмірність	Розрахунок
Теплота, яка вноситься в топку з повітрям	$Q_{\text{пов}}$	$(\alpha_T'' - \Delta\alpha_T) \cdot I_{\text{г.п.}}^{\circ} + \Delta\alpha_T \cdot I_{\text{прс}}^{\circ}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$1,3 \cdot 146 = 189,8$
Корисне тепловиділення в топці	$Q_T$	$Q_H^P \cdot \frac{100 - q_3 - q_4}{100 - q_4} + Q_{\text{пов}}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$14443 \cdot (100 - 0,5 - 1,5) / (100 - 1,5) + 189,8 = 14559$
Адіабатна температура горіння	$\vartheta_a$	за I - 9 таблицею	$^{\circ}\text{C}$	1482
Температура газів на виході з топки	$\vartheta_T''$	приймаємо попередньо	$^{\circ}\text{C}$	870
Ентальпія газів на виході	$I_T''$	за I - 9 таблицею	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	8056
Середня сумарна теплоємність продуктів згорання	$V_{\text{ср}}$	$\frac{Q_T - I_T''}{\vartheta_a - \vartheta_T''}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$(14559 - 8056) / (1482 - 870) = 10,63$
Ефективна товщина випромінюючого шару	$s$	$3,6 \cdot V_T / F_{\text{ст}}$	$\text{м}$	$3,6 \cdot 10,93 / 7,13 = 5,52$
Середній коефіцієнт теплової ефективності екранів	$\psi_{\text{ср}}$	$H_{\text{пр}} \cdot \xi / F_{\text{ст}}$	---	$6,06 \cdot 0,46 / 7,13 = 0,39$
Сумарна об'ємна частка трьохатомних газів	$r_n$	за таблицею 1.2	---	0,407
Добуток $p \cdot r_n \cdot s$	$pr_n s$	$p \cdot r_n \cdot s$	$\frac{\text{М} \cdot \times \text{МПа}}$	$0,1 \cdot 0,407 \cdot 0,397 = 0,016$
Коефіцієнт послаблення променів продуктами згорання	$K_T$	$K_T^0 \cdot r_n$ , $K_T^0 = 20$	$1 / (\text{М} \cdot \text{МПа})$	$15 \cdot 0,407 = 6,105$
Масова витрата газів	$G_T$	$1 - A^P / 100 + 1,306 \cdot \alpha \cdot V^0$	$\text{кг} / \text{кг}$	$1 - 1/100 + 1,306 \times 1,6 \cdot 2,769 = 6,78$

Продовження таблиці 3.6

Найменування	Позначення	Розрахункова формула, спосіб визначення	Розмірність	Розрахунок
Концентрація золи	$\mu_{зл}$	$A^p \cdot a_{вин} / (100 \cdot G_{Г})$	кг/кг	$0,8 \cdot 0,2 / (100 \cdot 6,78) = 0,000295$
Коефіцієнт послаблення променів частинками золи	$K_{зл}$ $\mu_{зл}$	$10^4 \cdot 1 \cdot \mu_{зл} / (T_{Г}^{0,66} \cdot (1 + 1,2 \cdot \mu_{зл} \cdot s))$	1/(м·МПа)	$10^4 \cdot 1 \cdot 0,000295 / ((500 + 273)^{0,66} \cdot (1 + 1,2 \cdot 0,000295 \cdot 0,942)) = 0,0362$
Коефіцієнт послаблення променів частинками коксу	$K_{кокс}$ $\mu_{кокс}$	за формулою [22]	1/(м·МПа)	0,3
Найменування	Позначення	Розрахункова формула, спосіб визначення	Розмірність	Розрахунок
Коефіцієнт послаблення променів в топці	K	$K_{Г} + K_{зл} \mu_{зл} + K_{кокс} \cdot \mu_{кокс}$	1/(м·МПа)	$6,105 + 0,0362 + 0,3 = 6,44$
Критерій Бугера	Bu	$K \cdot p \cdot s$	-	$6,44 \cdot 0,1 \cdot 0,942 = 0,606$
Ефективне значення критерію Бугера	Bu <sup>е</sup>	$1,6 \cdot \ln \left( \frac{1,4 \cdot Bu^2 + Bu + 2}{1,4 \cdot Bu^2 - Bu + 2} \right)$	-	$1,6 \cdot \ln \left( \frac{1,4 \cdot 0,606^2 + 0,606 + 2}{1,4 \cdot 0,606^2 - 0,606 + 2} \right) = 0,786$
Параметр забаластованості топкової камери	$r_v$	$V_{Г} = V_{N_2}^0 + V_{RO_2}$	м <sup>3</sup> /кг	$3,75 / (2,97 + 0,75) = 1,355$
Параметр M	M	$M_0 \cdot (1 + \rho) \cdot r_v^{1/3}$	---	$0,46 \cdot (1 + 0,22/1,191) \cdot \sqrt[3]{1,355} = 0,603$
Температура газів на виході з топки	$\vartheta_{Г}''$	за формулою [22]	°C	873 Розрахунок див. нижче

## Продовження таблиці 3.6

Найменування	Позначення	Розрахункова формула, спосіб визначення	Розмірність	Розрахунок
Розходження між температурами на виході з топки	$\Delta(\vartheta''_T)$	$(\vartheta''_T - \vartheta''_T) \cdot 100\% / \vartheta''_T$	%	$(873-870)/873 \cdot \times 100\% = 0,02$
Променисте теплосприймання топки	$Q^{пр}_T$	$\varphi \cdot (Q_T - \Gamma''_T)$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$0,966 \cdot (14559 - 8056) = 6282$

$$\begin{aligned} \vartheta''_T &= \frac{T_a}{1 + M \cdot \tilde{V}^{0,3} \cdot \left( \frac{5,67 \cdot \psi_{cp} \cdot F_{ст} \cdot T_a^3}{10^{11} \cdot \phi \cdot B_p \cdot V_{ср}} \right)^{0,6}} - 273 = \\ &= \frac{1482 + 273}{1 + 0,603 \cdot 0,786^{0,3} \cdot \left( \frac{5,67 \cdot 0,312 \cdot 7,13 \cdot (1482 + 273)^3}{10^{11} \cdot 0,988 \cdot 0,15 \cdot 10,63} \right)^{0,6}} - 273 = \\ &= 873,2^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Оскільки розбіжність менше 2 %, то перерахунок не виконуємо і приймаємо, що температура газів на виході з топки  $\vartheta''_T = 873^\circ\text{C}$ .



## 3.2.3 Тепловий розрахунок конвективного пучка

У таблиці 3.7 наведено тепловий розрахунок конвективного пучка.

Таблиця 3.7 – Тепловий розрахунок конвективного пучка

Назва величини	Позн.	Формула або метод знаходження	Один. вимір.	Розрахунок та результат розрахунку
1	2	3	4	5
Поверхня нагріву пучка	$H_{\text{кп}}$	Із технічної характеристики	$\text{м}^2$	74,07
Діаметр труб пучка	$d_3/d_{\text{вн}}$	Із технічної характеристики	мм	51/46
Крок труб поперек потоку газів	$S_1$	Із технічної характеристики	мм	110
Відносний шаг поперек потоку газів	$\sigma_1$	$S_1/d_3$	-	$110/51=2,15$
Крок труб повздовж потоку газів	$S_2$	Із технічної характеристики	мм	100
Відносний повздовжній шаг	$\sigma_2$	$S_2/d_3$	-	$100/51=1,96$
Ширина газоходу	$A_1$	Із креслень	м	1,05
Середня висота газоходу	$B$	Із креслень	м	1,25
Кількість труб поперек потоку в газоході	$z_1$	Із креслень	шт.	12
Живий переріз для проходу продуктів в газоході	$F_1$	$A_2B-z_1l_{\text{ср}}d_3$	$\text{м}^2$	$1,05 \cdot 1,25 - 12 \cdot 1,3 \cdot 0,051 = 1,08$
Температура продуктів спалювання перед конвективним пучком	$\Theta'$	Із розрахунку топки	$^{\circ}\text{C}$	873
Ентальпія продуктів спалювання	$\Gamma'$	Із розрахунку проперегрівача	$\text{кДж}/\text{м}^3$	8056
Температура продуктів спалювання за пучком	$\Theta''$	Попередньо приймаємо	$^{\circ}\text{C}$	210

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5
Ентальпія про- вання за пучком	$I''$	Із I- $\Theta$ табл.	кДж/м <sup>3</sup>	1888,4
Тепло, передане в конвективній час- тині продуктами спалювання	$Q_B$	$\varphi(I' - I'' + \Delta\alpha_{\text{кп}} I_{\text{хп}}^0)$	кДж/м <sup>3</sup>	$0,96(8056 - 1888,4 + 0,1 \cdot 146) = 5935,3$
Середня розраху- нкова темпера- тура продуктів спалювання в га- зоході КП	$\Theta_{\text{ср}}$	$(\Theta' + \Theta'') 0,5$	°C	$0,5(873 + 210) = 542$
Середня швид- кість продуктів спалювання	$\omega_r$	$\frac{V_p V_r (273 + \Theta_{\text{ср}})}{273 F_1}$	м/с	$\frac{0,15 \times 6,466 (273 + 542)}{273 \times 1,08} = 2,68$
Коефіцієнт теп- ловіддачі кон- векцією від продуктів спалю- вання до поверхні нагріву	$\alpha_k$	Номограма [22] $\alpha_n \cdot c_\phi \cdot c_z \cdot c_s$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$	$45 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1 = 47,3$
Товщина ви- промінюючого шару для гладкот- рубних пучків	$S$	$0,9 \left( \frac{4S_1 S_2}{3,14 d_3^2} - 1 \right) d_3^2$	м	$0,9 \left( \frac{4 \times 0,11 \times 0,1}{3,14 \times 0,051^2} - 1 \right) \times 0,051 = 0,201$
Добуток	$p_n S$	$p \cdot r_n \cdot S$	$p_n S$	$0,1 \cdot 0,188 \cdot 0,201 = 0,0049$
Коефіцієнт послаблення променів трьох- томними газами	$k_r$	Номограма [22]	$\frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$	18
Сумарна оптична товщина випромі- нюючого шару	$kpS$	$k_r \cdot r_n \cdot p \cdot S$	-	$18 \cdot 0,188 \cdot 0,1 \cdot 0,201 = 0,11$
Степінь чорноти газового потоку	$a$	Номограма [22]	-	0,15
Температура за- брудненої стінки	$t_3$	$t_{\text{кп}} + 60$	°C	$175 + 60 = 235$

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5
Коефіцієнт тепло-віддачі, що враховує передачу теплоти випромінюванням	$\alpha_{л}$	Номограма [22] $\alpha_{н} \cdot a \cdot c_{г}$	$\frac{Вт}{м^2К}$	$62 \cdot 0,15 \cdot 0,93 = 8,65$
Коефіцієнт, що враховує нерівномірність обмивання газами поверхону	$\xi$	[22]	-	1
Сумарний коефіцієнт тепло-віддачі від продуктів спалювання до поверхону нагріву	$\alpha_1$	$\xi(\alpha_{к} + \alpha_{л})$	$\frac{Вт}{м^2К}$	$1(47,3 + 8,65) = 55,95$
Коефіцієнт теплової ефективності	$\psi$	[22]	-	0,78
Коефіцієнт теплопередачі	$K_1$	$\psi \alpha_1$	$\frac{Вт}{м^2К}$	$0,78 \cdot 55,95 = 43,6$
Більше значення температурного тиску	$\Delta t_б$	$\Theta' - t_{кип}$	$^{\circ}C$	$873 - 175 = 698$
Менше значення температурного тиску	$\Delta t_м$	$\Theta'' - t_{кип}$	$^{\circ}C$	$210 - 175 = 35$
Середньологарифмічний температурний тиск	$\Delta t$	$\frac{\Theta' - \Theta''}{2,31 \lg \frac{\Delta t_б}{\Delta t_м}}$	$^{\circ}C$	$\frac{698 - 35}{2,31 \lg \frac{698}{35}} = 222$
Кількість теплоти сприйнятої поверхнею нагріву одного конвективного пучка	$Q_T$	$\frac{K_1 H \Delta t_1}{B_p 10^3}$	кДж/м <sup>3</sup>	$\frac{43,6 \times 74,07 \times 222}{0,15 \times 10^3} = 5779$
Похибка	$\Delta$	$\frac{Q_б - Q_T}{Q_б} \cdot 100$	%	$\frac{5779 - 5935}{5779} \cdot 100 = 2,7$

