

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА  
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»  
КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА  
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Пояснювальна записка  
до магістерської роботи

на тему: **РЕКОНСТРУКЦІЯ ГАЗОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ В М. МИРОГОРОД ЗА  
АДРЕСОЮ ВУЛ. ШИШАЦЬКА, 80А З ВСТАНОВЛЕННЯМ КОТЛА НА  
БІОМАСІ**

Виконав: студент групи бдНТ  
спеціальності  
144 Теплоенергетика  
**Заєць С.М.**

Керівник к.т.н., доц. Чернецька І.В.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент Собівчак М.М.  
(прізвище та ініціали)

Зав. кафедрою к.т.н. проф., Голік Ю.С.  
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024

**Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»**  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення навчально-науковий інститут нафти і газу

Кафедра, циклова комісія кафедра теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри, голова циклової  
комісії Голік Ю.С.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Заєць Сергій Миколайович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) РЕКОНСТРУКЦІЯ ГАЗОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ В М. МИРОГОРОД ЗА АДРЕСОЮ ВУЛ. ШИШАЦЬКА, 80А З ВСТАНОВЛЕННЯМ КОТЛА НА БІОМАСІ

керівник проекту (роботи) Чернецька І.В. к.т.н.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом вищого навчального закладу №986-фа від "4" 09.2023 року

2. Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту (роботи) План роботи, складений керівником роботи, каталоги, інструкції з експлуатації на обладнання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Аналіз сучасного стану заходів з енергозбереження котелень. Постановка задачі, вибір методів досліджень. Технологічні розрахунки котельні. Технічні рішення з реконструкції котельні з використанням альтернативного палива. Економічна ефективність реконструкції. Основні науково-технічні результати досліджень. Охорона праці та безпека. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Мета та задачі дослідження. План забудови мікрорайону та схема траси теплової мережі. Креслення котла та теплова схема котельні, графік якісного регулювання. План розміщення обладнання котельні, розріз. Детальна теплова схема котельні. Енергозбереження. Висновки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

±

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	<u>Аналіз сучасного стану заходів з енергозбереження котелень. Постановка задачі, вибір методів досліджень.</u>	09.2023р.	
2.	<u>Технологічні розрахунки котельні. План забудови мікрорайону та схема траси теплової мережі.</u>	10.2023р.	
3.	<u>Теплова схема котельні, графік якісного регулювання. План розміщення обладнання котельні. Розрізи. Технічні рішення з реконструкції котельні з використанням біомаси. Енергозбереження.</u>	11.2023р.	
4.	<u>Обладнання котельні після реконструкції. Креслення котельної установки на біомасі. Економічна ефективність реконструкції. Основні науково-технічні результати досліджень. Охорона праці. Вентиляція. Розрахунок димової труби. Висновки.</u>	12.2023р.	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Засць С.М. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Чернецька І.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	5
1.1 Аналіз існуючих заходів для енергозбереження в котельнях .....	5
1.2. Основна інформація про комунальне підприємство тепlopостачання в м. Миргород.....	8
1.3 Класифікація, принцип роботи та будова котлів на біомасі .....	11
1.4 Аналіз обладнання та систем для спалювання біомаси .....	19
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ, ВИБІР МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	29
2.1 Мета та завдання дослідження .....	29
2.2 Вихідні дані щодо об'єкту дослідження. Опис та технічна документація .....	30
3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	39
3.1 Аналіз теплової схеми роботи котельні.....	39
3.2 Обґрунтування вибору виду біомаси для котельні в Миргороді з урахуванням місцевих чинників.....	42
3.3. Дослідження креслень існуючої котельні та експлуатаційних даних. Формування рекомендацій щодо її реконструкції.....	44
4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	63
4.1 Вентиляція .....	64
4.2 Розрахунок димової труби .....	67
4.3 Заходи з техніки безпеки в котельні .....	73
4.4 Заходи протипожежної безпеки .....	81
4.5 Екологічна безпека.....	83
ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85

						6ДНТ.10700939.МР		
<i>Зм.</i>	<i>Кільк.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Заєць С.М.</i>			РЕКОНСТРУКЦІЯ ГАЗОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ В М. МИРОГОРОД ЗА АДРЕСОЮ ВУЛ. ШИШАЦЬКА, 80А З ВСТАНОВЛЕННЯМ КОТЛА НА БІОМАСІ	<i>Стадія</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Чернецька І.В.</i>					2	92
		<i>І.В.</i>				НУ«ПП ім. Ю.Кондратюка»		
<i>Зав. Каф.</i>		<i>Голік Ю.С.</i>						
<i>Н. контр.</i>								

## ВСТУП

Одним із найважливіших аспектів енергетичної безпеки держави є стабільне та надійне забезпечення громадян теплом. Вихід з ладу теплоенергетичних підприємств та теплових мереж створює загрозу для життя та здоров'я населення та взагалі можливості проживання людей на даній території.

Теплоенергетичні підприємства України все частіше стикаються з проблемами рентабельності їх роботи через високу вартість енергоносіїв, яка має тенденцію до подальшого зростання. У період військового стану, введеного в Україні з 24 лютого 2022 року, суттєво загострився дефіцит енергетичних ресурсів, а численні ракетні атаки на теплоенергетичні об'єкти завдали значних руйнувань та матеріальних збитків, що зробило становище ще скрутнішим. Якщо раніше впровадження передових технологій для заощадження традиційного високовартісного палива було пріоритетом розвитку теплоенергетики України, то зараз це стало необхідною умовою виживання. Відповідно ще більше зросла актуальність питань енергозбереження та енергоефективності діючих котелень.

Варто зазначити, що стан котельного господарства нашої держави ще до війни був доволі скрутним: велика кількість старих котлів з низьким коефіцієнтом корисної дії, зношені теплові мережі з поганою тепловою ізоляцією, масивне насосне обладнання з великим енергоспоживанням. Загалом значна частина обладнання є ненадійною, вимагає частих ремонтів, що підвищує собівартість теплової енергії. З огляду на ситуацію, що склалася, зараз дуже важливо знайти шляхи найбільш ощадливого використання паливно-енергетичних ресурсів на виробництво теплової енергії. До наявних проблем додалися також труднощі із закупівлею природного газу.

						<i>6ДНТ.10700939.МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		3

Таким чином, з метою зниження собівартості тепла, що відпускається населенню та підвищення надійності теплопостачання все більшу актуальність має реконструкція існуючих котелень, оснащення їх новітнім енергоефективним обладнанням та впровадження альтернативних джерел енергії на комунальних підприємствах, у тому числі й на КП «Тепловодсервіс» у м. Миргород. При цьому ширше впровадження місцевих відновлюваних джерел енергії, зокрема біомаси, може стати вагомим внеском в енергетичну незалежність України.

						<i>6ДНТ.10700939.МР</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз існуючих заходів для енергозбереження в котельнях

Ширше впровадження альтернативних видів палива в системах теплопостачання є однією з ключових завдань у сучасному етапі розвитку теплової енергетики України. Це визначає інтенсивний ріст ринку виробництва теплової енергії з альтернативних джерел. На сьогоднішній день частка котелень, які використовують альтернативні види палива в Україні, становить лише 7,8%, а кількість котлів на таких видах палива невелика - близько 5%. Середня потужність таких котелень складає приблизно 450 кВт, а одинична потужність котлів - приблизно 330 кВт [3]. Це свідчить про значний потенціал розвитку цього напрямку.

Ряд об'єктивних чинників, прагнення до поліпшення екологічної ситуації та зменшення викидів вуглекислого газу, в поєднанні зі зростанням цін на викопне паливо, сприяли стрімкому розвитку біоенергетики. На відміну від нафти, газу та вугілля, біомаса є відновлюваним джерелом палива, при її згорянні в атмосферу викидається стільки ж вуглекислого газу, скільки рослини поглинають під час росту. Використання деревини та продуктів з неї є безпечним для навколишнього середовища, оскільки не призводить до парникового ефекту.

Велика кількість доступної сировини, яку можна використовувати в якості біопалива, створює сприятливі умови для поширення біоенергетичних технологій. Серед перспективних видів біомаси для України варто визначити відходи та продукти сільськогосподарських культур, відходи та продукти деревини, рідке паливо з біомаси, тверді побутові відходи та інші. Використання сільськогосподарських, промислових та побутових відходів в енергетиці також дозволяє вирішувати екологічні проблеми, пов'язані з необхідністю їх утилізації.

						<i>6ДНТ.10700939.МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		5



- недосконалість газопальникових пристроїв;
- відкладення накипу на поверхнях нагрівання;
- низька теплова ізоляція котла;
- погана герметизація газоходів;
- відсутність обліку витрати теплоносія;
- невдала теплова схема;
- відсутність економайзерів.

Для енергозбереження в котельнях можуть застосовуватися наступні заходи:

- Використання котлів, що працюють на біомасі
- Утилізація тепла димових газів від котлів
- Регулярне технічне обслуговування, налагодження та усунення несправностей обладнання
- Заміна морально й технічно застарілого обладнання на сучасні енергоефективні аналоги
- Когенерація.

Застосування когенераційних установок невеликої потужності має кілька ключових передумов і переваг:

#### 1. Локальне використання тепла

Тепло, що виробляється когенераційною установкою, використовується на місці його отримання, переважно для опалення. Це дозволяє уникнути будівництва та експлуатації дорогих теплотрас на великі відстані.

#### 2. Локальне використання електроенергії

Електроенергія, вироблена когенераційною установкою, споживається на місці її виробництва. Це дозволяє економити на накладних витратах постачальників енергії, і вартість електроенергії для виробника може бути менше, ніж при закупівлі з мережі.

#### 3. Енергетична незалежність

						<i>бДНТ.10700939.МР</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

Когенераційна установка надає виробнику енергетичну незалежність від можливих збоїв в електропостачанні. Це особливо важливо для підприємств, де стійка та надійна постачання енергії є критично важливими.

#### 4. Автономність і синхронна робота

Когенераційні установки можуть працювати як автономні системи, так і синхронно з енергосистемою. Вони можуть отримувати компенсацію за електроенергію, яку вони виробляють та не використовують, а також споживати електроенергію з мережі у випадках недостатку.

Загалом, когенераційні установки малої потужності забезпечують ефективно та енергозберігаюче використання енергії на локальному рівні, сприяючи вирішенню проблеми як опалення, так і електропостачання.

Дослідження та впровадження технологій, спрямованих на енергозбереження, відкривають можливості реалізації значного потенціалу економії енергоресурсів в Україні і підвищення рівня енергоефективності до показників, характерних для європейських країн.

### 1.2. Основна інформація про комунальне підприємство теплопостачання в м. Миргород

У м. Миргород постачальником теплової енергії є КП «Тепловодсервіс», розташоване за адресою: м.Миргород, пров. Луговий, 11.

Історія підприємства бере свій початок 1977 року, коли на базі житлово-комунального господарства була сформована Дирекція об'єднаних комунальних котельних з тепловими мережами. Того часу вона обслуговувала 14 котельних і 20,5 км теплових мереж.

						<i>бДНТ.10700939.МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		8



3) теплова дільниця з тепловими мережами в смт. В.Багачка.

До допоміжних дільниць належать дільниці головного механіка та головного енергетика з поточного ремонту та обслуговування обладнання і т.д. Допоміжні цехи та дільниці включають:

- аварійно-диспетчерську службу в складі автотранспортної дільниці та механічної майстерні;
- дільницю з обслуговування газового господарства та електрогосподарства, КВПіА;
- теплову інспекцію;
- абонентську службу та службу реалізації теплової енергії юридичним особам;
- виробничу службу з дільницею по наладці обладнання котельних, теплових мереж та автоматики.

Виробнича характеристика: 9 котелень та 8 теплогенераторних у м. Миргород та 2 котельні в смт Велика Багачка.

Загальна потужність котелень підприємства становить 82 Гкал/рік, які виробляють теплову енергію для потреб населення і об'єктів соціальної інфраструктури та надають послуги з гарячої води. Протяжність теплових мереж в 2 - х трубній системі становить 24,3 км.

У 2023 році підприємство реорганізовано шляхом об'єднання з КП «Миргородводоканал». У результаті було утворене Комунальне підприємство «Тепловодсервіс», яке об'єднує функції як постачальника теплової енергії, так і забезпечення послуг водопостачання та водовідведення.

Пріоритетним напрямком розвитку КП «Тепловодсервіс» в частині теплового господарства є робота щодо зменшення залежності від зовнішніх постачальників енергоносіїв, перехід на альтернативні види біопалива, впровадження новітніх європейських технологій і високоекономічного обладнання.

						<i>6ДНТ.10700939.МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		10

### 1.3 Класифікація, принцип роботи та будова котлів на біомасі

Принцип роботи цих типів котлів базується на виробленні теплової енергії через згоряння різних видів твердого палива, таких як вугілля, торф, дрова, пелети, брикети, щепи та інші. Котли на біопаливі можуть бути двоходовими або триходовими. Триходові котли є більш ефективними та економічними, володіючи вищим коефіцієнтом корисної дії.

Установки першого типу (рис. 1.1) включають в себе водогрійний або паровий котел та бункер для подачі палива, такого як тирса, тріска і т.д. В твердопаливних котлах цих установок топка обов'язково викладена вогнетривким матеріалом, таким як шамотна цегла, блоки із вогнетривкої суміші та інше. Це зроблено з метою забезпечення максимального виділення тепла та високої температури для підсушування сирого палива, часткової газифікації та якісного повного згоряння палива під час роботи котла.

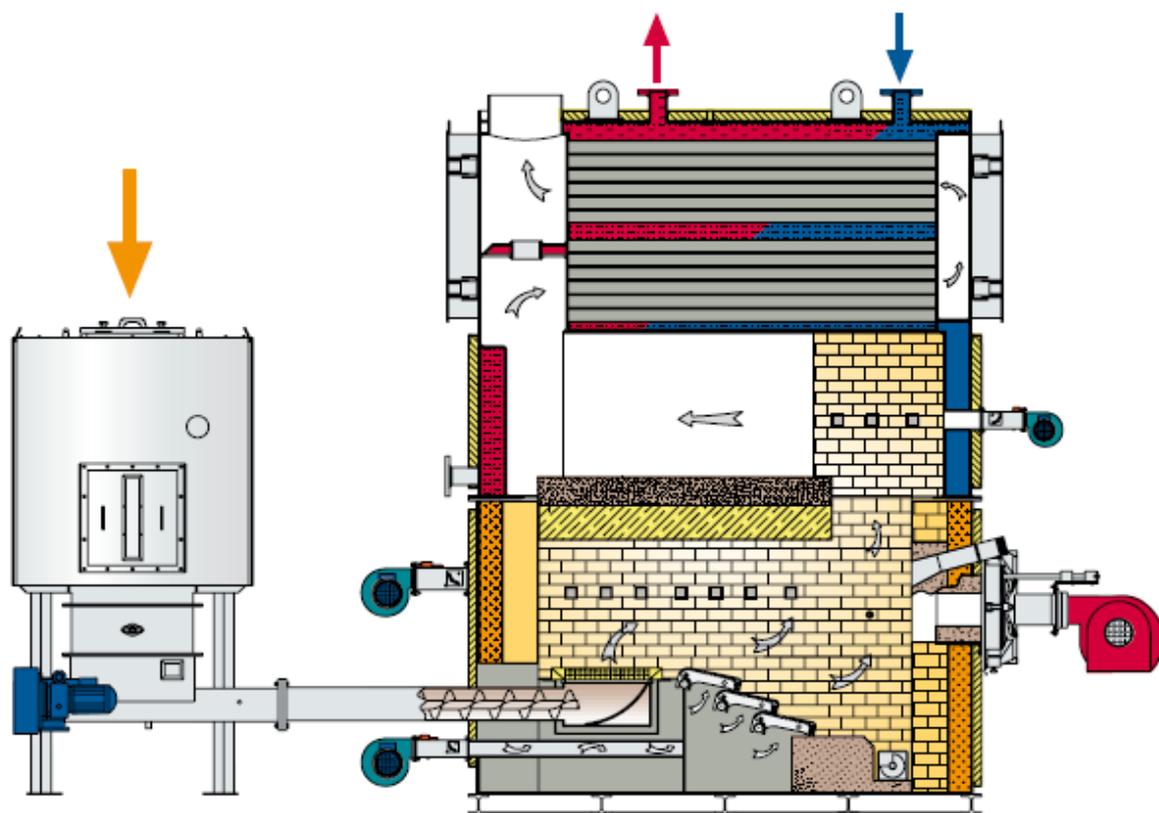


Рисунок 1.1 – Двоходовий твердопаливний котел Unicomfort з топкою

Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

6ДНТ.10700939.МР

Арк.

11



топці. Після очищення потрібно майже так само часу, щоб повернути котел до робочого режиму. Для котлів другого типу процес остигання та введення в режим займає від 10 хвилин до 2 годин (в залежності від потужності котла), оскільки сталевий матеріал котла швидко передає тепло воді, яка циркулює в системі.

При виборі твердопаливних котлів для котельні важливо враховувати можливість зупинки котла для технічного обслуговування (чищення, ремонту), враховувати навантаження у різні пори року і враховувати можливість виникнення форс-мажорних обставин, таких як вийшов із строю обладнання або деякі його компоненти.

Одним із вирішень цієї проблеми є встановлення пари котлів меншої потужності, які поодиноці можуть частково компенсувати необхідну потужність для обігріву або інших технологічних процесів.

Згідно з даними [2], найбільш ефективним способом переробки біомаси є термічний метод, такий як спалювання, газифікація та піроліз. У цьому випадку техніко-економічні показники спалювання палива в топках вищі порівняно з аналогічними показниками газифікації і піролізу.

Водогрійні котли можуть відпускати теплоносій різної температури залежно від своєї потужності:

- 1) великої потужності  $> 10$  МВт –  $150^{\circ}\text{C}$ ,
- 2) середньої потужності  $2 - 10$  МВт –  $115^{\circ}\text{C}$ ,
- 3) котлоагрегати малої потужності  $< 2$  МВт –  $95^{\circ}\text{C}$ .

Окрема категорія водогрійних котлів відпускає воду з температурою до  $220^{\circ}\text{C}$ .

За конструкцією котли поділяються на водотрубні та газотрубні. Котлоагрегати великої потужності зазвичай роблять водотрубними, тоді як невеликі промислові та котли для опалення переважно є газотрубними.

Водогрійні котли застосовуються для задоволення потреб опалення, гарячого водопостачання та вентиляції. Вони відрізняються спрощеною конструкцією та принциповою схемою у порівнянні з паровими котлами. На рисунку 1.3 наведено зовнішній вигляд котла, який працює на біопаливі.

