

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ**

Кваліфікаційна робота
другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз і вибір оптимальної теплової схеми котельні виробничо-складського комплексу у смт. Меліоративне

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1449з
спеціальності 144 Теплоенергетика
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Теплоенергетика
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

А.І. Рогач

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент к.т.н. Каюков Ю.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент професор д.т.н. Чейлитко А.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 144 Теплоенергетика
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
«01» грудня 20 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Рогач Альоні Ігорівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Аналіз і вибір оптимальної теплової схеми котельні у смт. Меліоративне

керівник роботи Каюков Ю.М. доцент к.т.н.

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

затверджені наказом ЗНУ від «25» травня 2020 року № 601-с


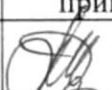
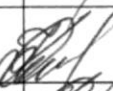

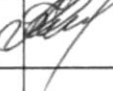

2 Строк подання студентом роботи «20» листопада 2020 року

3 Вихідні дані до роботи Витрата теплоти на опалення і вентиляцію 0,98 МВт. Витрата теплоти на гаряче водопостачання 0,07 МВт. Витрата теплоти на технологічні потреби 1,664 МВт. Витрата теплоти на власні потреби 0,07 МВт. Витрата пара на технологію 2400 кг/год. Повернення конденсату (95 °С) 90 %.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз об'єкту дослідження. 2. Еколого-теплотехнічні випробування котлів. 3. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного обладнання

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. План розміщення обладнання. 2. Теплова схема водогрійної котельні. 3. Теплова схема парової котельні. 4. Залежності основних параметрів парових котлів від їх паропродуктивності. 5. Режимні карти парових та водогрійних котлів.

6 Консультанти розділів роботи

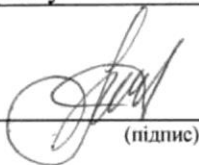
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Загальний розділ	Каюков Ю.М. Доцент кафедри ТГЕ	 05.05.20	
Спеціальний розділ	Каюков Ю.М. Доцент кафедри ТГЕ	 05.05.20	
Охорона праці	Каюков Ю.М. Доцент кафедри ТГЕ	 05.05.20	

7 Дата видачі завдання «05» травня 2020 року _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз об'єкту дослідження. Збір даних про ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»	05.05 — 26.05	
2	Характеристика основного та допоміжного обладнання котельні виробничо-складського комплексу ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»	27.05 — 17.06	
3	Еколого-теплотехнічні випробування котлів	18.06 — 23.08	
4	Рекомендації та інструкція по раціональному використанню палива	24.08 — 21.09	
5	Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного обладнання	22.09 — 18.10	
6	Розробка графічного та презентаційного матеріалу	19.10 — 20.11	

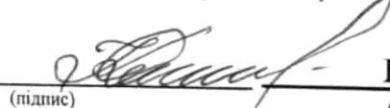
Студент _____


(підпис)

А.І. Рогач _____

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____

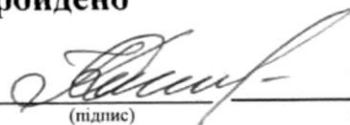

(підпис)

Ю.М. Каюков _____

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____


(підпис)

Ю.М. Каюков _____

(ініціали та прізвище)

ABSTRACT

Rogach AI Analysis and selection of the optimal thermal scheme of the boiler room of the production and storage complex in the village of Reclamation.

Qualifying graduate work for a master's degree in specialty 144 - Heat Power Engineering, supervisor Y.M. Kayukov. Engineering Initial Research Institute of Zaporizhia National University, 2020.

The analysis of the thermal scheme of heat supply and steam supply of the boiler room of the production and storage complex in the village of Reclamation. A description and analysis of the main and auxiliary equipment of the boiler room (boilers, pumps, deaerators) was performed. The main technical and economic indicators of the boiler house are determined.

Ecological and thermal tests of the existing steam and hot water boilers installed in the boiler room of the production and storage complex were carried out. Measures have been developed to increase the reliability of economics of boilers and proposals to reduce emissions of pollutants into the atmosphere. Regime maps of steam and hot water boilers have been compiled.

Occupational safety and health measures are envisaged. The calculation of thermal insulation and heat losses of the heating supply pipeline of the production and storage complex is performed.

Key words: boiler house, heating, heat losses, heat supply, productivity, heat productivity, fuel, burner, pump, ecological and thermal tests, thermal scheme.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1 Загальні дані про ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»	11
1.1.1 Опис місцевості смт. Міліоративе	11
1.1.2 Історія створення ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»	11
1.1.3 Загальний опис опалювально-виробничої котельні ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»	12
1.2 Характеристика основного та допоміжного обладнання котельні виробничо-складського комплексу ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»	16
1.2.1 Загальна характеристика парогенератора «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250	17
1.2.2 Загальна характеристика водогрійного котла «Ferrolі» PREXTHERM RSW (525 кВт)	20
1.2.3 Характеристика допоміжного обладнання котельні	22
1.3 Характеристика, класифікація джерел теплопостачання	23
1.3.1 Характеристика джерел теплопостачання	23
1.3.2 Класифікація систем теплопостачання	25
1.3.3 Теплопостачання від парових, водогрійних та пароводогрійних котелень	26
1.4 Особливості пароводогрійних котелень	27
1.5 Основні технічні рішення та техніко-економічні показники пароводогрійної котельні виробничо-складського комплексу ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»	29
1.5.1 Теплова схема теплопостачання пароводогрійної опалювально- виробничої котельні ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»	29
1.5.2 Теплова схема паропостачання пароводогрійної опалювально- виробничої котельні ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»	32

1.5.3 Газопостачання паро водогрійної котельні ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»	34
1.5.4 Водопостачання та каналізація котельні	35
1.5.5 Опалення та вентиляція котельні	36
1.5.6 Техніко-економічні показники пароводогрійної котельні	37
2 ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГО-ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ПАРОВИХ ТА ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ	38
2.1 Еколого-теплотехнічні випробування парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ HVP 1250 ст. №№ 1,2 та водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2	40
2.1.1 Склад та методика проведення еколого-теплотехнічних випробувань та налагоджувальних робіт	40
2.1.2 Специфікація вимірів, використаних приладів при еколого-теплотехнічних випробуваннях парових та водогрійних котлів	47
2.2 Результати проведення еколого-теплотехнічних випробувань парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ HVP 1250 ст. №№ 1, 2	49
2.2.1 Зведені відомісті обробки результатів випробувань парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ HVP 1250 ст. № 1 (зав. № 8380) та ст. № 2 (зав. № 8379)	49
2.2.2 Аналіз результатів випробувань парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ HVP 1250 ст. № 1, 2	57
2.3 Результати проведення еколого-теплотехнічних випробувань водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2	73
2.3.1 Зведені відомісті обробки результатів випробувань водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 (зав. № 1708A14003) та ст. № 2 (зав. № 1708A14002)	73
2.3.2 Аналіз результатів випробувань водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2	81
2.4 Рекомендації та інструкція по раціональному використанню палива	96
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	104

3.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного обладнання	105
3.1.1 Компонування основного і допоміжного устаткування	105
3.1.2 Організаційні заходи з техніки безпеки	108
3.1.3 Заходи по забезпеченню електробезпеки	108
3.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії	109
3.2.1 Заходи по забезпеченню мікроклімату	109
3.2.2 Заходи по оптимізації складу повітря в зоні постійного перебування персоналу	112
3.2.3 Технічні рішення та заходи щодо покращення умов праці	112
3.2.4 Заходи по оптимізації виробничого освітлення робочої зони персоналу	113
3.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	113
3.4 Технічні рішення з питань пожежної безпеки	115
3.5 Розрахунок теплоізоляції та теплових втрат трубопроводу подачі опалення виробничо-складського комплексу	115
ВИСНОВКИ	120
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	122

ВСТУП

Актуальність роботи. В наш час однією з найважливіших проблем є проблема економного та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, що обумовлена збільшенням вартості теплової енергії та палива для її виробництва. Це призвело до необхідності зменшення витрат енергії в процесі її виробництва на котельних.

Об'єкт дослідження – теплова схема та режими роботи котельні виробничо-складського комплексу у смт. Меліоритивне.

Предмет дослідження – методики вибору, встановлюваних котлів в котельні, процес вироблення тепла при одночасній роботі декількох котлів, характеристики процесу горіння в топці котла, системи управління режимами роботи котлів.

Мета роботи – аналіз теплової схеми котельні, підвищення енергоефективності процесів вироблення тепла шляхом оптимізації режимів роботи, встановлення оптимальних еколого-економічних режимів роботи котлів, мінімально-можливих витрат палива і викидів забруднюючих речовин в атмосферу та розробка рекомендацій по раціональному використанню палива.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- аналіз літературних джерел за тематикою дослідження;
- аналіз існуючих методик вибору котлів при проектуванні котельні та формування рекомендацій по вибору котлів;
- аналіз теплової схеми котельні виробничо-складського комплексу у смт. Меліоритивне;
- аналіз характеристик та режимів роботи існуючих котлів в котельні виробничо-складського комплексу у смт. Меліоритивне;
- розробка заходів, спрямованих на підвищення надійності економічності роботи котлів і пропозицій щодо зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Методи та засоби дослідження. Поставлені задачі вирішувались шляхом використання розрахунково-графічного методу з використанням стандартних методик, експериментального дослідження режимів роботи котельні, порівняльного аналізу. В роботі була використана технічна документація роботи котельні, теплова схема котельні, параметри води, димових газів, а також нормативні дані про необхідні параметри, наведені в інших теплоенергетичних джерелах.

Наукова новизна отриманих результатів. Визначені оптимальні режими роботи котельні, що підвищують енергоефективність процесів вироблення тепла. Розроблені рекомендації, спрямовані на поліпшення та підвищення економічності роботи котлів.

Практична цінність роботи полягає в наступному – розроблені режимні карти існуючих парових та водогрійних котлів, що дозволяють економічно використовувати обладнання.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні дослідження, виконані безпосередньо автором спільно із співробітниками Інженерного інституту Запорізького національного університету. Автору належать основні ідеї роботи, постановка завдання, обґрунтування основних припущень, теоретичні викладки та аналіз отриманих результатів і формування висновків за результатами проведених досліджень.

Апробація роботи. Положення роботи викладені на П'ятій Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної енергетики – 2020» та XXV науково-технічній конференції аспірантів, магістрів, студентів та викладачів Інженерного навчально-наукового інституту Запорізького Національного Університету.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань з 39 позицій. Загальний обсяг складає 125 сторінок, у тому числі 52 ілюстрації та 24 таблиці.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні дані про ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»

1.1.1 Опис місцевості смт. Міліоративне

Меліоративне – селище міського типу, Новомосковський район, Дніпропетровська область, Україна. Населення за переписом 2001 року складало 4519 чоловік. Сmt. Міліоративне адміністративним центром Меліоративного селищної ради, до якого не входять інші населені пункти.

Селище міського типу Меліоративне знаходиться на лівому березі річки Самара. Межує до села Знаменівка. Місцевість навколо являє собою заболочену степову територію складається з очеретяних і сфагнових боліт, а також численних солонцюватих заплавних лук. Через селище проходять автомобільні дороги М-18 (Е105), М-14 (Е50) і залізниця, станція Орловщина. Селище являє собою багатоповерхову забудову з добре розвиненою інфраструктурою.

Селище Меліоративне виникло в 1969 році в зв'язку з будівництвом каналу Дніпро-Донбас. З 1975 року – присвоєно статус «селище міського типу».

Характеристика смт. Міліоративне:

– об'єкти соціальної сфери (дитячий садок, дім культури, фельдшерсько-акушерський пункт);

– економіка (ВАТ «Новомосковський завод труб і метизних виробів», ВАТ «Новомосковський завод ЗБВ», ЗАТ «Орель-Лідер», ДП «Новомосковський ремонтно-механічний завод», Ремонтно-механічний завод 1990р. смт. Меліоративне, ТОВ «ДВЛ Компані»).

1.1.2 Історія створення ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»

В смт. Меліоративне, Дніпропетровської області почав роботу промисловий пивзавод «Fanatic Brewing Center» в планах якого створення на базі підприємства великого сучасного пивного освітнього центру.

«Fanatic Brewing Center» – перший і єдиний в Україні пивоварний центр, вічний двигун якого – найбільший в країні завод європейського рівня з сучасним обладнанням, спроектованим, виробленим і встановленим угорською компанією «ZIP Technologies» продуктивністю 4000 літрів/варіння. Найважливішою особливістю обладнання є його досконала автоматизація, досконала система управління і дистанційного контролю.

На площі 1800 м² тут розмістилися 2 варильних порядку, 2 заторних і 2 фільтр-чана, 2 вірпула і кілька рядів ЦКТ, кожен обсягом 24 тонни.

Також на підприємстві є міні-пивоварня (100 літрів/варіння), де на невеликому обсязі відпрацьовуються нові рецептури, створюються експериментальні сорти.

Виробництво запускалося за допомогою представників дніпровської пивоварні «First Dnipro Brewery» і мережі магазинів «Море пива». Також тут знаходиться і найбільший логістичний центр мережі «Море пива».

Офіційно компанія зареєстрована як Товариство з обмеженою відповідальністю «Дніпровський пивзавод № 2».

Виробничо-складський комплекс ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2» розташований за адресою: Дніпропетровська область, Новомосковський район, селище міського типу Меліоративне, вул. Заводська, будинок 4.

1.1.3 Загальний опис опалювально-виробничої котельні ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»

Опалювально-виробнича котельня розташована в окремій будівлі (розміри в осях 29,5 x 11,4 м). Приміщення котельного залу має внутрішні розміри 7,55 x 10,22 м і висоту стін 4,5 м. Також в цій будівлі розташовані побутові приміщення, приміщення водопідготовки та охорони. По надійності теплопостачання котельня відноситься до другої категорії.

Насичена пара, що виробляється котельною, призначена для паропостачання технологічного обладнання з виробництва пива.

Відповідно до технічного завдання спроектовано:

- встановлення поряд з котельною шафи вузла обліку газу та ШРП, подача в котельну газу середнього тиску;
- підключення котельні до зовнішніх мереж водопроводу та каналізації;
- встановлення систем опалення та вентиляції котельні;
- спорудження 4-х димових труб висотою 12 м;
- подача пара в зовнішній паропровід, прокладений від котельні по естакаді;
- подача тепла для теплопостачання систем ОВ виробничого корпусу;
- подача гарячої води в побутові приміщення.

Котельня виробничо-складського комплексу призначена для теплопостачання систем опалення та гарячого водопостачання підприємства, а також для виробництва технологічної пари ($P = 4,0 \text{ кгс/см}^2$, 2400 кг пари/год).

В котельні встановлені парогенератори «Ferrolі» VAPOPRES HVP (1,25 т/год) – 2 од. з газовими пальниками «Baltur» TBG 120 MC та водогрійні котли «Ferrolі» PREXTHERM RSW (525 кВт) – 2 од. з газовими пальниками «Baltur» TBG 60 MC. Загальна встановлена потужність – 2784 кВт. Основні показники котельні представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні показники котельні

Розрахунковий режим	Теплопродуктивність котельні, МВт/год				
	Витрата теплоти на опалення і вентиляцію, МВт (Гкал/год)	Витрата теплоти га гаряче водопостачання, МВт (Гкал/год)	Витрата теплоти на технологічні цілі (виробництво пари), МВт (Гкал/год)	Витрата теплоти на власні потреби, МВт (Гкал/год)	Загальна витрата теплоти, МВт (Гкал/год)
Холодний період	0,980 (0,843)	0,070 (0,060)	1,664 (1,431)	0,070 (0,060)	2,784 (2,394)
Теплий період	-	0,070 (0,060)	1,664 (1,431)	0,070 (0,060)	1,804 (1,551)

Теплоносій (вода) від водогрійних котлів розподіляється на:

- опалення та вентиляцію виробничого корпусу та адміністративно-побутового корпусу (тепло подається в тепловий пункт по зовнішній теплотрасі);

- опалення та вентиляцію побутовівок;

- повітряне опалення котельні та приміщення водопідготовки;

- гаряче водопостачання.

Теплоносій (пара) від парогенератора розподіляється на:

- технологічні потреби;

- підігрів деаератора.

Розрахункова теплова потужність систем опалення та вентиляції побутових приміщень, котельні і водопідготовки – 80 кВт.

Розрахункова теплова потужність систем опалення та вентиляції виробничого корпусу – 900 кВт.

Розрахункова теплова потужність нагріву гарячої води системи гарячого водопостачання – 70 кВт;

Розрахункова теплова потужність систем опалення, вентиляції і гарячого водопостачання – 1050 кВт;

Встановлена потужність (за проектом) – 1050 кВт;

Розрахункові температури теплоносія в системах:

- опалення, вентиляції (80 ... 60) °С;

- гарячого водопостачання (60 ... 50) °С.

Витрата пара на технологію (4 кгс/см²) – 2400 кг пари/год.

Витрата пари на власні потреби – 100 кг пари/год.

Встановлена продуктивність парових котлів – 2500 кг пара/год.

Повернення конденсату (95 °С) – 90 %.