### 3.2.4 Зведення балансу і визначення нев'язки розрахунку

Зведення балансу розрахунку і можливу нев'язку занесемо у таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Зведення балансу і визначення нев'язки розрахунку

Назва величини	Позн.	Формула або метод знаходження	Один. вимір.	Розрахунок та результат розрахунку
Абсолютна нев'язка розрахунку	$\Delta Q$	$\frac{Q_H^H \eta_{БР}}{100} - (Q_L^T + Q_B^{ПП} + Q_B^{КП} + Q_B^{ЕК})$	кДж/м <sup>3</sup>	$\frac{14443 \cdot 83,5}{100} - (6282 + 5779) = -1,095$
Відносна нев'язка теплового розрахунку	$\delta Q$	$\frac{\Delta Q \times 100}{Q_H^H} \leq 1\%$	%	$\frac{1,95 \times 100}{14443} = 0,008$

### 3.3 Перевірка висоти димової труби на розсіювання золи в атмосфері

Вхідні дані:

- витрата робочого палива  $V_p = 0,171$  кг/с;
- кількість котлів – 2 шт;
- об'єм газів  $V_r = 6,466$  м<sup>3</sup>/кг;
- частка виносу золи  $a_{вин} = 0,85$ .

Розрахункова висота димової труби за [23]

$$H = \sqrt{\frac{0,001 \cdot A \cdot M \cdot F \cdot m}{C - 2C_\phi}}, \quad (3.1)$$

$$\sqrt[3]{V_r^{д.г} \cdot \Delta t}$$

де  $m = 0,9$  – коефіцієнт, який враховує вихід продуктів згорання із труби;

$M$  – маса золи, яка викидається в атмосферу з труби, кг/с;

$C$  – концентрація забруднюючих речовин біля поверхні землі, кг/м<sup>3</sup>;

$A = 120$  – коефіцієнт стратифікації атмосфери,  $C^{2/3} \cdot \text{град}^{1/3}$ ;

$F = 1$  – коефіцієнт, що враховує швидкість осідання забруднюючих речовин;

$C_\phi$  – фонові концентрації забруднюючих речовин в атмосфері, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{д.г.}$  – об'єм продуктів згорання, які проходять через димову трубу, м<sup>3</sup>/с.

Маса золи із димової труби

$$M = 0,01 \cdot n \cdot B_p \cdot \alpha_{вн} \cdot A^p, \quad (3.2)$$

де  $A^p$  – масова частка золи в паливі, %.

$n$  – кількість котлів;

$\alpha_{вн}$  – частка виносу золи;

$$M = 0,01 \cdot 2 \cdot 0,171 \cdot 0,85 \cdot 3,6 = 0,01046 \text{ (кг/с)}.$$

Об'єм продуктів згорання, які викидаються з димової труби

$$V_{д.г.} = n \cdot B_p \cdot V_r \cdot \frac{t_r + 273}{273} \cdot \frac{101000}{h_6}, \quad (3.3)$$

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

$$V_{д.г.} = 2 \cdot 0,171 \cdot 6,466 \cdot \frac{210 + 273}{273} \cdot \frac{1,01 \cdot 10^5}{98000} = 4,03 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Різниця температур

$$\Delta t = \vartheta_{д.г.} - t_{зн}, \quad (3.4)$$

де  $t_{зн}$  – температура зовнішнього повітря.

$$\Delta t = 210 - 24 = 186 \text{ (}^\circ\text{C)},$$

Тоді розрахункова висота димової труби

$$H = \sqrt{\frac{0,001 \cdot 120 \cdot 0,01046 \cdot 1 \cdot 0,9}{0,5 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 0,04 \cdot 10^{-6}}} = 17,4 \text{ (м)}.$$

Розрахунковий діаметр димової труби

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{V_{д.г}}{\pi \cdot w_{г}}}, \quad (3.5)$$

де  $w_{г}$  – швидкість виходу димових газів. Беремо  $w_{г} = 6$  м/с.

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{4,03}{\pi \cdot 6,0}} = 0,925 \text{ (м)}.$$

Отже, висоти існуючої димової труби достатньо для забезпечення нормативних вимог щодо викидів шкідливих речовин в довкілля.

## 4 ТЕХНОЛОГІЯ МОНТАЖУ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ КОТЛІВ

### 4.1 Загальна характеристика об'єкта, який підлягає монтажу

Розробляється варіант встановлення циклонів для очищення відхідних газів після парових котлів на твердому паливі ДЕ-2,5-0,9. Дане обладнання встановлюється на котельні, що виробляє теплоту для ТДВ «Вапнярський молокозавод».

Система очищення димових газів МЦ-У 800 – стандартний циклон із вбудованим двоходовим жаротрубним теплообмінником, який використовується для очищення відхідних газів від механічних домішок та зважених частинок, а також для підігріву води або повітря за рахунок теплоти відхідних газів [24] наявність утилізатора в конструкції циклона може підвищити ефективність системи на 5 – 7 %.

Потік забруднених відхідних газів входить в апарат через вхідний патрубок тангенційно у верхню частину кільцевого простору. У апараті формується спіральний рух газу, що спрямований донизу, до конічної частини апарату. Очищений газ через внутрішню поверхню трубок теплообмінника спрямовується у вихідний патрубок. Недопалені частинки осідають у бункері циклона-утилізатора.

Габаритні розміри циклона: довжина 1200 мм, висота 3520 мм, ширина 1-72 мм. Ефективність очищення газів складає 85...98 %.

Організація руху димових газів крізь циклон у димову трубу виконується за допомогою димососів ДН-6,3 М [24], що мають характеристики: оберти двигуна 1500 об./хв., продуктивність 1250 – 7900 м<sup>3</sup>/год, коефіцієнт корисної дії 54%.

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

Розрахунок та комплектування основних і допоміжних матеріалів та виробів наведенні у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Комплектувальна відомість

№ п\п	Найменування робіт та витрат, одиниця вимірювання	Одиниці вимірювання	Кількість	Вага	
				Одиниця	Всього
1	2	3	4	5	6
<b>Основні матеріали</b>					
1	Циклон МЦ-У 800	шт.	2	340	680
2	Димосос ДН-6,3 М	шт.	2	270	540
3	Газохід 400×500 мм, L = 0,4 м, b = 2 (0,72 м <sup>2</sup> )мм		1	11,23	11,23
4	Газохід 400×500 мм, L = 0,76 м, b = 2 (1,16 м <sup>2</sup> )мм		1	1,37	1,37
5	Відведення 90°, 500×400 мм, b = 2 мм (1,24м <sup>2</sup> ) до циклона		6	19,34	116,06
6	Перехід зі зміщенням 400×500 мм, Н= 1090 мм, L = 1,09 м, b = 2 мм (2,5м <sup>2</sup> )		2	39	78
7	Перехід зі зміщенням 400×500 мм, Н= 555 мм, L = 0,5 м, b = 2 мм (1,28 м <sup>2</sup> )		2	19,97	39,94
8	Відведення 90°, 400×500 мм, b = 2 мм (1,1 м <sup>2</sup> ) до циклона		6	17,16	102,96
9	Перехід 310×775 /400×500 мм, L = 0.35 м, b = 2 мм (0,92 м <sup>2</sup> ) кот. вих		2	14,35	28,7
10	Газохід 400×500 мм, L = 1.0 м, b = 2 мм (1,8 м <sup>2</sup> )	шт.	7	28,08	196,56
11	Газохід 400×500 мм, L = 0.7 м, b = 2 мм (1,26 м <sup>2</sup> )		2	19,66	39,31
12	Перехід ø380/400×500 мм, L = 0.35 м, b = 3 мм (0,62м <sup>2</sup> ) дим. вх	шт.	2	9,67	19,34
13	Перехід 315×235 /400×500 мм, L = 0.35 м, b = 2 мм (0,67 м <sup>2</sup> ) дим вих	шт.	2	10,45	20,9
14	Газохід 400×500 мм, L = 0.5 м, b = 2 мм (0,9 м <sup>2</sup> )	шт.	2	14,04	28,08



Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
15	Перехід 365×508 /400×500 мм, L = 0.35 м, b = 2 мм (0,81 м <sup>2</sup> )цикл вих	шт.	2	12,64	25,27
16	Перехід 210×800 /400×500 мм, L = 0.35 м, b = 2 мм (0,89м <sup>2</sup> ) цикл вх	шт.	2	13,884	27,77
17	Газохід 400×500 мм, L = 0,644 м, b = 2 (1,16 м <sup>2</sup> )мм	шт.	2	18,08	16,17
Допоміжні матеріали					
для монтажу димососів [25]					
56	Технічний кисень, марка КТ-1, КТ-2	м <sup>3</sup>	2	1,6	85.3
57	Поковки із квадратних заготовок, маса 1,8 кг	т	2	0,02	40
58	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э50А	т	2	0,00011	0,22
59	Порошок графітовий	кг	2	0,8	1,6
60	Технічний газ пропан-бутан	м <sup>3</sup>	2	0,2053	11
для монтажу газоходів [26]					
61	Азбестовий шнур загального призна- чення [ШАОН-1], діаметр 8,0-10,0 мм	т	0,5054	0,0029	1,466
62	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	0,5054	2,57	1,3
63	Електроди, діаметр 2 мм, марка Э42	т	0,5054	0,02228	11,26
64	Фарба земляна густо терта масляна, мумія, сурик залізний, МА-015	т	0,5054	0,0008	0,404
65	Масло дизельне моторне М-10ДМ	т	0,5054	0,03098	15,66
66	Крейда природна мелена	т	0,5054	0,0003	1,152
67	Міткаль «Т-2» суровий [суров'є]	10 м	0,5054	4,298	2
68	Болти будівельні з гайками та шай- бами	т	0,5054	0,0057	2,88
для монтажу шиберів [27]					
69	Азбестовий шнур загального призна- чення [ШАОН-1], діаметр 8,0-10,0 мм	т	2	0,0002	0,4
70	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	2	0,746	1,492
71	Болти будівельні з гайками та шай- бами	т	2	0,0007	1,4

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
для монтажу циклонів [28]					
1	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	0,2	5	1
2	Каболка	т	0,2	0,00001	0,002
3	Оліфа комбінована К-3	т	0,2	0,00001	0,002
4	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	0,2	0,0098	1,96
5	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,2	0,0038	0,76
6	Фарба земляна густотерта олійна, мумія, сурик залізний	т	0,2	0,00002	0,004

Маса основного обладнання і матеріалів – 1981,66 кг.

Маса допоміжних матеріалів (без води) – 180,27 кг.