						<i>бДНТ.10700939.МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		13



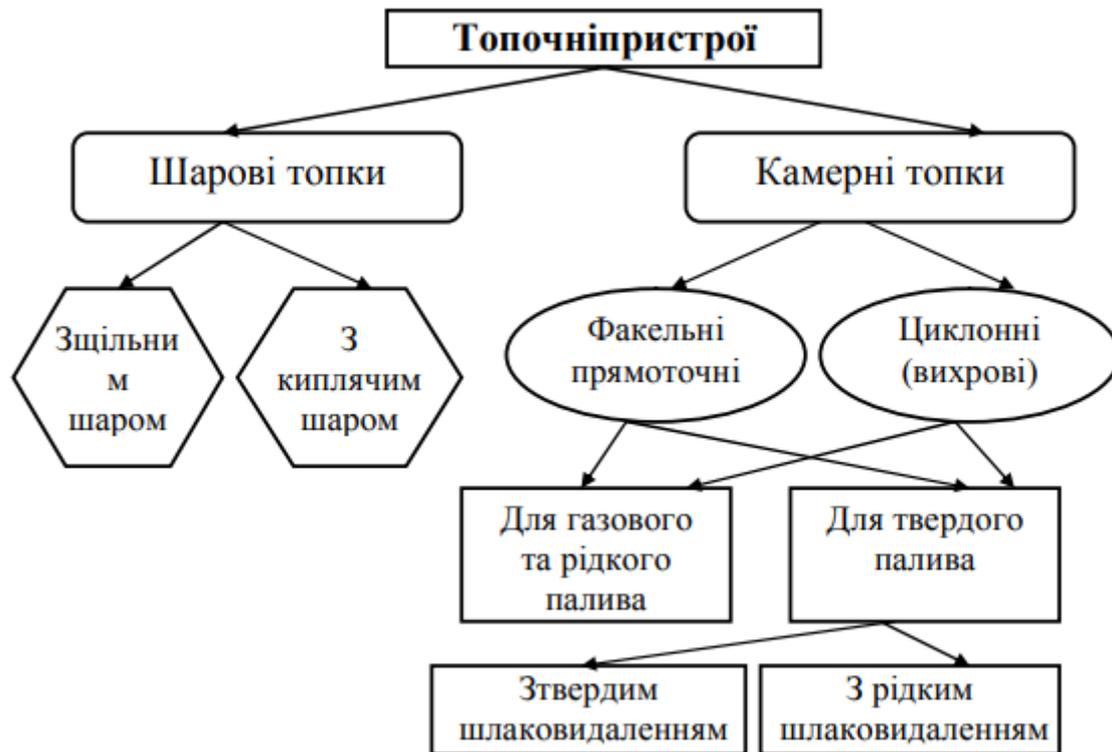


Рисунок 1.3 – Класифікація топочних пристроїв

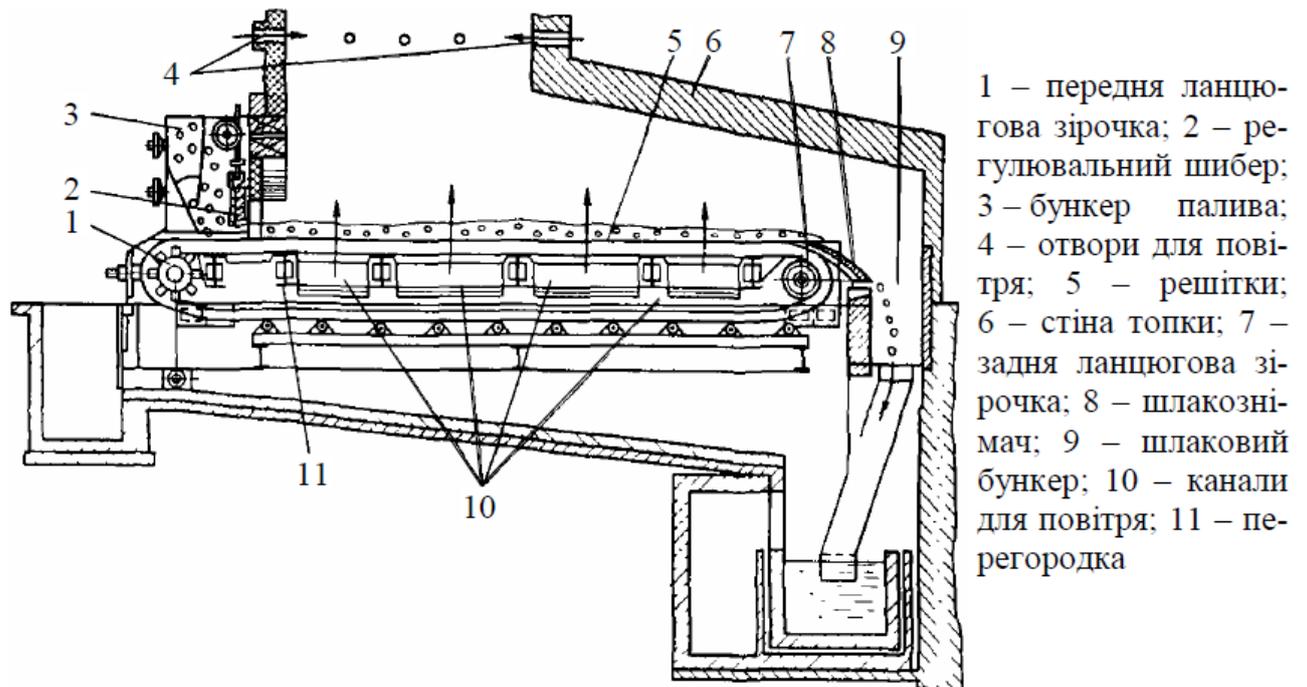
Немеханізовані топки потребують обслуговування, а саме подачу палива, шурування, видалення шлаку. У зв'язку з цим велике поширення в промисловості отримали механічні шарові топки з ланцюговими решітками. Їх характерною особливістю є постійне переміщення палива разом із рухомою колосниковою решіткою, що являє собою транспортер у вигляді нескінченного полотна. Схема такої топки показана на рисунку 1.4. Розрізняють механічні топки з решітками прямого ходу і зворотнього ходу. У перших полотно з паливом переміщається від фронту топки до задньої стінки як показано на рисунку 1.4, а в других – від задньої стінки до фронту.

Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

6ДНТ.10700939.МР

Арк.

15



1 – передня ланцюгова зірочка; 2 – регульовальний шибер; 3 – бункер палива; 4 – отвори для повітря; 5 – решітки; 6 – стіна топки; 7 – задня ланцюгова зірочка; 8 – шлакознімач; 9 – шлаковий бункер; 10 – канали для повітря; 11 – перегородка

Рисунок 1.4 – Топка з механічною ланцюговою решіткою прямого ходу

Згідно з діючими нормами використання процесів спалювання твердого палива в шарових топках доцільне тільки для котлів паровидатністю менше 35 т/год. Для більших котлів доцільною є камерні топки, де проводять факельний або циклонний процес спалювання. Так як при факельному спалюванні частинки палива знаходяться в топці обмежений час, то має виконуватися тонке перемелювання палива до розмірів пилу (порядку 100 мкм).

Шамотна цегла або блоки з вогнетривкої суміші використовуються у пальнику, де проходить згоряння та часткова газифікація подрібненого палива (тирси, тріски та іншої біомаси) за рахунок циклічної або постійної подачі палива з бункера і повітря, що подається вентилятором. У цьому випадку в котел потрапляє лише факел вогню та невелика кількість золи, яка осідає в зольнику котла. При такій роботі ККД установок другого типу вищий, ніж установок першого типу.

У таблиці 1.1 проаналізовані методи спалювання біомаси, а на рис. 1.5 ситеми спалювання різних типів для різних видів палива.

Таблиця 1.1 – Аналіз методів спалювання біомаси

№	Назва методу	Особливості
1	Спалювання в нерухомому шарі з рухомою чи нерухомою решіткою	
2	Спалювання із зустрічним потоком біомаси і газів	найкращий для вологої біомаси
3	із паралельним потоком	дозволяє зменшити концентрацію NO <sub>x</sub>
4	із поперечним потоком	є комбінацією методів 2 і 3
5	двокамерна топка, у якій перша топка (передтопок) служить для газифікації біомаси, а сама топка – для остаточного допалювання	можливі зайві втрати теплоти в передтопку, завищені викиди NO <sub>x</sub> , ускладнена конструкція котла
6	спалювання в псевдозрідженому шарі	якісне змішування палива із окислювачем дозволяє підвищити ефективність спалювання, але для установок потужністю до 30 МВт цей метод економічно не вигідний
7	пилове спалювання	має високу ефективність для потужностей від 2 МВт і при спалюванні маловологих палив

Конструкція топки з нижньою подачею палива є ефективною для спалювання матеріалів з низьким вмістом золи, особливо в разі використання низькокалорійних видів палива, таких як біомаса. Даний тип топки дозволяє ефективно керувати процесом згоряння та забезпечує високу продуктивність установки. Основний принцип роботи топки з нижньою подачею палива полягає в тому, що паливо подається знизу топки, де відбувається процес згоряння. Це дозволяє досягти ефективного використання палива і зменшити кількість відходів, зокрема золи. Для біомаси, яка може мати низький вміст енергії і високий вміст вологи, конструкція топки з нижньою подачею палива може бути особливо важливою. Вона дозволяє оптимально використовувати біомасу, забезпечуючи ефективне спалювання при низьких температурах та знижуючи відкладення золи. Цей підхід до конструкції топки сприяє підвищенню тепловиділення та зменшенню викидів, забезпечуючи високий коефіцієнт корисної дії та ефективність установки для спалювання біомаси.

Инв № подл	Подп. та дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. та дата

Зм.	
Лист	
№ докум.	
Підпис:	
Дата	

601-НТ 19062 МР

Системи спалювання →		RRF	SRF-S	SRF-H	TSRF	PSRF
	Деревний пил	●			●	
	Деревна тирса	●			●	
	Фрезерна стружка	●	●		●	
	ДСП, ДВП і плити МДФ	●	●		●	
	Деревна тріска	●	●		●	
	Тріска з чагарників		●	●		
	Технологічна тріска		●	●		

Системи спалювання →		RRF	SRF-S	SRF-H	TSRF	PSRF
	Кора			●		
	Деревина отримана з дробарки			●		
	Енергетичні культури		●		●	
	Вичавки, відходи виробництва фруктових соків і т. д.		●		●	
	Деревні пеллети	●				●
	Індустріальні пеллети	●				●
	Торф'яні та сільськогосподарські пеллети					●

Рисунок 1.5 – Системи спалювання для різних промислових видів палива з біомаси від BINDER, члена групи компаній HERZ

#### 1.4 Аналіз обладнання та систем для спалювання біомаси

Інформація про застосування біопаливних котлів і комплексів у Європейському союзі та в Україні є дуже актуальною, оскільки використання біомаси для отримання тепла та електроенергії набуває все більшого значення в сучасному енергетичному секторі.

Компанії Vyncke, Hurst, TETA, BINDER, Enerstena відомі своєю експертністю у виробництві парових і водогрійних котлів, які працюють на біопаливі, зокрема відходах деревини. Вони використовують сучасні технології і конструкції, спеціально розроблені для оптимального використання різних видів біомаси.

Характеристики систем HURST Biomass, зокрема їх модульна схема конструкції та вузькоспеціалізовані рішення для різних видів твердого палива, свідчать про забезпечення високої ефективності і адаптабельності для різних умов використання. Сполучення традиційних технологій спалювання біомаси із сучасними системами контролю горіння дозволяє оптимізувати ефективність та знижувати експлуатаційні витрати.

Особливо важливою є інформація про розроблену систему стокера-колючкової решітки, яка дозволяє ефективно спалювати різноманітні біопалива з високим вмістом золи та забезпечує автоматичне знежирювання. Це допомагає оптимізувати процес горіння і підтримувати високу ефективність установки при роботі з біомасою різних видів і характеристик.

Загалом, такі інноваційні рішення сприяють використанню біомаси як сталого та екологічно чистого джерела енергії. Принципова схема комплексу для спалювання біомаси наведена на рисунку 1.6.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		19

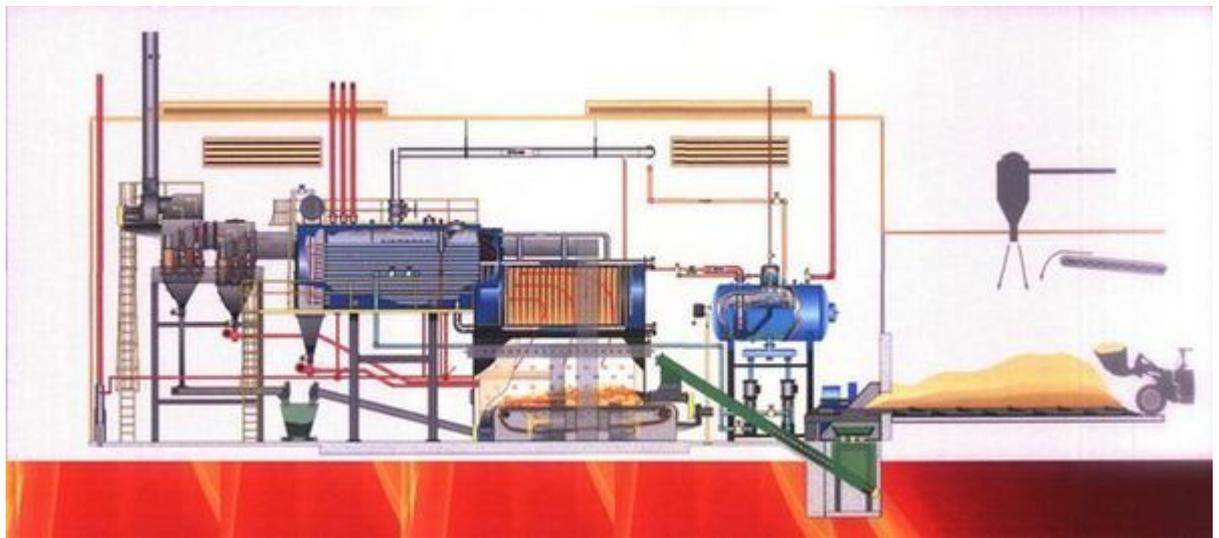


Рисунок 1.6 – Комплекс для спалювання біомаси виробництва Hurst

На рисунках 1.5 і 1.6 показана будова систем для спалювання Hurst, які мають горизонтальні та вертикальні газоходи відповідно.

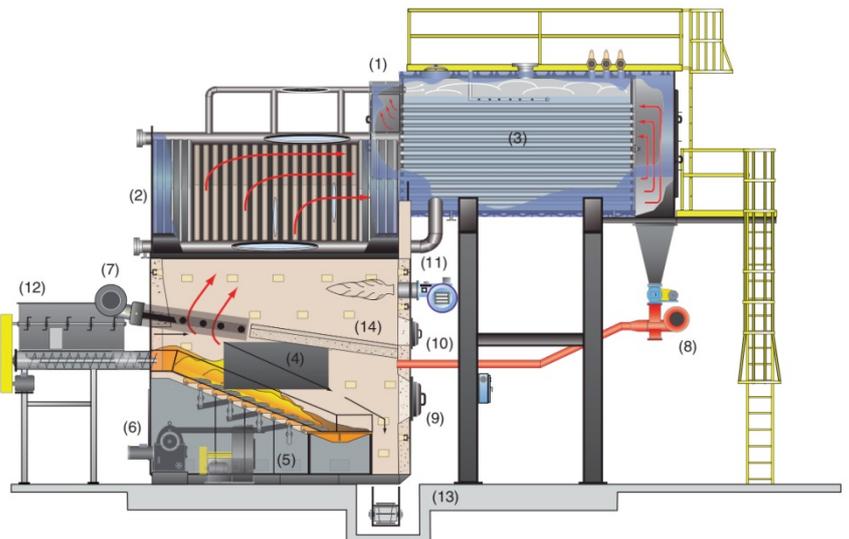


**HURST** *The Solid Fuel People*



- (1) Hybrid" Firetube/Watertube Vessel Design
- (2) Watertube Section
- (3) Firetube Section
- (4) Reciprocating Fire Grates
- (5) Under Fire Air Fan
- (6) Reciprocating Drive
- (7) Over Fire Fan/Dampers
- (8) Carry-Over Reinjection Blower
- (9) Fire Door
- (10) Ash Clean Out Door
- (11) Optional Back Up Burner
- (12) Fuel Metering Bin
- (13) Ash Removal Conveyor
- (14) Refractory Arch

The Hybrid RG design is suitable for applications to produce high pressure steam or hot water in ranges from 3,450 – 60,000 lbs/hr (3.4 mmBTU – 60 mmBTU) output from 100 up to 400 PSI. This system is designed by HBC to combine the best technologies from the "old school" of biomass combustion and the latest advanced combustion control technologies. The new HBC reciprocating grate-type stoker system permits biomass fuels with a high proportion of incombustibles to be combusted in an efficient manner with the added advantage of automatic de-ashing. This combination is particularly suitable for heating applications in lumber dry kilns, veneer log vats, veneer dryers, greenhouses, factories, schools and office buildings. This combination enables these systems to provide a flexible and reliable operation utilizing a consistent "grade" of biomass waste with moisture contents ranging from 30 – 50%. The boiler vessel is a two pass hybrid design incorporating a water tubed boiler-type water membrane and a two-pass fire tube scotch marine vessel. This vessel's advantages over standard water tube boilers include much larger steam disengagement area providing high quality steam, larger steam storage capability for quicker response to sudden steam demand and much larger thermal storage that provides fast demand response times and safer operation.



HURST BOILER & WELDING CO., INC.  
 P. O. Drawer 530  
 21971 Highway 319 N.  
 Conley, Georgia 31738  
 Toll Free: 1-877-984-8778  
 Tel: (229) 346-3545  
 Fax: (229) 346-3874  
 Email: info@hurstboiler.com

CAT # B-02

**HURST HYBRID RG**

**Reciprocating Grate System**

**Modular Packaged**

Рисунок 1.7– Будова системи HURST HYBRID на біопаливі

Эм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

601-МНТ 19062 МР

Арк.

20

# VHF HotWater

## VERTICAL HYBRID FIREBOX

FIVE BASE MODELS  
50 · 100 · 150 · 200 & 250 HORSE POWER  
Hot Water Pressures 15, 30 & 60 PSI

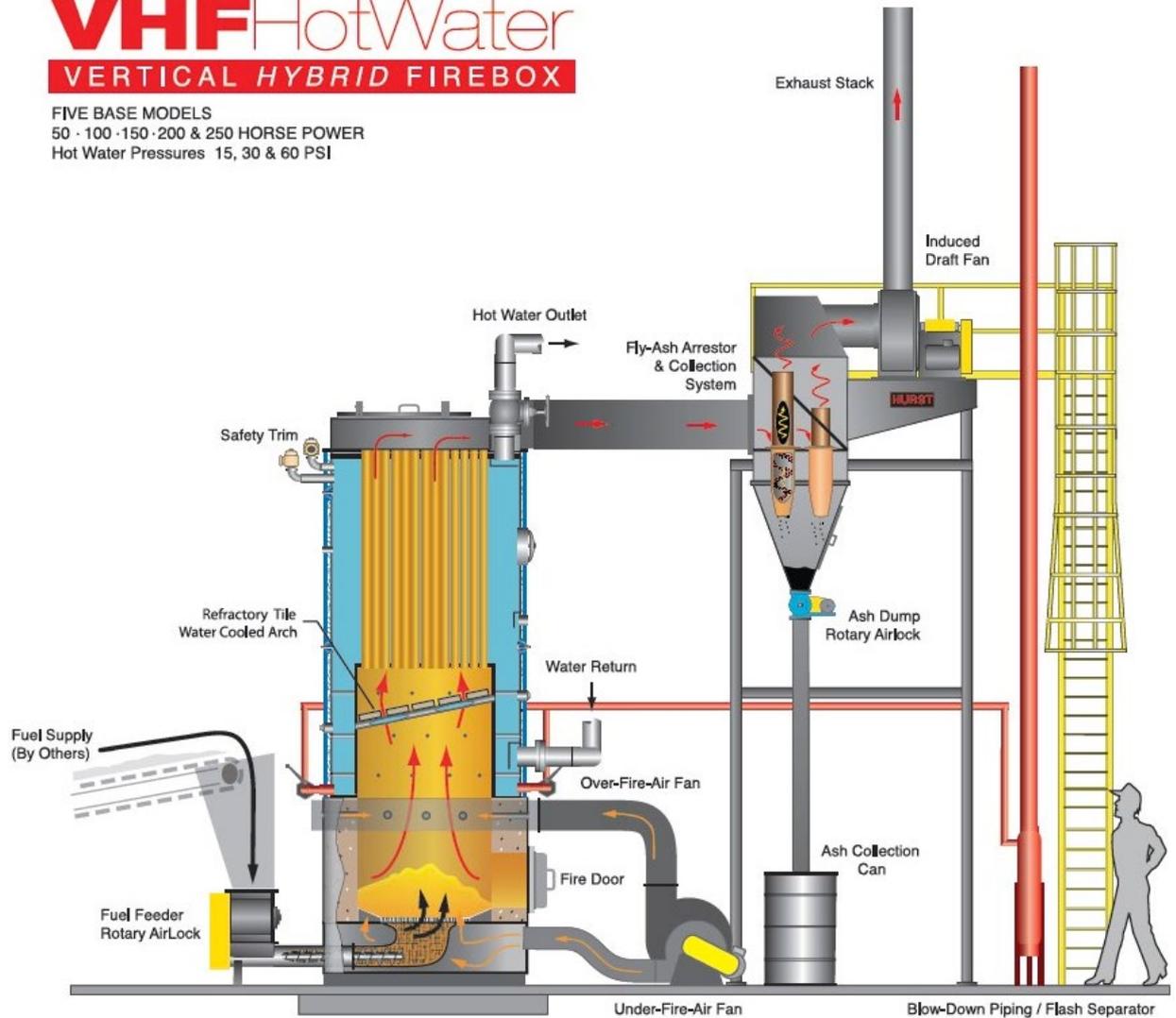


Рисунок 1.8 – Система для спалювання біомаси HURST

HURST PLC Control System – це одна з найсучасніших систем для управління котлоагрегатами, що спалюють біомасу. Панель керування повністю автоматизована та постійно контролюється за допомогою програмованого логічного контролера (рисунок 1.9).

Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

601-МНТ 19062 МР

Арк.

21



Загалом, такий високотехнологічний підхід до автоматизації та керування свідчить про спрямованість на оптимізацію ефективності та забезпечення стабільної та безпечної роботи біопаливного котла.

Одним із провідних виробників систем для спалювання біомаси є BINDER, що входить до групи компаній HERZ. Компанія виготовляє понад 200 установок щорічно в м. Бернбах (Австрія) на загальній території понад 11 га і має тисячі реалізованих установок по всьому світу від Канади до Японії.. Сервісна підтримка забезпечується численними партнерами та представництвами у всьомі світі. Ремонт та технічне обслуговування здійснює сервісна служба в м. Бернбах. Системи BINDER є модульними й можуть мати індивідуальну конфігурацію залежно від потреб споживача. Установки потужністю до 10 МВт поставляються в стандартних контейнерах, що суттєво спрощує процес доставки. Основні види котлів і топок, систем зберігання та транспортування біомасного палива показані на рисунку 1.10.

Камера згорання з фіксованим лотком (ретортою) зі сталі з литими елементами показана на рис. 1.10. Видалення золи можливо за допомогою зольного шнека в інтегрований золоприймач. Повністю обмурована шамотом камера горіння з цеглою різною за якістю. Стехіометрично оптимізована камера горіння з первинною та вторинною зонами подачі повітря. Максимальна вологість до М30 Максимальна зольність  $\leq 1,5\%$  доступний від 100 kW номінальна потужність.

						<i>601-мНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		23

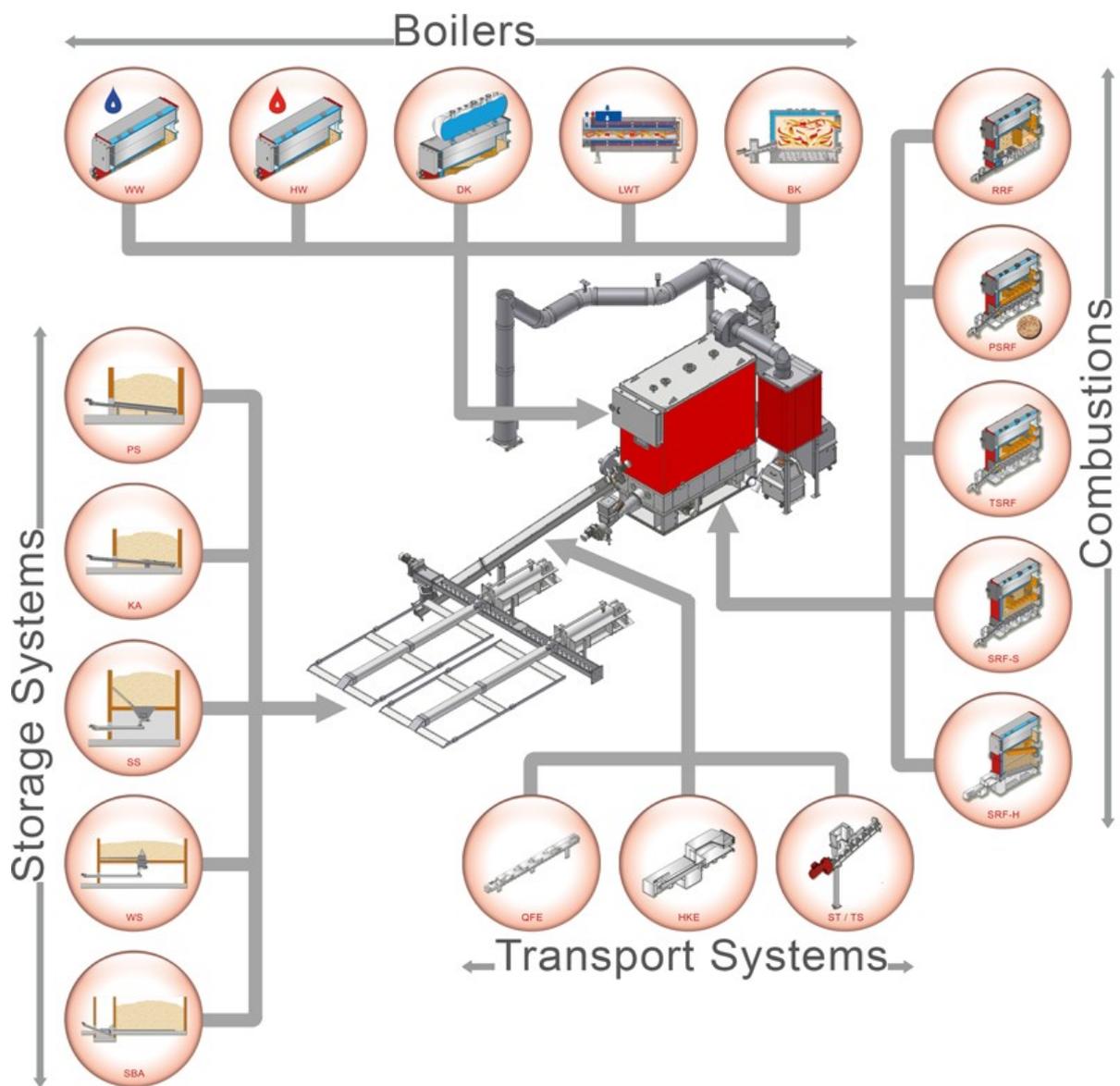


Рисунок 1.10 – Види систем Binder для всіх складових тепло генеруючої установки на біомасі: Подача палива, топки, котли

До основних видів топок належать:

1. Ретортно-колосникова камера згорання (RRF) (рис. 1.11).

Камера згорання з фіксованим лотком (ретортою) зі сталі з литими елементами. Видалення золи можливо за допомогою зольного шнека в інтегрований золоприймач. Повністю обмурована шамотом камера горіння з цеглою різною за якістю. Стехіометрично оптимізована камера горіння з первинною та вторинною зонами подачі повітря.

Эм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

601-МНТ 19062 МР

Арк.

24

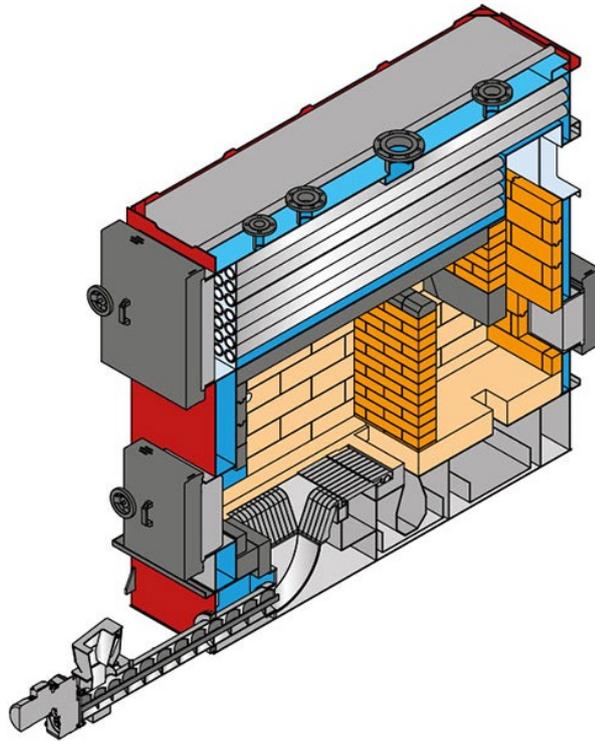


Рисунок 1.11 – Реторно-колосникова камера згорання (RRF)

2. Пеллетна камера згорання з рухомою колосниками (PSRF) (рис. 1.12).  
Камера згорання з гідравлічними або електромеханічними рухливими колосниками, для спалювання пеллет (індустріальних з високим вмістом золи). Повністю автоматичне очищення золи з очищенням під колосниками, а також центральне золовидалення (опція). Доступна з подаючим шнеком або гідравлічною системи подачі палива.
3. Камера горіння з рухомими колосниками для сухого палива (TSRF) (рис. 1.13).  
Камера згорання з гідравлічними або електромеханічними рухомими колосниками, для спалювання сухого палива з високим вмістом золи. Повністю автоматичне очищення золи з очищенням під колосниками, а також центральне золовидалення (опція). Повністю обмурована шамотом камера горіння. Стехіометрично оптимізована камера горіння з первинною та вторинною зонами подачі повітря. Оптимальна для спалювання сухого матеріалу, наприклад відходи від столярного виробництва, ДСП. Доступна з подаючим шнеком або гідравлічною системою подачі палива.

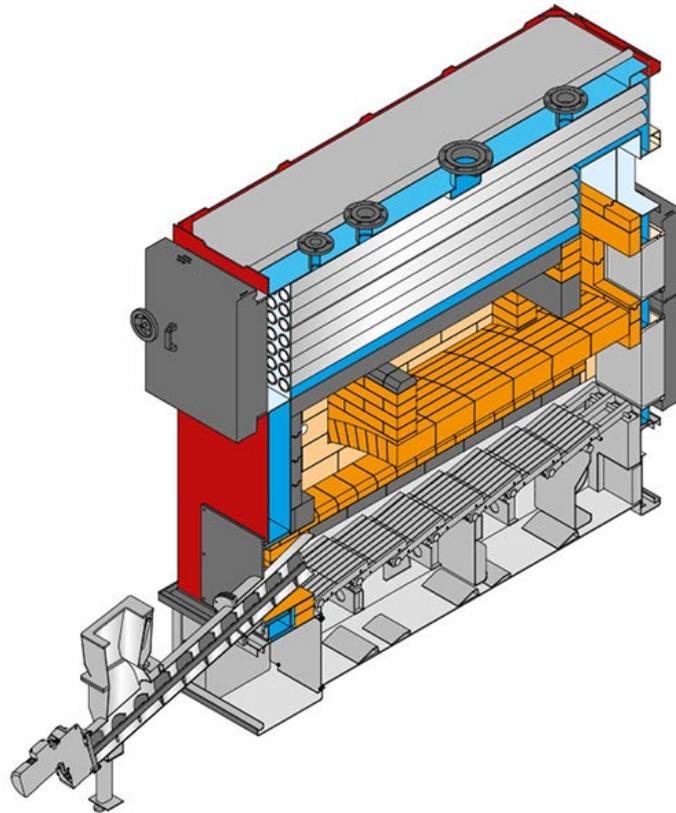


Рисунок 1.12 – Пеллетна камера згорання з рухомою колосниками (PSRF)

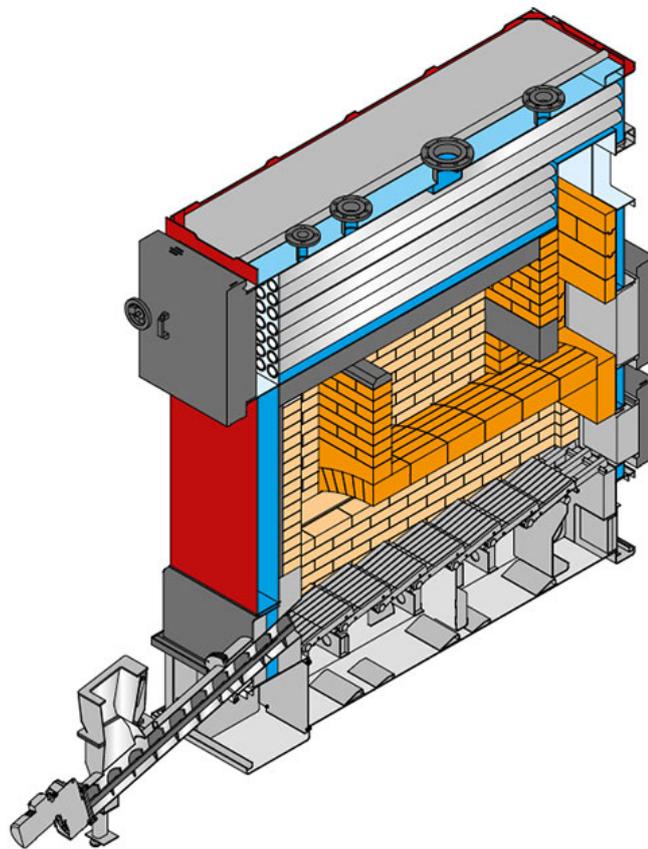


Рисунок 1.13 --- Камера горіння з рухомими колосниками для сухого TSRF палива

Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

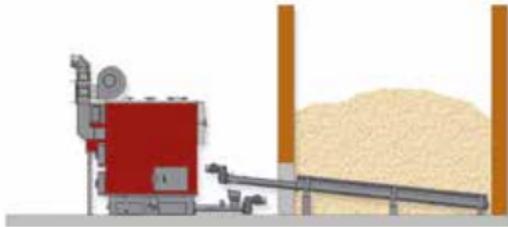
601-МНТ 19062 МР

Арк.

26

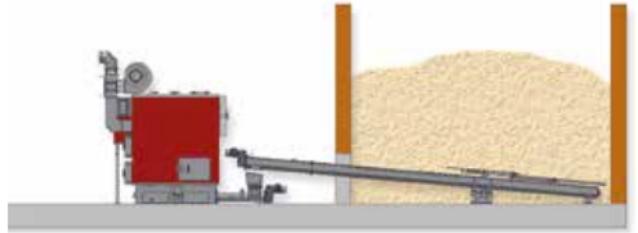


**PS - завантаження пеллет шнеком**



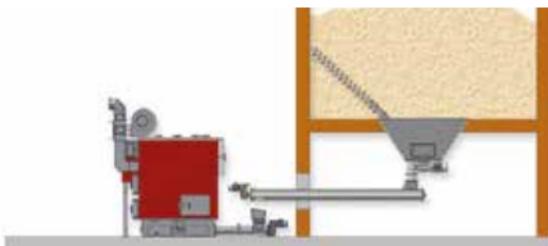
- З регульованою компенсацією тиску для довгих бункерних пристроїв
- Для транспортування і завантаження з бункерних пристроїв (для пеллет)

**KS - завантаження за допомогою перемішувача**



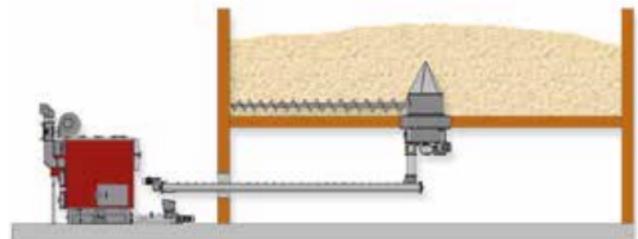
- Для гранульованого палива до P63
- Рівень завантаження до 7м (залежності від фракції і щільності)

**SS - завантаження за допомогою похилого шнека**



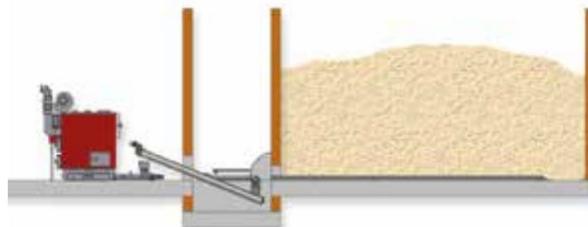
- Для гранульованого палива до P63
- Для бункера з нижнім доступом, до 7м в діаметрі
- Рівень завантаження до 20м \*

**WS - завантаження горизонтальним шнеком**



- Для гранульованого палива до P63
- Для бункера з нижнім доступом
- Рівень завантаження до 30м \*

**SBA - Система подачі - рухома підлога**



- Для грубого крупно переробленого палива до P120\*;  
(довжиною до 35 см)
- Шнек для P63 \*

Рисунок 1.15 – Системи подачі палива Binder

Аналіз наявних конструкцій свідчить, що для умов котельні, яка працюватиме на трісці змінної вологості та різноманітних відходах деревини оптимальною буде конструкція топки типу SRF із системою подачі палива SBA.

## 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ, ВИБІР МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Мета та завдання дослідження

Мета роботи – аналіз роботи діючої котельні та розроблення заходів для покращення її техніко-економічних характеристик.

Задачі дослідження:

- вивчити сучасний стан енергоефективності котелень в Україні;
- проаналізувати перспективи використання біомаси для генерації теплової енергії в котельнях;
- дослідити технологічне обладнання діючої котельні та проаналізувати показники її роботи;
- побудувати теплову схему котельні;
- виконати креслення газової котельні за адресою вул. Шишацька, 80а в м. Миргород;
- проаналізувати компоновку котельні, виконати її реконструкцію та встановити котел на біомасі;
- виконати оцінку економічної ефективності реконструкції.

Об'єкт дослідження – котельня за адресою вул. Шишацька, 80а у м. Миргород.

Предмет дослідження – підвищення ефективності генерації теплової енергії.

Методи досліджень – системний аналіз, емпіричні методи (спостереження), теоретичний розрахунковий експеримент, техніко-економічне порівняння та прогнозування.

						601-МНТ 19062 МР	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		29

## 2.2 Вихідні дані щодо об'єкту дослідження. Опис та технічна документація

Відповідно до завдання об'єктом дослідження є діюча газова котельня у м. Миргород за адресою вул. Шишацька, 80а. Розташування котельні на генплані міста показано на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Розташування котельні на генплані міста Миргород

Кліматичні умови приймаємо за ДБН з кліматології [14]. За даними [14] м. Миргород відноситься до кліматичного району I. Розрахункові параметри для м. Миргород, що відповідають м. Полтава зведені в таблицю 2.1.

Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

601-МНТ 19062 МР

Арк.

30

Таблиця 2.1 – Основні розрахункові параметри для м. Миргород

Найменування розрахункових параметрів	Позначення	Одиниця	Величина
Розрахункова температура внутрішнього повітря	$t_{в}$	°C	20
Розрахункова температура зовнішнього повітря	$t_{з}$	°C	-23
Розрахункова температура горища	$t_{вг}$	°C	5
Розрахункова температура підвалу	$t_{д}$	°C	10
Тривалість опалювального періоду	$n_{о}$	днів	197
Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період	$t_{ср.о}$	°C	- 0,7
Розрахункова кількість градусо-днів опалювального періоду	Dd	°C· днів	3700

У котельні встановлено 3 газові водогрійні котли:

ВК-21 – 2 шт. та КБНГ-2,5 – 1 шт.

Потужність котлів складає 2,0 МВт (1,72 Гкал/год), та 2,9 МВт (2,5 Гкал/год) відповідно. Водогрійний котел КБНГ-2,5 пропрацював вже 30 років та вичерпав свій ресурс експлуатації, тому потребує заміни.

Режимні карти котлів ВК-21 (КСВа-2,0) наведені в додатку А., а їх паспортні дані – на рисунку 2.2.

Показатель	КСВа-1,0 (ВК-22)	КСВа-2,0 (ВК-21)	КСВа-3,15
Теплопроизводительность, МВт	1,0	2,0	3,15
Температура воды: на входе, °C	60	60	60
на выходе, °C	115	115	115
Давление воды, МПа	0,6	0,6	0,6
Топливо	природный газ		
Масса, кг	2400	4100	6230
Габаритные размеры, м (д×ш×в)	3,45×1,7×2,4	4,3×1,7×2,7	4,9×1,9×3,4
Вход воды, Ду	80	100	125
Выход воды, Ду	80	100	125
Присоединительное давление газа, КПА	4,0	4,0/40,0	40,0

Рисунок 2.2 – Паспортні дані котлів ВК-21 (КСВа-2,0)

Зовнішній вигляд котлів показано на рисунках 2.3 -2.5.



Рисунок 2.3 – Котел ВК-21



Рисунок 2.4 – Котел ВК-21 (вигляд збоку)

Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

601-МНТ 19062 МР

Арк.

32



Рисунок 2.5 – Автоматика котла ВК-21

Циркуляцію теплоносія в системі тепlopостачання забезпечують 2 мережеві насоси типу Д200 з параметрами:  $G = 200 \text{ м}^3 / \text{год}$ ,  $H = 90 \text{ м.вод.ст.}$ ,  $N=90 \text{ кВт}$  та 6К-8 (6К-160/30) з параметрами:  $G = 160 \text{ м}^3 / \text{год}$ ,  $H = 30 \text{ м.вод.ст.}$ ,  $N=30 \text{ кВт}$ .

Вода для підживлення системи тепlopостачання обробляється водопідготувальною установкою ВПУ-10К та деаераційно-підживлювальною установкою ВДПУ-9М. Насос ХВО типу 1,5К-6 (1,5К-8/19) показаний на рисунку 2.5.