Температура живильної води при тиску в деаераторі $P = 0,02$ МПа, $t=104,2$ °С.

Пара для споживачів подається з котельні по зовнішній естакаді.

Підживлення та заповнення системи водогрійних котлів та деаератора виконується підготовленою водою в автоматичному режимі. Обладнання водопідготовки розташоване в суміжному з котельною приміщенні.

Робота водогрійних котлів передбачається без обслуговуючого персоналу (в автоматичному режимі). Робота парогенераторів передбачається в автоматичному режимі з контролем кожні 24 години.

Газопостачання котельні здійснюється від газопроводу середнього тиску після ШРП, встановленого поряд з котельною. Вузол комерційного обліку встановлений безпосередньо перед ШРП. Основні показники по робочим кресленням марки ГПВ представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні показники по робочим кресленням марки ГПВ

Найменування	Об'єм, м ³	Найменування агрегату	Кількість, шт	Витрата газу м ³ /год		Тиск газу МПа
				на агрегат	загальна	
Котельня	347	Котел «Ferrolі» Варорех HVPn 867 кВт)	2	102,9	205,8	0,005
		Котел «Ferrolі» Prextherm RSW (525 кВт)	2	60,6	121,2	0,005

Розрахунковий тиск газу після ШРП – (0,03...0,05) МПа.

Розрахунковий тиск газу перед пальником котла – 0,005 МПа.

На ввіді газу в котельню встановлений автоматичний запірний клапан Ду 100 мм, який закривається при спрацьовуванні сигналізатора газу. Передбачено виведення сигналу «Загазованість» на шафу сигналізації, що знаходиться в приміщенні охорони.

Вентиляція котельні припливно-витяжна, природна з 3-кратним повітрообміном. Приплив повітря (4475 м³/год) для горіння та вентиляції здійснюється зовні через 2 жалюзійні решітки із загальним живим перетином 1,24 м². Витяжка (1042 м³/год) передбачена через два дефлектора діаметром 500 мм.

Відведення продуктів згорання від котлів передбачається металевими збірними газоходами діаметром 300/360 мм та 400/460 мм з теплоізоляцією 30 мм, встановленими в двох витяжних башнях. На газоходах передбачені ревізії, вибухові клапани і відведення конденсату.

Розрахунок теплових витрат приміщення пивзаводу виконаний згідно ДБН В.2.6-3:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель» [2].

Розрахункова температура зовнішнього повітря – 23 °С згідно СніП 2.01.01-82 «Будівельна кліматологія та геофізика» [15]. Розрахункова температура всередині приміщення + 12 °С. Основні показники по робочим кресленням марки ОВ представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Основні показники по робочим кресленням марки ОВ

Найменування будівлі	Об'єм, м ³	Період року, при t _з , °С	Витрата тепла, кВт				Витрата холоду, кВт
			на опалення	на вентиляцію	на ГВП	нагальна	
Котельний зал	347	-23	19,3	-	-	19,3	-

Теплоносієм є вода з параметрами 70/50 °С.

Опалювальні прилади – агрегат повітряного опалення «Juwent» TERM-1-W; 70/50.

1.2 Характеристика основного та допоміжного обладнання котельні виробничо-складського комплексу ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»

До основного обладнання опалювально-виробничої котельні за адресою вул. Заводська, 4, смт. Меліоративне, Новомосковський р-н, Дніпропетровська області належать:

– парогенератор «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250 (1250 кг пари/год, P = 6 кгс/см²) – 2 од;

- котел сталевий водогрійний «Ferrolі» PREXTHERM RSW (525 кВт) – 2 од;
- пальник газовий модуляційний «Baltur» TBG 120 MC – 2 од;
- пальник газовий модуляційний «Baltur» TBG 60 MC – 2 од;
- деаератор атмосферний з робочим об'ємом 2000 л і деаераційною колонкою 3 т/год;
- бойлер непрямого нагріву (1000 л).

1.2.1 Загальна характеристика парогенератора «Ferrolі» VAPOPRES HVP 1250

Парові котли «Ferrolі» VAPOPRES HVP 1250 ст. №№ 1,2 паропродуктивністю 1,25 т/год кожний, встановлені в котельні і призначені для вироблення насиченої пари, що використовується на технологічні потреби підприємства і підігріву деаератора.

В якості палива в котлах використовується природний газ.

Паровий котел VAPOPRES HVP – це димогарний генератор насиченої пари, який може експлуатуватися як з газовими, так і з рідкопаливними пальниками. Котел повністю виготовлений з листової сталі, згорання відбувається в герметичній топці з триходовим жаротрубним теплообмінником. Перший газохід – це циліндрична камера згорання, яка розташована в нижній частині котла. Утворювані продукти згорання по циліндричній жаровій трубі направляються до задньої частини камери згорання і далі, послідовно переміщуються до жарових труб другого і третього газоходу котлового блоку, після чого потрапляють в камеру збору продуктів згорання котла. Пакет жарових труб укомплектований турбуляторами, які створюють вихори в потоці димових газів, що збільшує конвективний теплообмін. На виході з жарових труб димові гази надходять в димовий короб і звідти в димохід. Котел укомплектований дверима на петлях, що може відкриватися вправо або вліво і регулюється по висоті. Зовнішнє облицювання з нержавіючого листа

термоізолюваного мінеральною ватою підвищеної щільності, що забезпечує мінімальні втрати тепла в навколишнє середовище через стінки котла.

Для спалювання природного газу в паровому котлі встановлено пальниковий пристрій Baltur TBG 120 MC. Пальник являє собою єдиний блок. Двигун пальника розташований під прямим кутом до напрямку потоку повітря. На осі двигуна встановлено вентиляторне колесо. Пальник працює з модуляційним регулюванням потужності. За допомогою регульовального диска здійснюється пов'язане регулювання повітряної заслінки і газового дроселя. Автомат горіння забезпечує автоматичне виконання функцій, стежить за роботою пальника. Контроль полум'я і його стабільності здійснюється датчиком полум'я. Датчик полум'я газового пальника працює за принципом іонізації.

Для управління роботою парового котла застосовується блок управління, регулювання та сигналізації.

Автоматика безпеки відключає подачу газу на пальниковий пристрій при наступних аварійних ситуаціях:

- згасанні полум'я пальників;
- незапаленні газу при запалюванні;
- зниженні тиску газу в колекторі пальників нижче допустимого;
- збільшенні тиску пара в барабані котла вище допустимого;
- неприпустимому зниженні рівня води в барабані котла;
- зниженні тиску повітря за вентилятором;
- несправності основних вузлів блоку управління і сигналізації;
- припинення подачі електроенергії.

Вода, що надходить в котел піддається хімічному очищенню і деаерації. Для пом'якшення води передбачена двоступенева установка хімводоочищення. Обезкиснювання підживлювальної води здійснюється в термічній установці деаерації живильної води.

На вводі газопроводу в приміщення котельні встановлено газовий електромагнітний клапан, що блокується з сигналізатором газу, призначений для запобігання подачі газу при підвищенні НКПР 20 %.

Облік споживаного природного газу паровим котлом, здійснюється за допомогою ультразвукового газового лічильника «Курс 01».

Стисла характеристика газового парового котла «Ferrolі» VAPOPРЕХ HVP 1250 представлена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Стисла характеристика парового котла «Ferrolі» VAPOPРЕХ HVP 1250

Найменування	Характеристика
Тип котла	VAPOPРЕХ HVP 1250
Заводський номер	8379, 8380
Завод-виробник	FERROLI S.p.A., Італія
Дата виготовлення	2017 рік
Паропродуктивність	1,25 т/год
Теплова потужність	867 кВт
Розрахунковий тиск пари	1,2 МПа
Розрахункова температура пари	250 °С
Поверхня нагріву:	
загальна	18,4 м ²
жарових труб	11,68 м ²
Об'єм води в котлі:	
загальний	1,58 м ³
паровий при мінімальному рівні	1,1 м ³
Розрахунковий термін служби	20 років
Паливо	Природний газ
Пальник	Baltur
Тип	TBG 120 MC
Режим роботи	Двоступеневий прогресивний модуляційний
Потужність	(240 ... 1200) кВт
Тиск на вході	(20 ... 360) мбар

1.2.2 Загальна характеристика водогрійного котла «Ferrolі» PREXTHERM RSW (525 кВт)

Водогрійні котли «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 тепловою потужністю 525 кВт кожен, встановлені в котельні і призначені для:

- опалення і вентиляції виробничого корпусу і адміністративно-побутовоно корпусу;
- опалення і вентиляції побутовок підприємства;
- гарячого водопостачання;
- повітряного опалення котельні та приміщення водопідготовки.

В якості палива в котлах використовується природний газ.

PREXTHERM RSW 525 – це стаціонарний жаротрубний двоходовий котел з реверсивної топкою, в якому продукти згорання палива проходять всередині труб поверхні нагріву, а вода зовні. Котел являє собою горизонтально розташовану сбірнозварну конструкцію, що складається з корпусу з топкою, двері топки, коробка димових газів, теплоізоляції і декоративного облицювання. З метою підвищення ефективності теплообміну між димовими газами і гарячою водою, яка подається в систему опалення, котли PREXTHERM RSW обладнуються герметичною топкою циліндричної форми, в якій факел пальника загортається у напрямку від низу до двері топки, до місця через яке відпрацьовані гази потрапляють в задню накопичувальну камеру. Пакет жарових труб розташований над топкою. В результаті димові гази завжди потрапляють в «нагріте» середовище – завдяки цьому виключене утворення конденсату.

Пальник розташований не по центральній осі топки, а трохи нижче. Це полегшує реверсію факела, зменшує падіння тиску димових газів, і, як наслідок, веде до збільшення терміну служби котлоагрегату. Сталевий корпус повністю ізолюваний 80-міліметровим шаром скловати, яка, в свою чергу, захищена шаром міцного зносостійкого матеріалу. На вході води, що надходить назад з системи опалення, передбачена спеціальна відбивна пластина, призначення якої

в тому, щоб забезпечити рух холодної води у напрямку до дна котла. Таке рішення гарантує рівномірність теплообміну рідини по всьому перетину котла. В результаті досягається максимальна ефективність теплообмінних процесів при мінімумі навантаження на стінки котла.

Для спалювання природного газу в водогрійному котлі встановлено палинковий пристрій Baltur TBG 60 MC. Пальник являє собою єдиний блок. Двигун пальника розташований під прямим кутом до напрямку потоку повітря. На осі двигуна встановлено вентиляторне колесо. Пальник працює з модуляційним регулюванням потужності. За допомогою регулювального диска здійснюється пов'язане регулювання повітряної заслінки і газового дроселя. Автомат горіння забезпечує автоматичне виконання функцій, стежить за роботою пальника. Контроль полум'я і його стабільності здійснюється датчиком полум'я. Датчик полум'я газового пальника працює за принципом іонізації.

Стисла характеристика газового водогрійного котла «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 представлена в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Стисла характеристика водогрійного котла «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525

Найменування	Характеристики
1	2
Тип котла	PREXTHERM RSW 525
Заводський номер	1708A14002, 1708A14003
Завод-виробник	FERROLI S.p.A., Італія
Дата виготовлення	2017 рік
Мінімальна номінальна потужність	341 кВт
Максимальна номінальна потужність	525 кВт
Розрахунковий тиск води	0,6 МПа
Розрахункова температура води	100 °С

Продовження таблиці 1.5

1	2
Поверхня нагріву котла	11м ²
Об'єм водогрійного котла	0,45м ³
Габаритні розміри	
довжина	1516 мм
ширина	1060 мм
висота	1181 мм
Маса котла	860 кг
Розрахунковий термін служби	20 років
Паливо	Природний газ
Пальник	Baltur
Тип	TBG 60 MC
Режим роботи	Двоступеневий прогресивний модуляційний
Потужність	(120 ... 600) кВт
Тиск на вході	(20 ... 360) мбар

1.2.3 Характеристика допоміжного обладнання котельні

Деаератор встановлений на опорній рамі і складається з ємності $V = 2000$ л і деаераційної колонки діаметром 350 мм (продуктивність 3 т/год).

Бак деаератора обладнаний:

- люком обслуговування;
- зливною і переливною трубою;
- системою підігріву води інжектором пари;
- запобіжним клапаном;
- показчиком рівня;
- рівнемірною колонкою з датчиками рівня;
- термометром стрілочним;
- реле тиску;

– теплоізоляцією 50 мм.

Циркуляція води через котли і систему опалення здійснюється мережевими насосами, встановленими на трубопроводі мережної води. Нагрівання води для гарячого водопостачання здійснюється за допомогою бойлера непрямого нагріву. Бойлер обладнаний пристроями безпеки (клапан запобіжний, бак розширювальний, реле захисту насосу).

Для обслуговування парових котлів і деаератора в котельні передбачений пересувний майданчик.

1.3 Характеристика, класифікація джерел тепlopостачання

1.3.1 Характеристика джерел тепlopостачання

Джерела тепlopостачання – основний технічний елемент систем тепlopостачання, які охоплюють промислові підприємства всіх секторів економіки, комунально-побутовий сектор і включають, окрім джерел, теплові мережі, теплові підстанції та споживачів теплової енергії [16].

Від ефективності джерела тепlopостачання, яка визначається коефіцієнтом корисної дії (ККД) джерела і питомою витратою палива на вироблення теплової енергії, в значній мірі залежить ефективність роботи всієї системи тепlopостачання, в тому числі, якість і вартість теплової енергії, що відпускається споживачеві.

Система тепlopостачання – комплекс установок та пристроїв, призначених для вироблення, транспортування, розподілу і використання теплової енергії різними споживачами.

Основним завданням системи тепlopостачання є забезпечення споживачів необхідною кількістю теплоносіїв заданих параметрів.

Основними елементами системи тепlopостачання є:

– джерело теплоти (призначене для вироблення теплової енергії, зазвичай у вигляді нагрітої води або пари);

– теплові мережі (призначені для транспортування теплоносія від джерела теплової енергії до споживача і повернення використаного теплоносія до джерела теплоти);

– теплові підстанції (призначені для розподілу, регулювання та обліку використання теплової енергії споживачами);

– споживачі теплоти (тепловикористовуючі установки, розміщені в житлових, громадських і виробничих будівлях).

Основними джерелами теплоти в системах тепlopостачання є:

– парові, водогрійні і пароводогрійні котельні різних потужностей і призначень;

– теплоелектроцентралі (ТЕЦ) – електростанції, які відпускають зовнішньому споживачу як електричну, так і теплову енергію;

– теплоутилізаційні установки, що використовують вторинні енергоресурси (ВЕР) промислових підприємств.

Основні споживачі теплової енергії:

– системи опалення житлових, громадських і виробничих будівель;

– системи вентиляції громадських та виробничих будівель в зимовий період, тобто, коли необхідно підігрівати повітря, що нагнітається в вентильовані приміщення;

– системи кондиціонування повітря в літній період, у тому випадку, якщо для вироблення холоду застосовують холодильні установки, які використовують теплову енергію;

– системи гарячого водopостачання;

– технологічні процеси промислових підприємств, що споживають теплову енергію.

Системи опалення, вентиляції, кондиціонування повітря і гарячого водopостачання можна назвати одним терміном – комунально-побутові споживачі теплової енергії [17].

Залежно від температури теплоносія теплоспоживаючи процеси в системах тепlopостачання поділяють на три групи:

- високотемпературні ($t > 400$ °С, споживач – технологічні процеси, теплоносій – перегріта пара);
- середньотемпературні ($t = 150 \div 400$ °С, споживачі – комунально-побутові чи технологічні, теплоносій – пара або нагріта вода);
- низькотемпературні ($t = 70 \div 150$ °С, споживачі – комунально-побутові чи технологічні, теплоносій – нагріта вода або пара).

1.3.2 Класифікація систем тепlopостачання

Системи тепlopостачання залежно від типу теплоносія можна поділити по наступним критеріям:

- водяні, які використовують в якості теплоносія воду;
- парові, які використовують в якості теплоносія насичену або перегріту пару.
- можливі комбіновані варіанти. Для комунально-побутових споживачів переважно використовують водяні системи тепlopостачання, для технологічних – парові.

Залежно від потужності джерела теплоти, кількості споживачів, що припадають на одне джерело, і взаємного розташування джерела і споживачів теплоти системи тепlopостачання поділяються на:

- централізовані;
- децентралізовані.

Централізоване тепlopостачання полягає в забезпеченні тепловою енергією від одного досить потужного джерела теплоти численних споживачів.

При централізованому тепlopостачанні джерело теплоти і його численні споживачі розташовані на значній відстані один від одного, що вимагає прокладки зовнішніх теплових мереж.

Децентралізоване тепlopостачання характеризується невеликою потужністю джерела теплоти (котельні теплопродуктивністю до 20 Гкал/год), невеликим числом споживачів, які використовують теплоту від одного джерела

та близьким розташуванням джерела і споживачів теплоти, що в деяких випадках виключають необхідність прокладання зовнішніх теплових мереж [18].