Маса матеріалів для доставки

$$M_{\text{дост}} = 1981,66 + 180,27 + 2456,25 = 4618,18 \text{ (кг)}.$$

#### 4.3 Визначення складу і об'ємів робіт

##### 4.3.1 Склад робіт

1. Доставка деталей до місця монтажу.
2. Розмітка місць прокладання газоходів.
3. Монтаж циклонів-утилізаторів МЦ-У-800.
4. Монтаж димососів ДН-6,3М.
5. Монтаж шиберів 400×500 мм.
6. Прокладання газоходів і фасонних частин 400×500 мм.
7. Випробування газоходів.
8. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію.
9. Повернення допоміжного обладнання на склад.

## 4.3.2 Об'єми робіт [25 – 27]

1. Доставка деталей до місця монтажу. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна вага усіх деталей 4618,18 кг (4,62т). Приймаємо об'єм  $V = 4,62$  т.
2. Розмітка місць прокладання газоходів. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всієї мережі трубопроводу складає  $L = 30,4$  м. Приймаємо  $V = 0,304$ .
3. Монтаж циклонів-утилізаторів МЦ-У-800. Одиниці вимірювання – 10 штук. У схемі установки очищення газу встановлюється 2 циклони. Отже, приймаємо  $V = 0,2$ .
4. Монтаж димососів ДН-6,3 М. Одиниці вимірювання – 1 штука. У схемі установки очищення газу встановлюється 2 димососи. Отже, приймаємо  $V = 2$ .
5. Монтаж шиберів 400×500 мм. Одиниця вимірювання – 1 шт. У даній схемі монтується 2 шибери 400×500 мм. Приймаємо  $V = 2$ .
6. Прокладання газоходів і фасонних частин 400×500 мм. Одиниця вимірювання – 100 м<sup>2</sup>. У системі очищення газів монтується 50,54 м<sup>2</sup> газоходів і фасонних частин даного поперечного перерізу. Приймаємо  $V = 0,5054$ .
7. Випробування газоходів. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всієї мережі газоходів складає  $L = 40,4$  м. Приймаємо  $V = 0,304$ .
8. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всієї мережі трубопроводів і газоходів складає  $L = 30,4$  м. Приймаємо  $V = 0,304$ .
9. Повернення допоміжного обладнання на склад. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна вага усіх деталей 2456,25 кг (2,46 т). Приймаємо об'єм  $V = 2,46$ .

#### 4.4 Підбір машин, механізмів, пристосувань для монтажних робіт

Циклони, димососи, газоходи та допоміжні матеріали і обладнання завозяться централізовано автомобілем HYUNDAI EX8 . Технічні характеристики автомашини наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики автомашини " HYUNDAI EX8 "[29]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Колісна база	мм	4200
Вантажопідйомність	кг	4970
Довжина шасі	мм	7370
Витрата пального	л/100 км	16
Повна маса	кг	7500
Габарити бортової платформи	мм	5650x2300x2200
Маса	кг	9320

Для зварювання використовується зварювальний інвертор Riber-profi RP-319D [30] з технічними характеристиками:

- споживана потужність, кВт – 6,8;
- струм зварювання, А – 20 – 320;
- напруга мережі живлення, В – 220;
- діаметр електрода , мм – 1,6 – 5,0;
- ККД – 85%;
- маса – 6,5 кг

Для монтажу газоходів використовуємо ножичний підйомник GS 2632 з характеристиками [31]:

- довжина підйомної платформи – 2,26 м;
- ширина підйомної платформи – 0,81 м;
- максимальна висота підйому – 9,92;
- максимальна вантажопідйомність – 0,227 т;
- вага – 1959 кг.

Для випробування трубопроводів на міцність та щільність використовуємо компресор Dnipro-M AC-9NL, його характеристики наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики компресора Dnipro-M AC-9NL [32]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Об'єм ресивера	л	9
Робочий тиск	бар	0...8
Продуктивність на вході	л/хв	110
Продуктивність на виході	л/хв	85
Потужність	Вт	550
Рівень звукового тиску	дБ	60
Габарити	мм	455x180x490
Маса	кг	14

Для підйому димососів та циклонів використовуємо лебідку з електроприводом JM-2 380V. Її характеристики вказані в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики лебідки з електроприводом JM-2 380V [33]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Тягове зусилля в канаті	кг	2000
Розрахункова швидкість на- вивки каната	м/с	0,3
Діаметр барабана	мм	220
Канатоємність	м	150
Потужність двигуна УЕ2-132М-4	кВт	7,5
Габарити:		
Довжина	мм	1110
Ширина	мм	890
Висота	мм	510
Маса	кг	400

Для переміщення матеріалів і виробів використовуємо візок гідравлічний ручний POLTEK PL-20-1150. Його характеристики вказані в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 –Візок гідравлічний ручний POLTEK PL-20-1150 [34]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	т	2
Довжина вил	мм	1150
Висота підйому	мм	190
Ширина вил	мм	550
Маса	кг	68

Монтажна ланка оснащена набором інструментів у переносному ящику, який містить: Ключ гайковий двохсторонній М17х19 мм (6 шт.), М19х22 мм (6 шт.); плоскогубці комбіновані(6 шт.), викрутки (6 шт.); молоток слюсарний (6 шт.); зубило слюсарне довжиною 200 мм (6 шт.); молоток гумовий (6 шт.); стрічка вимірювальна, 20 м (6 шт.); рівень металевий (2 шт.). Загальна маса 11,75 кг.

Загальна маса допоміжного обладнання складає 2456,25 кг.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

В бакалаврській роботі розробляються заходи з охорони праці в процесі модернізації парової котельні товариства з додатковою відповідальністю «Вапнярський молокозавод».

У котельні, у процесі праці, на людину довгостроково впливають різноманітні несприятливі фактори, які можуть привести до захворювання й втрати працездатності.

Умови й фактори, що несприятливо впливають на організм людини, можна розділити на три основних види: фізичні (температура, шум, вібрації); хімічні (пил, гази, пара); біологічні.

Основні виробничі фактори, що визначають санітарно-гігієнічні умови праці:

- мікроклімат;
- склад повітряного середовища;
- шум;
- вібрації.

Для забезпечення комфортних умов роботи експлуатаційного персоналу й зменшення впливу шкідливих виробничих факторів, у котельному цеху передбачена автоматизація керування виробничими процесами, тобто контроль за основними параметрами і їхнім регулюванням здійснюється зі спеціального приміщення – щитової, де вплив шкідливих факторів легше звести до мінімуму. У котельному цеху передбачені приміщення для відпочинку й прийому їжі персоналом, ремонтна майстерня, лабораторія й т.д. Технічними рішеннями по виробничій санітарії зменшується дія шкідливих факторів.

Технологічні процеси в котельному цеху характеризуються наступними шкідливими факторами:

- можливість загазованості через витоки природного газу й димових газів з хвостової частини котла, через нещільності в газоходах й арматурах;
- шум, вібрація, які викликані роботою вентиляторів, димососів, насосів;

- можливість витоків пари через свищі й нещільності в запірних арматурах;
- виробничі випромінювання.

## 5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

### 5.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць

Необхідно пам'ятати, що при порушенні правил безпечної експлуатації водогрійних і парових котлів працівник може бути підданий термічним опікам, поразці електричним струмом, динамічним ударам при вибуху котла.

Повторна перевірка знань у працівників котельні проводиться кваліфікаційною комісією не рідше одного разу в рік, як правило, на початку опалювального сезону, а також: при перекладі котлів на інший вид палива; при переході працівників на обслуговування котлів іншого типу.

Допуск оператора котельні до самостійного обслуговування котлів має оформлятися наказом. Схеми включення котлів повинні бути вивішені на робочих місцях.

Працівники, що обслуговують котельні, повинні бути забезпечені спецодягом і спецвзуттям відповідно до діючих нормами: костюмом бавовняним; рукавицями комбінованими; окулярами захисними.

У котельні повинні бути вогнегасники марки ОХП-10 (2 шт.) і ОП-10. Працівники, що обслуговують котельні, повинні вміти користатися первинними засобами пожежегасіння. Забороняється використовувати пожежний інвентар не по призначенню.

У котельні забороняється перебування особи, що не має відносини до експлуатації котлів і устаткування котельні. У необхідних випадках сторонні можуть допускатися в котельню тільки з дозволу адміністрації й у супроводі її представника.

Котли і котельне устаткування повинні утримуватися в справному стані. Забороняється захаращувати приміщення котельні чи зберігати в ньому які-



небудь матеріали чи предмети. Проходи в котельному приміщенні і виходи з нього повинні бути завжди вільні.

Не допускається розміщення баків з легкозаймистим рідким паливом, а також запасів горючемастильних матеріалів у приміщенні, де встановлений котел.

Нагляд за технічним станом котлів у період експлуатації шляхом зовнішнього огляду повинний здійснюватися:

- щозмінно працівниками котельні з записом у змінному журналі;
- щодня особою, відповідальним за безпечну експлуатацію і технічний стан котлів;

- періодично не рідше одного разу в рік головним інженером підприємства.

Необхідно звернути увагу на вимоги безпеки перед початком роботи:

- одягти передбачений нормами спецодяг;
- перевірити наявність первинних засобів пожежегасіння, ознайомитися з записами в змінному журналі і перевірити справність котлів, що обслуговуються, і стосовного до них устаткування, а також справність аварійного освітлення, телефонного зв'язку (чи звукової сигналізації) для виклику в екстрених випадках представників адміністрації і зв'язку котельні з місцями споживання пари;

- прийом і здача зміни оформляється в змінному журналі за підписами відповідальних по зміні осіб. Запису в журналі щодня перевіряє особа, відповідальна за безпечну експлуатацію котлів. Не дозволяється приймати і здавати чергування під час ліквідації аварії в котельні.

Перед розпалюванням котла варто перевірити:

- справність топки і газоходів, запірних і регулюючих пристроїв;
- справність контрольно-вимірювальних приладів, живильних пристроїв, вентиляторів, а також наявність природної тяги;
- справність устаткування для спалювання газоподібного палива;
- рівень води в котлі, герметичність фланців, запірної арматури, люків;

- відсутність заглушок на продувних, спускних і живильних паропроводах, мазутопроводах, газопроводах, а також до і після запобіжного клапана;
- відсутність у топці і газоходах сторонніх предметів.

Забороняється пуск у роботу котлів з несправними: арматурою, живильними приладами, засобами автоматики, засобами противоаварійної захисту і сигналізації.

Безпосередньо перед розпалюванням котла повинна бути зроблена вентиляція топки і газоходів протягом 10–15 хв.

Розпалювання котлів повинне провадитися тільки при наявності розпорядження, записаного в змінному журналі відповідальним за безпечну експлуатацію котлів. Час початку розпалювання і пуску котла в роботу повинне фіксуватися в змінному журналі. Режим розпалювання котлів повинний відповідати вимогам документації заводу-виготовлювача.

Не допускається застосування при розпалюванні котла, що працює на твердому паливі, легкозаймистих нафтопродуктів (бензин, гас, дизельне паливо й ін.).

Під час чергування працівники котельні повинні стежити за справністю котла і всього устаткування котельні і строго дотримувати встановлений режим роботи котла.

Несправності устаткування, що виявляються в процесі роботи, повинні фіксуватися в змінному журналі. Працівники повинні вживати негайних заходів до усунення несправностей, що загрожують безпечній і безаварійній роботі устаткування. Якщо несправності усунути власними силами неможливо, то необхідно повідомити про це особі, відповідальному за безпечну експлуатацію котлів, і вжити заходів по зупинці роботи котла.