Підживлення системи тепlopостачання забезпечує 2 підживлювальних насоси: - тип 2К-6 (2К-20/30) витратою води  $G = 25 \text{ м}^3 / \text{год}$ , напором  $H = 32 \text{ м.вод.ст.}$ , потужністю  $N = 5,5 \text{ кВт}$ .

Циркуляція ГВП забезпечується трьома насосами гарячої води – тип 2К-9 (2К-20/18) з параметрами:  $G = 20 \text{ м}^3 / \text{год}$ ,  $H = 18 \text{ м.вод. ст.}$ ,  $N = 4 \text{ кВт}$ .

Характеристики насосів наведені в таблиці 2.1.

Подача повітря в котли ВК-21 забезпечується дуттєвими вентиляторами В-Ц 14-46-2,5 продуктивністю  $3200 \text{ м}^3 / \text{год}$ ,  $P=2000 \text{ Па}$ ,  $N = 4 \text{ кВт}$ .

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Эм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		33



Эм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

601-МНТ 19062 МР

Арк.

34



Рисунок 2.4 – Мережеві насоси



Рисунок 2.5 – Насос хімводоочистки 1,5К-6

Характеристики насосів наведені в таблиці 2.2.

Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

601-МНТ 19062 МР

Арк.

35

Таблиця 2.2 – Характеристики насосного обладнання

Марка насоса	Марка насоса по каталогу 1974 г.	Число обор. в мин.	Діам. раб. колеса, мм	Напор насоса в начале раб. області, м	Расход насоса в начале раб. області, л/с	КПД насоса в начале раб. області	Напор насоса в конце раб. області, м	Расход насоса в конце раб. області, л/с	КПД насоса в конце раб. області	Фиктивн. макс. высота подъема воды, м	Фиктивн. сопр. насоса, (с/л) <sup>2</sup> -м
1.5К-8/19	1.5К-6	2900	128	20.3	1.66	44	14.0	3.88	53	21.7	0.498
2К-20/30	2К-6	2900	162	35	2.77	50	24.0	8.33	63	36	0.175
2К-20/18	2К-9	2900	129	21	3.05	56	17.5	6.11	66	21.1	0.124
3К-45/54	3К-6	2900	218	58	8.5	55	45.0	16.94	63	65.8	0.0563
3К-45/30	3К-9	2900	168	34.8	8.33	62	27.0	15.0	72	38.5	0.05
4К-90/87	4К-6	2900	272	98.0	18.05	65	72.0	32.5	68	105.6	0.0237
4К-90/55	4К-8	2900	218	61.0	18.05	64	45.0	31.1	69	67.3	0.0217
4К-90/30	4К-12	2900	174	38.0	18.05	73	27.5	31.1	79	41.8	0.0124
4К-90/20	4К-18	2900	148	25.7	13.88	76	18.9	27.77	77	29.5	0.0137
6К-160/30	6К-8	1450	328	36.5	33.05	70	28.0	55.0	75	39.3	0.00297
6К-160/20	6К-12	1450	264	22.5	35.0	76	17.5	51.11	79	25.2	0.00259
8К-300/25	8К-12	1450	315	33.0	61.11	80	25.0	91.66	80	36.9	0.00129
8К-300/18	8К-18	1450	268	20.4	61.11	80	15.0	91.66	80	24.3	0.000913

Відведення димових газів відбувається за допомогою газоходів та загального бора в окрему цегляну димову трубу висотою 25 м та діаметром 800 мм, розташовану на відстані 10 м від котельні.

Будівля забезпечена необхідними інженерними мережами:

- водопостачанням,
- каналізацією,
- електропостачанням,
- газопостачанням.

Газопостачання котельні забезпечується від існуючого газопроводу низького тиску діаметром  $D=159 \times 4$  мм.

Ввідний водопровід діаметром  $D=57 \times 3$  мм. На ввіді водопроводу встановлено водомірний вузол із лічильником. У котельні передбачено господарчо-побутову каналізацію, до якої підключаються прилади санвузла та душової для обслуговуючого персоналу. Система дренажних

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		36

трубопроводів від обладнання забезпечує відведення стічних вод в існуючий колодязь.

						<i>601-мНТ 19062 МР</i>	Арк.
							37
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

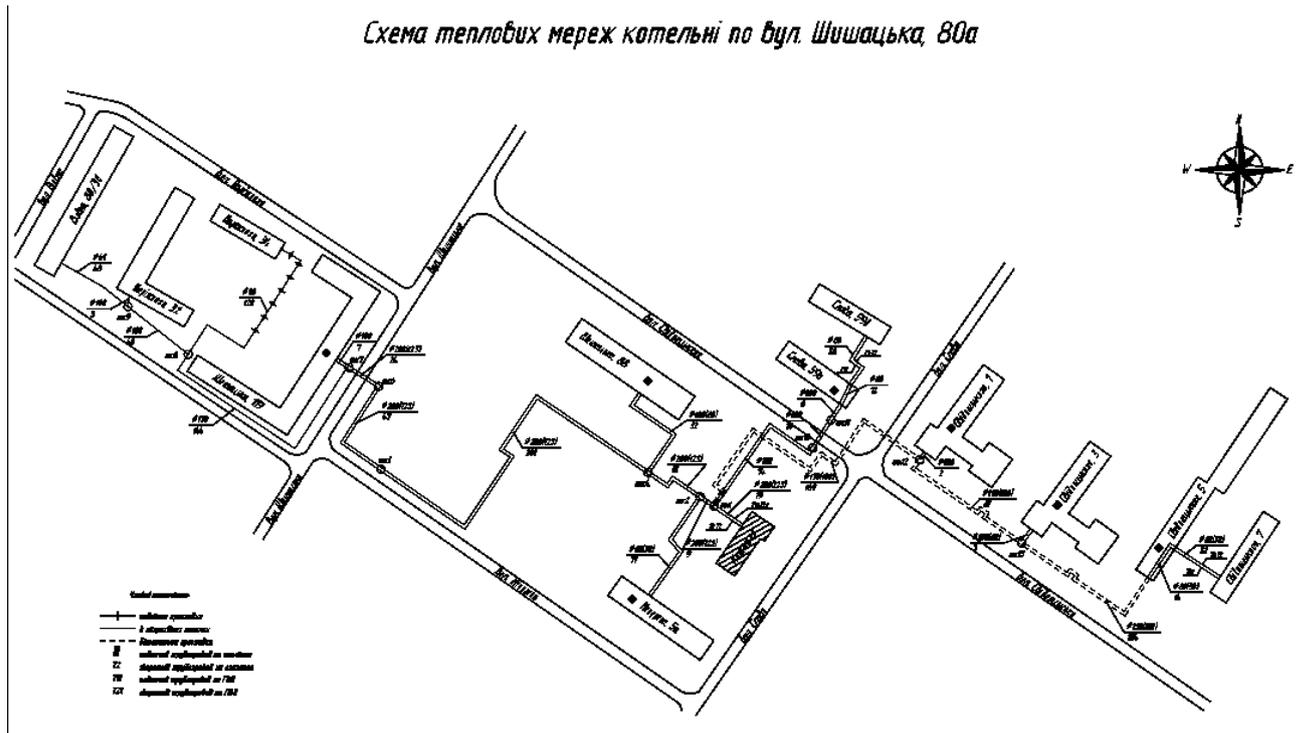
Враховуючи проблеми із забезпеченням електропостачання під час військового тану та з метою підвищення рентабельності підприємства в частині реалізації гарячої води населенню рекомендується використання когенераційної установки для виробництва власної електричної енергії. У якості палива для установки доцільно використати місцеву сировину – біомасу на основі тріски та відходів порубкових залишків. Таким чином, комбіноване виробництво теплової та електричної енергії зможе вирішити частину проблем енергетичного ринку.

						<i>601-мНТ 19062 МР</i>	Арк.
							38
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

### 3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Аналіз теплової схеми роботи котельні

Схема теплових мереж показана на рисунку 3.1 й винесена на аркуш креслень.



На основі аналізу розташування обладнання котельні та його обв'язки побудована детальна тепла схема, зображена на рисунку 3.2 й винесена на аркуш креслень.

Для забезпечення ефективного якісного регулювання відпуску кількості теплоти залежно від погодних умов розрахована режимна карта теплової мережі та побудований температурний графік теплової мережі.

Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

601-МНТ 19062 МР

Арк.

39

Инв. № подл.	Подп. та дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. та дата

Зм.	Лист	№ докум.	Гідус.	Дата

601-НТ 19062 МР

*Теплова схема котельні по бул. Шишацька, 80а*

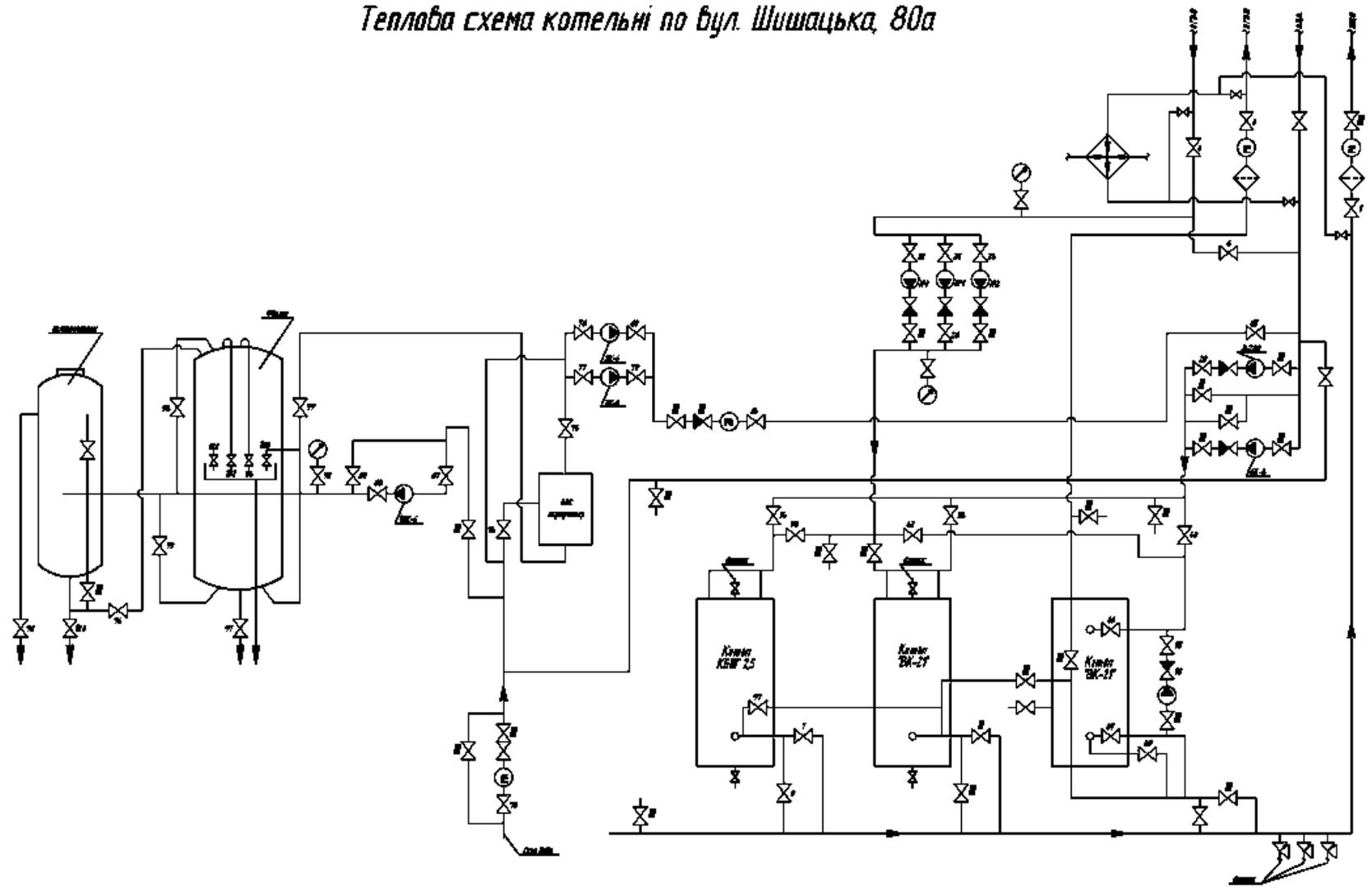


Рисунок 3.2 – Детальна теплова схема

Таблиця 3.1 – Режимна карта теплової мережі

Температура зовнішнього повітря, С <sup>0</sup>	Температура подаючої мережевої води, С <sup>0</sup>	Температура зворотної мережевої води, С <sup>0</sup>
-23	80	60
-22	79	59
-21	77	58
-20	76	57
-19	75	56.5
-18	74	56
-17	72	55
-16	71	54
-15	70	53
-14	68	52
-13	67	51.5
-12	66	51
-11	64	50
-10	63	49
-9	62	48
-8	60	47
-7	59	46.5
-6	58	46
-5	56	45
-4	55	44
-3	54	43
-2	52	42
-1	51	41
0	49	40
1	48	39
2	46	38
3	45	37
4	43	36
5	42	35
6	40	34
7	39	33
8	37	32
10	37	32

### Рисунок 3.3 – Температурний графік роботи котельні

#### 3.2 Обґрунтування вибору виду біомаси для котельні в Миргороді з урахуванням місцевих чинників

Одним із найбільш перспективних напрямів удосконалення технології виробництва теплової енергії на КП «Миргородтеплоенерго» є використання наявної в регіоні біомаси. Особливості м'якого клімату Наддніпрянщини, великий потенціал лісового сектору та наявність кваліфікованих робітників створюють передумови для розвитку біоенергетичної галузі. Місцевими джерелами біомаси можуть бути:

- відходи ДП "Миргородське лісове господарство", пунктів переробки деревини та деревообробної промисловості, залишки від обрізки крон дерев по місту підприємством КП «Спецкомунтранс»;
- відходи сільського господарства (солома, лушпиння соняшнику, сої, шрот ріпаку);
- спеціальне вирощування (енергетична верба, тополя, міскантус).

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		42

Актуальними також є місцеві пелетні виробництва, які використовують як базову сировину лушпиння соняшнику. У 2022 році в рамках міжнародного проекту MO.GE.DI.CO. КП «Миргородтеплоенерго» введено в експлуатацію твердопаливну котельню по вул. Прорізна, 4а, де використовуються агропелети від ТОВ "Гефест-інжиніринг".

На основі аналізу літературних джерел [1-3] складена порівняльна таблиця основних характеристик альтернативного палива, доступного для КП «Миргородтеплоенерго» (таблиця 1).

Таблиця 3.2 – Характеристики місцевих видів альтернативного палива

Показники	Вид палива								
	Дерева тріска	Солома	Агро- пелети	Лушпиння соняшнику	Луш- пиння сої	Шрот ріпаку	То- поля	Вер- ба	Міс- кан- тус
W, %	35-55	8-15	<10	15	9,3	10	50-55	40-53	15-23
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	240-350	100-180	500-750	170	-	-	220-300	220- 300	200- 220
Q <sub>нр</sub> , МДж /кг	8-12	13,5-15,7	14,5-18,1	15,4-17	14,8-17	17,25	8-10	8-10	10-14
C	30,3-50								
H	3,6-6,63								
Cl	0,02	0,14-0,97	0,02-0,03	0	0	0	0,03- 0,04	0,02- 0,03	0,04
N	0,3-0,4	0,35-0,6	0,3-1	0,4	0,5	0,57	0,77-0,9	0,5- 1,0	0,16- 1,37
S	0-0,05	0,05-0,2	0,03-0,08	0,2	0,7	0,85	0,03-0,2	0,03- 0,34	0,28
A	0,5-1,5	2-8	0,07-3	2,4	3,2	4,3	0,5-1,9	1,5-2	2,3- 3,7
t <sub>пл</sub> ЗОЛИ	1000- 1400	850-1050	1100- 1200	-	-	-	1160- 1500	>1500	1250- 1385

Аналіз таблиці 1 підтверджує, що з енергетичної ефективності найбільш перспективними є шрот ріпаку, лушпиння сої та соняшнику. Однак, при виборі виду палива, крім енергетичних характеристик, важливо враховувати й інші фактори, такі як вартість, екологічні аспекти, доступність та логістика. На основі аналізу можна зробити деякі спостереження:

#### 1. Енергетична ефективність

Шрот ріпаку, лушпиння сої та соняшнику мають високий потенціал теплотворення, що робить їх ефективними альтернативами для теплогенерації.

## 2. Теплотворна здатність соломи

Солома також має прийнятну теплотворчу здатність, але існує проблема щодо її екологічної придатності та логістики.

## 3. Деревна тріска та лушпиння соняшнику

З міркувань вартості ці два види палива можуть бути привабливими варіантами для підприємства.

## 4. Вирощування тополі, верби та міскантусу

Ці види потребують додаткових досліджень щодо їхньої ефективності, але вони можуть стати перспективними у довгостроковій перспективі.

## 5. Екологічні аспекти та розлітання соломи

Екологічні аспекти, такі як розлітання соломи, слід враховувати при виборі палива, особливо в густонаселених місцевостях.

Загальний висновок полягає в тому, що для підприємства КП "Тепловодсервіс" деревна тріска та лушпиння соняшнику можуть бути найбільш вигідними та практичними варіантами для використання в теплогенераційних установках, зокрема через їхню низьку вартість та доступність.

### 3.3. Дослідження креслень існуючої котельні та експлуатаційних даних. Формування рекомендацій щодо її реконструкції

Обладнання котельні за адресою м. Миргород, вул. Шишацька 80А є частково застарілим, частково замінене при реконструкції 2016 року.

Відповідно в рамках чергової реконструкції передбачається:

1. Демонтаж існуючого водогрійного котла КБНГ-2,5 та всього допоміжного обладнання.

2. Встановлення котельної установки на біомасі компанії BINDER типу RRK1000.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		44



Для забезпечення енергоефективності в проєкті передбачені наступні заходи з енергозбереження:

1. Застосування ефективних котлів з ККД не нижче 90%.

Використання високоефективних котлів дозволяє забезпечити оптимальне перетворення енергії палива в теплову енергію.

2. Плавне регулювання процесу горіння.

Плавне регулювання дозволяє адаптувати процес горіння до реальних потреб, підтримуючи стабільну температуру та забезпечуючи ефективність.

3. Погодне залежне регулювання відпуску теплоти.

Залежне від погоди регулювання дозволяє враховувати зовнішні умови для оптимального використання теплових ресурсів.

4. Використання ізольованих димових труб з нержавіючої сталі.

Нержавіючі димові труби з теплоізоляцією забезпечують тривалий термін служби та утримують оптимальні температури газових викидів.

5. Підживлення систем теплопостачання пом'якшеною водою.

Використання пом'якшеної води допомагає уникнути утворення вапнякових відкладень, що покращує ефективність системи.

6. Частотно-регульоване насосне обладнання та вентилятор пальника:

Частотно-регульоване обладнання дозволяє адаптувати роботу системи до змінних навантажень, зменшуючи споживання енергії.

7. Автоматичне регулювання та комплексна автоматизація.

Автоматичне регулювання параметрів та комплексна автоматизація сприяють оптимізації роботи системи та підтримці ефективності.

8. Контрольно-вимірювальні прилади

Встановлення приладів дозволяє моніторити та контролювати параметри роботи системи для оптимального управління.

9. Теплоізоляція обладнання.

Сучасна теплоізоляція допомагає утримувати теплові втрати на мінімальному рівні.

10. Автоматична робота та система сигналізації.

						601-МНТ 19062 МР	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		46

Автоматична робота та системи сигналізації сприяють надійності та безпеці експлуатації системи.

Перелічені заходи спрямовані на оптимізацію роботи котельні та мінімізацію енерговитрат, що сприятиме сталому та ефективному використанню ресурсів.