1.3.3 Теплопостачання від парових, водогрійних та пароводогрійних котелень

Котельня в системі теплопостачання – комплекс агрегатів, установок і пристроїв, призначених для виробництва теплової енергії (у вигляді нагрітої води або пари) та підготовки теплоносіїв до транспорту через теплові мережі до зовнішнього споживача [17,18].

Основні варіанти класифікації котелень у системі теплопостачання за територіально-відомчою ознакою:

- районні котельні (призначені для забезпечення тепловою енергією всіх споживачів району: житлові, громадські та виробничі будівлі);
- квартальні та групові (призначені для забезпечення тепловою енергією будівель кварталу або групи будинків);
- котельні промислового підприємства (призначені для забезпечення тепловою енергією споживачів підприємства).

Основні варіанти класифікації котелень у системі теплопостачання залежно від виду переважаючого теплового навантаження:

- промислові котельні (призначені для забезпечення тепловою енергією технологічних процесів промислового підприємства);
- опалювальні котельні (призначені для забезпечення тепловою енергією систем опалення та інших комунально-побутових споживачів);
- промислово-опалювальні котельні (призначені для забезпечення тепловою енергією в рівній мірі технологічних і комунально-побутових споживачів).

Основні варіанти класифікації котелень у системі теплопостачання залежно від типу встановлених у котельні котлів:

- парові котельні;
- водогрійні котельні;
- пароводогрійні котельні.

Основні варіанти класифікації котелень у системі тепlopостачання залежно від виду спалюваного палива:

- газові;
- мазутні;
- газомазутні;
- твердопаливні.

Основні варіанти класифікації котелень у системі тепlopостачання залежно від теплової потужності:

- котельні малої потужності (теплопродуктивністю < 20 Гкал/год);
- котельні середньої потужності (теплопродуктивністю (20 ... 100) Гкал/год);
- котельні великої потужності (теплопродуктивністю 100 Гкал/год).

Котельні теплопродуктивністю понад 300 Гкал/год, що обладнані потужними системами енергозбереження, називаються тепловими станціями.

1.4 Особливості пароводогрійних котелень

Проектування джерел тепlopостачання показало, що теплове навантаження котельні у вигляді гарячої води зазвичай перевищує парове навантаження. У таких випадках в котельні з загальною теплопродуктивністю більше 50 Гкал/год, як правил доцільно встановлювати як парові, так і водогрійні котли [20].

Проте навіть при заданому співвідношенні розрахункових теплових навантажень у вигляді пари і гарячої води вибір чисто парової або пароводогрійної котельні вимагає розрахунків і техніко-економічного обґрунтування. Розрахунки показують, що в котельних із загальною

теплопродуктивністю до 50 Гкал/год встановлювати водогрійні котли недоцільно.

Необхідно враховувати, що в комбінованій котельні при зупинці одного з парових котлів водогрійний котел не може покрити потрібні парові навантаження, а теплове навантаження водогрійного котла частково або повністю можна покрити за допомогою парових котлів і підігрівачів води. Внаслідок цього в паровій котельні сумарна встановлена теплопродуктивність всіх агрегатів буде меншою, ніж встановлена теплопродуктивність котельні з паровими і водогрійними котлами.

Основним доводом на користь будівництва крупних комбінованих котельень є менші питомі капітальні вкладання. Установка водогрійних котлів і їх допоміжного устаткування, як правило, потребує значно менших витрат, ніж установка парових котлів з допоміжним устаткуванням і крупних пароводяних підігрівачів при рівній теплопродуктивності.

Пароводогрійні котельні (комбіновані), обладнуються паровими і водогрійними котлами або комбінованими пароводогрійними котлами і призначаються для вироблення пари на технологічні потреби і гарячої води для забезпечення навантажень опалення, вентиляції і гарячого водопостачання.

Потужність і число парових та водогрійних або пароводогрійних котлів визначається значеннями навантажень по гарячій воді і парового навантаження з урахуванням власних потреб котельні. Схема пароводогрійної котельні складається з двох контурів:

- для вироблення пари;
- для вироблення гарячої води.

Контур, що виробляє гарячу воду для систем тепlopостачання, аналогічний схемі водогрійної котельні.

Потужність котельних вибирається за розрахунковим максимальним тепловим навантаженням споживачів. При цьому типорозміри встановлених котлів мають бути такими, щоб при виході з ладу найбільшого по продуктивності котла, котли, що залишилися, забезпечили максимальний

відпуск теплоти технологічним споживачам і потрібну для найбільш холодного місяця середню кількість теплоти для навантажень житлово-комунального сектору [21].

1.5 Основні технічні рішення та техніко-економічні показники пароводогрійної котельні виробничо-складського комплексу ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»

У теплоенергетиці одним з обов'язкових конструкторських документів є теплова схема. Теплова схема є умовним графічним зображенням основного і допоміжного устаткування, що об'єднується лініями трубопроводів для робочого тіла. Розрізняють принципову, розгорнену і робочу або монтажну теплові схеми.

У принциповій схемі вказують умовно лише головне устаткування (котли, підігрівачі, деаератори, насоси) і трубопроводи, не розміщуючи арматури, допоміжних пристроїв і другорядних трубопроводів і не уточнюючи кількості і розташування устаткування.

Розгорнена теплова схема містить всю кількість встановлюваного устаткування, а також всі комунікації – трубопроводи, що сполучають устаткування з розташованою на них арматурою. Оскільки об'єднання в розгорненій тепловій схемі всіх елементів і устаткування котельні через їх велику кількість ускладнено, цю схему розділяють на частини по технологічному процесу [19].

1.5.1 Теплова схема теплопостачання пароводогрійної опалювально-виробничої котельні ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»

Теплова схема передбачає роботу двох водогрійних котлів (в каскаді) для теплопостачання в зимовий і перехідний періоди року з погодозалежним регулюванням і в літній період для підготовки гарячої води. Котли

підтримують температуру подачі в залежності від зовнішньої температури повітря або працюють на максимальній температурі подачі при потребі в теплі на гаряче водопостачання.

Розрахунковий проток через котли забезпечується насосами. Для підтримки температури зворотної води не нижче 60 °С передбачені котлові насоси. Закриття потоку через котли при відключенні пальників проводиться за допомогою електромагнітних засувок.

Котли обладнані наступними пристроями безпеки:

- розширювальним мембранним баком;
- реле мінімального тиску;
- реле максимального тиску;
- запобіжними клапанами;
- вбудованим захистом по максимальній температурі (STB).

Розширювальний бак систем опалення та вентиляції встановлено в котельні. Всі баки обладнані спеціальною арматурою із захистом від випадкового закриття і можливістю спорожнення.

Для захисту котлів, мережевих насосів і клапанів від механічних забруднень на зворотних трубопроводах встановлено грязьовики (сітчасті фільтри).

Триходові клапани, встановлені на контурах повітряного опалення призначені для можливості регулювання температури подачі.

Ємність системи заповнюється пом'якшеною водою під час пуску котельні. Постійне підживлення котлів при нормальному режимі роботи не потрібно. При обслуговуванні котельні і при аваріях, пов'язаних з заміною елементів обладнання або втратою води в системі опалення підживлення проводиться через установку водопідготовки, розташованої в сусідньому приміщенні. Облік підживлювальної води контролюється за лічильником.

Пом'якшувач забезпечує обробку води питної якості до показників, згідно «Правил будови і безпечної експлуатації парових котлів з тиском пари не

більше 0,07 МПа, водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою води не вище 115 °С» [10].

Блок підготовки гарячої води для системи ГВП побутовок складається з наступних елементів:

- бойлер 1000 л із змійовиковим теплообмінником 100 кВт;
- насос бойлера;
- насос циркуляції ГВП;
- водолічильник холодної води;
- водолічильник гарячої (циркуляційної) води;

Бойлер обладнаний пристроями безпеки: клапан запобіжний, бак розширювальний, реле захисту насоса.

Вимірювальні прилади, які встановлені в котельні, показують параметри води:

- на вході і виході котла (температура і тиск);
- на вході і виході з фільтрів (тиск);
- на ввіді холодної води (тиск);
- на контурах теплопостачання (температура і тиск).

Всі термометри укомплектовані погружними гільзами 1/2", а манометри і повітровідвідники – автоматичними запірними клапанами.

Видалення повітря з системи передбачається за допомогою автоматичних клапанів 1/2", встановлених у верхніх точках. Передбачені зливні крани Ду 20-Ду 25 – в нижніх точках трубопроводів. Для відводу стоків з підлоги котельні, а також зі зливних і дренажних труб обладнання передбачені зливні канали.

Всі труби опалення, крім зливних і дренажних теплоізолюються. Всю трубну арматуру, контрольно-вимірювальні прилади та датчики, які розташовані на висоті від 1,5 до 2,5 м, передбачається обслуговувати з пересувної драбини. Для обслуговування вище 2,5 м в котельні передбачений пересувний майданчик.

1.5.2 Теплова схема паропостачання пароводогрійної опалювально-виробничої котельні ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»

В котельні передбачається постійна робота одного парогенератора або двох парогенераторів в паралельному режимі. Парогенератори укомплектовані всіма необхідними штатними пристроями управління і безпеки для автоматичного режиму роботи:

- пружинні запобіжні клапани (2 од.);
- манометр з 3-ходовим краном;
- реле тиску (3 од.);
- показчик рівня з кранами (2 од.);
- контроль рівня з електродами провідності;
- допоміжний датчик безпеки;
- кран відбору проб;
- живильний насос – основний і резервний;
- дренажний кран (кран продувки);
- електрична шафа (панель управління).

Додатково встановлені системи:

- автоматична система контролю вмісту солі в котлі «Spirax Sarco» (клапан продувки з пневмоприводом, датчик вмісту солі, контролер);
- охолоджувач відбору проб «Spirax Sarco»;
- автоматичний клапан нижньої продувки Ду 25 мм з пневмоприводом.

Підключення пневмоприводов до компресора $P = (4...6) \text{ кгс/см}^2$ виконується відповідно до інструкції по експлуатації обладнання. Парогенератор в заводській поставці налаштований на робочий тиск пари 6 кгс/см^2 . Облік кількості пари для потреб технології передбачається ультразвуковим (безконтактним) лічильником пари.

В котельні передбачено скидання продувок від котлів в сепаратор продувок. У сепараторі виконується наступне:

- відділення пари вторинного скипання і подачу його в деаератор;
- злив води через поплавковий конденсатовідвідник;
- контроль рівня за вказівником рівня і тиску по манометру.

Скидання періодичних продувок здійснюється в продувний колодязь.

Продувка стекол рамок рівня (на котлах) передбачається через воронку в каналізацію.

Пар від котлів подається в паровий колектор Ду 200 мм, де передбачено відведення конденсату як при «холодному старті», так і в робочому режимі (через конденсатовідвідник).

Деаератор встановлений на опорній рамі і складається з ємності $V = 2000$ л і деаераційної колонки діам. 350 мм (продуктивність 3 т/год). Бак деаератора обладнаний:

- люком обслуговування;
- зливною і переливною трубою;
- системою підігріву води інжектором пари;
- запобіжним клапаном;
- покажчиком рівня;
- рівнемірною колонкою з датчиками рівня;
- термометром стрілочним;
- реле тиску;
- теплоізоляцією 50 мм.

Наповнення деаератора виконується при відкритті електромагнітного клапана, керованого системою контролю рівня в баку. На трубопроводі подачі холодної води в деаератор встановлений лічильник.

Нагрів води до температури 104,2 °С і подача її в парогенератори виконується в автоматичному режимі. Живильні насоси (основний + резервний) встановлені поруч з деаератором. Для відбору проб живильної води на трубопроводі встановлено охолоджувач відбору проб.

Трубопроводи скидання пари з запобіжних клапанів котлів і деаератора виведені за межі котельні.

Конденсат з мережі (повернення 90 %) через вузол обліку подається в деаераційну колонку. Вимірювальні прилади, встановлені в системі пари і конденсату, розташовані:

- на барабані котла, паровому колекторі, сепараторі продувок (тиск);
- до і після регулюючих клапанів (тиск);
- на вводі конденсату з мережі (тиск і температура).

В котельні виконаний зливний канал для всіх холодних дренажів, а також дренажів зі зливних воронок на котлах, зливу з холодильників проб. У каналі прокладаються 2 трубопроводи: Ду 32 мм для періодичної продувки котлів та Ду 65 мм для скидання гарячої води з сепаратора продувок і скидання стартового конденсату.

Для обслуговування парових котлів і деаератора в котельні передбачена пересувна майданчик.

1.5.3 Газопостачання паро водогрійної котельні ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»

Розрахункова максимальна витрата газу становить – 327 м³/год (загальна);

Теплота згоряння нижча – 33,7 МДж/м³.

Необхідний мінімальний тиск газу перед пальниками – 50 мбар.

Природний газ подається в котельню від зовнішнього газопроводу середнього тиску після ШРП.

У приміщенні котельні передбачене встановлення на газопроводі:

- запірний клапан з електромагнітним приводом Ду 100 мм і сигналізаторів газу;
- лічильника газу G65 (2 од.) для технологічного обліку парових котлів.

Для зниження тиску на вході перед пальниками передбачені регулятори тиску. Перед регуляторами тиску встановлені газові фільтри (50 мм).

Газопроводи до котлів обладнані продувними свічками, виведеними назовні на 1 м вище покрівлі котельні.

Передбачені окремі димові труби для кожного котла (H = 12 м):

- діаметр 300/360 мм – для водогрійних котлів;
- діаметр 400/460 мм – для парових котлів.

Труби прокладені з нержавіючої сталі з теплоізоляцією товщиною 30 мм в кожусі. На газоходах котлів передбачені: вибухові клапани діам. 200 мм, очисні люки і конденсатозбірники зі зливними патрубками.

Відведення конденсату передбачено за допомогою шлангів за межі фундаменту. Прокладання шлангів виконане за місцем.

Димарі встановлені в 2-х витяжних вежах, встановлених зовні будівлі котельні.

Приплив повітря для горіння і вентиляції 4475 м³/год здійснюється через дві жалюзійні решітки із загальним живим перетином 2,48 м². Витяжка 1042 м³/год виконується через дефлектори – діаметр 500 мм.

1.5.4 Водопостачання та каналізація котельні

Потреба котельні в воді становить:

- разове заповнення водогрійних котлів – 1,0 м³;
- разове заповнення систем опалення та вентиляції – 1,0 м³;
- разове заповнення парогенераторів – 3,2 м³;
- разове заповнення деаератора – 2 м³;
- на підживлення системи опалення – немає;
- на паропостачання (з урахуванням повернення конденсату) – 0,3 м³/год;
- на продувку парогенераторів – 0,5 м³/добу;
- на побутові потреби – 5,5 м³/добу.

В котельню здійснюється 2 вводи підготовленої (очищеної і пом'якшеної) води: Ду 40 мм для підживлення системи водогрійних котлів і системи ГВП та Ду 32 мм для системи паропостачання.

Для відводу стоків з підлоги котельні, а також зі зливних і дренажних труб обладнання передбачено пристрій зливних каналів 250 x 150 (h). З каналу по трубопроводу Ду 125 мм стоки виводяться в продувний колодезь і скидаються в систему зовнішньої каналізації. Виробничі стічні води (умовно чисті, які виключають утворення забруднених стічних вод в технологічному процесі) направляються в зовнішню каналізацію з подальшим очищенням в очисних спорудах.

1.5.5 Опалення та вентиляція котельні

Витрата тепла на опалення і вентиляцію котельні становить – 19 кВт ($t_3 = -23\text{ }^\circ\text{C}$, $t_b = +12\text{ }^\circ\text{C}$).

Опалення – водяне, як прилад опалення використовується агрегат повітряного опалення, що працює від окремого контуру. Опалювальний агрегат встановлений на стелі за допомогою монтажного комплексу з напрямком повітряного потоку вниз.

Передбачено також аварійне опалення котельні (в разі зупинки котлів) – переносний електричний тепловентилятор потужністю 20 кВт. Для забезпечення нормативних вимог по вентиляції передбачається природна вентиляція:

- припливно-витяжна вентиляція, що забезпечує 3-кратний повітрообмін;
- приплив повітря для горіння природного газу.

1.5.6 Техніко-економічні показники пароводогрійної котельні

Техніко-економічні показники пароводогрійної котельні виробничо-складського комплексу ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2» представлені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Техніко-економічні показники пароводогрійної виробничо-складського комплексу ТОВ «Дніпровський пивзавод № 2»

Найменування	Од. вимірювання	Кількість
Розрахункова продуктивність котельні	кВт (Гкал/год)	1050 (0,903) – тепло 1734 (1,491) – пара 2784 (2,394) – всього
Встановлена продуктивність котельні	кВт (Гкал/год)	1050 (0,903) – тепло 1734 (1,491) – пара 2784 (2,394) – всього
Річне виробництво тепла	МВт (Гкал)	1907 (1640) – тепло 112 (96) – гаряча вода 6991 (6012) – пара 9010 (7749) – всього
Річний відпуск тепла споживачам	МВт (Гкал)	1907 (1640) – тепло 112 (96) – гаряча вода 6641 (5712) – пара 8660 (7448) – всього
Річне число годин використання встановленої продуктивності	год	3236
Річна витрата палива (природного газу)	тис. м ³	1062
Чисельність персоналу (оператори)	Чол.	без постійного обслуговуючого персоналу (з контролем кожні 24 години)
Питома витрата палива на 1 Гкал відпущеного тепла	м ³ /Гкал	142,6
Питома витрата умовного палива на 1 Гкал відпущеного тепла	т.у.п/Гкал	0,164
Коефіцієнт корисної дії котлів: (пара) (вода)		0,90 0,93

2 ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГО-ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ПАРОВИХ ТА ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ

Було проведено еколого-теплотехнічні випробування існуючих парових котлів «Ferrolі» VAPOPPEX HVP 1250 ст. №№ 1,2 та водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2, встановлених в котельні виробничо-складського комплексу за адресою: вул. Заводська, 4, с.м.т. Меліоративний, Новомосковського району, Дніпропетровської області.