### 5.1.2 Електробезпека

У котельному цеху розміщене таке устаткування:

- електроспоживачі напруги 380/220В, які живляться від мережі із глухозаземленою нейтраллю, та занулення (тип TN-C)

- електродвигуни напруги 6,3 кВ, які живляться від мережі з ізольованою нейтраллю (тип IT).

Під час експлуатації електродвигунів механізмів власних потреб виконують наступне:

- не допускають навантаження механізму вище номінального струму електродвигуна й зниження напору насоса нижче гранично припустимого;
- періодично контролюють нагрівання електродвигуна на дотик і по термопарах опору.

Для електричних мереж застосовують різні кабелі з використанням алюмінію, як матеріалу, для струмоведучих жил, а при необхідності особливої гнучкості – міді.

По небезпеці електротравмування котельний цех відносять до 3-ї категорії приміщень («особливо небезпечні»), тому що присутні два фактори небезпеки – струмопровідна підлога й можливість одночасного дотику до корпусу електроспоживачів і металоконструкції, які мають контакт із землею.

Прийняте в проекті електротехнічне устаткування, апаратури, кабелі й проводи, розподільні пристрої всіх видів і напруг по своїх номінальних параметрах задовольняють умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перенапругах, перевантаженнях.

Технічні рішення по запобіганню електротравм від контакту з нормально струмоведучими елементами електроустановок [35]:

- ізоляція нормально струмоведучих елементів відповідно до [35];
- використання позначень в електроустаткуванні щоб уникнути помилкових дій при обслуговуванні й експлуатації електроустаткування (напису, таблиць, попереджувальні знаки, сигналізація)
- підведення кабелю до споживачів у трубах, у закритих конструкціях підлоги, розведення електромережі в приміщенні в каналах стін, підлоги, стелі.
- застосовані блокування безпеки (не дозволяють відкрити комутаційні апаратури без відключення джерела живлення - реле).
- джерела освітлення розташовані на висоті 2,5м. над робочим місцем.

- пускові апарати електродвигунів встановлені поза приміщенням котельні.
- напруга освітлювальної мережі в котельному цеху, як і по всій станції, прийнято 220В з заземленої нейтраллю.

Технічні рішення по запобіганні електротравмуванню при переході напруги на нормально неструмоведучі елементи електроустаткування:

- захисне заземлення (установки 6,3 кВ; як заземлюючі пристрої застосовані металеві колони, балки);
- занулення (електроспоживачі на напругу 380/220В).

Вимога до заземлення: опір заземлюючого пристрою залежно від величини напруги, що підводить до споживача напруги, потужності споживача й режиму нейтралі може бути в межах - 10...4 Ом при напрузі до 1000В и в межах 0,5...10 Ом при напрузі більше 1000В.

Вимоги до занулення: забезпечення необхідної кратності струму КЗ (3...1,25) залежно від типу запобіжного приладу; забезпечення цілісності нульового проводу достатня його провідність - за рахунок достатнього вибору його перетину й використання повторних заземлень нульового проводу.

Всередині котельного цеху по периметру приміщення виконаний контур заземлення, до якого підключається все електроустаткування. Внутрішній контур заземлення у двох місцях підключається до існуючого зовнішнього контуру заземлення.

Передбачено захист всіх будинків і споруд за допомогою блискавкоприймальних сіток, покладених на покритті будинків, сітки надійно приєднані не менш, ніж двома спусками до зовнішнього контуру заземлення.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Припустимий мікроклімат у приміщенні котельні забезпечується підтримкою теплової рівноваги між організмом і навколишнім середовищем, підтримкою на заданому рівні нормованих параметрів, що визначають мікроклімат -

температура ( $t, ^\circ\text{C}$ ), відносна вологість повітря ( $W, \%$ ), швидкість його переміщення ( $V, \text{м/с}$ ).

Оптимальні й допустимі параметри мікроклімату згідно [36] наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Оптимальні й припустимі параметри мікроклімату

Пора року	Оптимальні (щитова)			Допустимі (котельн. отд-і.)		
	$t, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$	$t, ^\circ\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$
Теплий	23...25	40-60	$\leq 0,1$	22...28	До 55	0,1...0,2
Холодний	22...24	40-60	$\leq 0,1$	21...25	До 75	$\leq 0,1$

З метою забезпечення необхідних по нормативах параметрів мікроклімату проектом передбачено:

- проточна вентиляція з подачею повітря;
- витяжна вентиляція, для видалення повітря з котельного цеху з верхньої зони;
- автоматизація технологічних процесів (керування процесом дистанційно із щитових приміщень);
- зменшене виділення тепла й вологи за рахунок удосконалення устаткування й технологічного процесу.
- вентильовання приміщення з метою профілактики теплових травм, а також забезпечення необхідної температури повітря; вимір температури повітря в приміщенні проводиться три рази за робочу зміну; виміри проводяться на висоті 1 метра при виконанні робіт сидячи й на висоті 1.5 метра при виконанні робіт стоячи;
- під час виконання робіт поблизу поверхонь устаткування, що має високу температуру, передбачене екранування поверхонь теплоізоляційними щитами (екранами), при необхідності використовуються засоби індивідуального захисту.

Вентиляція та опалення котельні забезпечують видалення надлишків вологи, їдких газів, пилю й підтримують наступні температурні умови, згідно [37].

### 5.2.2 Виробниче освітлення

Котельний цех забезпечується природним світлом через віконний проріз. Також передбачене штучне освітлення у вигляді газорозрядних ламп. Для аварійного освітлення передбачені акумуляторні ліхтарі.

Аварійним освітленням обладнані наступні місця:

- а) фронт котлів, а також проходи між котлами, позад котлів і над котлами;
- б) щити й пульти керування;
- в) водовказівні й вимірювальні прилади;
- г) насосне встаткування.

Освітленість приміщення котельні відповідає вимогам [38].

Природне освітлення.

Вибір величини віконних прорізів здійснюється виходячи з багатьох факторів: поясу, мата, розташуванню вікон стосовно сторін світла, інших будівель, що перебувають у видимості й т.д.

Штучне освітлення згідно [38]. Природне й штучне освітлення. Норми проектування підрозділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне.

Критерієм штучного освітлення прийняті:

- освітленість  $E$ ;
- показник дискомфорту  $M$ ;
- коефіцієнт пульсації освітленості  $K_p$ .

Штучне освітлення нормується згідно [38]. Природне й штучне освітлення. Норми проектування, з огляду на розряд, підрозряд робіт, систему освітлення й тип джерела світла. Нормованим параметром є освітленість  $E$ . По методу коефіцієнтів використання світлового потоку, розраховується загальне штучне освітлення.

Організація раціонального освітлення робочих місць і будівельних майданчиків є одним з основних питань охорони праці. Від пристрою освітлення багато в чому залежить продуктивність і безпека праці, а також якість виконуваних робіт. Для забезпечення нормативного значення Е передбачено:

- системи робочого, аварійного й евакуаційного освітлення;
- аварійне освітлення живиться від джерела постійного струму (12В), резервується від акумуляторних батарей;
- як джерело освітлення застосовуються газорозрядні лампи типу ДРП і лампи накаливання 220 В в випадку якщо світильник розташовується вище ніж 2,5 м від підлоги, також лампи накаливання використовуються в коридорах, на сходах, площадках обслуговування ;
- у приміщеннях, де постійно перебуває персонал, встановлюються люмінесцентні лампи.

### 5.2.3 Виробничий шум

Джерелами шуму [39], що розглядаються в роботі, для працівників є шум обладнання і компресорних установок. Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер роботи	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частотами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	2	3	25	50	500	1000	2000	4000	8000	
Основні виробничі приміщення	6	1	1	4	9	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового клімату) в приміщенні проектом передбачено:

- раціональне розташування робочих місць;
- постійний контроль режиму праці і відпочинку працівників;
- обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам.

#### 5.2.4 Виробничі вібрації

Згідно [40] нормуються припустимі величини віброшвидкості (м/с) або віброприскорення (м/с<sup>2</sup>).

Джерелами вібрації є: електричні машини, насоси, трубопроводи, димососи, вентилятори, котел й ін. устаткування.

Згідно з [40] категорія вібрації по санітарних нормах і критеріям оцінки – 3 «а». Характеристика умов праці [40]: технологічна вібрація, що діє на операторів стаціонарних машин й устаткування й передається на робочі місця, що не мають джерел вібрації.

У котельні для загальної вібрації припустимі значення нормованого параметра в діапазоні октавних смуг зі середньгеометричними частотами 8...1000 Гц – 108дБА, LVфакт=80дБА.

Для зменшення впливу вібрації передбачено:

- установка всього встаткування, що є джерелом вібрації, на індивідуальні фундаменти із застосуванням матеріалів, які гасять вібрації [40];
- на трубопроводах передбачена установка компенсаторів ;
- на повітроводах передбачені еластичні вставки.
- дистанційне керування встаткуванням, що виключає передачу вібрації на робочі місця, віброізоляція робочих місць.



### 5.3 Технічні рішення з пожежної безпеки

У котельні пожежа може виникнути при порушенні ізоляції проводів, при короткому замиканні, порушенні правил експлуатації електроустаткування.

Основними джерелами пожежі у котельному приміщенні є:

- пілопроводи;
- пальники;
- кабельні траси;
- розподільні щитки.

Пожежна безпека - це стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість його виникнення й розвитку пожежі, а при його виникненні забезпечуються умови для локалізації, захисту людей і матеріальних цінностей.

Пожежна безпека досягається:

- системою запобігання пожежі;
- системою протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

Основні пожежонебезпечні речовини й матеріали по яких визначається категорія пожежонебезпеки й клас приміщення:

- природний газ, мазут ТМ-100, трансформаторне масло, турбінне масло, водень.

Згідно [41], котельня ставиться до категорії Г з ступенем вогнестійкості III (основні: несучі конструкції неспаленні (залізобетонні перекриття), а не несучі - важко спаленні).

Можливі фактори пожежі в приміщенні:

- порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління і т.п.);
- несправність електрообладнання (пробій ізоляції і т.п.).

Засоби протипожежної безпеки:

- згідно з [41, 42] в приміщенні встановлено димові сповіщувачі СПД-1, а в коридорі - теплові сповіщувачі ПП-105.4, які входять до складу автоматичних систем пожежної сигналізації;

- встановлено звуковий сповіщувач в приміщенні сходової клітини, для оповіщення людей про пожежу;

- в приміщенні суворо заборонено використання побутових нагрівальних приладів, палити;

- двері відкриваються назовні;

- ширина дверного отвору 1 м, що задовольняє нормативним вимогам – не менш 0,8 м;

- кількість одночасно працюючого персоналу 3 особи, що задовольняє нормативним вимогам – не більше 25 осіб при одному виході,

- висота дверного отвору складає 2 м, що задовольняє нормативним вимогам не менш 2 м;

- в приміщенні суворо забороняється зберігати вогнебезпечні речовини та вироби (тканина, рослинні масла, лакофарби и т.п.);

В приміщенні і в коридорі розташовані 2 види вогнегасників: порошковий і вуглекислотний. Кількість та умови їх використання відповідають ISO 3941-77.

Робочі приміщення відповідають всім вимогам з пожежної безпеки відповідно до НАПБ В.1.034-2005 «Правила пожежної безпеки в Україні» та НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки на підприємстві та організації енергетичної галузі України»

## ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі виконано розрахунки теплової схеми парової котельні ТДВ «Вапнярський молокозавод», яка забезпечує парою промислове підприємство, а також систему опалення та гарячого водопостачання заводу. В котельні встановлено два газових парових котли ДЕ-2.5-0.9, обладнання для хімоводоочистки, насоси, підігрівники.