З асортименту лінійки котельних установок на біомасі BINDER від австрійської компанії HERZ, представленого на рис. 3.4, обираємо оптимальний тип обладнання – RRK-1000, який випускається в стандартному контейнері з горизонтальним теплообмінником та є сумісним із усіма типами систем спалювання BINDER. Паспортні дані установки показані на рис. 3.5.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
							47
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Инв. № подл.	Подп. та дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. та дата

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата

601-НТ 19062 МР

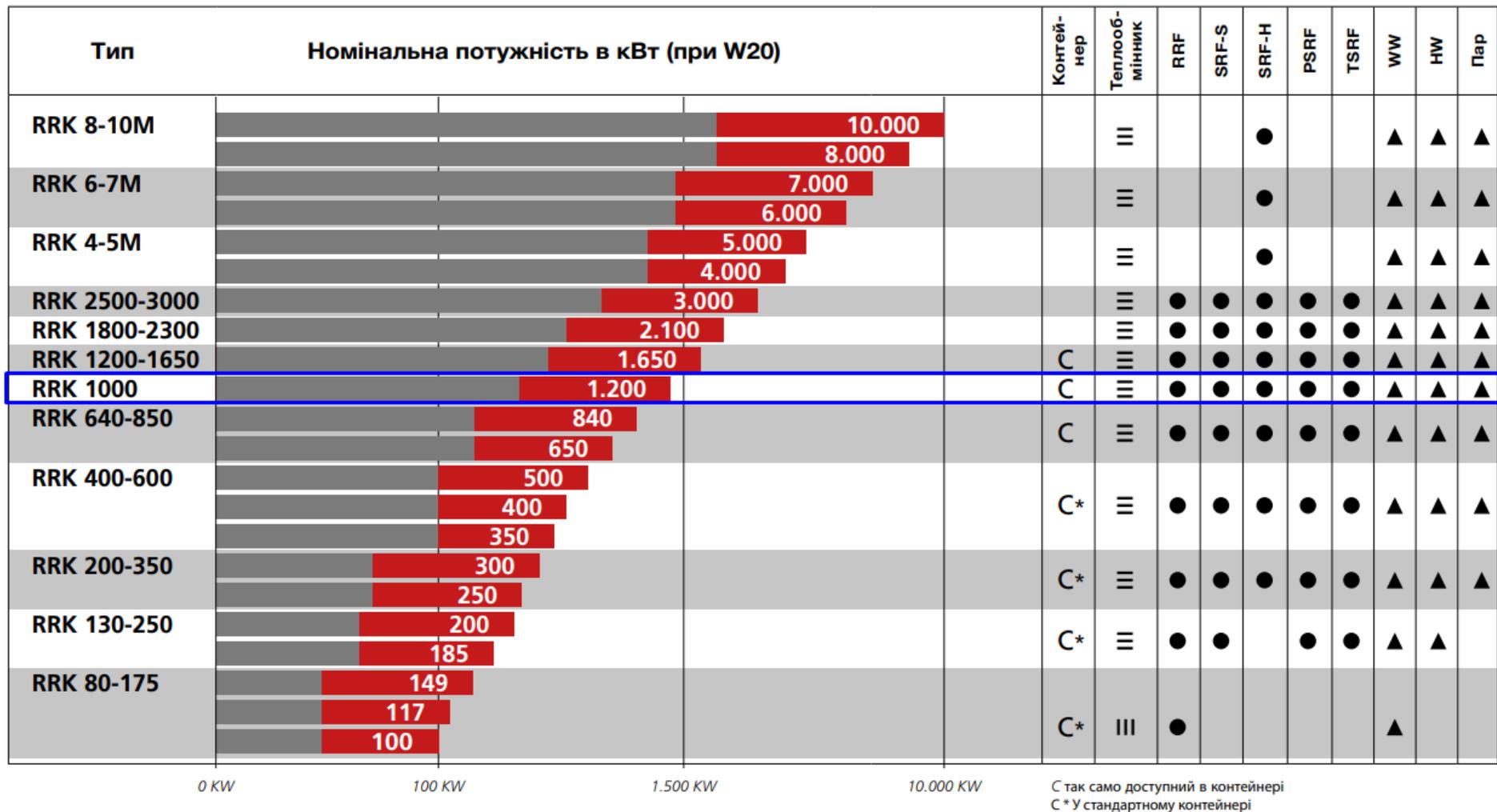


Рисунок 3.4 – Вибір котельної установки на біомасі BINDER від компанії HERZ





Рисунок 3.5 – Загальний вигляд приміщення з установкою RRK-1000



Рисунок 3.6 – Теплогенеруюча установка на біомасі RRK-1000 (вигляд збоку)

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50



Рисунок 3.7 – Теплогенеруюча установка на біомасі RRK-1000 (фронт)

Креслення когенераційної установки на біомасі RRK-1000 з основними габаритними розмірами представлено на рисунку 3.8.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		51

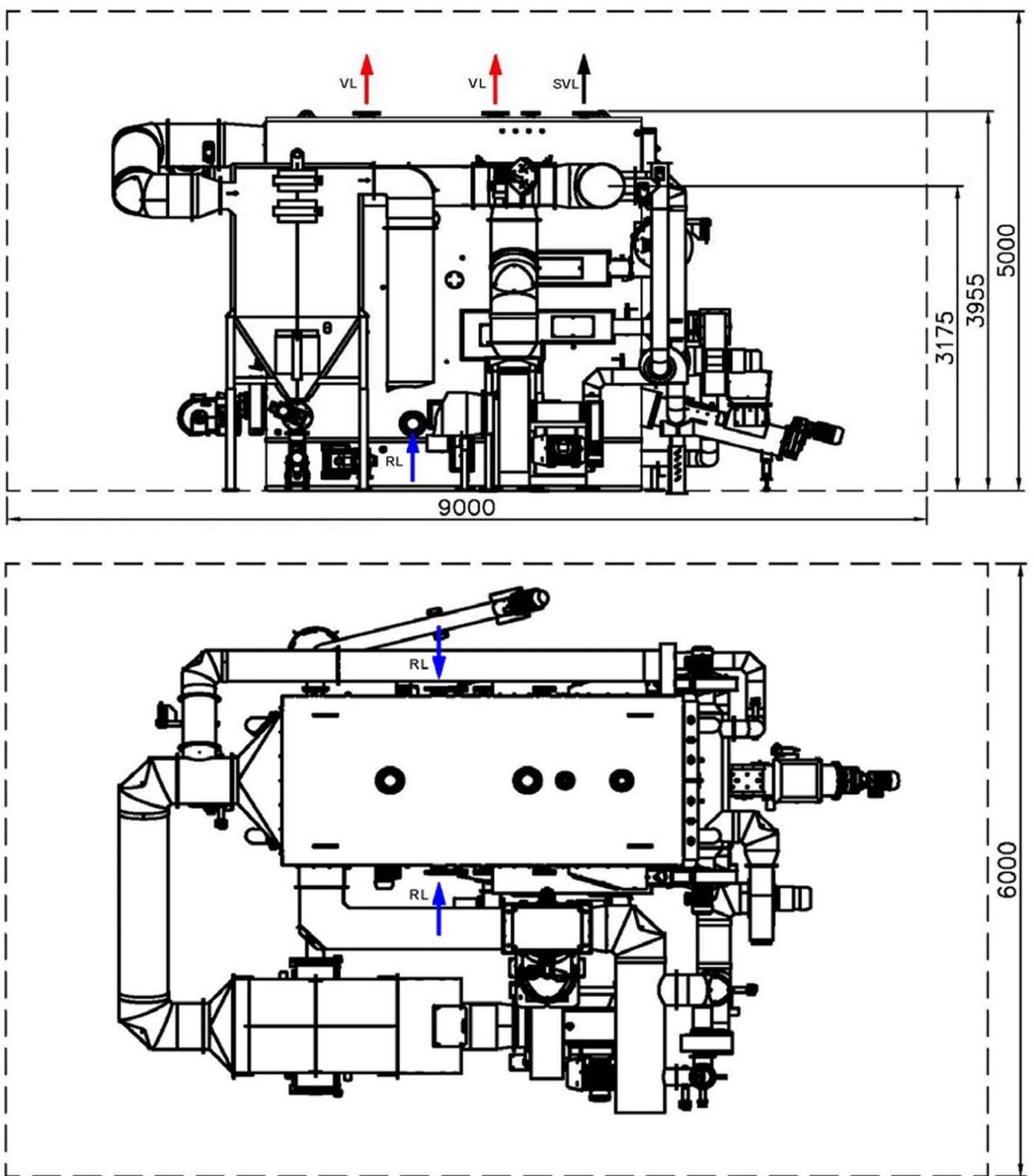


Рисунок 3.8 – Креслення когенераційної установки на біомасі RPK-1000

Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

601-МНТ 19062 МР

Арк.

52

3.5 Визначення теоретичної кількості повітря на горіння тріски та її теплотворної здатності за елементним складом. Порівняння з традиційними видами палива

Елементний склад біомаси у вигляді тріски приймемо із таблиці 3.5 за матеріалами [27].

Таблиця 3.1 – Основні характеристики місцевих видів альтернативного палива

Показники	Вид палива								
	Дере- вна тріска	Солома	Агро- пелети	Лушпиння соняшнику	Луш- пиння сої	Шрот ріпаку	То- поля	Вер- ба	Міс- кан- тус
W, %	35-55	8-15	<10	15	9,3	10	50-55	40-53	15-23
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	240-350	100-180	500-750	170	-	-	220-300	220-300	200-220
$Q_{н.р}$ МДж /кг	8-12	13,5-15,7	14,5-18,1	15,4-17	14,8-17	17,25	8-10	8-10	10-14
C	30,3-50								
H	3,6-6,63								
Cl	0,02	0,14-0,97	0,02-0,03	0	0	0	0,03-0,04	0,02-0,03	0,04
N	0,3-0,4	0,35-0,6	0,3-1	0,4	0,5	0,57	0,77-0,9	0,5-1,0	0,16-1,37
S	0-0,05	0,05-0,2	0,03-0,08	0,2	0,7	0,85	0,03-0,2	0,03-0,34	0,28
A	0,5-1,5	2-8	0,07-3	2,4	3,2	4,3	0,5-1,9	1,5-2	2,3-3,7
$t_{пл}$ ЗОЛИ	1000-1400	850-1050	1100-1200	-	-	-	1160-1500	>1500	1250-1385

Отже, для деревної тріски приймаємо середні значення й маємо наступні характеристики палива, занесені в таблицю 4.2

Таблиця 3.2 – Робочий склад біомаси з деревної тріски

Склад тріски	H <sup>p</sup>	C <sup>p</sup>	S <sup>p</sup>	N <sup>p</sup>	O <sup>p</sup>	A <sup>p</sup>	W <sup>p</sup>
за робочим складом, %	3,6	30,3	0	0,3	20,1	0,7	45
	100,0 %						

Максимальний уміст трьохатомних газів  $RO_2^{\max}$  для тріски деревної знайдемо за формулою:

$$RO_2^{\max} = 21 / (1 + \beta); \quad \beta = 2,35 (H^p - 0,126 O^p + 0,04 N^p) / C^p + 0,375 S^p \%$$

Підставивши значення із таблиці 3.2 елементного складу палива, одержимо:

$$\beta = 2,35 * (3,6 - 0,126 * 20,1 + 0,04 * 0,3) / (30,3 + 0,375 * 0) = 0,0837$$

$$RO_2^{\max} = 21 / (1 + 0,0837) = \mathbf{19,38\%}$$

Визначимо коефіцієнт надлишку повітря за знайденими величинами  $RO_2^{\max}$  із використанням різних методик:

- за коефіцієнтом розбавлення;
- за азотно-кисневою формулою;
- за методикою Равича.

$$\text{Визначаємо коефіцієнт розбавлення: } h = V_{пз}^{\alpha=1} / V_{пз}^{\alpha=1} = RO_2^{\max} / RO_2$$

У продуктах згорання із трьохатомних газів є тільки  $CO_2$ , тобто  $RO_2 = CO_2$ . Підставивши значення вмісту  $CO_2$ , одержимо значення коефіцієнта розбавлення:

$$h = 19,38 / 8,6 = 2,25$$

Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря за відомим коефіцієнтом розбавлення

$$\alpha = 1 + (h - 1) \frac{V_{пз}^{\alpha=1}}{V_m}$$

Для твердого і рідкого палива потреба у повітрі визначається так:

$$V_m = 0,0899 (C^p + 0,375 S^p + 0,265 H^p - 0,033 O^p) \text{ нм}^3 / \text{кг}$$

Підставивши значення із таблиці 4.2, матимемо для тріски:

$$V_m = 0,0899 * (30,3 + 0,375 * 0 + 0,265 * 3,6 - 0,033 * 20,1) = 2,75 \text{ нм}^3 / \text{кг}$$

Об'єм продуктів згорання вугілля при  $\alpha = 1$ :

$$V_{CO_2} = 0,01866 \cdot C^p$$

$$V_{CO_2} = 0,01866 * 30,3 = 0,565$$

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		54

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot L_{\alpha} + 0,008 \cdot N^p;$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 2,75 + 0,008 \cdot 0,3 = 2,1749$$

$$V_{H_2O} = 0,0016 \cdot d_{пов} \cdot L_{\alpha} + 0,112 \cdot H^p + 0,0124 \cdot (W^p + 100 \cdot G_{\phi})$$

$$V_{H_2O} = 0,0016 \cdot 1 \cdot 2,75 + 0,112 \cdot 3,6 + 0,0124 \cdot (20,1 + 0) = 0,6568$$

Тоді загальна кількість продуктів згорання:

$$V_{nz}^{\alpha=1} = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} = 0,565 + 2,1749 + 0,6568 = 3,397 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

Отже, підставивши значення, одержимо:

$$\alpha = 1 + (2,25 - 1) \cdot 3,397 / 6,784 = 1,63$$

Таким чином, при  $V_{nz}^{\alpha=1} > V_m$  ( $3,397 > 2,75$ ) маємо  $\alpha > h$ .

Об'єм продуктів згорання (стехіометрична кількість):

$$V_{nz}^{\alpha=1} = 1,185 \frac{Q_n^p}{1000} + 0,25, \text{ нм}^3 / \text{кг}$$

Нижча теплотворна здатність тріски може бути визначена за формулою Менделєєва:

$$Q_n^p = 0,339 \cdot C^p + 1,031 \cdot H^p + 0,109 \cdot (O^p - S^p) - 0,025 \cdot W^p$$

Для заданого складу палива маємо:

$$Q_n^p = 0,339 \cdot 30,3 + 1,031 \cdot 3,6 + 0,109 \cdot (20,1 - 0) - 0,025 \cdot 45 = 15,05 \text{ МДж/кг} = 3594,63 \text{ ккал/кг.}$$

Порівняємо отримане значення з наведеним у таблиці 3.1:

$$Q_n^p = 8-12 \text{ МДж/кг} < 15,05 \text{ МДж/кг.}$$

Отже, розрахунок за точним елементним складом показує більше значення теплотворної здатності тріски, ніж прогнозоване табличне.

Тоді маємо об'єм продуктів згорання:

$$V_{nz}^{\alpha=1} = 1,185 \cdot 3594,63 / 1000 + 0,25 = 4,51 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

Отримане значення є дещо вищим за розраховане за складом палива.

Отже, для тріски з елементарним складом за табл. 3.2 маємо коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 1,63$ .

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		55

Визначимо коефіцієнт надлишку повітря за методикою М.Б. Равича:

$$\alpha = \frac{V_m + V_{\text{надл}}}{V_m} = \frac{O_2^{\text{надл}} + O_2^{\text{теор}}}{O_2^{\text{теор}}}$$

При повному згоранні палива маємо:

$$\alpha = \frac{V_m + V_{\text{надл}}}{V_m} = \frac{O_2^{\text{надл}} + \psi RO_2}{\psi RO_2}$$

Значення коефіцієнтів  $\psi$  беремо з таблиці 3.3, поданої нижче.

Таблиця 3.3 – Характеристики основних видів палива

Паливо	$\psi$	Паливо	$\psi$
Метан	2,0	Антрацит	1,05
Пропан	1,67	Скrapлений газ	1,65
Бутан	1,625	Вугілля газове	1,15
Природний газ	2,0	Дрова	1,03
Бензин	1,52	Мазут	1,4
Керосин	1,48		

Таким чином, для деревної тріски антрацит приймаємо значення як у дров  $\psi=1,03$ .

Визначаємо концентрацію кисню в продуктах згорання:

$$O_2 = 100 \cdot (RO_2^{\text{max}} - RO_2) / (4,76 \cdot RO_2^{\text{max}})$$

$$\text{Для тріски маємо : } O_2 = 100 \cdot (19,38 - 8,6) / (4,76 \cdot 19,38) = 11,69 \%$$

$$\text{Тоді } \alpha = (11,69 + 1,03 \cdot 8,6) / (1,03 \cdot 8,6) = 2,31$$

Визначимо коефіцієнт надлишку повітря за азотно-кисневою формулою:

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3,76O_2} = \frac{1}{1 - \frac{3,76O_2}{N_2}} = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{N_2}} = \frac{21}{21 - O_2}$$

$$\alpha = 21 / (21 - 11,69) = 2,26.$$

Отже, коефіцієнт надлишку повітря для тріски коливається від 1,63 до 2,31 за різними методиками розрахунку, а теоретична кількість повітря на горіння складає  $V_m = 2,75 \text{ нм}^3/\text{кг}$ .



У продуктах згорання із трьохатомних газів є тільки CO<sub>2</sub>, тобто RO<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub>. Підставивши значення вмісту CO<sub>2</sub> із таблиці вихідних даних, одержимо значення коефіцієнта розбавлення:

- для природного газу:

$$h = 12,25 / 9,2 = 1,33$$

- для вугілля:

$$h = 19,89 / 9,2 = 2,16$$

Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря за відомим коефіцієнтом розбавлення

$$\alpha = 1 + (h - 1) \frac{V_{nz}^{\alpha=1}}{V_m}$$

Для твердого і рідкого палива потреба у повітрі визначається так:

$$V_m = 0,0899(C^p + 0,375S_n^p + 0,265H^p - 0,033O^p) \text{ нм}^3 / \text{кг}$$

Підставивши значення із таблиці вихідних даних, матимемо для вугілля:

$$V_m = 0,0899 \cdot (75 + 0,375 \cdot 0 + 0,265 \cdot 2 - 0,033 \cdot 2) = 6,784 \text{ нм}^3 / \text{кг}$$

Склад продуктів повного згорання при стехіометричній кількості повітря  $\alpha = 1$

$$V^{\alpha=1} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2}, \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Об'єм продуктів згорання вугілля при  $\alpha = 1$ :

$$V_{CO_2} = 0,01866 \cdot C^p;$$

$$V_{CO_2} = 0,01866 \cdot 75 = 1,400$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot L_\alpha + 0,008 \cdot N^p;$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot 6,784 + 0,008 \cdot 1 = 5,367$$

$$V_{H_2O} = 0,0016 \cdot d_{\text{пов}} \cdot L_\alpha + 0,112 \cdot H^p + 0,0124 \cdot (W^p + 100 \cdot G_\phi)$$

$$V_{H_2O} = 0,0016 \cdot 1 \cdot 6,784 + 0,112 \cdot 2 + 0,0124 \cdot (6 + 0) = 0,309$$

Тоді загальна кількість продуктів згорання:

$$V_{nz}^{\alpha=1} = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} = 1,400 + 5,367 + 0,309 = 7,076 \text{ нм}^3 / \text{кг}$$

Отже, підставивши значення, одержимо:

						601-МНТ 19062 МР	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		58

$$\alpha = 1 + (2,16 - 1) * 7,076 / 6,784 = 2,21$$

Таким чином, при  $V_{nz}^{\alpha=1} > V_m$  маємо  $\alpha > h$ .

Об'єм продуктів згорання (стехіометрична кількість):

$$V_{nz}^{\alpha=1} = 1,185 \frac{Q_n^p}{1000} + 0,25, \text{ нм}^3 / \text{кг}$$

Нижча теплотворна здатність вугілля може бути визначена за формулою:

$$Q_n^p = 0,339 * C^p + 1,031 * H^p + 0,109 * (O^p - S^p) - 0,025 * W^p$$

Для заданого складу палива маємо:

$$Q_n^p = 0,339 * 75 + 1,031 * 2 + 0,109 * (2 - 0) - 0,025 * 6 = 27,555 \text{ МДж/кг}$$

Для порівняння знайдемо теплотворну здатність антрациту рядового зі штибом із таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Теплотворна здатність різних видів палива

Назва палива	Питома теплота згорання палива q, МДж/кг	Назва палива	Питома теплота згорання палива q, МДж/кг	Назва палива	Питома теплота згорання палива q, МДж/кг
Деревне вугілля	34	Бензин	46	Водень	120
Антрацит	30	Гас	46	Метан	50
Кам'яне вугілля	27	Нафта	44	Ацетилен	48,1
Буре вугілля	17	Дизельне паливо	42,7	Природний газ	44
Торф	14	Мазут	41	Пропан	42,4
Тротил	15	Ефір	34	Аміак	18,4
Дрова сухі	11	Спирт етиловий	27	Окис вуглецю	10,1
Дрова сирі	8	Спирт метиловий	25		
Порох	3,8		19,5		
Умовне паливо 30					

Таким чином,  $Q_n^p = 30 \text{ МДж/кг} = 7165 \text{ ккал/кг}$ .