Мета випробувань: встановлення оптимальних еколого-економічних режимів роботи котлів, мінімально-можливих питомих витрат палива і викидів забруднюючих речовин в атмосферу, що не перевищують встановлених технічних і екологічних норм.

Завдання випробувань:

- визначення залежності виходу оксидів азоту, оксиду вуглецю від надлишку повітря і навантаження котлів;
- визначення теплових втрат і ККД бруто котлів в робочому діапазоні навантажень;
- визначення залежності витрати газу від тиску газу на пальники;
- визначення питомих витрат палива;
- визначення валових викидів оксидів азоту і оксидів вуглецю;
- визначення оптимального співвідношення «газ-повітря»;
- розробка заходів, спрямованих на підвищення надійності економічності роботи котлів і пропозицій щодо зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Об'єм робіт:

- налагодження топкового режиму котлів;
- визначення еколого-режимних характеристик котлів.

Підготовчі роботи:

- складання та узгодження програми та графіка проведення робіт;
- вивчення технічної документації та умов експлуатації обладнання;

- зовнішній огляд котлів і допоміжного обладнання; складання схеми вимірювань;
- визначення укомплектованості обладнання контрольно-вимірювальними приладами;
- підготовка необхідних приладів, реактивів, методик вимірювань;
- складання дефектної відомості щодо виявлених недоліків.

Основні роботи:

- визначення основних характеристик експлуатаційного режиму;
- визначення присосів повітря;
- попередня обробка та аналіз результатів вимірювань;
- проведення режимних випробувань з одночасним виміром концентрацій шкідливих викидів в атмосферу;
- обробка отриманих даних і аналіз результатів;
- остаточна обробка результатів випробувань, складання таблиць, схем, графіків, режимних карт;
- розробка рекомендацій.

Випробування проводяться на 2-х навантаженнях, для кожного з яких проводиться не менше 3 дослідів. Тривалість кожного досвіду визначається збіжністю результатів газового аналізу (2-4 виміру) і коливається від 0,5 до 1,5 години. Тривалість перерв між дослідями не менше 15 хвилин.

Визначення викидів забруднюючих речовин в атмосферу проводиться прямими вимірами від котла на різних режимах роботи. Оксиди азоту визначаються по «Методиці визначення концентрацій оксидів азоту фотокалориметричним методом з використанням реактиву Грісса-Ілюсвая» (Збірник методик по визначенню концентрацій забруднюючих речовин в промислових викидах: Л., Гидрометеиздат, 1987р.) [38]. Паралельно для оперативного контролю оксидів азоту проводяться заміри експрес-методом за методикою Інституту газу АН України з використанням газоаналізатора ОКСІ-5М-5НД [37].

Окис вуглецю визначається по «Методиці визначення концентрацій оксиду вуглецю методом газової хроматографії» [37]. Для оперативного контролю застосовується газоаналізатор ОКСІ-5М-5НД. Вміст кисню і двоокису вуглецю визначається газоаналізатором ОКСІ-5М-5НД. ККД котла визначається за методом зворотного балансу, теплові втрати за методикою М.Б. Равича. Нев'язка – по прямому і зворотному балансу не більше 1,5 %.

2.1 Еколого-теплотехнічні випробування парових котлів «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250 ст. №№ 1,2 та водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2

2.1.1 Склад та методика проведення еколого-теплотехнічних випробувань та налагоджувальних робіт

Завданням еколого-теплотехнічних режимно-налагоджувальних випробувань було:

- підвищення економічності роботи парових котлів VAPOPREX HVP 1250 ст. № № 1,2 та водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2;
- визначення оптимальних режимів роботи зазначеного обладнання;
- складання режимних карт котлів, що дозволяє обслуговуючому персоналу економічно обслуговувати обладнання;
- розробка рекомендацій, спрямованих на поліпшення та підвищення економічності роботи парових котлів.

Перший етап випробувань – підготовчі роботи:

- ознайомлення з технічною документацією, роботою котлів і допоміжного обладнання шляхом ретельного їх огляду і аналізу роботи;
- підготовка, розстановка і перевірка приладів;
- проведення приблизних дослідів для виявлення меж регулювання роботи котла, визначення нещільності по газоповітряному тракту, проведення необхідних тарувань;

- випробування котла при експлуатаційних навантаженнях з метою визначення економічних показників до налагодження;
- видача дефектної відомості і керівництво по їх усуненню.

Другий етап випробувань – налагоджувальні роботи. Було виконане визначення оптимального положення факела в котельній камері при різному співвідношенні кількості повітря, що подається в пальник.

Балансові випробування проводилися при стабілізованому режимі роботи котла.

До початку основних балансових дослідів були проведені приблизні досліді, основною метою яких було:

- перевірка контрольно-вимірювальних приладів, за допомогою вибору режимів основних дослідів;
- виявлення основних особливостей і характеристик роботи котла.

Тривалість балансового досліді на кожному навантаженні становила не менше 2 годин.

Була використана наступна методика випробувань:

- встановлювалось необхідне навантаження котла при оптимальному співвідношенні «газ-повітря»;
- після того, як основні параметри роботи котла починали підтримуватися на одному рівні проводився запис показань приладів;
- були проведені балансові досліді парового котла;
- попередня обробка результатів випробувань проводилася після кожного балансового досліді;
- потім складався тепловий баланс котла, при цьому величина втрат тепла визначалася за методикою М. Б. Равич, а ККД – по зворотному балансу [39].

На підставі проведених робіт складена режимна карта роботи котла.

Визначення втрат тепла з вихідними газами.

При спалюванні палива ця втрата є основною. Втрата тепла з вихідними газами залежить від температури і кількості газів, які покидають котел. Зі

збільшенням присосів повітря по газовому тракту, при роботі пальників з підвищеним надлишком повітря, при забрудненні поверхонь нагріву збільшується втрата тепла з вихідними газами. Втрати тепла з вихідними газами при роботі на газу q_2 визначаються за формулою, %

$$q_2 = 0,01 \cdot (t_{вих.г.} - t_{нов.}) \cdot Z, \quad (2.1)$$

де, $t_{вих.г.}$ – температура вихідних газів за котлом, °С;

$t_{нов.}$ – температура повітря на горіння. °С;

Z – поправочний коефіцієнт.

Визначення втрат тепла з хімічним недопалом.

Дана втрата тепла при нормальній роботі котла повинна бути відсутня. Хімічний недопал виникає при нестачі дуттєвого повітря, температури підігріву палива, від конструктивного виконання амбразур топок, пальників та інших факторів, при роботі на газу.

Втрати тепла з хімічним недопалом q_3 визначаються за формулою, %

$$q_3 = (3CO + 2,5H_2 + 8,5CH_4) \cdot h, \quad (2.2)$$

де, h – коефіцієнт розведення сухих продуктів згоряння, що визначається за формулою

$$h = \frac{RO_2^{max}}{RO_2 + O_2}. \quad (2.3)$$

Визначення втрат тепла до навколишнього середовища.

Втрати тепла через обмурівку експериментально визначити важко. Тому при режимно-налагоджувальних випробуваннях вони визначаються за нормативними даними. Втрати тепла q_5 залежать від розмірів і температури

зовнішніх поверхонь котла, від температури навколишнього повітря та визначаються за формулою, %

$$q_5 = q_5^{ном} \cdot \frac{Q_n}{Q_\phi}, \quad (2.4)$$

де, $q_5^{ном}$ – втрати тепла від зовнішнього охолодження при номінальному навантаженні, %;

Q_n – номінальна продуктивність котла, Гкал/год;

Q_ϕ – фактична продуктивність котла, Гкал/год;

Втрати тепла від зовнішнього охолодження при номінальному навантаженні $q_5^{ном}$ визначаються за формулою, %

$$q_5^{ном} = \frac{H \cdot q}{V_2 \cdot Q_n^p}, \quad (2.5)$$

де, H – поверхня огороження котла, м²;

q – тепловий потік від зовнішнього огороження котла до навколишнього повітря при номінальному навантаженні, ккал/м²·год;

V_2 – годинна витрата газу, м³/год;

Q_n^p – нижча теплота згорання палива, ккал/м³;

Визначення ККД котла.

Користуючись величиною ККД можна судити про якість роботи котла, так як, чим вище ККД котла, тим менше витрата палива при тих самих навантаженнях.

ККД бруто η визначається методом зворотного балансу за формулою, %

$$\eta_k^{бp} = 100 - (q_2 + q_3 + q_5), \quad (2.6)$$

де, q_2 – втрати тепла з вихідними газами, %;

q_3 – втрати тепла з хімічним недопалом, %;

q_5 – втрати тепла в навколишнє середовище, %.

Визначення годинної витрати палива.

При визначенні годинної витрати газу за лічильником фактичні витрати газу V_2 визначаються за формулою, м³/год

$$V_2 = V_{\text{ліч}} \cdot \frac{B + \frac{P_{\text{ліч}}}{13,6}}{760} \cdot \frac{273+20}{273+t_2}, \quad (2.7)$$

де, $V_{\text{ліч}}$ – годинна витрата газу за показами лічильник, м³/год;

B – барометричний тиск, мм.рт.ст.;

$P_{\text{ліч}}$ – тиск газу перед лічильником, мм.рт.ст.;

t_2 – температура газу перед лічильником, °С.

Визначення теплопродуктивності котла.

Теплопродуктивність котла Q_k визначається за формулою, Гкал/год

$$Q_k = V_2 \cdot Q_n^p \cdot \eta_k^{\text{бр}}, \quad (2.8)$$

де, V_2 – годинна витрата газу, м³/год;

Q_n^p – нижча теплота згорання палива, ккал/м³;

$\eta_k^{\text{бр}}$ – коефіцієнт корисної дії котла (брутто), %.

Визначення паропроодуктивності котла.

Фактична паропроодуктивність D_k котла визначається за формулою, т/год

$$D_k = D_n \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{факт}}}{\rho_{\text{розр}}}}, \quad (2.9)$$

де, D_n – годинна витрата пари за показами парометра, т/год;

$\rho_{\text{факт}}$ – фактична щільність пари при тиску та температурі пари в період дослідів, кг/м³;

$\rho_{\text{розр}}$ – щільність пари при розрахунку діафрагми, кг/м³.

Якщо витрата пари визначається розрахунковим методом, виходячи з годинної кількості спаленого палива, то фактична паропродуктивність котла D_k визначається за формулою, т/год

$$D_k = \frac{B_n \cdot Q_n^p \cdot \eta_k^{bp}}{(i_n - i_{n.e.}) + C_{np}(i_{k.e.} - i_{n.e.})}, \quad (2.10)$$

де, B_n – годинна витрата палива, кг/год;

Q_n^p – нижча теплота згорання палива, ккал/м³;

η_k^{bp} – коефіцієнт корисної дії котла (брутто), %;

$i_n, i_{n.e.}$ – ентальпія пари та підживлюваної води, ккал/кг.

Визначення питомих витрат умовного палива.

Питома витрата умовного палива на вироблене тепло визначається за формулою, кг у.п./Гкал

$$B_y^n = \frac{B_n^2 \cdot Q_n^p}{0,007 \cdot Q_{обр}^k}. \quad (2.11)$$

Екологічні характеристики роботи котла.

Екологічні характеристики масової концентрації у вихідних газах окису вуглецю CO, оксидів азоту NO_x в перерахунку, приведені до нормальних умов та $\alpha = 1$, та визначаються за формулами, мг/м³

$$C^{CO} = 446,4 \cdot M \cdot V \cdot h, \quad (2.12)$$

$$C^{NO_x} = \frac{2,784 \cdot C \cdot h \cdot (273 + t_e)}{P}, \quad (2.13)$$

де, M – молярна маса визначає мого оксиду, мг/нм³;

V – об'ємна доля оксида, %;

C – масова концентрація шкідливої речовини, мг/м³;

h – коефіцієнт розведення;

P – барометричний тиск в період випробування, мм.рт.ст.;

$t_в$ – температура навколишнього повітря, °С.

Коефіцієнт розбавлення h визначається за формулою

$$h = \frac{V_{CO_2}^{max}}{(V_{CO} + V_{CO_2})}. \quad (2.14)$$

Питомий викид шкідливих речовин на 1 гкал тепла, що виробляється в визначається за формулою

$$e = \frac{1,163 \cdot 3,6 \cdot C^{\alpha=1} \cdot (100 - q_4)}{Z - \eta_{\kappa}^{6p}}, \quad (2.15)$$

де, 1,163 – коефіцієнт перерахунку питомих викидів шкідливих речовин з одиниць вимірювання мг/кВт.год в г/Гкал;

q_4 – втрати теплоти в наслідок механічної неповноти згорання, %;

Z – нижча теплота згорання палива, що віднесена до об'єму сухих продуктів згорання при $\alpha = 1$, МДж/м³. Для природного газу $Z = 4,187$ МДж/м³.

Годинні викиди шкідливих речовин в атмосферу $M^{год}$ визначаються за формулою, кг/год

$$M^{год} = e^{Гкал} \cdot Q_{\kappa} \cdot 10^{-3}. \quad (2.16)$$

Питомі викиди шкідливих речовин в атмосферу на 1000 м³ e^n природного газу визначаються за формулою, кг/тис.м³

$$e^n = \frac{M^{год} \cdot 10^3}{B_n^p}. \quad (2.17)$$

Щосекундні викиди шкідливих речовин в атмосферу $M^{сек}$ визначаються за формулою, г/сек

$$M^{сек} = M^{год} \cdot 3,6. \quad (2.18)$$

2.1.2 Специфікація вимірів, використаних приладів при еколого-теплотехнічних випробуваннях парових та водогрійних котлів

Специфікація вимірів використаних приладів при еколого-теплотехнічних випробуваннях парових котлів «Ferroli» VAPOPRES HVP 1250 ст. №№ 1, 2 представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Специфікація вимірів використаних приладів при еколого-теплотехнічних випробуваннях парових котлів

Параметри	Од. виміру	Тип приладу	Шкала приладу	Клас точності
1	2	3	4	5
Витрата газу	м ³ /год	G 100	0,6...160	–
Тиск газу перед лічильником	кгс/см ²	Радмір		–
Температура газу	°С	Радмір		–
Тиск газу перед регулятором	кПа	ДМ 05063	0...100	2,5
Тиск газу перед пальником	кПа	ОКСІ-1Д	-1...7	0,5
Тиск повітря перед пальником	кПа	ОКСІ-1Д	-1...7	0,5
Тиск пари (котел №1)	МПа	ДМ-05160	0...1,6	1,5
Тиск пари (котел №2)	бар	ІТЕС	0...25	1,5
Тиск підживлюваної води	МПа	ДМ-05100	0...1,6	1,5
Температура підживлюваної води	°С	ТБ-80	0...120	1,5

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
Температура повітря	°С	ОКСІ-5М-5НД	–	–
Склад продуктів згорання	–	ОКСІ-5М-5НД	–	–
Температура вихідних газів	°С	ОКСІ-5М-5НД	–	–
Розрідження, тиск	кПа	ОКСІ-1Д	-1...7	0,5

Специфікація вимірів використаних приладів при еколого-теплотехнічних випробуваннях водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1, 2 представлена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Специфікація вимірів використаних приладів при еколого-теплотехнічних випробуваннях водогрійних котлів

Параметри	Од. виміру	Тип приладу	Шкала приладу	Клас точності
1	2	3	4	5
Витрата газу	м ³ /год	G 100	0,6...160	–
Тиск газу перед лічильником	кгс/см ²	Радмір		–
Температура газу	°С	Радмір		–
Тиск газу перед регулятором	кПа	ДМ 05063	0...100	2,5
Тиск газу перед пальником	кПа	ОКСІ-1Д	-1...7	0,5
Тиск повітря перед пальником	кПа	ОКСІ-1Д	-1...7	0,5
Тиск мережевої води перед котлом	МПа	ДМ-05100	0...1	1,5
Тиск мережевої води після котла	МПа	ДМ-05100	0...1	1,5
Температура мережевої води	°С	ТБ-100	0...150	1,5
Температура повітря	°С	ОКСІ-5М-5НД	–	–

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
Склад продуктів згорання	–	ОКСІ-5М-5НД	–	–
Температура вихідних газів	°С	ОКСІ-5М-5НД	–	–
Розрідження, тиск	кПа	ОКСІ-1Д	-1...7	0,5