Визначені показники парової котельні для двох періодів – опалювального та міжопалювального. Визначено потужність котельні в опалювальний та міжопалювальний періоди року –  $Q_k^{оп} = 1,778$  МВт та  $Q_k^{мо} = 1,618$  МВт; витрату робочого палива –  $V_p^{оп} = 0,058$  м<sup>3</sup>/с та  $V_p^{мо} = 0,053$  м<sup>3</sup>/с, витрату умовного палива –  $V_y^{оп} = 0,067$  кг/с та  $V_y^{мо} = 0,061$  кг/с. Визначено електричну потужність власних потреб котельні, яка становить 3,413 кВт в опалювальний період і 3,139 кВт в міжопалювальний період року.

Визначені техніко-економічні показники роботи котельні в разі роботи на природному газі. Розрахунками встановлено, що собівартість виробленої теплової енергії становить 1259,2 грн/ГДж.

Виконано багатоваріантний аналіз видів палива для парової котельні. Виконані розрахунки техніко-економічних показників котельні на різних видах палива. Розглянуто варіанти роботи парової котельні на природному газі, біогазі, паливних гранулах з деревини, паливній трісці. За результатами розрахунків встановлено, що найменша собівартість виробництва теплоти в разі роботи парових котлів на паливній трісці та паливних гранулах з деревини, яка становить 372,54 грн/ГДж і 393,42 (грн/ГДж) відповідно. Котельня на природному газі має ряд переваг в експлуатації у порівнянні з іншими варіантами, але через високу вартість палива є нерентабельною.

Отже, модернізація котельні передбачає переведення парових котлів на спалювання паливної тріски або паливних деревних гранул. Виконано перевірку висоту існуючої димової труби на виконання норм з граничної допустимої

концентрації шкідливих викидів під час спалювання твердого палива. За результатами розрахунків зроблено висновок, що існуюча труба задовільняє нормативним вимогам.

Виконано розрахунок об'ємів продуктів згоряння і повітря для парового котла ДЕ-2,5-0,9. Проведено розрахунок ентальпії продуктів згоряння і повітря, тепловий баланс котла, розрахунок топки, жаротрубного пучка.

За результатами розрахунку коефіцієнт корисної дії котла 83,5%. Температура газів на виході з топки 873 °С. Теплова потужність пучка 5779 кДж/м<sup>3</sup>, топки 6282 кДж/ м<sup>3</sup>. Витрата палива 0,15 кг/с. Виконано складальне креслення парогенератора.

Розроблено технологію монтажу системи очищення відхідних газів парових котлів з використанням циклонів-утилізаторів МЦ-У 800 на котельні Вапнярського молокозаводу

Розроблено монтажну схему системи очищення відхідних газів.

Визначено продуктивність димососа ДН-6,3 М та розміри поперечного перерізу газоходів для транспортування відхідних газів, що склали 400x500 мм.

Складено відомість основних та допоміжних матеріалів, необхідних для монтажу циклонів утилізаторів, нагнітального обладнання із комунікаціями. При цьому основного обладнання і матеріалів склала 1981,66 кг, а допоміжного – 180,27 кг.

Також визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах. Так для транспортування матеріалів використовується автомашина HYUNDAI EX8, для зварювання використовується зварювальний інвертор Riber-profi RP-319D, для випробування газоходів на міцність та щільність – компресор Dnipro-M AC-9NL, для підйому вантажу – лебідку з електроприводом JM-2 380V, для переміщення вантажу – візок гідравлічний ручний POLTEK PL-20-1150, для монтажу газоходів використовуємо ножичний підйомник GS 2632.

Вибрано допоміжне обладнання для монтажу системи. Загальна маса обладнання – 2456,25 кг.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бевз В. В. Енергозберігаючі технології – інноваційний шлях розвитку харчової промисловості URL: <https://ir.kneu.edu.ua/bitstream/handle/2010/594/Bevz.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення 25.03.2023).
2. Пертко П. О. Як енергоефективність змінює українську промисловість URL: <http://www.https://mind.ua/news/20233590-yak-energoefektivnist-zminyue-ukrayinsku-promislovist> (дата звернення 25.03.2023).
3. Явтушенко О. С., Андрусь О. І. Шляхи зниження собівартості продукції на підприємстві. *Ефективна економіка*. № 4. 2013. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1959> (дата звернення 25.03.2023).
4. Серьогін О.О., Понікарчук І.А. Використання твердого біопалива -як спосіб енерго- та ресурсоощадження на підприємствах харчової промисловості України. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/bitstream/123456789/18449/2/48.pdf> (дата звернення 26.03.2023).
5. Біогазові заводи: Практика застосування. URL: <https://utc.bio/biogazovi-kompleksy/biogaz-biometan/> (дата звернення 27.03.2023).
6. Газоподібні палива. Особливості їх застосування. Переваги та недоліки газоподібних палив при їх експлуатації <http://um.co.ua/8/8-11/8-111860.html>
7. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси. URL: <https://bit.ly/3kh79Pf> (дата звернення 30.03.2023).
8. Реалізація проекту з будівництва котельні на альтернативних джерелах енергії економічні переваги, екологічні та технічні наслідки. URL: [https://www.sae.gov.ua/sites/default/files/2\\_VL\\_23\\_07.pdf](https://www.sae.gov.ua/sites/default/files/2_VL_23_07.pdf) (дата звернення 30.03.2023).
9. Які методи застосовують для очищення стічних вод молокозаводів. URL: <https://ecolog-ua.com/news/yaki-metody-zastosovuyut-dlya-ochyshchennya-stichnyh-vod-molokozavodiv> (дата звернення 30.03.2023).
10. Виробництво і використання біогазу в Україні. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2012/11/biogas-arzinger-handbook.pdf> (дата звернення 30.03.2023).

11. Ткаченко С. Й., Чепурний М.М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2005. 137 с.
12. Чепурний М.М., Степанов Д. В., Корженко Є.С. Теплові розрахунки парогенераторів : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2005. 155 с.
13. Чепурний М. М., Ткаченко С.Й., Корженко Є.С. Експлуатація промислових парогенераторів : навч. посіб. Вінниця: ВДТУ, 2002. 135 с.
14. О. Г. Лялюк Економіка енергетики : практикум. Вінниця: ВНТУ, 2009. 118 с.
15. Ціни на газ для установ та організацій, що фінансуються з державного та місцевих бюджетів. URL: <https://gazpostach.od.ua/dlya-ustanov-ta-organizacij-shho-finansuyutsya-z-derzhavnogo-ta-miscevih-byudzhativ/> (дата звернення: 11.05.2023).
16. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг. URL: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/promislovishtarifi-na-elektroenergiyu-dlya-nepobutovih-spozhivachiv> (дата звернення: 11.05.2023).
17. Тарифи на водопостачання та водовідведення. URL: <https://cutt.ly/MwrfeacA> (дата звернення: 11.05.2023)
17. Питома теплота згорання. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0\\_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0\\_%D0%B7%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8F](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0_%D0%B7%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8F) (дата звернення: 30.05.2023).
18. Фурман І.В. Перспективи виробництва біогазу та біоетанолу на спиртових заводах. *Економіка та суспільство*. №36. 2022. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1163/1120> (дата звернення: 30.05.2023).

19. Пелети А1. URL: <https://gi-pellets.com.ua/produkcija/na-palletakh> (дата звернення: 30.05.2023).
20. Тріска опалювальна 1 м куб. Ціна на пелети та тріску. URL: <https://gi-pellets.com.ua/produkcija/shepa-otopitelynaya> (дата звернення: 30.05.2023).
21. Степанов Д.В., Корженко Є.С., Боднар Л.А. Котельні установки промислових підприємств : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2011. 117 с.
22. 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.
23. Система очищення димових газів КЗОТ Циклон МЦ 800 (800-1000 кВт). URL : <https://kzot-kotel.com.ua/systemy-ochystky-dymovykh-haziv/systema-ochyshchennia-dymovykh-haziv-kzot-tsyklon-mts-800-800-1000-kvt/>. (дата звернення: 01.06.2023).
24. Димосос ДН-6,3 95-40 5,5 кВт 1500 об/хв. URL : <https://www.lador.ru/gost/gost-3262-75.pdf> (дата звернення: 01.06.2023).
25. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. Компресорні установки, насоси і вентилятори. (Збірник 17). URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/12/knu-reknmu.-kompresorni-ustanovky-nasosy-i-ventylyatory-zbirnyk-7.pdf> (дата звернення: 05.06.2023).
26. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 20. Вентиляція та кондиціонування повітря. URL : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/knu-resursni-elementni-koshtorysni-normy-na-budivelni-roboty.-ventylyacziya-ta-kondyciyuvannya-povitrya.-zbirnyk-20.pdf>. (дата звернення:05.06.2023).
27. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Внутрішні сантехнічні роботи (Збірник 15). URL : <https://cutt.ly/wwrftuh4> (дата звернення:05.06.2023)
28. Степанова Н. Д., Степанов Д. В. Монтаж теплоенергетичного та теплотехнологічного обладнання : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2022. 119 с.

29. Тентована вантажівка HYUNDAI EX8. URL : [https://autoline.ua/-/prodazh/tentovani-vantazhivki/HYUNDAI/EX8--20013015374813380500?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=drem-local&gclid=EAIaIQobChMIzfezqa3i\\_AIVtoT9Bx0wBQz4EAEYASABEgKotPD\\_BwE](https://autoline.ua/-/prodazh/tentovani-vantazhivki/HYUNDAI/EX8--20013015374813380500?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=drem-local&gclid=EAIaIQobChMIzfezqa3i_AIVtoT9Bx0wBQz4EAEYASABEgKotPD_BwE) (дата звернення 05.06.2023).

30. Зварювальний інвертор Riber-profi RP-319D. URL : <https://svarmax.com.ua/ua/svarochnyj-invertor-riber-profi-rp-319-d> (дата звернення 05.06.2023).

31. Ножичні підйомники. URL: [https://tedarent.com.ua/nozhichni-pidjomniki/?gclid=Cj0KCQiAiJSeBhCCARIsAHnAzT-BYvIK9hh6uwfwgwXBc0kFsc9KK8maGIykKmecOi-TvLSpd-kcz7IaAnwdEALw\\_wcB](https://tedarent.com.ua/nozhichni-pidjomniki/?gclid=Cj0KCQiAiJSeBhCCARIsAHnAzT-BYvIK9hh6uwfwgwXBc0kFsc9KK8maGIykKmecOi-TvLSpd-kcz7IaAnwdEALw_wcB) (дата звернення: 06.06.2023).

32. Компресор повітряний Dnipro-M AC-9NL. URL : <https://dnipro-m.ua/tovar/kompressor-vozdushnyj-ac-9nl/?tab=characteristics> (дата звернення 06.06.2023).

33. Лебідка електрична JM 380V. URL : <https://cargoset.com.ua/ua/lebedka-elektricheskaya-jm-380v> (дата звернення: 06.06.2023).

34. Візок гідравлічний (Рокла) 2т POLTEK. URL : <https://cargoset.com.ua/ua/telezhka-gidravlicheskaya-rokla-2t-poltek>. (дата звернення: 06.06.2023).

35. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. URL : [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=65395](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65395) (дата звернення: 08.06.2023).

36. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL : <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972> (дата звернення: 08.06.2023).

37. ДСН3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>. (дата звернення: 08.06.2023).

38. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=79885](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885). (дата звернення: 09.06.2023).



39. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html> (дата звернення: 09.06.2023).