Отже, отримані значення теплотворної здатності досить близькі. Для подальших розрахунків візьмемо більш точне значення  $27,555 \text{ МДж/кг} = 6581,4 \text{ ккал/кг}$ .

Тоді маємо об'єм продуктів згорання:

$$V_{nz}^{\alpha=1} = 1,185 * 6581,4 / 1000 + 0,25 = 8,050 \text{ нм}^3 / \text{кг}$$

Отримане значення є дещо вищим за розраховане за складом палива, що очевидно викликане фактично меншою теплотворною здатністю внаслідок наявності в складі палива пилових частинок – штибу.

Отже, для вугілля АРШ заданого складу маємо коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 2,21$ .

За відомого складу газоподібного палива теоретична потреба у повітрі визначається за залежністю ( н.у):

$$V_m = 0.0476 \left( 2C H_4 + 3.5 C_2 H_6 + 5 C_3 H_8 + 6.5 C_4 H_{10} + 8 C_5 H_{12} \right),$$

Підставивши значення із таблиці вихідних даних, матимемо для природного газу:

$$V_m = 0,0476 * (2 * 88 + 3,5 * 4 + 5 * 1 + 6,5 * 0 + 8 * 0) = 9,282 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3$$

Теплоту згорання природного газу знайдемо за теплотворною здатністю його компонентів за формулою:

$$Q_H^P = 0,127CO + 0,108H_2 + 0,234H_2S + 0,358CH_4 + 0,59 * C_2H_6 + 0,638C_2H_6 + 0,931C_3H_8 + 1,4C_6H_6$$

$$Q_H^P = 0,127 * 0 + 0,108 * 0 + 0,234 * 0 + 0,358 * 88 + 0,59 * 0 + 0,638 * 4 + 0,913 * 1 + 1,4 * 0 = 34,969 \text{ МДж/кг} = 8352 \text{ ккал/кг}$$

Тоді маємо стехіометричну кількість продуктів згорання:

$$V_{нз}^{\alpha=1} = 1,185 * 8352 / 1000 + 0,25 = 10,147 \text{ нм}^3 / \text{кг}$$

Відповідно, підставивши значення, одержимо коефіцієнт надлишку повітря:

$$\alpha = 1 + (1,33 - 1) * 10,147 / 9,282 = 1,36$$

Таким чином, при  $V_{нз}^{\alpha=1} > V_m$  маємо  $\alpha > h$ .

Визначимо коефіцієнт надлишку повітря за методикою М.Б. Равича:

$$\alpha = \frac{V_m + V_{надл}}{V_m} = \frac{O_2^{надл} + O_2^{теор}}{O_2^{теор}}$$

При повному згоранні палива маємо:

$$\alpha = \frac{V_m + V_{надл}}{V_m} = \frac{O_2^{надл} + \psi RO_2}{\psi RO_2}$$

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		60

Значення коефіцієнтів  $\psi$  беремо з таблиці, поданої вище:

- для природного газу маємо  $\psi=2$ ,
- для вугілля типу антрацит рядовий зі штибом  $\psi=1,05$ .

Визначаємо концентрацію кисню в продуктах згорання природного газу:

$$O_2 = 100 \cdot (RO_2^{\max} - RO_2) / (4,76 \cdot RO_2^{\max})$$

$$O_2 = 100 \cdot (12,25 - 9,2) / (4,76 \cdot 12,25) = 5,23\%$$

$$\text{Тоді } \alpha = (O_2^{\text{надл}} + \psi \cdot RO_2) / (\psi \cdot RO_2) = (5,23 + 2 \cdot 9,2) / (2 \cdot 9,2) = 1,28$$

$$\text{Для вугілля маємо : } O_2 = 100 \cdot (19,89 - 9,2) / (4,76 \cdot 19,89) = 11,29 \%$$

$$\text{Тоді } \alpha = (11,29 + 1,05 \cdot 9,2) / (1,05 \cdot 9,2) = 2,17$$

Визначимо коефіцієнт надлишку повітря за азотно-кисневою формулою:

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3,76O_2} = \frac{1}{1 - \frac{3,76O_2}{N_2}} = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{N_2}} = \frac{21}{21 - O_2}$$

- для вугілля АРШ

$$\alpha = 21 / (21 - 11,29) = 2,16$$

- для природного газу:

$$\alpha = 21 / (21 - 5,23) = 1,33$$

Порівнявши отримані значення, можна зробити висновок, що значення коефіцієнтів надлишку повітря, отримані за різними методиками є дуже близькими, а при округленні до десятих маємо точне співпадіння. При цьому для тріски були помітні розходження, що свідчить про недостатню вивченість цього виду палива та його особливостей.

На основі проведених розрахунків можна зробити наступні висновки:

1. Коефіцієнт надлишку повітря для тріски є істотно більшим, ніж для природного газу, його значення є близьким до вугілля АРШ.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		61

2. Теплотворна здатність тріски, розрахована за формулою Менделєєва, складає 15,05 МДж/кг , що є більшим за максимальне табличне значення 12 МДж/кг і помітно нижче за теплотворну здатність вугілля АРШ – 27,555 МДж/кг.
3. Можна припустити, що відхилення розрахованої теплотворної здатності тріски від її табличного значення, отриманого на основі практики використання, викликане підвищеною вологістю тріски по факту в режимі експлуатації, що помітно знижує її теплотворну здатність.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		62



## 5. Надання роз'яснень та інформування:

- Організація регулярних навчань та інструктажів з охорони праці для всіх працівників котельні.
- Забезпечення робітників інформацією та роз'ясненнями з питань охорони праці.
- Створення засобів для ефективного спілкування та обміну інформацією щодо охорони праці.

Виконання цих завдань дозволяє організації забезпечувати безпеку та здоров'я своїх працівників, а також вдосконалювати стандарти охорони праці відповідно до сучасних вимог та технологій.

Проектом реконструкції котельні передбачається заміна одного з 3-х газових водогрійних котлів. Котел КБНГ-2,5 демонтується, виконується добудова котельного залу та встановлюється твердопаливний котел та інше допоміжне обладнання, яке відповідає вимогам нормативно-правових актів із охорони праці, пожежної безпеки та не чинить негативного впливу на довкілля. 2 котли КСВа-2,0 з усією обв'язкою залишаються без змін.

### 4.1 Вентиляція

Асиміляція теплових надходжень та забезпечення достатньої кількості повітря на горіння забезпечується системою вентиляції. У котельні передбачена загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція з природним спонуканням.

Згідно п. 18.9 ДБН В.2.5-77:2014 повітрообмін в котельних залах без вахування витрат на горіння має визначатися за кратністю  $K=3$ . Додатково необхідно врахувати подачу повітря на горіння, оскільки для повноцінного горіння палива необхідне постійне надходження кисню. Якщо вентиляція працюватиме некоректно, полум'я мінятиме колір на жовтувато-червоний, в повітрі з'явиться запах гару, при цьому ефективність роботи котла істотно погіршується й зростає витрата газу.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		64





котельні установки для горіння палива, видаляється через існуючу димову трубу котельні в обсязі 4637,3 м<sup>3</sup>/год.

Продуктивність кожного дефлектора типу ДВК-5 №4 діаметром 400 мм складає 560 м<sup>3</sup>/год.

Відповідно необхідно збільшити кількість припливних решіток та дефлекторів.

#### 4.2 Розрахунок димової труби

Димова труба опалювальних котелень – вертикальна труба яка використовується для вилення в атмосферу та розсіювання газоподібних продуктів згорання палива із котлів . Природна тяга замінюється штучною і здійснюється димососами у великих котельних установках. По санітарним нормам димова труба має бути підвищена, у залежності від вмісту сірки, часової витрати та зольності палива.

Проектом реконструкції передбачається влаштування нової димової труби. Висоту димової труби приймемо відповідно до розрахунку розсіювання шкідливих речовин у навколишнє середовище. Конструкція димової труби – самонесуча. Димова труба виконується двохстінних елементів. Внутрішня конструкція із нержавіючої сталі, зовнішня - із сталевого листа, який покривається фарбою для металів від кислот, лугів і погодних умов. Між сталевими листами розміщений теплоізоляційний прошарок.

Видалення димових газів через димохід може бути забезпечено завдяки різниці між густиною димових газів та зовнішнього повітря, але в системах із твердопаливними котлами необхідно встановлювати додатково димососи.

До основних параметрів димової труби належать:

- 1) висота димоходу;
- 2) діаметр димоходу .

Від правильного підбору висоти та діаметру димової труби залежить наявність тяги та ефективність розсіювання викидів.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		67





підвищує інтенсивність теплообміну (у степені 0,6÷0,8). При цьому аеродинамічні опори також зростають пропорційно до квадрата швидкості й спричиняють зростання витрат енергії на роботу димососів. Для визначення оптимальних швидкостей потоків проводяться техніко-економічні розрахунки за мінімумом експлуатаційних витрат. Здебільшого оптимальна швидкість газів у повітропідігрівачах перебуває в інтервалі 10 – 14 м/с, при поперечному омиванні пучків трохи менше – 8 – 10 м/с.

Корисна тяга димової труби розраховується за формулою, Па:

$$\Delta P_{\text{кор}} = p_c - (\Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{вих}}), \quad (4.2)$$

де  $\Delta p_{\text{тр}}$  – втрати тиску на тертя;

$\Delta p_{\text{вих}}$  – втрата тиску при виході газів з труби.

Втрати на тертя та опір виходу з труби розраховуються за базовими формулами гідрогазодинаміки.

З умови забезпечення необхідної самотяги висоту димової труби розраховують за формулою:

$$H = p_c / \left[ 273 \cdot \left( \frac{\rho_{\text{пов}}}{273 + t_{\text{пов}}} - \frac{\rho_{\text{г}}}{273 + \vartheta_{\text{г}}} \right) \cdot \frac{9,81 \cdot P_{\text{б}}}{1,01 \cdot 10^5} \right], \quad (4.3)$$

де  $P_{\text{б}}$  – тиск нормальних умов та барометричний тиск, Па;

$\rho_{\text{пов}}$ ,  $\rho_{\text{г}}$  – приведені до нормальних умов густини повітря і газів, кг/м<sup>3</sup>, причому

$$\rho_{\text{г}} = (1 - 0,01 \cdot A^p + 1,3 \cdot \alpha_{\text{г}} \cdot V^0) / V_{\text{г}}. \quad (4.4)$$

Діаметр димової труби, м, розраховується за формулою:

$$d = 1,13 \sqrt{V_{\text{дт}} / W_{\text{дт}}}, \quad (4.5)$$

де  $V_{\text{дт}}$  – кількість газів, що надходять в трубу, м<sup>3</sup>/с;

$W_{\text{дт}}$  – швидкість газів в димовій трубі, м/с.

Швидкість газів на виході з труби для уникнення задування газів у трубу приймається:

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		70

- при природній тязі  $\geq 6 \dots 10$  м/с,
- при штучній тязі  $15 - 25$  м/с.

Мінімальна допустима висота димової труби визначається за умов забезпечення необхідного розсіювання шкідливих викидів.

Концентрація двоокису сірки  $SO_2$  біля поверхні землі,  $кг/м^3$

$$C = 0,001 \cdot \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{г.д.т.} \cdot (\vartheta_{г.} - t_{нс})}} + 2 \cdot C_{\phi}, \quad (4.6)$$

де  $A$  – коефіцієнт стратифікації атмосфери,  $с^{2/3} \text{град}^{1/3}$ ;

$F$  – коефіцієнт, що враховує швидкість осідання  $SO$  в атмосфері;

$m$  – коефіцієнт, що враховує умови виходу продуктів згорання з основи димової труби;

$C_{\phi}$  – фонові концентрації забруднення атмосфери  $SO_2$ ,  $кг/м^3$ .

Оскільки в магістерській роботі досліджується котел, що працює на трісці деревини, то концентрація двоокису сірки  $SO_2$  складає 0,05 (табл. 2.1), тобто її вміст надзвичайно малий і може бути прирівняний до 0. Відповідно концентрацію двоокису сірки  $SO_2$  не розраховуємо.

Розрахунок димової труби виконаємо для умов роботи без економайзера.

За результатами розрахунків п.3.1.2 та з урахуванням викладеного вище приймаємо наступні вихідні дані:

- тяга, яку створює димова труба 70 Па
- розрахункова витрата палива  $B_p$  1827 кг/год (0,51 кг/с)
- температура газів перед димовою трубою 180 °C
- середня температура газів у димовій трубі 177 °C,
- температура навколишнього середовища 8 °C,
- швидкість газів у димовій трубі 20 м/с,
- приведена до нормальних умов густина повітря  $\rho_{пов} = 1,205 \text{ кг/м}^3$
- коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 1,4$



- необхідний діаметр – 0,58 м.

У виборі матеріалу для димової труби необхідно враховувати різні умови експлуатації та конструкційні обмеження:

1. Цегляні труби: Визначені висотними та діаметральними обмеженнями (від 30 до 70 м та 0,6 до 8 м відповідно). Зазначте, якщо більше або менше, чим вказано, вони можуть не задовольняти вимоги.
2. Залізобетонні труби: Мають широкі розмірні можливості, але обмежені діаметром до 10 м та висотою до 300 м.
3. Сталеві труби: Мають обмеження по висоті до 40 м та діаметра від 0,4 до 1 м.

Якщо витрата палива не перевищує 5 т/добу, то висота труби може бути меншою за 30 м, при більших витратах може бути істотно скорочено термін служби димової труби.

Отже, сталева димова труба діаметром 0,58 м та висотою 32 м відповідає вказаним умовам та вимогам.

#### 4.3 Заходи з техніки безпеки в котельні

Для того, щоб забезпечити безперебійну та безпечну експлуатацію підібраних котельних установок типу КСВа-2,0 та RRК 1000 наступні заходи. Встановлюються запобіжні та зворотні клапани, а також контрольно вимірювальні прилади (КВП). Перевіряються на герметичність трубопроводи і засувки. Передбачається аварійна сигналізація і два виходи із котельні.

Керівництво котельні забезпечує утримання котлів у справному стані та безпечні умови їх експлуатації шляхом організації належного обслуговування. Людина, яка відповідає за безпечну експлуатацію та справність котлів повинна мати спеціальну теплотехнічну освіту.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		73



роботи. Перебування робітника всередині котла або газоходу при цих температурах не повинно перевищувати 20 хв. Перед закриттям люків і лазів необхідно перевірити, чи немає всередині котла людей або сторонніх предметів, а також наявність і справність пристроїв, встановлених всередині котла.

#### *Вимоги безпеки перед пуском котлів*

Перед тим як розпочати розпалювання котла, слід уважно перевірити готовність котла та допоміжного обладнання до роботи шляхом ретельного огляду. Під час перевірки необхідно звернути увагу на наступне:

- Справність топки і газоходів, запірних та регулюючих пристроїв.
- Справність контрольно-вимірювальних приладів, арматури, живильних пристроїв, димососів і вентиляторів, а також наявність природної тяги.
- Справність обладнання для спалювання рідкого і газоподібного палива у котлів, які працюють на цих видах палива.
- Заповнення котла водою до позначки нижчого рівня.
- Чи тримається рівень води в котлі і чи немає пропускання води через лючки, фланці та арматуру.
- Чи немає заглушок перед і після запобіжних клапанів, на газопроводах, на живильній, спускній та продувальній лініях.
- Відсутність у топці та газоходах людей або сторонніх предметів.

Якщо в котлі не було води, його необхідно заповнювати водою поступово, спочатку відкривши всі повітряні клапани та закривши продувальну і спускную арматуру. При температурі обмурівки нижче 0°C заповнювати котел слід підігрітою водою.

Безпосередньо перед розпалюванням котла необхідно провести вентиляцію топки і газопроводів протягом 10–15 хвилин, відкривши дверцят топки, піддувала, шиберів для регулювання подачі повітря, заслінок природної тяги. При наявності димососів і вентиляторів, їх слід включити. До включення димососів для вентиляції топки і газоходів у котлів, що працюють на газоподібному паливі, необхідно переконатися, що ротор не зачіпає корпусу димососа, для чого ротор слід прокрутити вручну.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		75



- Запалювати газовий факел від сусіднього пальника.
- Стояти перед оглядовими отворами (люками) під час запалювання пальників або розпалювання форсунок, щоб уникнути опіку від полум'я.

Після розпалювання котла на газоподібному паливі слід виконувати наступні кроки для запуску пальників і упевнення в справності обладнання:

Запалювання пальників:

1. Внести запальник в топку до устя пальника, який буде включено.
2. Подати газ, повільно відкриваючи засувку перед пальником.
3. Стежити, щоб пальник запалився негайно.

Тут же почати подачу повітря, потім збільшити подачу газу і повітря, регулюючи розрідження в топці і полум'я в пальнику.

Якщо полум'я запальника погасло:

1. Негайно припинити подачу газу в пальник, вийняти запальник з топки.
2. Провентилювати топку та газоходи протягом 10–15 хвилин.
3. Тільки після цього можна повторно запалювати пальники.

При наявності кількох пальників запалювати їх треба послідовно.

Якщо при розпалюванні погасне частина або всі запалені пальники, припинити подачу газу, вийняти запальник та провентилювати топку та газоходи перед повторним запалюванням.

Заборони:

1. Запалювати газ в топці, коли він погас, без попереднього вентилювання топки і газоходів.
2. Запалювати газовий факел від сусіднього пальника.
3. Стояти перед оглядовими отворами під час запалювання пальників або розпалювання форсунок (для уникнення опіків).
4. Обережно підтягувати болти, люки і лази під час розпалювання котла, використовуючи нормальний ключ, без застосування подовжуючих важелів в присутності відповідальної особи по котельній.

*Перед включенням котла в роботу необхідно:*

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		77

1. Впевнитися в справності запобіжних клапанів, водовказів, манометрів, живильних пристроїв, автоматики безпеки, сигналізаторів та апаратури автоматичного управління котлом. У разі виявлення несправностей заборонити пуск котлів.
2. Перевірити покази рівня води за допомогою водовказів та інших вимірювальних приладів.

При включенні котла в роботу необхідно:

- Повільно включати котел після прогрівання та продування паропроводу.
- Стежити за справністю компенсаторів, опор і підвісок під час прогрівання.
- При виникненні вібрації або різких ударів припинити прогрівання до усунення дефектів.

*Вимоги безпеки під час роботи котельні*

Особливу увагу під час роботи треба приділяти:

- не допущенню підвищення тиску в котлі понад дозволений;
- підтриманню нормального рівня води в котлі та рівномірному живленню його водою;
- нормальній роботі пальників;
- підтриманню температури теплоносія, а також температури живильної води після економайзера.

Необхідно також перевіряти справність дії манометрів за допомогою триходових кранів або запірних вентилів, що замінюють їх не рідше одного разу за зміну.

Для збільшення навантаження при роботі на газовому паливі слід поступово додати подачу газу, потім повітря й відрегулювати тягу; для зменшення – зменшити подачу повітря, потім газу й відрегулювати тягу.

Якщо при роботі котла на газі погаснуть усі пальники або частина з них (припиниться подача повітря в пальники, які працюють з примусовою подачею повітря, або різко підвищиться тиск газу перед пальниками), слід негайно припинити подачу газу в пальники, перекривши для цього

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		78





– припинити тягу, закривши димову заслінку, топкові та піддувальні дверцята (при механічній топці припинити тягу після охолодження решітки).

Забороняється гасити паливо, засипаючи його свіжим паливом або заливаючи водою. Порядок консервації зупинених котлів має відповідати інструкції з монтажу та експлуатації котлів заводу-виробника. До повного припинення горіння в топці, видалення з неї залишків палива і зниження тиску до нуля забороняється залишати котли без нагляду.

#### 4.4 Заходи протипожежної безпеки

Пожежа — це процес горіння, яке не контролюється й швидко розповсюджується в просторі та часі. Під час пожежі знищуються або пошкоджуються матеріальні цінності, відбувається негативний вплив на довкілля, виникає загроза для життя людей.

Приміщення котельні належить до категорії «Г».

У котельнях, як об'єктах підвищеної пожежної небезпеки необхідно суворо дотримуватися пожежних вимог. Основним нормативним документом з пожежної безпеки є:

ДБН В. 1.1-7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва».