2.2 Результати проведення еколого-теплотехнічних випробувань парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. №№ 1, 2

2.2.1 Зведені відомісті обробки результатів випробувань парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. № 1 (зав. № 8380) та ст. № 2 (зав. № 8379)

Зведена відомість обробки результатів випробувань парового котла ст. № 1 (зав. № 8380) представлена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Зведена відмість обробки результатів випробувань парового котла «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. № 1 (зав. № 8380)

Найменування величини	Позначення	Розмірність	Навантаження, %	
			37	79
1	2	3	4	5
1. Основні показники				
1.1 Пар, вода				
Паропроодуктивність котла	D_k	т/год	0,462	0,982
Тиск пари в барабані	P_6	кгс/см ²	2,50	2,50
Температура насиченої пари	$t_{н.п.}$	°С	139,02	139,02
Температура води на вході в котел	$t_{п.в.}$	°С	90,00	90,00
Тепломісткість живильної води	$i_{п.в.}$	ккал/кг	90,00	90,00
Тепломісткість котлової води	$i_{к.в.}$	ккал/кг	139,70	139,70
Тепломісткість насиченої пари	$i_{н.п.}$	ккал/кг	652,54	652,54
Паспортна паропроодуктивність котла	$D_{ном}$	т/год	1,25	1,25
1.2 Природний газ				
Теплота згорання природного газу при $t=20$ °С; $P=760$ мм рт.ст.	Q_H^P	ккал/м ³	8292	8292
Витрата природного газу за коректором	V_d^r	м ³ /год	34,00	72,00

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
Температура газу	t_{Γ}	$^{\circ}\text{C}$	4,00	4,00
Тиск природного газу перед котлом	P_{κ}	кПа	6,20	6,50
Тиск природного газу перед пальником	$P_{\Gamma.п.}$	кПа	0,20	1,20
Кут відкриття газової заслінки	Y_{Γ}	град	30	100
Кількість працюючих пальників	n	Шт.	1	1
1.3 Повітря				
Барометричний тиск (дійсний)	$P_{\text{бар.}}$	мм рт.ст.	752	752
Тиск повітря перед пальником	$P_{\text{пов.}}$	кПа	0,40	0,40
Кут відкриття повітряної заслінки	$Y_{\text{п.}}$	град	30	60
Температура повітря перед пальником	$t_{\text{п.}}$	$^{\circ}\text{C}$	19,00	19,00
1.4 Димові гази				
Розрідження за котлом	$S_{\text{дим.}}$	Па	30...40	25...35
Температура відхідних газів	$t_{\text{вих.г.}}$	$^{\circ}\text{C}$	132,80	141,00
Склад димових газів за котлом:				
– диоксид вуглецю	CO_2	%	8,70	8,30
– кисень	O_2	%	5,50	6,30
– оксид вуглецю	CO	%	0,0009	0,0004
– оксиди азоту	NO_x	%	0,0066	0,0068
– оксид вуглецю	CO	мг/нм ³	11,20	5,00
– оксиди азоту	NO_x	мг/нм ³	135,50	139,60
Коефіцієнт надлишку повітря за котлом	$\alpha_{\text{вих.}}$	–	1,32	1,38
Відношення обсягу горючих газів до теоретичного об'єму повітря	$U_{\text{ст.}}/U_{\text{о}}$	–	0,94	0,94
2. Тепловий баланс				
Жаропродуктивність палива	T_{max}	$^{\circ}\text{C}$	2010	2010
Максимально можливий вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згорання	$\text{RO}_{2\text{max}}$	%	11,80	11,80
Коефіцієнт відношення обсягу сухих продуктів горіння в порівнянні з теоретичним	h	–	1,356	1,422
Коефіцієнт відношення сухих і вологих продуктів горіння	B	–	0,80	0,80

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	
Коефіцієнт по теплоємності вихідних газів	C^*	–	0,83	0,83	
Коефіцієнт по теплоємності повітря	k	–	0,78	0,78	
Коефіцієнт об'єму повітря	L	–	0,85	0,85	
Коефіцієнт поправочний	Z	–	5,22	5,40	
Теоретична кількість повітря	U_o	$\text{м}^3/\text{м}^3$	9,204	9,204	
Втрати тепла з димовими газами	q_2	%	5,94	6,59	
Теплотворна здатність СО	Q_{co}	$\text{ккал}/\text{м}^3$	3018	3018	
Нижча теплотворна здатність палива віднесена до 1м^3 сухих продуктів згорання при спалюванні в теоретичних умовах	P	$\text{ккал}/\text{м}^3$	1000	1000	
Втрати тепла від хімічної неповноти згорання	q_3	%	0,00366	0,00171	
Усереднені втрати теплоти з 1м^2 зовнішньої поверхні котла	q	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \text{ год})$	300	300	
Площа поверхні огорожень котла	H	%	17,84	17,84	
Втрати тепла в навколишнє середовище	q_5	%	1,90	0,90	
ККД котла по зворотному балансу	$\eta_{\text{звор.}}$	%	92,16	92,51	
Теплопродуктивність котла по зворотному балансу	Q_k	$\text{Гкал}/\text{год}$	0,2598	0,5523	
3. Питома витрата палива на вироблення тепла					
Питома витрата натурального палива на вироблення тепла	$V_{\text{нп}}$	$\text{м}^3/\text{Гкал}$	130,86	130,86	
Питома витрата умовного палива на вироблення 1 Гкал	V_y^y	$\text{кг у.т}/\text{Гкал}$	155,01	154,42	
Питома витрата натурального палива на вироблення пари	$V_{\text{пн}}$	$\text{кг}/\text{т.н.п.}$	73,61	73,33	
Питома витрата умовного палива на вироблення 1 т насиченої пари	V_y^t	$\text{кг у.т.}/\text{т.н.п.}$	99,06	98,60	
4. Результати інвентаризаційних шкідливих викидів					
Масова концентрація приведена до нормальних умов та $\alpha=1$	оксиду вуглецю	ССО $\alpha=1$	$\text{мг}/\text{нм}^3$	15,26	7,11
	оксидів азоту в перерахунку на NO_x	СNO_x $\alpha=1$	$\text{мг}/\text{нм}^3$	183,80	198,51

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	
Нижча теплота згоряння палива, віднесена до обсягу сухих продуктів згоряння при $\alpha = 1$	Z	МДж/нм ³	4,187	4,187	
Теоретичний вміст сухих газів в продуктах згоряння U_o (пр.г.) зг.	U_o зг.	м ³ /м ³	8,62	8,62	
Питомий викид на 1Гкал виробленого тепла	оксиду вуглецю	в CO	г/Гкал	16,60	7,70
	оксидів азоту в перерах. на NO _x	в NO _x	г/Гкал	199,40	214,60
Питомий викид на 1 тис.м ³ газу	оксиду вуглецю	B CO	кг/тис.м ³	0,126	0,059
	оксидів азоту в перерах. на NO _x	B NO _x	кг/тис.м ³	1,524	1,646
Секундний викид	оксиду вуглецю	M CO	г/сек	0,0012	0,0012
	оксидів азоту в перерах. на NO _x	M NO _x	г/сек	0,0144	0,0329

Еколого-теплотехнічні характеристики парового котла «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. № 1 (зав. № 8380) представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Зведена таблиця еколого-теплотехнічних характеристик парового котла «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. № 1 (зав. № 8380)

Найменування величини	Од. виміру	Навантаження, %	
		37	79
1	2	3	4
Паропродуктивність котла	т/год	0,462	0,982
Витрата природного газу	м ³ /год	34,00	72,00
Температура відхідних газів	°С	133,00	141,00
Коефіцієнт надлишку повітря		1,32	1,38

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
Масова концентрація приведена до нормальних умов: – оксидів азоту – оксиду вуглецю	мг/нм ³ мг/нм ³	135,50 11,20	139,60 5,00
Масова концентрація приведена до нормальних умов та $\alpha = 1$: – оксидів азоту – оксиду вуглецю	мг/нм ³ мг/нм ³	183,80 15,30	198,50 7,10
Питомий викид на 1Гкал виробленого тепла: – оксидів азоту – оксиду вуглецю	г/Гкал г/Гкал	199,40 16,60	214,60 7,70
Питомий викид на 1 тис. м ³ палива: – оксидів азоту – оксиду вуглецю	кг/тис.м ³ кг/тис.м ³	1,524 0,126	1,646 0,059
Секундний викид: – оксидів азоту – оксиду вуглецю	г/сек г/сек	0,0144 0,0012	0,0329 0,0012

Зведена відомість обробки результатів випробувань парового котла «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. № 2 (зав. № 8379)

Зведена відомість обробки результатів випробувань парового котла ст. № 2 представлена в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Зведена відомість обробки результатів випробувань парового котла «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. № 2 (зав. № 8379)

Найменування величини	Позначення	Розмірність	Навантаження, %	
			32	80
1	2	3	4	5
1. Основні показники				
1.1 Пар, вода				
Паропродуктивність котла	D _к	т/год	0,402	1,003
Тиск пари в барабані	P _б	кгс/см ²	2,50	2,50
Температура насиченої пари	t _{н.п.}	°C	139,02	139,02
Температура води на вході в котел	t _{п.в.}	°C	90,00	90,0

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5
Тепломісткість живильної води	$i_{п.в.}$	ккал/кг	90,00	90,00
Тепломісткість котлової води	$i_{к.в.}$	ккал/кг	139,70	139,70
Тепломісткість насиченої пари	$i_{н.п.}$	ккал/кг	652,54	652,54
Паспортна паропроодуктивність котла	$D_{ном}$	т/год	1,25	1,25
1.2 Природний газ				
Теплота згорання природного газу при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $P=760\text{ мм рт.ст.}$	$Q_{н}^P$	ккал/м ³	8292	8292
Витрата природного газу за коректором	$V_{гд}^r$	м ³ /год	30,00	74,00
Температура газу	$t_{г}$	$^{\circ}\text{C}$	4,00	4,00
Тиск природного газу перед котлом	$P_{к}$	кПа	6,20	6,50
Тиск природного газу перед пальником	$P_{г.п.}$	кПа	0,20	1,30
Кут відкриття газової заслінки	$Y_{г}$	град	30	60
Кількість працюючих пальників	n	шт	1	1
1.3 Повітря				
Барометричний тиск (дійсний)	$P_{бар.}$	мм рт.ст.	752	752
Тиск повітря перед пальником	$P_{пов.}$	кПа	0,30	1,50
Кут відкриття повітряної заслінки	$Y_{п}$	град	30	70
Температура повітря перед пальником	$t_{п.}$	$^{\circ}\text{C}$	19,00	19,00
1.4 Димові гази				
Розрідження за котлом	$S_{дим.}$	Па	30...40	25...35
Температура відхідних газів	$t_{вих.г.}$	$^{\circ}\text{C}$	131,40	140,00
Склад димових газів за котлом:				
– диоксид вуглецю	CO_2	%	7,10	7,40
– кисень	O_2	%	8,40	7,80
– оксид вуглецю	CO	%	0,0007	0,0003
– оксиди азоту	NO_x	%	0,0053	0,0060
– оксид вуглецю	CO	мг/нм ³	8,70	3,70
– оксиди азоту	NO_x	мг/нм ³	108,80	123,20
Коефіцієнт надлишку повітря за котлом	$\alpha_{вих.}$	–	1,59	1,53
Відношення обсягу горючих газів до теоретичного об'єму повітря	$U_{сг}/U_0$	–	0,94	0,94
2. Тепловий баланс				

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5
Жаропродуктивність палива	T_{\max}	°C	2010	2010
Максимально можливий вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згоряння	$RO_{2\max}$	%	11,80	11,80
Коефіцієнт відношення обсягу сухих продуктів горіння в порівнянні з теоретичним	h	–	1,662	1,595
Коефіцієнт відношення сухих і вологих продуктів горіння	B	–	0,80	0,80
Коефіцієнт по теплоємності вихідних газів	C^*	–	0,83	0,83
Коефіцієнт по теплоємності повітря	k	–	0,78	0,78
Коефіцієнт об'єму повітря	L	–	0,85	0,85
Коефіцієнт поправочний	Z	–	6,10	5,90
Теоретична кількість повітря	U_0	$\text{м}^3/\text{м}^3$	9,204	9,204
Втрати тепла з димовими газами	q_2	%	6,86	7,14
Теплотворна здатність CO	Q_{co}	ккал/м ³	3018	3018
Нижча теплотворна здатність палива віднесена до 1м ³ сухих продуктів згоряння при спалюванні в теоретичних умовах	P	ккал/м ³	1000	1000
Втрати тепла від хімічної неповноти згоряння	q_3	%	0,00349	0,00144
Усереднені втрати теплоти з 1м ² зовнішньої поверхні котла	q	ккал/(м ² год)	300	300
Площа поверхні огорожень котла	H	%	17,84	17,84
Втрати тепла в навколишнє середовище	q_5	%	2,15	0,87
ККД котла по зворотному балансу	$\eta_{\text{звор.}}$	%	90,99	91,99
Теплопродуктивність котла по зворотному балансу	Q_k	Гкал/год	0,2263	0,5644
3. Питома витрата палива на вироблення тепла				
Питома витрата натурального палива на вироблення тепла	$V_{\text{нп}}$	м ³ /Гкал	132,54	131,10
Питома витрата умовного палива на вироблення 1 Гкал	$V_{\text{у}}^y$	кг у.т/Гкал	157,01	155,30
Питома витрата натурального палива на вироблення пари	$V_{\text{пн}}$	кг/т.н.п.	74,56	73,75

Продовження таблиці 2.5

1		2	3	4	5
Питома витрата умовного палива на вироблення 1 т насиченої пари		V_{yT}	кг у.т./т.н.п	100,33	99,24
4. Результати інвентаризаційних шкідливих викидів					
Масова концентрація приведена до нормальних умов та $\alpha=1$	оксиду вуглецю	ССО $\alpha=1$	мг/нм ³	14,54	5,98
	оксидів азоту в перерахунку на NO _x	СNO _x $\alpha=1$	мг/нм ³	180,86	196,46
Нижча теплота згоряння палива, віднесена до обсягу сухих продуктів згоряння при $\alpha = 1$		Z	МДж/нм ³	4,187	4,187
Теоретичний вміст сухих газів в продуктах згоряння U _o (пр.г.) зг.		U _{o зг.}	м ³ /м ³	8,62	8,62
Питомий викид на 1 Гкал виробленого тепла	оксиду вуглецю	в СО	г/Гкал	16,00	6,50
	оксидів азоту в перерах. на NO _x	в NO _x	г/Гкал	198,80	213,60
Питомий викид на 1 тис.м ³ газу	оксиду вуглецю	В СО	кг/тис.м ³	0,121	0,050
	оксидів азоту в перерах. на NO _x	В NO _x	кг/тис.м ³	1,500	1,629
Секундний викид	оксиду вуглецю	М СО	г/сек	0,0010	0,0010
	оксидів азоту в перерахунку на NO _x	М NO _x	г/сек	0,0125	0,0335

Екологотеплотехнічні характеристики парового котла «Ferrolі» VAPOPPEX HVP 1250 ст. № 2 (зав. № 8379) представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Зведена таблиця еколого-теплотехнічних характеристик парового котла «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. № 2 (зав. № 8379)

Найменування величини	Од. виміру	Навантаження, %	
		32	80
Паропродуктивність котла	т/год	0,402	1,003
Витрата природного газу	м ³ /год	30,00	74,00
Температура відхідних газів	°С	131,00	140,00
Коефіцієнт надлишку повітря		1,59	1,53
Масова концентрація приведена до нормальних умов:			
– оксидів азоту	мг/нм ³	108,80	123,20
– оксиду вуглецю	мг/нм ³	8,70	3,70
Масова концентрація приведена до нормальних умов та $\alpha = 1$:			
– оксидів азоту	мг/нм ³	180,90	196,50
– оксиду вуглецю	мг/нм ³	14,50	6,00
Питомий викид на 1Гкал виробленого тепла:			
– оксидів азоту	г/Гкал	198,80	213,60
– оксиду вуглецю	г/Гкал	16,00	6,50
Питомий викид на 1 тис. м ³ палива:			
– оксидів азоту	кг/тис.м ³	1,500	1,629
– оксиду вуглецю	кг/тис.м ³	0,126	0,059
Секундний викид:			
– оксидів азоту	г/сек	0,0125	0,0335
– оксиду вуглецю	г/сек	0,0010	0,0010

2.2.2 Аналіз результатів випробувань парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. № 1, 2

У період випробувань в топках парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. №№ 1,2 спалювався природний газ с $Q_H = 8292$ ккал/м³.

Перед проведенням основних еколого-теплотехнічних випробувань парових котлів були виконані підготовчі роботи з обстеженням, спостереженням за їх роботою, вимірів параметрів і порівнянням фактичних величин з розрахунковими.

В результаті теплотехнічних випробувань і налагодження процесу горіння шляхом оптимізації співвідношення «газ-повітря» були отримані оптимальні режими роботи теплових агрегатів, які наведені в зведених відомостях.