40. ДБНВ.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

41. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_b\\_v\\_1\\_1\\_36/5-1-0-1759](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759) (дата звернення: 09.06.2023).

42. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: [http://www.poliplast.ua/doc/dbn\\_v.1.1-7-2002..pdf](http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002..pdf) (дата звернення: 09.06.2023).

ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Модернізація парової котельні товариства з додатковою  
відповідальністю «Вапнярський молокозавод»

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота  
(БДР, МКР)

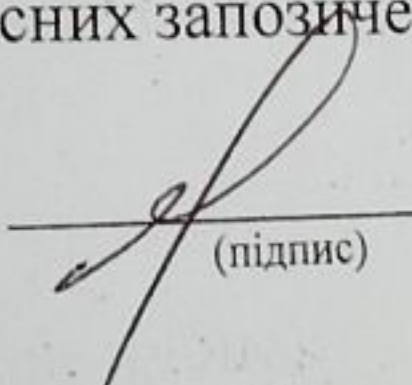
Підрозділ кафедра теплоенергетики, факультет будівництва, цивільної та  
екологічної інженерії  
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 81,9% Схожість 18,1%

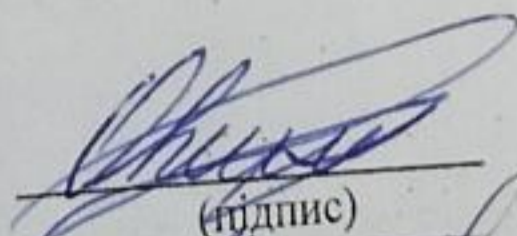
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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  (підпис) Співак О.Ю.  
(прізвище, ініціали)

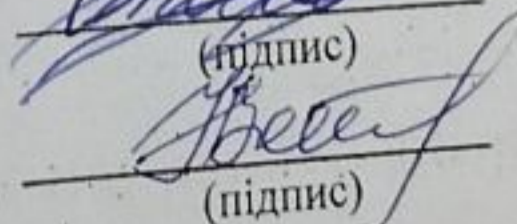
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи

  
(підпис)

Огірчук О.В.  
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

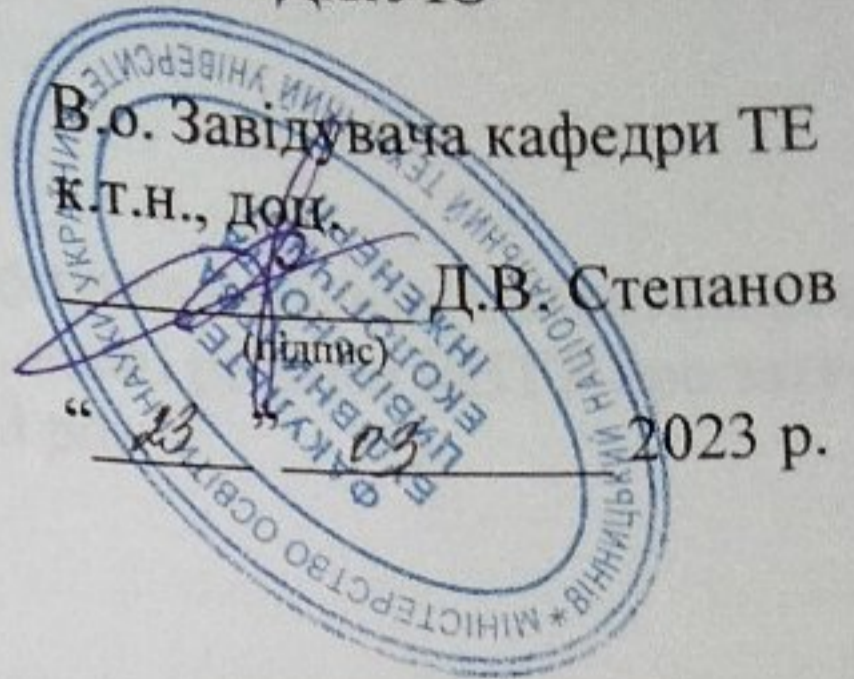
  
(підпис)

Резидент Н.В.  
(прізвище, ініціали)

Додаток Б  
(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. Завідувача кафедри ТЕ  
к.т.н., доц. Д.В. Степанов



2023 р.

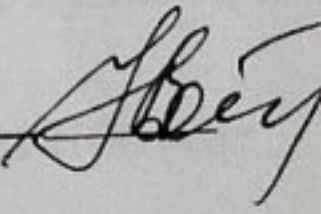
### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську дипломну роботу на тему:

«Модернізація парової котельні ТДВ «Вапнярський молокозавод»

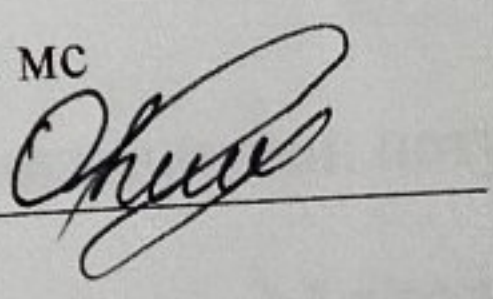
08-15.БДР.005.00.00.000 ТЗ

Керівник роботи:

к. т. н. доц.. Резидент Н. В. 

Виконавець:

Студент гр. ТЕ-21 мс

Огірчук О. В. 

Вінниця ВНТУ 2023

## 1 Найменування і область використання продукції

Розробка стосується промислової теплоенергетики і модернізації парової котельні ТДВ «Вапнярський молокозавод», яка дозволить підвищити ефективність виробництва теплоти, зменшити шкідливі викиди котельні в навколишнє середовище.

## 2 Основа для виконання робіт

Основою для виконання роботи є індивідуальне завдання на бакалаврську дипломну роботу, вхідні дані з підприємства, наказ ректора ВНТУ про затвердження теми БДР № 67 від «20» березня 2023 року.

## 3 Мета та призначення розробки

Заміщення природного газу альтернативними джерелами енергії зокрема відновлюваними, зменшення собівартості виробництва теплової енергії, зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище шляхом реконструкції котлів на спалювання біомаси зі встановленням системи очищення відхідних газів.

## 4 Джерела розробки

Основою для розробки є індивідуальне завдання на бакалаврську дипломну роботу, дані літературних та інтернет джерел, інші технічні матеріали щодо застосування альтернативних джерел енергії.

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

2. Державні будівельні норми України: [сайт]. Режим доступу: <http://dbn.at.ua/index/0-4>

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

4. Степанов Д.В., Корженко Є.С., Боднар Л.А. Котельні установки промислових підприємств. Вінниця: ВНТУ, 2011. 117 с.

## 5 Технічні вимоги

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

5.1.1 Витрата пари на промислові споживачі .....2,1 т/год

5.1.2 Витрата пари на систему опалення .....0,9 т/год

5.1.3 Витрата пари на систему гарячого водopостачання.....0,12 т/год

5.1.4 Тиск пари на виході з котлів.....0,7 МПа

5.1.5 Температура пари на виході з котлів.....165 °С

5.1.6 Частка повернення конденсату від промислових споживачів.....0.

5.2 Використання для джерела енергопостачання відновлюваного місцевого виду палива.

Паливо:

- природний газ;

- паливні гранули, інші види відновлюваного палива.

5.3 Забезпечення зменшення витрати палива.

5.4 Заміщення природного газу.

6. Створення об'єкту повинно вестись з мінімальними витратами праці та з мінімальними затратами виробництва. Здійснити економічне обґрунтування доцільності переведення котельні на альтернативні природному газу види палива, визначивши річні витрати палива, зменшення собівартості виробництва теплової енергії.

7 Вимоги до стандартизації та уніфікації

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

8 Вимоги з надійності

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

9 Стадії та етапи розробки

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд джерел інформації щодо заміщення природного газу в котельнях відновлюваними видами палива	22.03.23...02.04.23	
2	Аналіз показників роботи котельні за існуючою тепловою схемою. Обґрунтування вибраного варіанту модернізації.	03.04.23...21.04.23	
3	Конструктивна частина	22.04.23...09.05.23	
4	Технологічна частина	10.05.23...24.05.23	
5	Охорона праці	25.05.23...01.06.23	
6	Оформлення БДР	02.06.23...09.06.23	
7	Попередній захист БДР	10.06.20...13.06.23	
8	Захист БДР	14.06.23...22.06.23	

Дата видачі завдання «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

Крайні терміни виконання «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

10 Порядок контролю та приймання

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

11 Корегування технічного завдання допускається з дозволу керівника БДР.

Додаток В  
(обов'язковий)

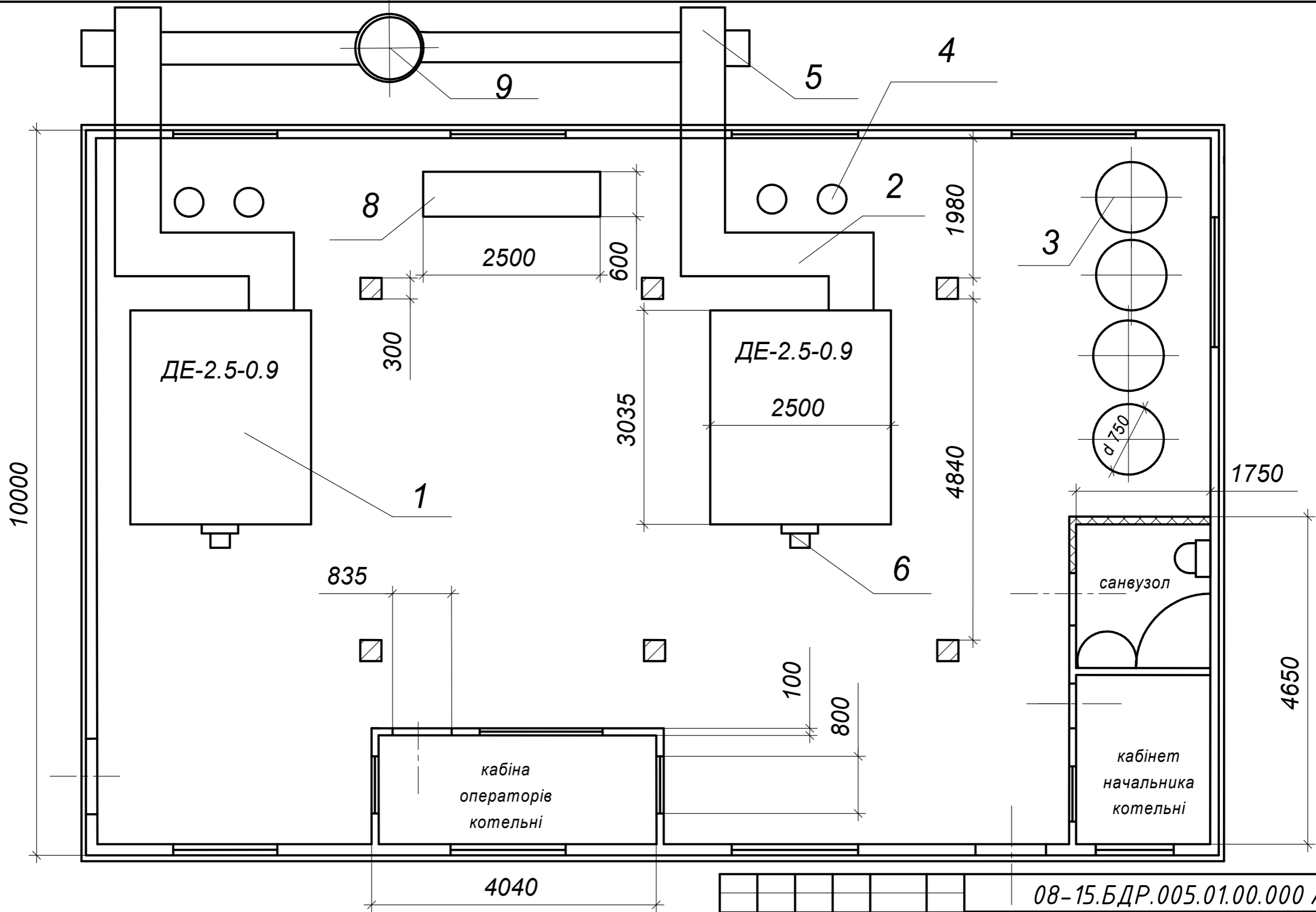
**ГРАФІЧНА ЧАСТИНА**

«МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАРОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ  
ТОВАРИСТВА З ДОДАТКОВОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ  
«ВАПНЯРСЬКИЙ МОЛОКОЗАВОД»