Для підвищення рівня пожежної безпеки використовується автоматична система пожежної сигналізації, виконана відповідно до вимог ДБН В.2.5-13-98.

Місце розташування, кількість, умови зберігання та обслуговування вогнегасників встановлюються ДСТУ 3675-98 та ISO 3941-77.

Електробезпека на ділянках робіт і робочих місцях має відповідати ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом» та ДСТУ 7237:2011

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		81



- Застосування засобів колективного та індивідуального захисту для забезпечення безпеки людей від небезпечних чинників пожежі [15].

Приміщення котельної, котли і все обладнання треба тримати у справному стані і належній чистоті. Забороняється захаращувати приміщення котельної або зберігати в ньому будь-які матеріали і предмети. Проходи в котельному приміщенні і виходи з нього мають бути завжди вільні. Двері для виходу з котельної повинні легко відкриватись.

Якщо в котельній, яка працює на газоподібному паливі, не працювали всі котли, то при вході до неї перевірити газоаналізатором наявність газу в приміщенні. При виявленні ознак загазованості включення і виключення електроосвітлення та електрообладнання, розпалення котлів, а також користування відкритим вогнем забороняється.

При роботі в котлі, на його площадках і в газоходах для електроосвітлення слід застосовувати напругу не вище 12 В.

#### 4.5 Екологічна безпека

Під час експлуатації обладнання котельні, згідно з проектом дипломної роботи, передбачено мінімізацію негативного впливу на природне середовище, а також ефективно усунуто викиди шкідливих димових газів, що можуть впливати на здоров'я людей та інших організмів, які мешкають поблизу котельні.

Використання котельної установки на біомасі також збереженню довкілля, пом'якшенню впливу функціонування котельні на навколишнє середовище, зменшенню викидів парникових газів.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		83

## ВИСНОВКИ

1. Досліджено питання роботи котельних установок на біомасі.
2. Розглянуто енергозберігаючі заходи, які є актуальними для впровадження на діючих котельнях України.
3. Досліджено роботу газової котельні в м. Миргород, виконано креслення котельного залу, детальної теплової схеми та теплових мереж та розроблено рекомендації для енергозбереження в котельні та передбачена реконструкція з встановленням котла на біомасі.
4. Проаналізовані експлуатаційні дані котельні за 2022-2023 р.р. і розроблена пропозиція щодо використання когенераційної установки на біомасі для генерації теплової та електричної енергії та можливості забезпечення безперервного гарячого водопостачання протягом року.
5. Обґрунтовано вибір біомасового палива у вигляді тріски
6. Розраховано теплотворну здатність тріски та коефіцієнт надлишку повітря на горіння. Теплотворна здатність тріски, розрахована за формулою Менделєєва, складає 15,05 МДж/кг, що є більшим за максимальне табличне значення 12 МДж/кг і помітно нижче за теплотворну здатність вугілля АРШ – 27,555 МДж/кг.
7. Коефіцієнт надлишку повітря для тріски є істотно більшим, ніж для природного газу, його значення є близьким до вугілля АРШ.
8. Передбачена реконструкція системи вентиляції котельного залу для забезпечення необхідного повітрообміну та забезпечення подачі кисню для твердопаливного та газових котлів.
9. Виконано креслення когенераційної установки на біомасі.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		84



12. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. «Будівельна кліматологія» Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011.
13. ДБН В.2.5-77:2014. Котельні. – Київ, 2014.
14. «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». Практичний посібник / За ред. Г. Гелетука. – К.: «Поліграф плюс», 2015. – 72 с. [електронний ресурс]. – Режим доступу:  
<https://saee.gov.ua/sites/default/files/secbiomass-booklet-heat-production%20%281%29.pdf>
15. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України (для представників державних та комунальних установ) / В. Антоненко, В. Зубенко, Є. Олійник, С. Радченко. К., 2014. – 64 с.
16. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». Практичний посібник / За ред. Г. Гелетука. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 104 с.
17. Гелетука Г., Железная Т., Кучерук П., Олейник Е., Трибой А. Биоэнергетика в Украине: современное состояние и перспективы развития. часть 1 // Пром. теплотехника. – 2015. – т. 37, № 2. – С. 68–70.
20. Куба В.В. Теплоенергетичні установки: розрахунок і проектування: навчальний посібник / В.В. Куба, В.В. Серета. – Рівне: НУВГП, 2011. – 154 с.
21. Степанов Д. В. Котельні установки промислових підприємств : навчальний посібник / Д. В. Степанов, Є. С. Корженко, Л. А. Боднар – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 120 с.
22. Жидецький В.Ц. «Основи охорони праці» / В.Ц. Жидецький, В.С.Джигирей, О.В. Мельніков. – Львів: «Афіша», 2000. – 150 с.
23. НПАОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. – К: Міністерство соціальної політики України, 2018.

						<i>601-МНТ 19062 МР</i>	Арк.
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		86



## ДОДАТКИ

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

## Режимні карти котлів



"Затверджую"  
Гол.інженер КП "Миргородтеплоенерго"  
І.В.Макаренко  
"01" жовтня 2021 р.

## Режимна карта

роботи водогрійного котла КБНГ-2,5 ст.№1,  
встановленого в котельні по вул. Шишацька,80 м.Миргород  
паливо - газ

Назва величини	Позн.	Розм.	Навантаження котла, %			
			41	49	73	81
1. Теплова потужність	Q <sub>к</sub>	Гкал/час	1.03	1.24	1.82	2.02
2. Витрати води через котел (розрахунковий)	G <sub>к</sub>	м <sup>3</sup> /час	86.10	88.38	86.78	87.67
3. Тиск води: перед котлом	P <sub>к</sub>	кгс/см <sup>2</sup>	5	5	5	5
після котла	P <sub>к"</sub>	кгс/см <sup>2</sup>	4.3	4.3	4.3	4.3
4. Температура води: перед котлом	t <sub>к</sub>	°С	55	57	58	60
після котла	t <sub>к"</sub>	°С	67	71	79	83
5. Витрата газу на котел (при Q <sub>н</sub> = 8231ккал/нм <sup>3</sup> )	V <sub>г</sub>	нм <sup>3</sup> /час	134.487	161.058	237.217	262.468
6. Тиск газу перед котлом	P <sub>газа</sub>	кг/см <sup>2</sup>	150	130	120	100
7. Тиск палива перед пальником	P <sub>г</sub>	кг/м <sup>2</sup>	20	30	50	60
8. Тиск повітря перед пальником	P <sub>в</sub>	кг/м <sup>2</sup>	20	23	47	58
9. Температура холодного повітря	t <sub>хв</sub>	°С	21	21	21	21
10. Розрідження в топці	S <sub>т</sub>	кг/м <sup>2</sup>	2.8	2.5	1.8	1.5
11. Температура димових газів за котлом	T <sub>ух</sub>	°С	90	100	112	120
Об'ємна концентрація:						
вуглекислий газ	CO <sub>2</sub>	%	9.7	10	10.4	10.3
кисень	O <sub>2</sub>	%	3.7	3.2	2.5	2.6
окис вуглецю	CO	мг/м <sup>3</sup>	0	5	5	4
окис азоту	NO	мг/м <sup>3</sup>	150	125	140	149
12. Коефіцієнт надлишку повітря після котла	α	-	1.162	1.144	1.198	1.135
13. Втрати тепла з димовими газами	q <sub>2</sub>	%	3.20	3.67	4.35	4.62
14. Втрати тепла з хім. недопалом	q <sub>3</sub>	%	0	0.039	0.041	0.031
15. Втрати тепла в навколишнє середовище	q <sub>5</sub>	%	0.968	0.808	0.549	0.496
16. ККД котла "брутто" по зворотньому балансу	η <sub>бр</sub>	%	95.83	95.48	95.06	94.85
17. Витрати умовного палива на утворення 1Гкал тепла	V <sub>у</sub>	кут/Гкал	149.069	149.621	150.277	150.609
18. Витрати газу на утворення 1 Гкал тепла	V <sub>г</sub>	нм <sup>3</sup> /Гкал	126.315	126.783	127.338	127.619
19. Масова концентрація приведена к а=1:						
оксиди азоту в перерахунку на діоксид азоту	C <sub>α=1</sub> <sup>NO<sub>2</sub></sup>	мг/м <sup>3</sup>	177	145	170.8	171.35
оксидів вуглецю	C <sub>α=1</sub> <sup>CO</sup>	мг/м <sup>3</sup>	0	5.8	6.1	4.6
20. Питомий викид на 1 Гкал виробляемого тепла:						
оксиди азоту в перерахунку на діоксид азоту	b <sub>NO</sub>	мг / Гкал	184.655	151.831	179.63	180.607
оксидів вуглецю	b <sub>CO</sub>	мг / Гкал	0	6.073	6.415	4.849

Склад:технік ТВ

Попик В.О.

										Арк.
										88
Зм.	Лист	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	601-МНТ 19062 МР				



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Головний інженер

КП "Миргородтеплоенерго"

Макаренко

“ ” листопад 2021 р.

**РЕЖИМНА КАРТА**  
експлуатації котла КСВа-2,0 ст.№2

встановленого на котельні по вул. Шишацька,80а, м. Миргород

№ п/п	Найменування величини	Розмірність	Навантаження				
			1	2	3	4	
ВОДА	Теплопродуктивність	Гкал/год	<b>0.66</b>	<b>1.04</b>	<b>1.25</b>	<b>1.48</b>	
	Витрати води через котел	м <sup>3</sup> /год	100	100	100	100	
	Температура води на вході в котел	°С	43	43	43	43	
	Температура води на виході з котла	°С	50	53	56	58	
	Тиск води на вході в котел	кгс/см <sup>2</sup>	5	5	5	5	
	Тиск води на виході з котла	кгс/см <sup>2</sup>	4.6	4.6	4.6	4.6	
ГАЗ	Тиск палива перед клапанами	кПа	33	32	32	32	
	Витрати палива через котел	нм <sup>3</sup> /год	88	136	163	192	
	Тиск палива перед пальником	кПа	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	
ПОВІТРЯ	Тиск повітря перед пальником	кПа	<b>0.45</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>	
ДИМО ВІ ГАЗИ	Температура повітря	°С	24	24	24	24	
	Розрідження за котлом	Па	95	105	100	100	
	Температура відхідних газів	°С	83	110	118	129	
	Вміст у відхідних газах:	CO <sub>2</sub>	%	6.7	9.2	9.8	10.3
		O <sub>2</sub>	%	9	4.5	3.5	2.6
	Коефіцієнт надлишку повітря			1.67	1.24	1.18	1.12
Концентрація, приведена до н.у. та α=1:	CO	мг/м <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	27.63	
	NO <sub>x</sub>	мг/м <sup>3</sup>	123.70	193.99	190.86	145.55	
ТЕХ НИКО- ЕКО НОМІ ЧНІ ПОКА ЗНИ КИ	Втрати тепла: з відхідними газами	%	3.7	3.9	4	4.3	
	від хімічного недопалу	%	0.00	0.00	0.00	0.01	
	у навколишнє середовище	%	6.68	4.32	3.60	3.06	
	ККД котла „брутто”	%	89.62	91.78	92.40	92.63	
	Питомий викид:	CO	г/Гкал	0.00	0.00	0.00	33.88
		NO <sub>x</sub>	г/Гкал	138.03	216.53	206.57	193.24
		CO	г/1000м <sup>3</sup>	0.0	0.00	0.00	260.80
		NO <sub>x</sub>	г/1000м <sup>3</sup>	1028.0	1651.5	1586	1487.5
	Секундний викид:	CO	г/с	0.00	0	0	0.0139
		NO <sub>x</sub>	г/с	0.0251	0.0624	0.0718	0.0793
Питома витрата умовного палива на 1 Гкал виробленого тепла	кг у.п./Гкал		159.40	155.65	154.61	154.22	
Питома витрата натурального палива на 1 Гкал виробленого тепла	нм <sup>3</sup> /Гкал		134.27	131.11	130.24	129.91	

Примітка: Режимна карта складена при спалюванні природного газу з Q<sub>п</sub>=8310 ккал/нм<sup>3</sup> на пальнику ПГС-2,2Г н:

1. При зміні теплоти паління газу більш, ніж на 10%, а також після проведення кап. ремонту, реконструкції відхилення параметрів від нормальних значень необхідне проведення повторних випробувань для коректування режимної карти.

2. Межово-допустимі відхилення показників роботи котла, %:

- а) теплопродуктивність +/- 15;
- б) коефіцієнт надлишку повітря при роботі під розрідженням +/-5;
- в) температура живильної води, гарячого повітря +/-5;
- г) крайні значення різниці температур відхідних газів, та зовнішнього повітря +/-15.

Інженер-теплотехнік

Ст. майстер ВВ

 Кудін О.Г.

 Рибалко Ю.В.

Инв № подл	Подп. та дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. та дата

Зм.	
Лист	
№ док.м.	
Підпис.	
Дата	

## ДОДАТОК Б

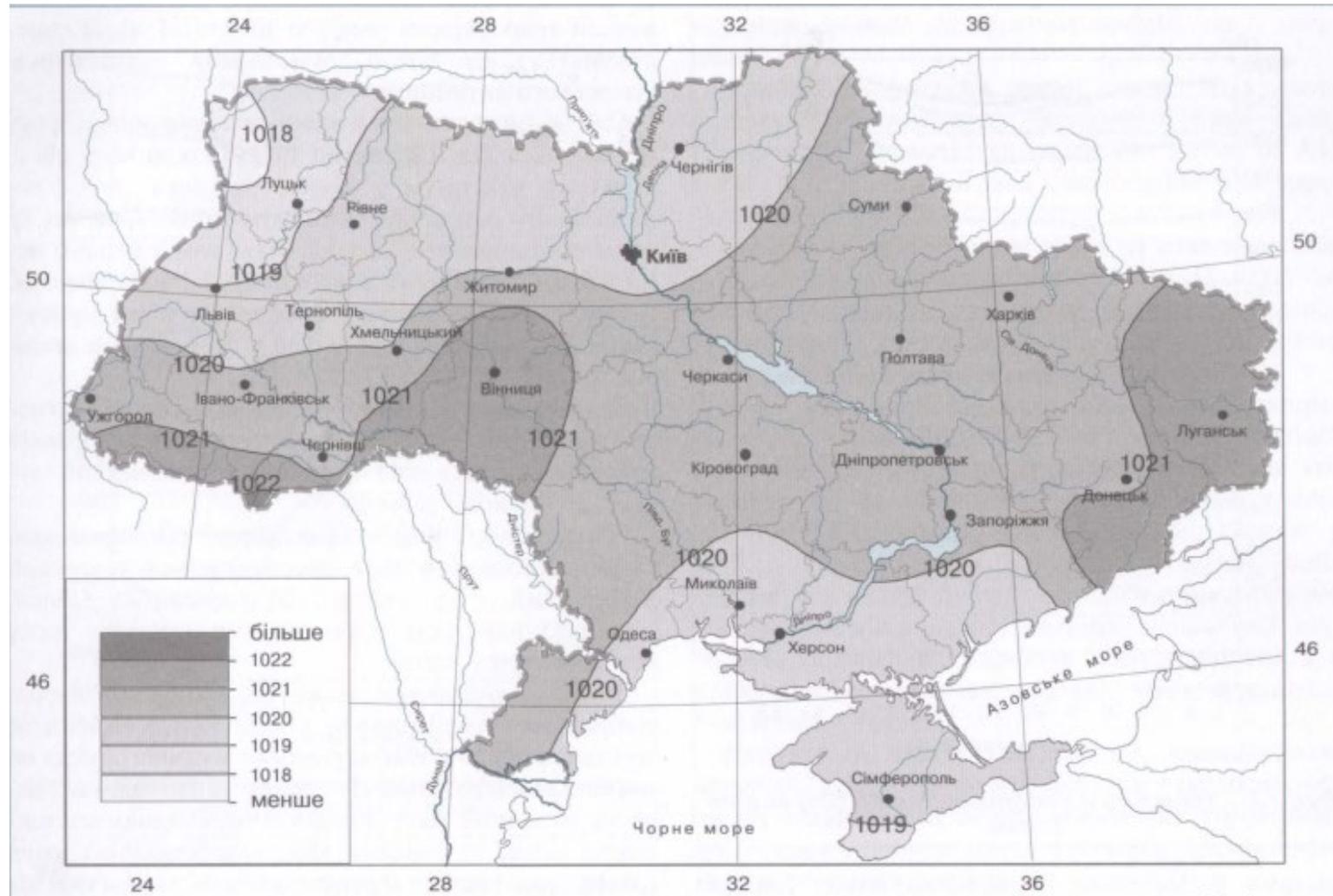


Рисунок Б.1 – Середній атмосферний тиск на рівні моря на території України в січні, гПа

БДНТ.10700939.МР

# РЕКОНСТРУКЦІЯ ГАЗОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ МІКРОРАЙОНУ В М. МИРГОРОД ЗА АДРЕСОЮ ВУЛ. ШИШАЦЬКА, 80А З ВСТАНОВЛЕННЯМ КОТЛА НА БІОМАСІ

МЕТА РОБОТИ – аналіз роботи діючої котельні та розроблення заходів для покращення її техніко-економічних характеристик.

## ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ:

- вивчити сучасний стан енергоефективності котелень в Україні;
- проаналізувати перспективи використання біомаси для генерації теплової енергії в котельнях;
- дослідити технологічне обладнання діючої котельні та проаналізувати показники її роботи;
- побудувати теплову схему котельні;
- виконати креслення газової котельні за адресою вул. Шишацька, 80а в м. Миргород;
- проаналізувати компоновку котельні, виконати її реконструкцію та встановити котел на біомасі;
- виконати оцінку економічної ефективності реконструкції.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ – котельня за адресою вул. Шишацька, 80а у м. Миргород .

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ – підвищення ефективності генерації теплової енергії.

## НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ:

- систематизовано інформацію щодо сучасного стану енергоефективності котелень в Україні;
- досліджено котельню мікрорайону та проведена її реконструкція для часткової заміни природного газу біомасою;
- застосовано рішення для сумісного виробництва теплової та електричної енергії завдяки когенераційній установці на трісці та відходах деревини.

## ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ:

- виконано дослідження перспектив переходу на біомасу в якості палива для генерації тепла на прикладі котельні;
- рекомендується до впровадження на комунальних теплоенергетичних підприємствах України;
- пропонується запровадити результати досліджень у навчальний процес на кафедрі.