Максимальне навантаження котла в період випробувань склало:

- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 1 – 0,5523 Гкал/год;
- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 2 – 0,5644 Гкал/год.

Коефіцієнт корисної дії котла при максимальному навантаженні:

- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 1 – 92,51 %;
- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 2 – 91,99 %.

Коефіцієнт надлишку повітря у вихідних газах знаходився в межах:

- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 1 – 1,27 – 1,38;
- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 2 – 1,25 – 1,53.

Температура відхідних газів на максимальному навантаженні склала:

- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 1 – 141,0 °C;
- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 2 – 140,0 °C.

Втрати тепла з димовими газами склали:

- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 1 – 6,59 %;
- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 2 – 7,14 %.

За отриманими даними побудовані графіки залежності основних параметрів котла від його продуктивності і коефіцієнта надлишку повітря.

Графіки залежності коефіцієнту надлишку повітря від паропроductивності парових котлів «Ferroli» VAPOPREX HVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.1, 2.2.

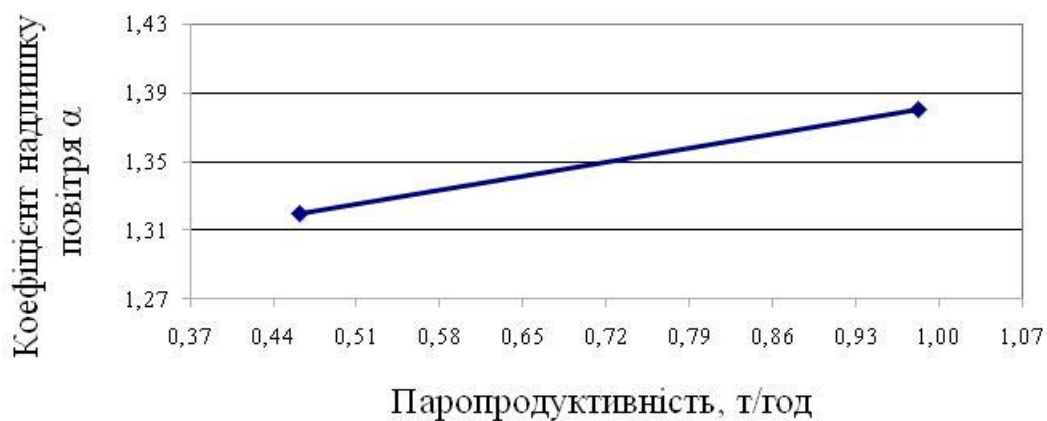


Рисунок 2.1 — Графік залежності коефіцієнту надлишку повітря від паропродуктивності парового котла ст. № 1

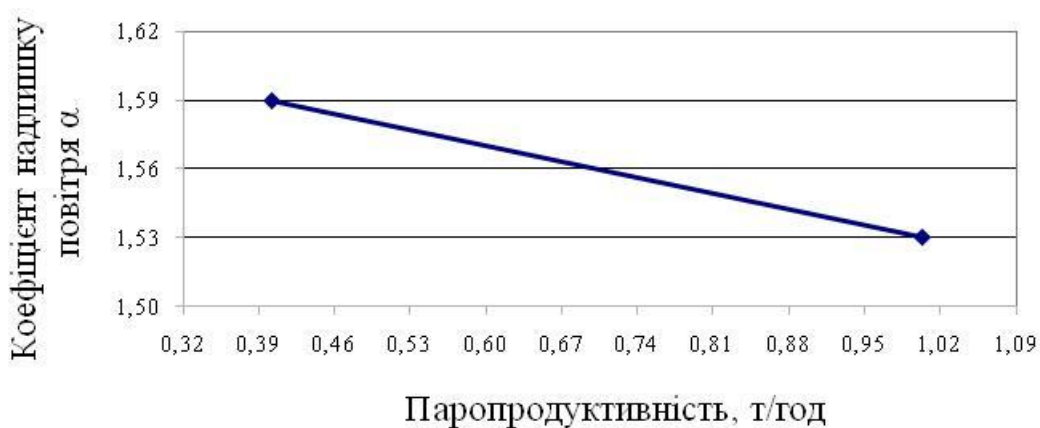


Рисунок 2.2 — Графіки залежності коефіцієнту надлишку повітря від паропродуктивності парового котла ст. № 2

Графіки залежності температури відхідних газів від паропродуктивності парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.3, 2.4.

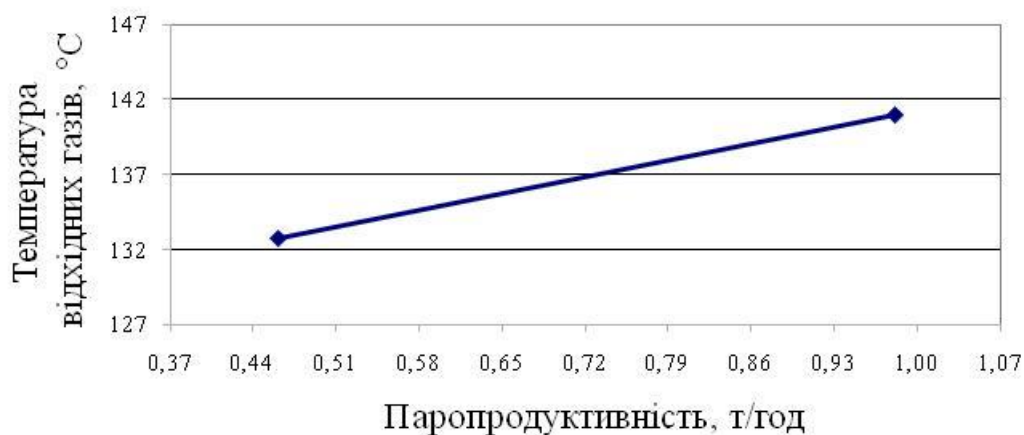


Рисунок 2.3 — Графік залежності температури відхідних газів від паропродуктивності парового котла ст. № 1

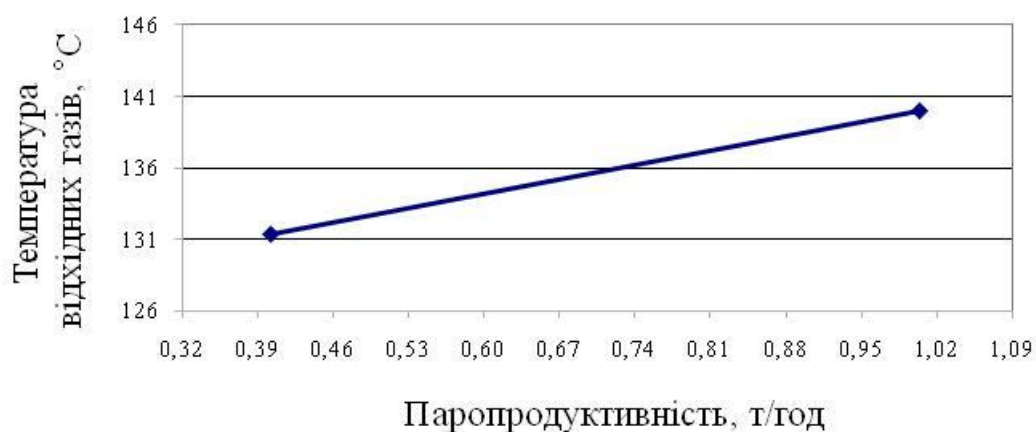


Рисунок 2.4 — Графік залежності температури відхідних газів від паропродуктивності парового котла ст. № 2

Графіки залежності вмісту у відхідних газах оксидів вуглецю від паропродуктивності парових котлів «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.5, 2.6.

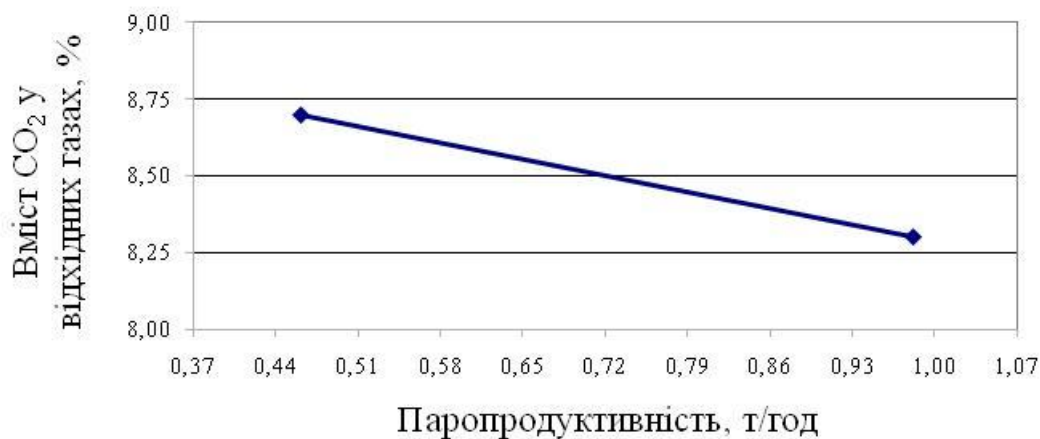


Рисунок 2.5 — Графік залежності вмісту у відхідних газах оксидів вуглецю від паропродуктивності парового котла ст. № 1

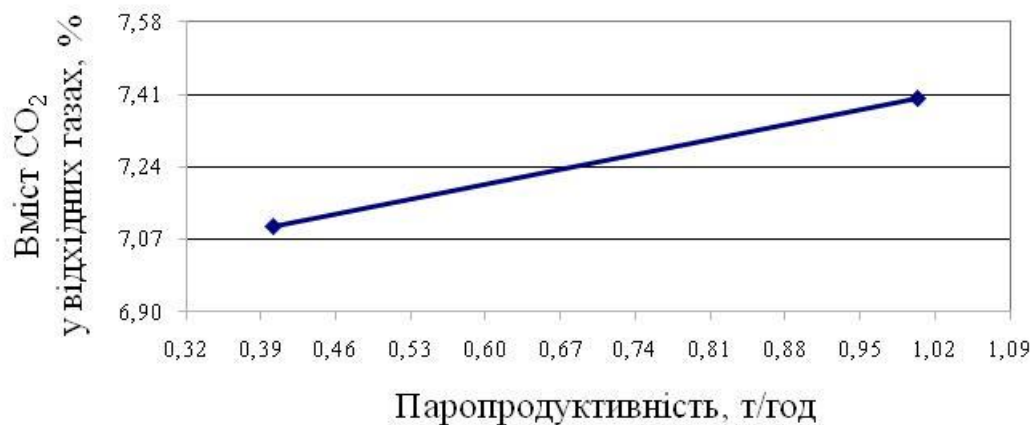


Рисунок 2.6 — Графік залежності вмісту у відхідних газах оксидів вуглецю від паропродуктивності парового котла ст. № 2

Графіки залежності втрат тепла з відхідними газами від паропродуктивності парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ HVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.7, 2.8.

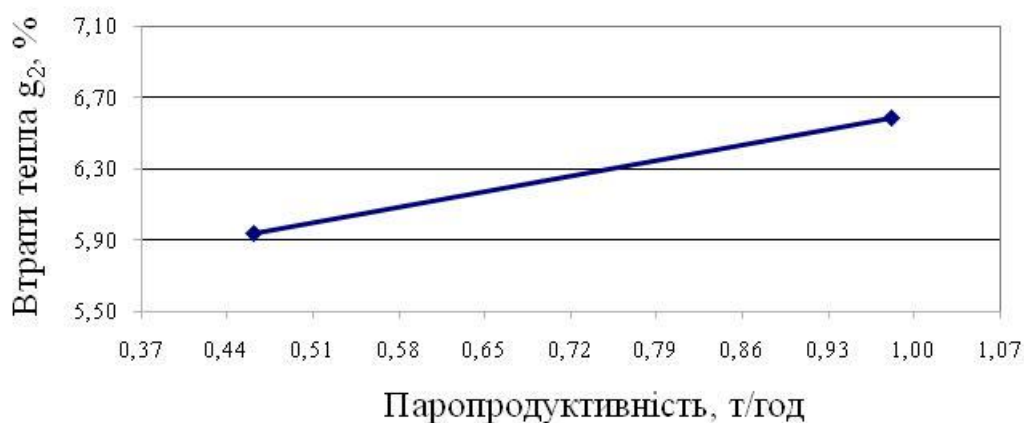


Рисунок 2.7 — Графік залежності втрат тепла з відхідними газами вуглецю від паропродуктивності парового котла ст. № 1

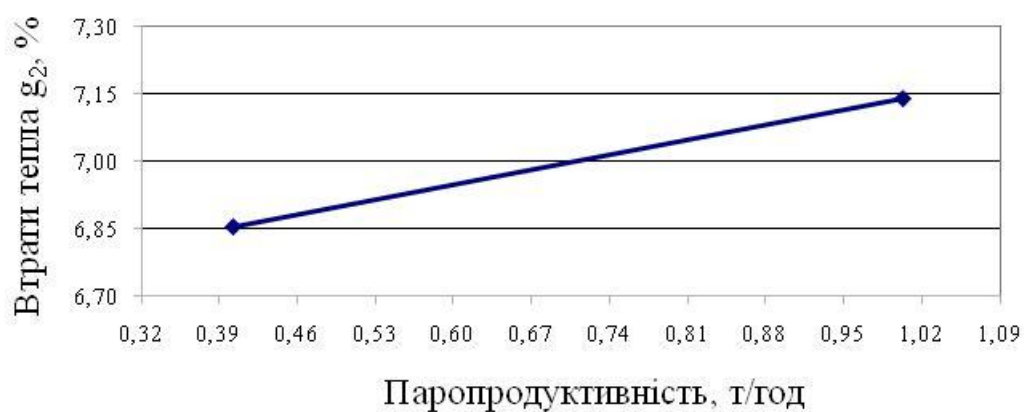


Рисунок 2.8 — Графік залежності втрат тепла з відхідними газами вуглецю від паропродуктивності парового котла ст. № 2

Графіки залежності втрат тепла в навколишнє середовище від паропродуктивності парових котлів «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунку 2.9, 2.10.

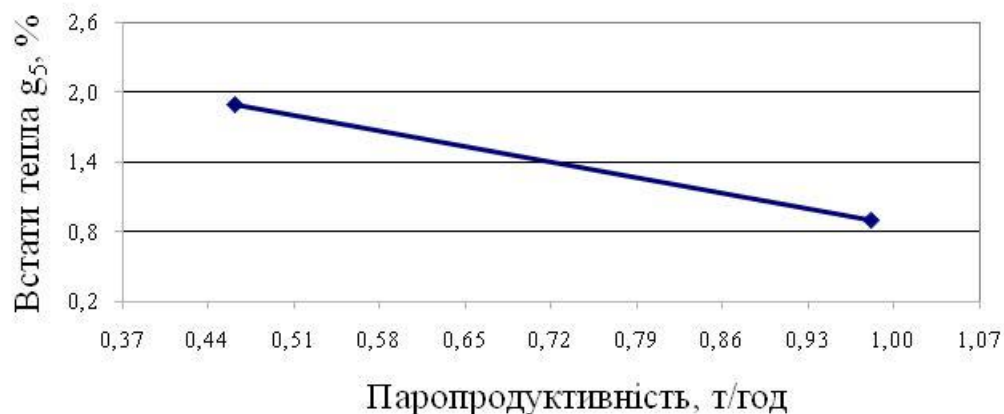


Рисунок 2.9 — Графік залежності втрат тепла в навколишнє середовище від паропродуктивності парового котла ст. № 1

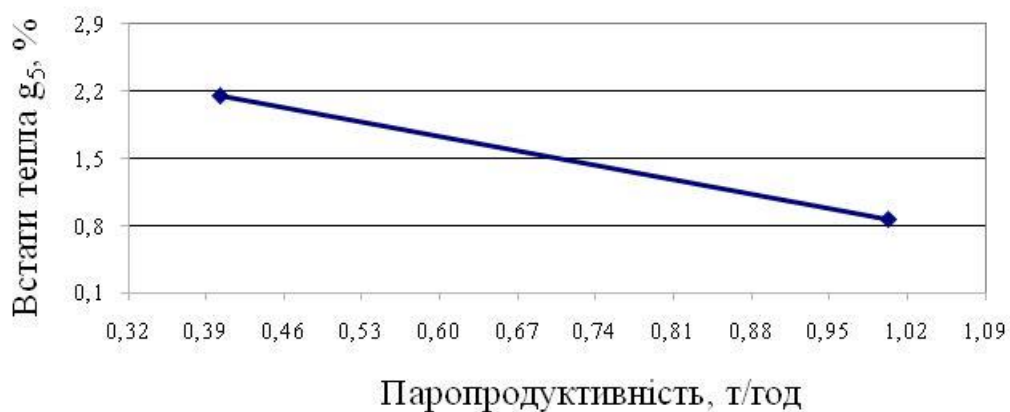


Рисунок 2.10 — Графік залежності втрат тепла в навколишнє середовище від паропродуктивності парового котла ст. № 2

Графіки залежності коефіцієнту корисної дії від паропродуктивності парових котлів «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.11, 2.12.