Согласовано

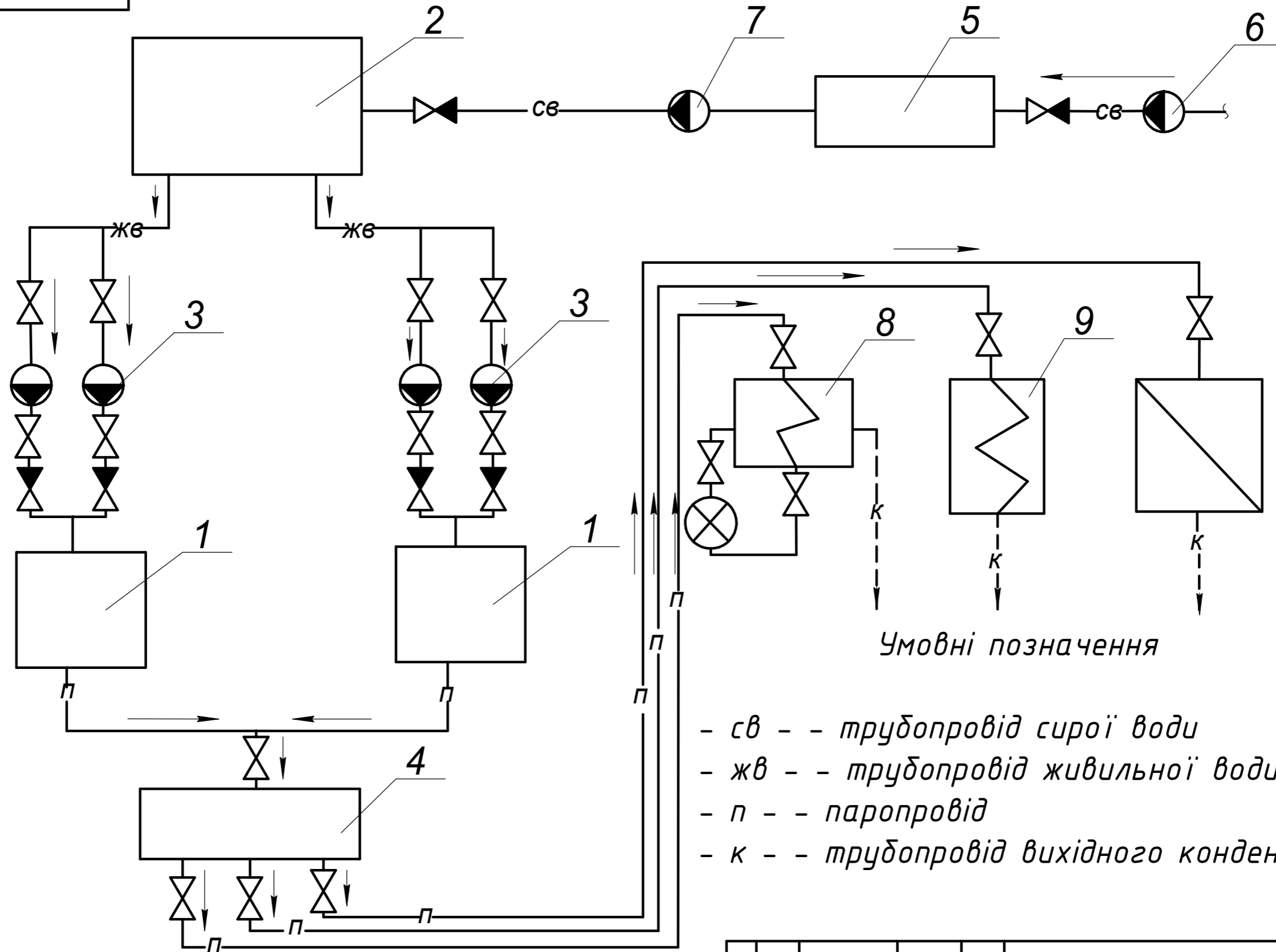
Инев. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №



						08-15.БДР.005.01.00.000 АР			
						м. Вапнярка			
Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата	Модернізація парової котельні товариства з додатковою відповідальністю "Вапнярський молокозавод"	Стадія	Лист	Листов
Розробив	Огірчук О. В.								
Перевірів	Резидент Н.В.								
Т.контр.	Резидент Н.В.								
Рецензент	Попович М.М.								
Н.контр.	Співак О.Ю.					План котельні на відм. 0.000	ВНТУ, гр. ТЕ-21мс		
Затвердив	Степанов Л.В.								



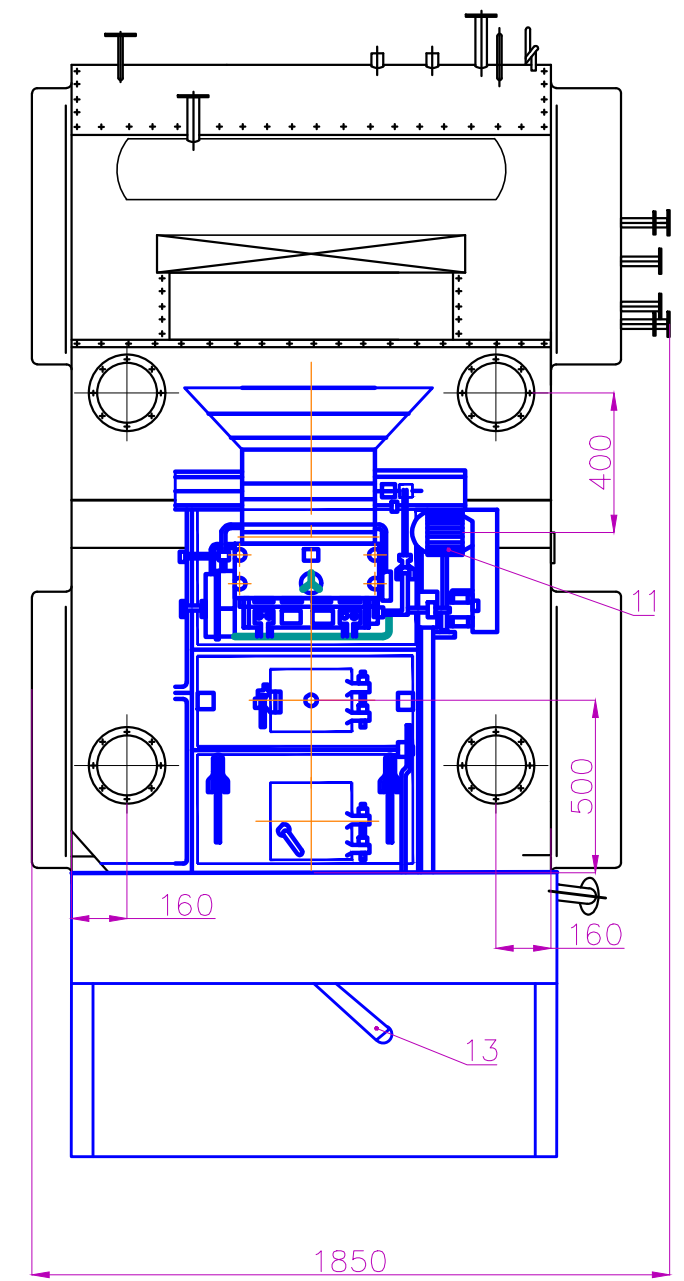
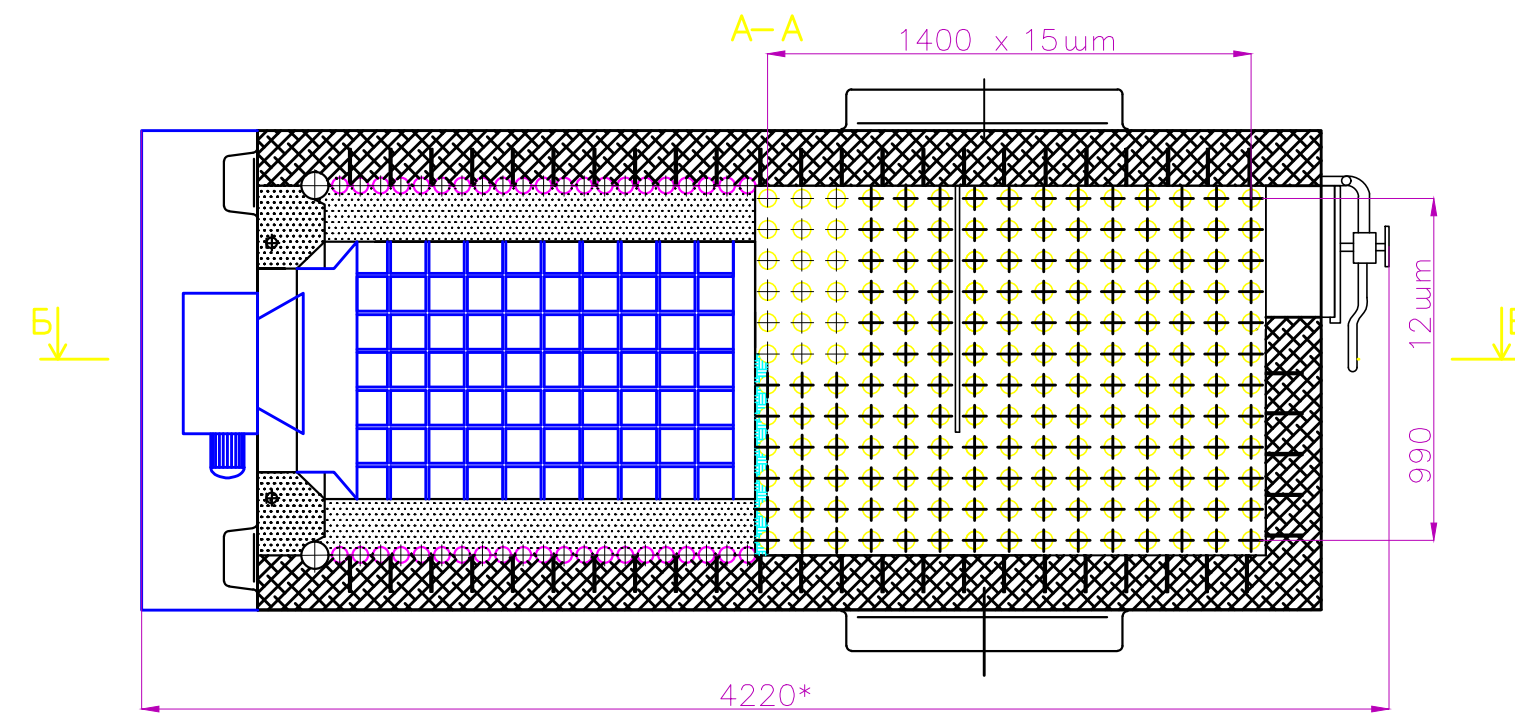
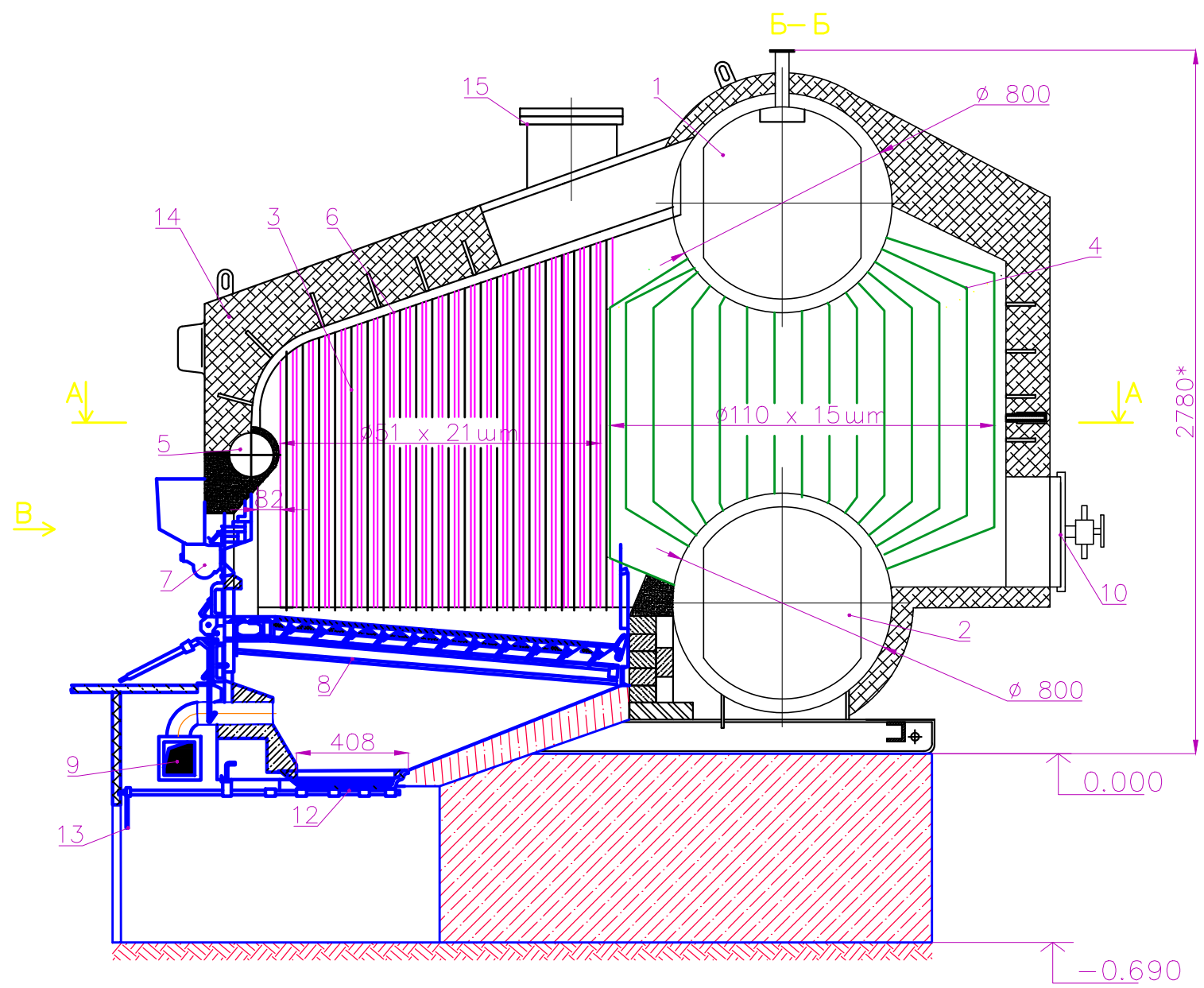