					2024	6дНТ-10700939-МР		
						РЕКОНСТРУКЦІЯ ГАЗОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ МІКРОРАЙОНУ В М. МИРГОРОД ЗА АДРЕСОЮ ВУЛ. ШИШАЦЬКА, 80А З ВСТАНОВЛЕННЯМ КОТЛА НА БІОМАСІ		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив				Засць С.М.		Р	1	8
Перевірив				Чернецька І.В.				
Н. контроль				Галк Ю.С.		Мета і задачі дослідження		
Зад. кафедри				Галк Ю.С.				
						Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		

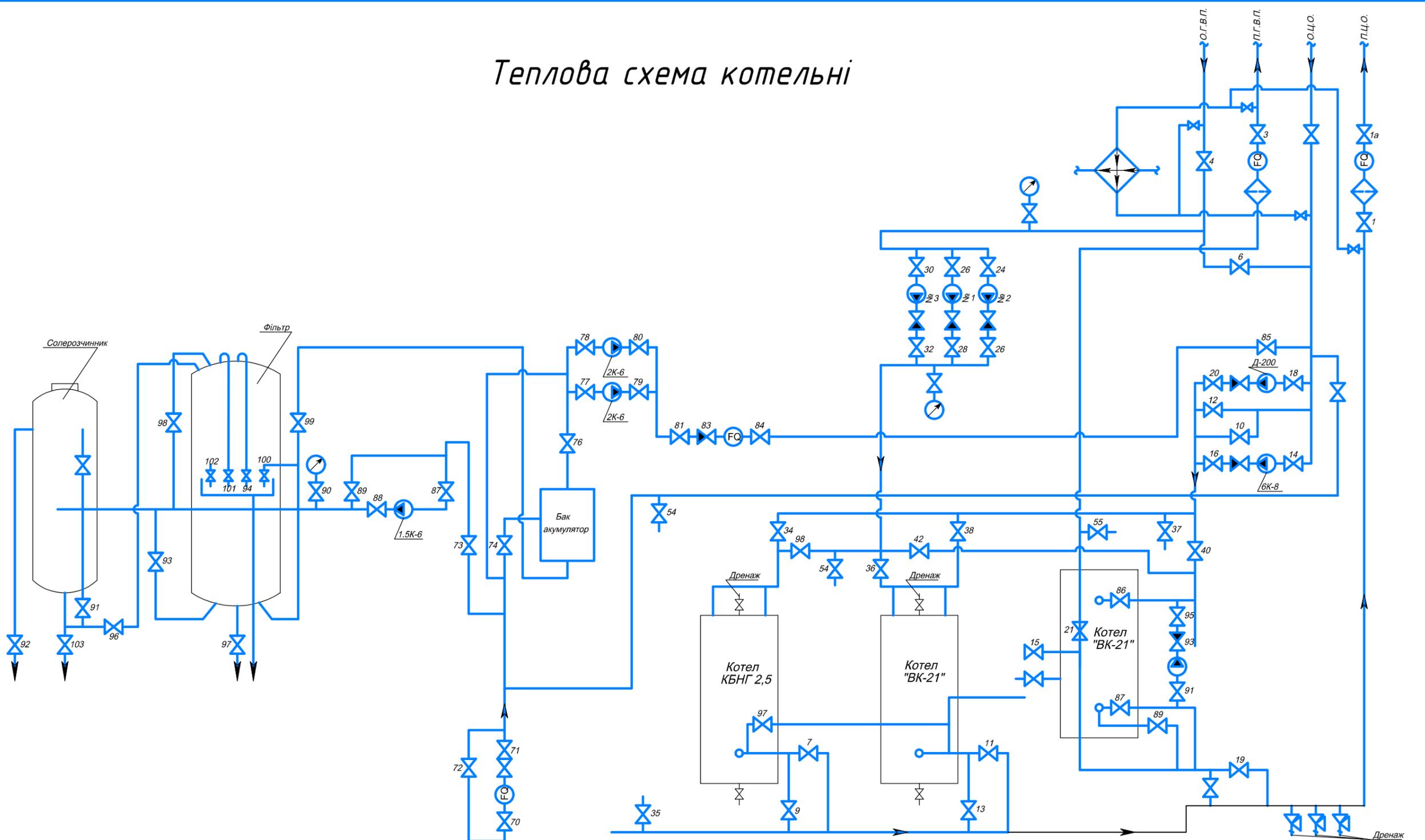
Погоджено:

Зам. інв. Ні

Підпис і дата

інв. Ні ар.

# Теплова схема котельні



					2024	6ДНТ-10700939-МР		
						РЕКОНСТРУКЦІЯ ГАЗОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ МІКРОРАЙОНУ В М. МИРГОРОД ЗА АДРЕСОЮ ВУЛ. ШИШАЦЬКА, 80А З ВСТАНОВЛЕННЯМ КОТЛА НА БІОМАСІ		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив				Заєць С.М.		Р		8
Перевірив				Чернецька І.В.				
Н. контроль				Голік		Теплова схема котельні		Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
Зав. каф.				Ю.С.				

# Параметри роботи котельні

Котельня	Тип споживача	ЦО	ГВП	ЦО+ГВП
		Гкал/год	Гкал/год	Гкал/год
Шишацька, 80-А	Населення	2,2389	0,1866	2,4255
	Бюджет	0,0020	0	0,0020
	Інші	0,0016	0,0002	0,0017
	Разом	2,2425	0,1868	2,4292

Адреса котельні (населений пункт)	Котельні агрегати				ККД, %
	Тип (модель) котла	Кількість котлів	Потужність одного котла, Гкал/год	Рік вводу в експлуатацію	
1	2	3	4	5	6
Шишацька, 80-А	"КБНГ-2,5"	1	2,5	1994	93
	КСВа-2,0Гс "ВК-21"	1	1,72	2016	91
	КСВа-2,0Гс "ВК-21"	1	1,72		91

Температурний графік теплової мережі котельні по вул. Шишацька, 80-А



	Газ, м <sup>3</sup>	Електрика, кВт	Вода, м <sup>3</sup>	Вироблено ТЕ Гкал	Подано в мережу Гкал
Жовтень 2022	17950	5284	52,00	152	149
Листопад 2022	67410	18792	68,00	577	565
Грудень 2022	90708	19142	65,00	731	715
Січень 2023	111412	25105	62,00	920	899
Лютий 2023	88668	22226	51,00	739	724
Березень 2023	89836	24364	47,00	764	746

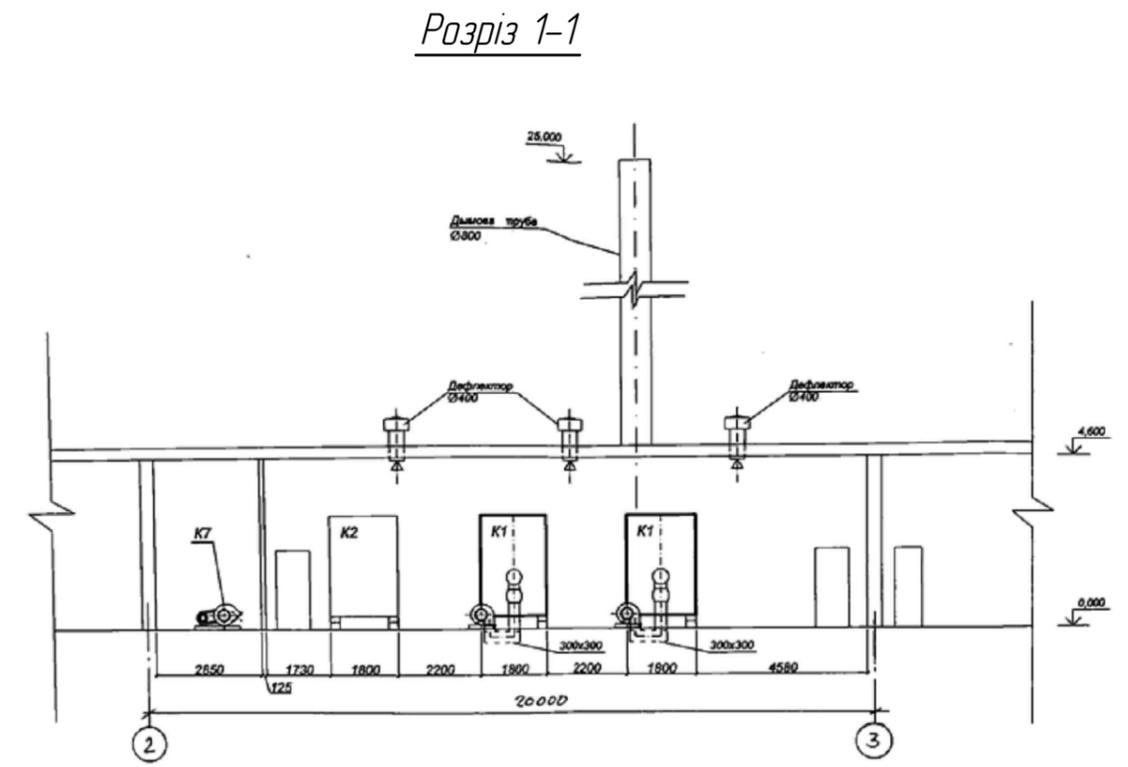
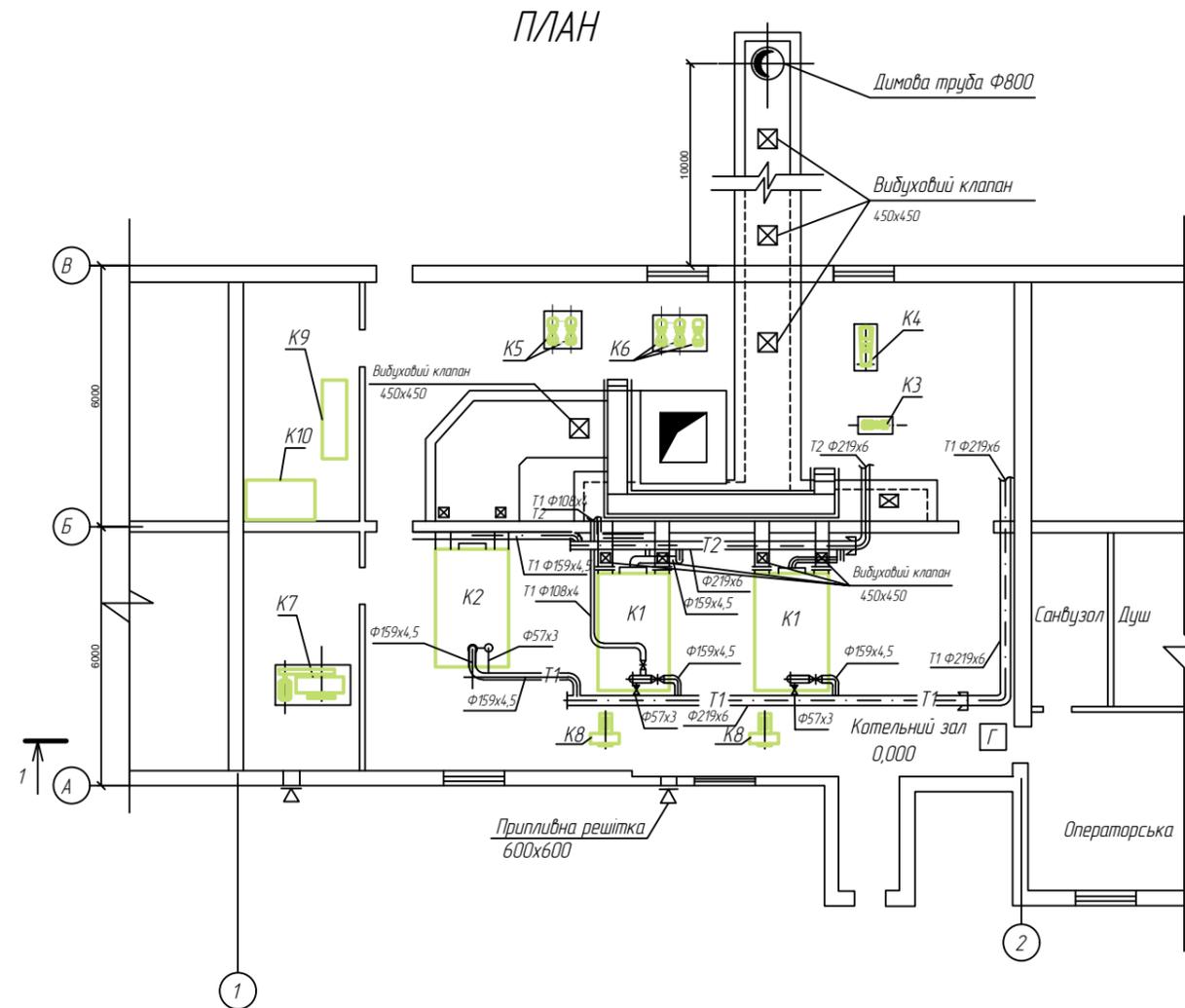
					2024	6дНТ-10700939-МР		
						РЕКОНСТРУКЦІЯ ГАЗОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ МІКРОРАЙОНУ В М. МИРГОРОД ЗА АДРЕСОЮ ВУЛ. ШИШАЦЬКА, 80А З ВСТАНОВЛЕННЯМ КОТЛА НА БІОМАСІ		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив		Засць С.М.				Р	8	8
Перевірив		Чернецька І.В.						
						Висновки		
						Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		
						Н. контроль Галк Ю.С.		
						Зад. кафедри Галк Ю.С.		

Погоджено:

Замінив:

Підпис і дата

інв. № ар.



**Специфікація обладнання**

Марка	Найменування	Кількість
K1	Котел водогрійний ВК-21	2
K2	Котел водогрійний КБНГ-2,5	1
K3	Насос мережевий 6К-8	1
K4	Насос мережевий Д200	1
K5	Насос підживлювальний 2К6	2
K6	Насос гарячої води 3К9	3
K7	Діффузійний вентилятор ВЦ 6-28-8	1
K8	Діффузійний вентилятор ВЦ 14-46-2,5	2
K9	Водопідготовча установка ВПУ-10-К	1
K10	Деаераційно-підживлювальна установка ВДПУ-3М	1

					2024	<b>бДНТ-10700939-МР</b>		
						РЕКОНСТРУКЦІЯ ГАЗОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ МІКРОРАЙОНУ В М. МИРГОРОД ЗА АДРЕСОЮ ВУЛ. ШИШАЦЬКА, 80А З ВСТАНОВЛЕННЯМ КОТЛА НА БІОМАСІ		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив	Засць С.М.					Р		8
Перевірив	Чернецька І.В.							
Н. контроль	Галк Ю.С.					Розміщення обладнання котельні Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		
Зад. кафедри	Галк Ю.С.							

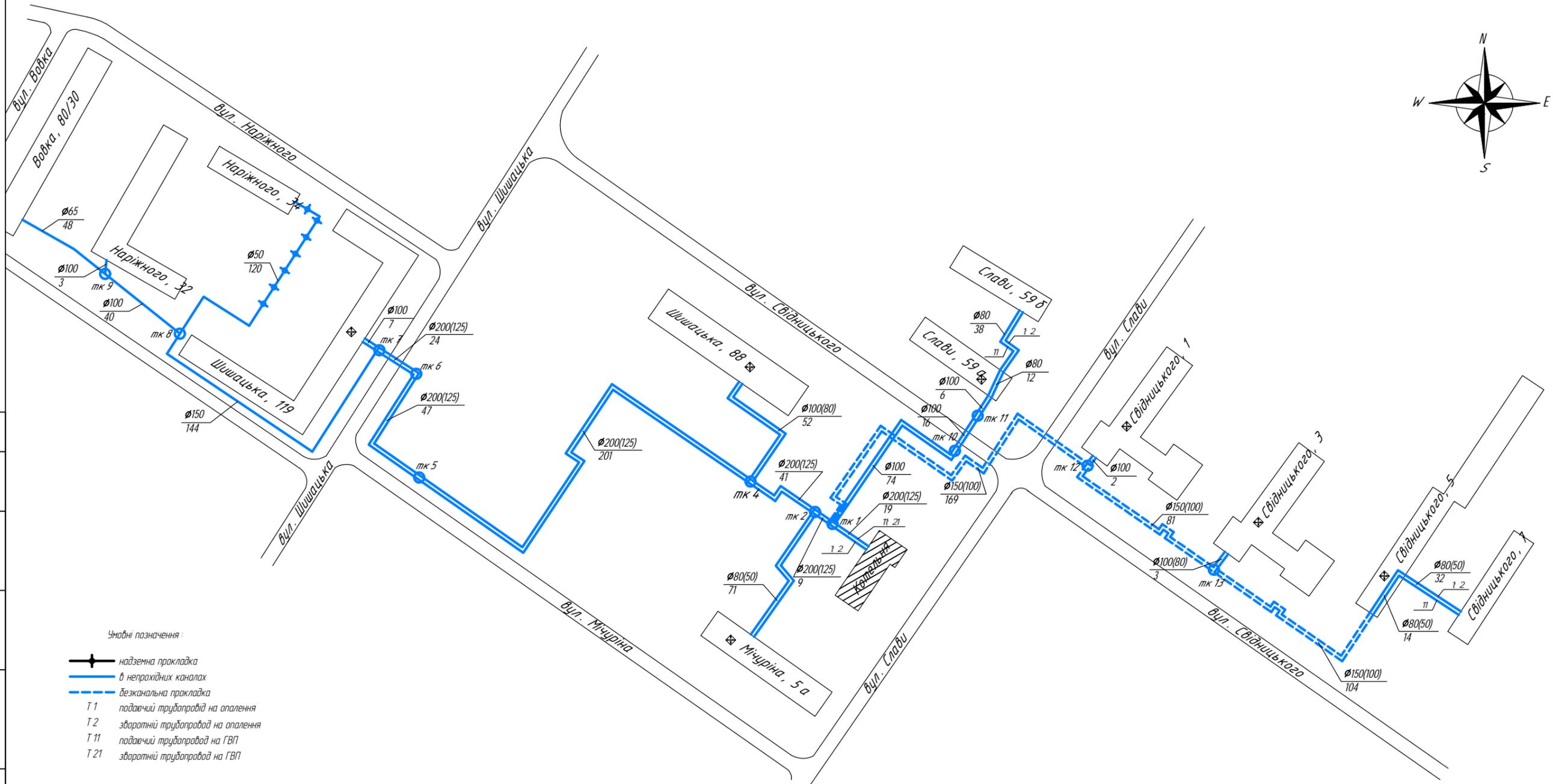
Погоджено:

Зам. інв. Ні

Підпис і дата

інв. Ні ар.

# Схема теплових мереж



Умовні позначення

- надземна прокладка
- в непрохідних каналах
- безканальна прокладка
- T 1 подавчий трубопровід на опалення
- T 2 зворотній трубопровід на опалення
- T 11 подавчий трубопровід на ГВП
- T 21 зворотній трубопровід на ГВП

Погоджено:

Зам. інв. Ні  
Підпис і дата  
інв. Ні ар.

					2024	6ДНТ-10700939-МР		
						РЕКОНСТРУКЦІЯ ГАЗОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ МІКРОРАЙОНУ В М. МИРГОРОД ЗА АДРЕСОЮ ВУЛ. ШИШАЦЬКА, 80А З ВСТАНОВЛЕННЯМ КОТЛА НА БІОМАСІ		
Зм.	Кільк.	Арк. № док.	Підпис	Дата		Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив		Заєць С.М.				Р		8
Перевірив		Чернецька І.В.						
Н. контроль		Галк Ю.Є.				Схема теплових мереж		
Зав. кафедри		Галк Ю.Є.				Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		

# Обладнання котельні



Погоджено:

Зам. інв. №

Підпис і дата

інв. № ар.

					2024	бдНТ-10700939-МР		
						РЕКОНСТРУКЦІЯ ГАЗОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ МІКРОРАЙОНУ В М. МИРГОРОД ЗА АДРЕСОЮ ВУЛ. ШИШАЦЬКА, 80А З ВСТАНОВЛЕННЯМ КОТЛА НА БІОМАСІ		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив			Засць С.М.			Р		8
Перевірила			Чернецька І.В.					
Н. контроль			Галк Ю.С.			Обладнання котельні		Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
Заб. кафедри			Галк Ю.С.					



## ВИСНОВКИ

1. Досліджено питання роботи котельних установок на біомасі.
2. Розглянуто енергозберігаючі заходи, які є актуальними для впровадження на діючих котельнях України.
3. Досліджено роботу газової котельні в м. Миргород, виконано креслення котельного залу, детальної теплової схеми та теплових мереж та розроблено рекомендації для енергозбереження в котельні та передбачена реконструкція з встановленням котла на біомасі.
4. Проаналізовані експлуатаційні дані котельні за 2022-2023 р.р. і розроблена пропозиція щодо використання когенераційної установки на біомасі для генерації теплової та електричної енергії та можливості забезпечення безперервного гарячого водопостачання протягом року.
5. Обґрунтовано вибір біомасового палива у вигляді тріски
6. Розраховано теплотворну здатність тріски та коефіцієнт надлишку повітря на горіння. Теплотворна здатність тріски, розрахована за формулою Менделєєва, складає 15,05 МДж/кг , що є більшим за максимальне табличне значення 12 МДж/кг і помітно нижче за теплотворну здатність вугілля АРШ - 27,555 МДж/кг.
7. Коефіцієнт надлишку повітря для тріски є істотно більшим, ніж для природного газу, його значення є близьким до вугілля АРШ.
8. Передбачена реконструкція системи вентиляції котельного залу для забезпечення необхідного повітрообміну та забезпечення подачі кисню для твердопаливного та газових котлів.
9. Виконано креслення когенераційної установки на біомасі .

						2024	<i>бдНТ-10700939-МР</i>		
						<i>РЕКОНСТРУКЦІЯ ГАЗОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ МІКРОРАЙОНУ В М. МИРГОРОД ЗА АДРЕСОЮ ВУЛ. ШИШАЦЬКА, 80А З ВСТАНОВЛЕННЯМ КОТЛА НА БІОМАСІ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Кільк.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Засць С.М.</i>					<i>Стадія</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>	
<i>Перевірив</i>	<i>Чернецька І.В.</i>					Р	8	8	
						<i>Висновки</i>			
<i>Н. контроль</i>		<i>Галж Ю.С.</i>				<i>Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"</i>			
<i>Заб. кафедри</i>		<i>Галж Ю.С.</i>							

Погоджено:			
Зам. інв. №			
Підпис і дата			
інв. № ар.			