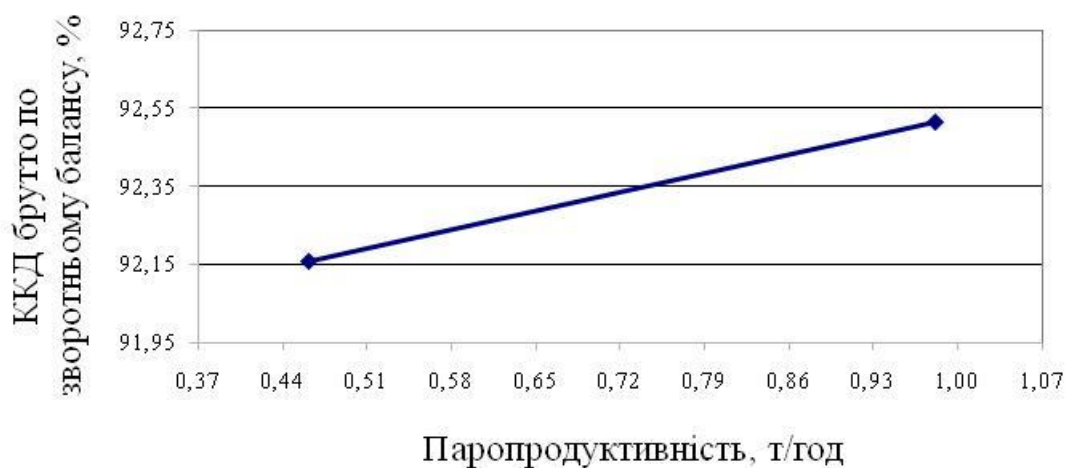


Рисунок 2.11 — Графік залежності коефіцієнту корисної дії від паропродуктивності парового котла ст. № 1

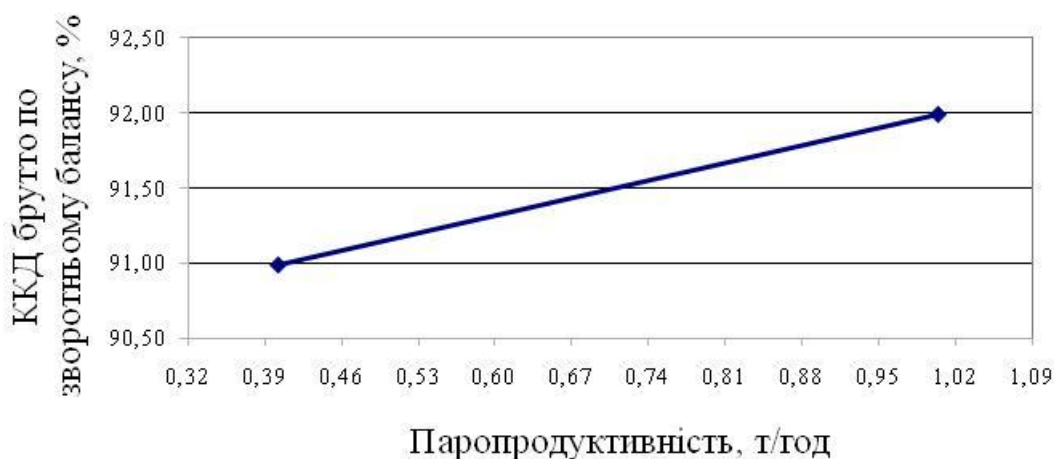


Рисунок 2.12 — Графік залежності коефіцієнту корисної дії від паропродуктивності парового котла ст. № 2

Графіки залежності питомої витрати умовного палива на вироблення 1 Гкал від паропродуктивності парових котлів «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.13, 2.14.

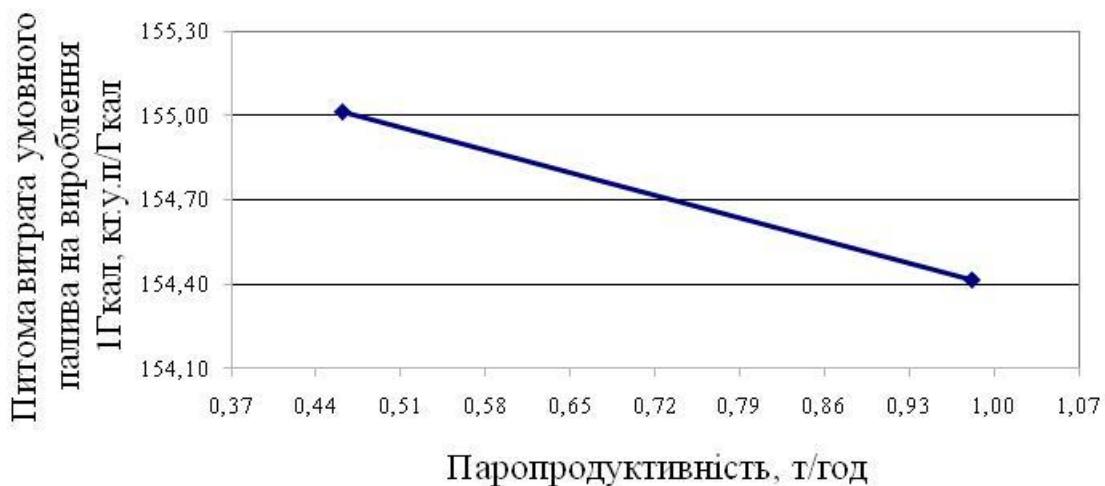


Рисунок 2.13 — Графік залежності питомої витрати умовного палива на вироблення 1 Гкал від паропродуктивності парового котла ст. № 1

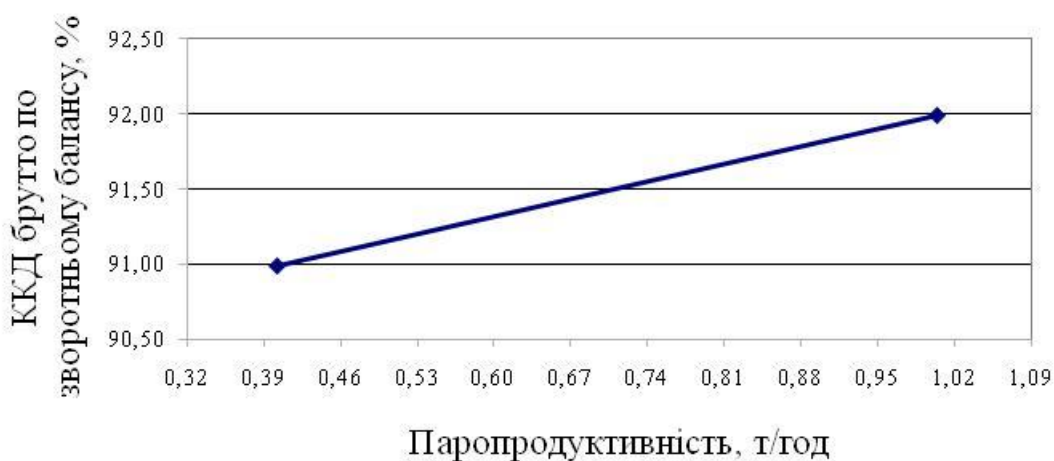


Рисунок 2.14 — Графік залежності питомої витрати умовного палива на вироблення 1 Гкал від паропродуктивності парового котла ст. № 2

Графіки залежності фактичної витрати природного газу від паропродуктивності парових котлів «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.15, 2.16.

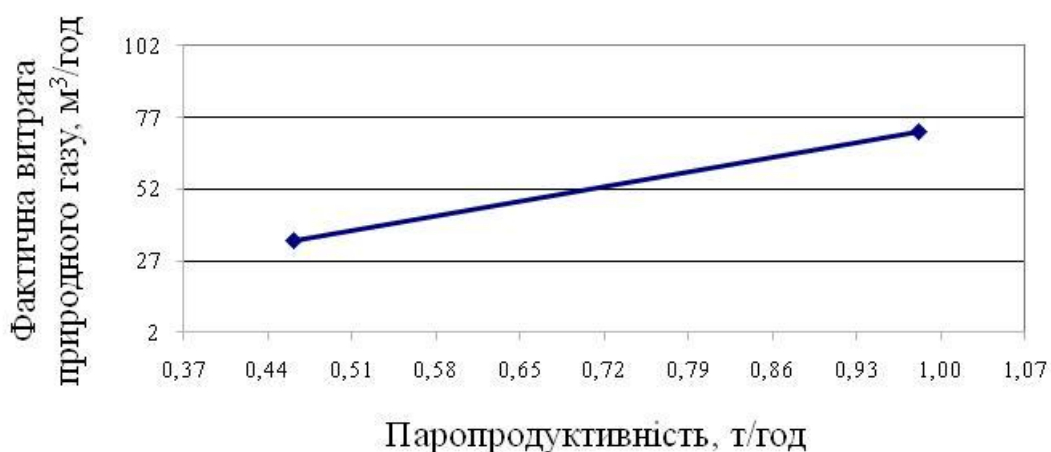


Рисунок 2.15 — Графік залежності фактичної витрати природного газу від паропродуктивності парового котла ст. № 1

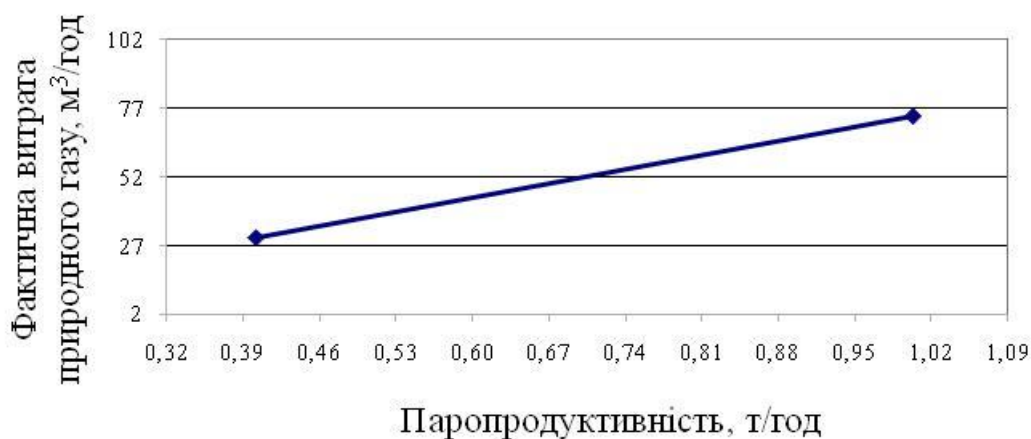


Рисунок 2.16 — Графік залежності фактичної витрати природного газу від паропродуктивності парового котла ст. № 2

Графіки залежності кута відкриття газової заслонки від паропродуктивності парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ HVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.17, 2.18.

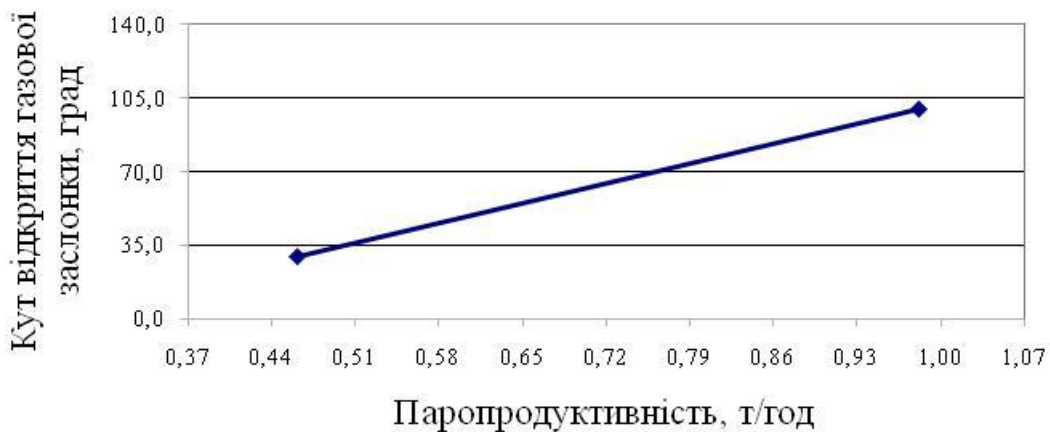


Рисунок 2.17 — Графік залежності кута відкриття газової заслонки від паропродуктивності парового котла ст. № 1

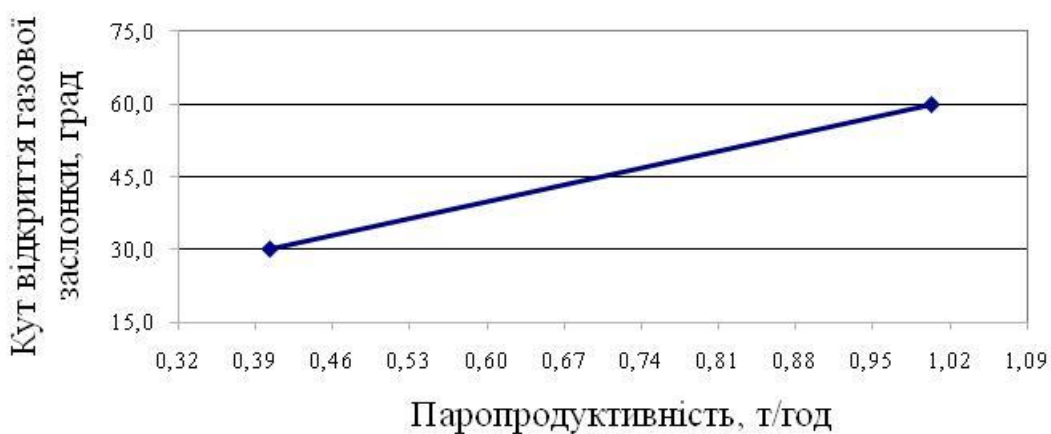


Рисунок 2.18 — Графік залежності кута відкриття газової заслонки від паропродуктивності парового котла ст. № 2

Графіки залежності концентрацій викидів оксидів азоту від паропродуктивності парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ HVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.19, 2.20.

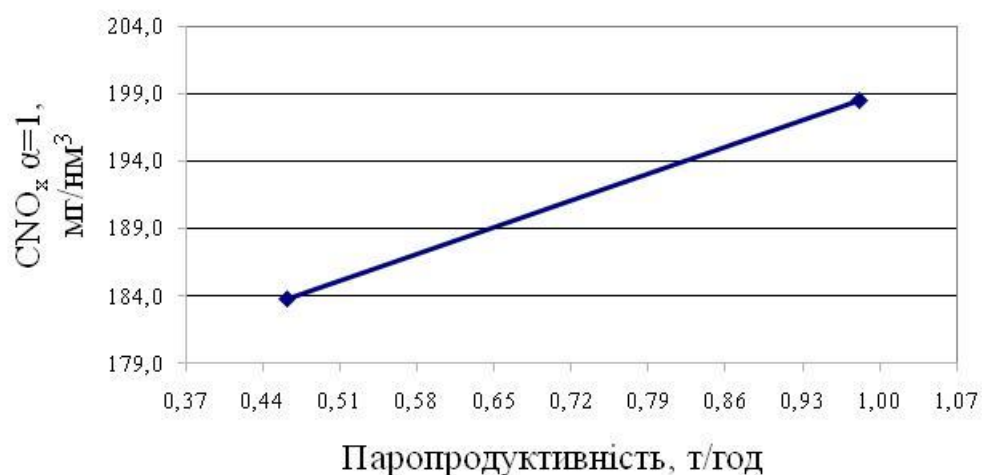


Рисунок 2.19 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів азоту від паропродуктивності парового котла ст. № 1

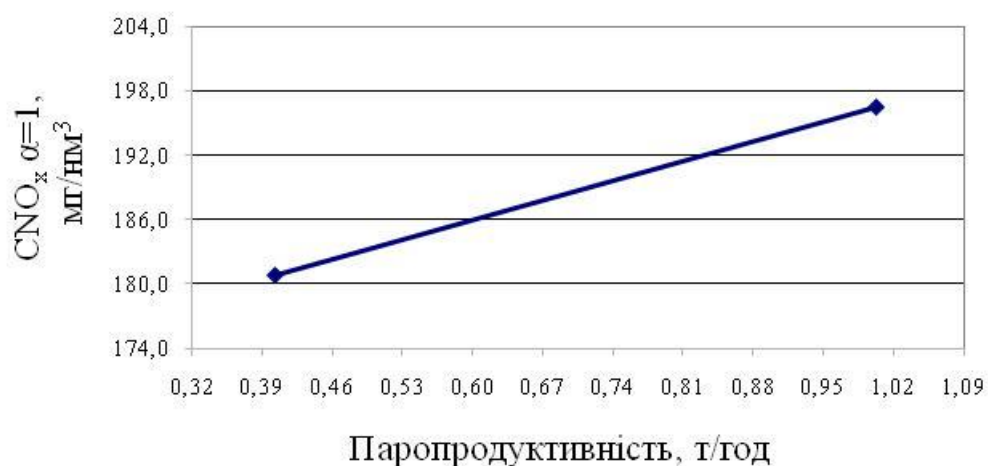


Рисунок 2.20 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів азоту від паропродуктивності парового котла ст. № 2

Графіки залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від паропродуктивності парових котлів «Ferrolі» VAPOPPEX HVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.21, 2.22.