- св - - трубопровод сирой води
- жв - - трубопровод живильної води
- п - - паропровід
- к - - трубопровод вихідного конденсату

					08-15.БДР.005.02.00.000 ТЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Схема котельні принципова теплова	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Огірчук О.В.							
Пров.	Резидент Н.В.							
Т.контр.	Резидент Н.В.							
Рецензент	Попович М.М.							
Н.контр.	Снівак О.Ю.							
Утв.	Степанов Д.В.							
						Лист	Листов 1	
						ВНТУ, гр. ТЕ-21мс		



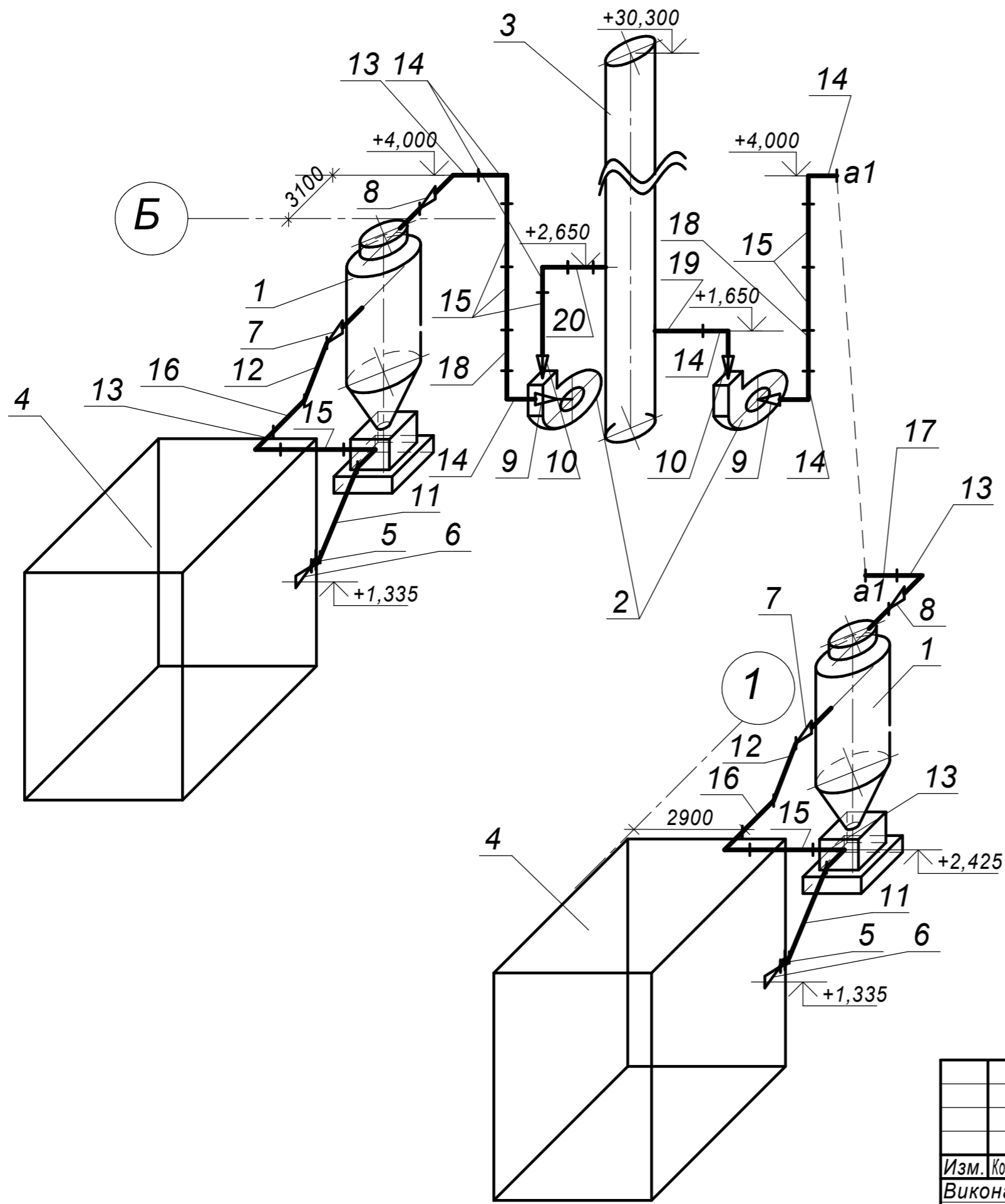


\* – Розмір для гоівіок

Согласовано	
Взам инв №	
Подпись и дата	
Инв. № подл	

						<i>08-15.БДР.012.003.00.000 AP</i>			
						<i>м. Вапнярка</i>			
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	<i>Модернізація парової котельні товариства з додатковою відповідальністю "Вапнярський молокозавод"</i>	Стадія	Лист	Листов
<i>Виконав</i>	<i>Огірчук О.В.</i>								
<i>Перевірів</i>	<i>Резидент Н.В.</i>								
<i>Т.контр.</i>	<i>Резидент Н.В.</i>								
<i>Рецензент</i>	<i>Попович М.М.</i>								
<i>Н.контр.</i>	<i>Співак О.Ю.</i>					<i>Котел паровий ДЕ-2.5-0.9 (розрізи)</i>	<i>ВНТУ, гр. ТЕ-21мс</i>		
<i>Затвердив</i>	<i>Степанов Д.В.</i>								

# ЕКСПЛІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ



№	Найменування	Кількість	Примітка
1	Циклон МЦ-У 800	2	Встановити на фун-т
2	Димосос Д-6,3М	2	Встановити на фун-т
3	Труба димова d=1500 мм висота 30 м	1	Існуюча
4	Парогенератор ДЕ-2,5-0,9	2	не монтується
5	Шибер 400•500 мм	2	
6	Перехід 310x775 / 400x500 мм, L = 350 мм	2	δ = 2 мм
7	Перехід 210x800 / 400x500 мм, L = 350 мм	2	δ = 2 мм
8	Перехід 365x508 / 400x500 мм, L = 350 мм	2	δ = 2 мм
9	Перехід 400x500 / □380 мм, L = 350 мм	2	δ = 2 мм
10	Перехід 315x225 / 500x400 мм, L = 350 мм	2	δ = 2 мм
11	Перехід 400x500 мм, Н=1090 мм, L=1090 мм	2	δ = 2 мм
12	Перехід 400x500 мм, Н=555 мм, L=635 мм	2	δ = 2 мм
13	Відведення 90° 400x500 мм	6	δ = 2 мм
14	Відведення 90° 500x400 мм	6	δ = 2 мм
15	Газохід 400x500 мм, L = 1000 мм	7	δ = 2 мм
16	Газохід 400x500 мм, L = 700 мм	2	δ = 2 мм
17	Газохід 400x500 мм, L = 500 мм	1	δ = 2 мм
18	Газохід 400x500 мм, L = 644 мм	2	δ = 2 мм
19	Газохід 400x500 мм, L = 760 мм	1	δ = 2 мм
20	Газохід 400x500 мм, L = 400 мм	1	δ = 2 мм

Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

						08-15.БДР.005.04.00.000 Г5			
						м.Вапнярка			
Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата	Модернізація парової котельні товариства з додатковою відповідальністю "Вапнярський молокозавод"	Стадия	Лист	Листов
Виконав	Огірчук О.В.								
Перевірів	Резидент Н.В.								
Т.контр.	Резидент Н.В.								
Рецензент	Попович М.М.								
Н.контр.	Співак О.Ю.					Схема монтажна аксонометрична	ВНТУ, ТЕ-21мс		
Затв.	Степанов Д.В.						Формат А3		