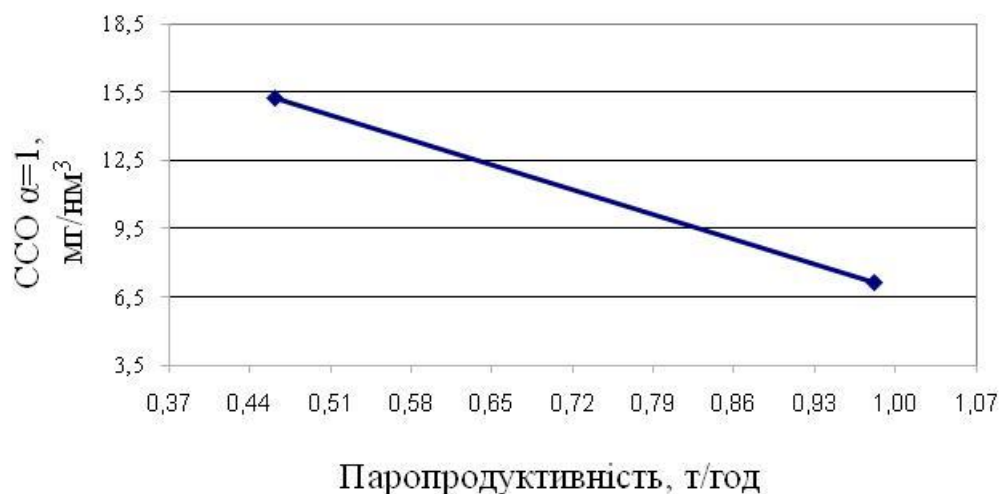


Рисунок 2.21 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від паропродуктивності парового котла ст. № 1

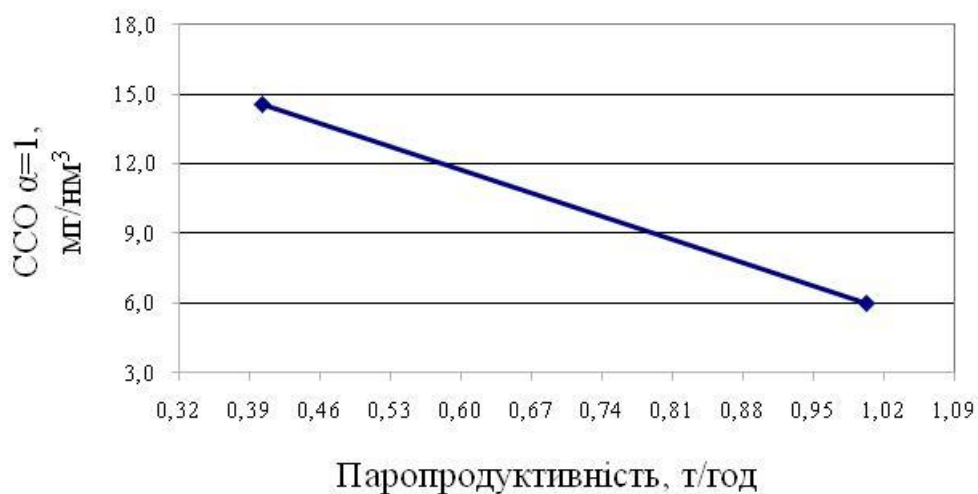


Рисунок 2.22 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від паропродуктивності парового котла ст. № 2

Графіки залежності концентрацій викидів оксидів азоту від коефіцієнту надлишку повітря парових котлів «Ferrolі» VAPOPРЕХ НVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.23, 2.24.



Рисунок 2.23 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів азоту від коефіцієнту надлишку парового котла ст. № 1



Рисунок 2.24 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів азоту від коефіцієнту надлишку повітря парового котла ст. № 2

Графіки залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від коефіцієнту надлишку повітря парових котлів «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.25, 2.26.



Рисунок 2.25 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від коефіцієнту надлишку повітря парового котла ст. № 1

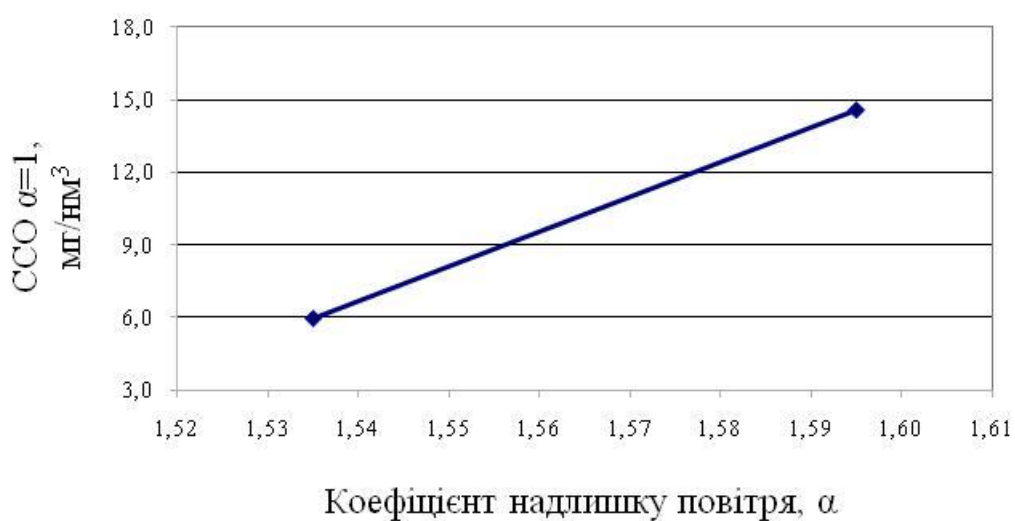


Рисунок 2.26 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від коефіцієнту надлишку повітря парового котла ст. № 2

З наведених графіків видно, що кількість забруднюючих речовин залежить від теплової потужності котла та від коефіцієнта надлишку повітря.

Показники забруднюючих речовин представлені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Показники забруднюючих речовин у період випробувань парових котлів

Найменування величини	Од. виміру	Показники забруднюючих речовин	
		Котел ст. № 1	Котел ст. № 2
Вміст забруднюючих речовин:			
– оксиди азоту ($\text{NO}_{x(\alpha=1)}$)	мг/м ³	183,80...198,51	180,86...196,46
– оксиди вуглецю ($\text{CO}_{(\alpha=1)}$)	мг/м ³	15,26...7,11	14,54...5,98
Секундний викид:			
– оксиди азоту (NO_x)	г/сек	0,0144...0,0329	0,0125...0,0335
– оксиди вуглецю (CO)	г/сек	0,0012...0,0012	0,0010...0,0010

Фактичні величини оксидів азоту не перевищують гранично-допустимих концентрацій пред'явлених інститутом Газу АН України і Управлінням з охорони атмосферного повітря Мінприроди України (250 мг/м³).

Одним з методів придушення оксидів азоту є організація та ведення теплових режимів таким чином, щоб концентрація оксиду вуглецю підтримувалася на рівні гранично-допустимої (130 мг/м³).

За результатами еколого-теплотехнічних випробувань газових парових котлів «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250 ст. №№ 1,2 зроблені наступні висновки:

1. Максимальне навантаження котла в період випробувань було:

– VAPOPREX HVP 1250 ст. № 1 – 0,5523 Гкал/г, що відповідає оптимальному коефіцієнту надлишку повітря на виході з топки – 1,38;

– VAPOPREX HVP 1250 ст. № 2 – 0,5644 Гкал/ч, що відповідає оптимальному коефіцієнту надлишку повітря на виході з топки – 1,53.

Робота при цьому режимі дозволяє мати ККД, що дорівнює 92,51 % (VAPOPREX HVP 1250 ст. № 1), 91,99 % (VAPOPREX HVP 1250 ст. № 2) і порівняно з номінальним навантаженням менший викид оксидів азоту та продуктів хімічної неповноти горіння.

2. Теплові агрегати на встановлених навантаженнях працюють без відхилень.

3. Автоматика безпеки спрацьовує при порушенні будь-якого з заданих параметрів.

4. Фактичні величини оксидів азоту і окису вуглецю не перевищують гранично-допустимих концентрацій.

2.3 Результати проведення еколого-теплотехнічних випробувань водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2

2.3.1 Зведені відомості обробки результатів випробувань водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 (зав. № 1708A14003) та ст. № 2 (зав. № 1708A14002)

Зведена відомість обробки результатів випробувань водогрійного котла ст. № 1 (зав. № 1708A14003) представлена в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Зведена відомість обробки результатів випробувань водогрійного котла «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 (зав. № 1708A14003)

Найменування величини	Позначення	Розмірність	Навантаження, %	
			46	86
1	2	3	4	5
1. Основні показники				
1.1 Пар, вода				
Теплопродуктивність котла	Q_k	Гкал/год	0,208	0,387
Тиск води через котел:				
– за приладом	$G_{пр}$	т/год	–	–
– розрахунковий	G_k	т/год	24,20	24,20
Щільність води фактична	$\rho_{факт}$	кг/м ³	–	–
Щільність води розрахунква	$\rho_{розр}$	кг/м ³	–	–
Температура води на вході в котел	t_1	°С	51,00	52,00
Температура води на виході котла	t_2	°С	60,00	68,00
Різниця температур води в котлі	D_t	°С	9,00	16,00
Тиск води на вході в котел	P_1	МПа	0,360	0,360
Тиск води на виході з котла	P_2	МПа	0,350	0,350
Гідравлічний опір котла	DP	МПа	0,010	0,010
Паспортна теплопродуктивність котла	Q_n	Гкал/год	0,4515	0,4515
1.2 Природний газ				

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5
Теплота згоряння природного газу при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $P=760\text{ мм рт.ст.}$	Q_{H}^{P}	ккал/м ³	8292	8292
Витрата природного газу за коректором	$V_{\text{Г.д}}$	м ³ /год	27,00	51,00
Температура газу	$t_{\text{Г}}$	$^{\circ}\text{C}$	6,00	6,00
Тиск природного газу перед котлом	$P_{\text{К}}$	кПа	6,60	6,50
Тиск природного газу перед пальником	$P_{\text{Г.п.}}$	кПа	0,30	0,86
Кількість працюючих пальників	n	шт	1	1
1.3 Повітря				
Барометричний тиск (дійсний)	$P_{\text{бар.}}$	мм рт.ст.	758	758
Тиск повітря перед пальником	$P_{\text{пов.}}$	кПа	0,26	0,90
Температура повітря перед пальником	$t_{\text{п.}}$	$^{\circ}\text{C}$	21,00	21,00
1.4 Димові гази				
Розрідження за котлом	$S_{\text{дим.}}$	Па	35...45	30...40
Температура відхідних газів	$t_{\text{вих.г.}}$	$^{\circ}\text{C}$	127,20	172,40
Склад димових газів за котлом:				
– диоксид вуглецю	CO_2	%	7,80	8,70
– кисень	O_2	%	7,10	5,50
– оксид вуглецю	CO	%	0,0006	0,0003
– оксиди азоту	NO_x	%	0,0045	0,0052
– оксид вуглецю	CO	мг/нм ³	7,50	3,70
– оксиди азоту	NO_x	мг/нм ³	92,40	100,80
Коефіцієнт надлишку повітря за котлом	$\alpha_{\text{вих.}}$	–	1,46	1,32
Відношення обсягу горючих газів до теоретичного об'єму повітря	$U_{\text{ср.}}/U_0$	–	–	–
2 Тепловий баланс				
Жаропродуктивність палива	T_{max}	$^{\circ}\text{C}$	2010	2010
Максимально можливий вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згоряння	$\text{RO}_{2\text{max}}$	%	11,80	11,80
Коефіцієнт відношення обсягу сухих продуктів горіння в порівнянні з теоретичним	h	–	1,513	1,356

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	
Коефіцієнт відношення сухих і вологих продуктів горіння	z	–	5,68	5,22	
Коефіцієнт по теплоємності вихідних газів	C^*	–	–	–	
Коефіцієнт по теплоємності повітря	k	–	–	–	
Теоретична кількість повітря	U_o	$\text{м}^3/\text{м}^3$	9,204	9,204	
Втрати тепла з димовими газами	q_2	%	6,03	7,90	
Теплотворна здатність СО	Q_{co}	$\text{ккал}/\text{м}^3$	3016	3016	
Нижча теплотворна здатність палива віднесена до 1м^3 сухих продуктів згорання при спалюванні в теоретичних умовах	P	$\text{ккал}/\text{м}^3$	1000	1000	
Втрати тепла від хімічної неповноти згорання	q_3	%	0,00272	0,00122	
Площа поверхні огорожень котла	H	%	9,30	9,30	
Втрати тепла в навколишнє середовище	q_5	%	1,16	0,62	
ККД котла по зворотному балансу	$\eta_{звор.}$	%	92,80	91,48	
3 Питома витрата палива на вироблення тепла					
Питома витрата натурального палива на вироблення тепла	$V_{нп}$	$\text{м}^3/\text{Гкал}$	130,00	131,86	
Питома витрата умовного палива на вироблення 1 Гкал	V_y^y	кг $\text{у.т}/\text{Гкал}$	153,90	156,20	
4 Результати інвентаризаційних шкідливих викидів					
Масова концентрація приведена до нормальних умов та $\alpha=1$	оксиду вуглецю	CCO $\alpha=1$	$\text{мг}/\text{нм}^3$	11,34	5,09
	оксидів азоту в перерах. на NO_x	CNO_x $\alpha=1$	$\text{мг}/\text{нм}^3$	139,78	144,82
Нижча теплота згорання палива, віднесена до обсягу сухих продуктів згорання при $\alpha = 1$	Z	$\text{МДж}/\text{нм}^3$	4,187	4,187	
Теоретичний вміст сухих газів в продуктах згорання U_o (пр.г.) зг.	$U_o \text{ зг.}$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	10,28	10,28	
Теплова характеристика для газу	PQ	$\text{Гкал}/\text{м}^3$	0,0008065	0,0008065	
Питомий викид на 1 Гкал виробленого тепла	оксиду вуглецю	$v \text{ CO}$	$\text{г}/\text{Гкал}$	12,20	5,60

Продовження таблиці 2.8

1		2	3	4	5
	оксидів азоту в перерах. на NO _x	в NO _x	г/Гкал	150,60	158,30
Питомий викид на 1 тис.м ³ газу	оксиду вуглецю	В СО	кг/тис.м ³	0,094	0,042
	оксидів азоту в перерах. на NO _x	В NO _x	кг/тис.м ³	1,159	1,201
Секундний викид	оксиду вуглецю	М СО	г/сек	0,00071	0,00060
	оксидів азоту в перерах. на NO _x	М NO _x	г/сек	0,00869	0,01701

Еколого-теплотехнічні характеристики парового котла «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 (зав. № 1708A14003) представлені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Зведена таблиця еколого-теплотехнічних характеристик парового котла «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 (зав. № 1708A14003)

Найменування величини	Од. виміру	Навантаження, %	
		46	86
1	2	3	4
Теплопродуктивність котла	Гкал/год	0,208	0,387
Витрата природного газу	м ³ /год	27,00	51,00
Температура відхідних газів	°С	127,20	172,40
Коефіцієнт надлишку повітря		1,46	1,32
Масова концентрація приведена до нормальних умов:			
– оксидів азоту	мг/нм ³	92,40	106,80
– оксиду вуглецю	мг/нм ³	7,50	3,70
Масова концентрація приведена до нормальних умов та α = 1:			
– оксидів азоту	мг/нм ³	139,80	144,80
– оксиду вуглецю	мг/нм ³	11,30	5,10

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
Питомий викид на 1 Гкал виробленого тепла:			
– оксидів азоту	г/Гкал	150,60	158,30
– оксиду вуглецю	г/Гкал	12,20	5,60
Питомий викид на 1 тис. м ³ палива:			
– оксидів азоту	кг/тис.м ³	1,159	1,201
– оксиду вуглецю	кг/тис.м ³	0,094	0,042
Секундний викид:			
– оксидів азоту	г/сек	0,00869	0,01701
– оксиду вуглецю	г/сек	0,00071	0,00060

Зведена відомість обробки результатів випробувань водогрійного котла ст. № 2 (зав. № 1708A14002) представлена в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Зведена відомість обробки результатів випробувань водогрійного котла «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. № 2 (зав. № 1708A14002)

Найменування величини	Позначення	Розмірність	Навантаження, %	
			51	84
1	2	3	4	5
1. Основні показники				
1.1 Пар, вода				
Теплопродуктивність котла	Q_k	Гкал/год	0,229	0,378
Тиск води через котел:				
– за приладом	$G_{пр}$	т/год	–	–
– розрахунковий	G_k	т/год	23,60	23,60
Щільність води фактична	$\rho_{факт}$	кг/м ³	–	–
Щільність води розрахункова	$\rho_{розр}$	кг/м ³	–	–
Температура води на вході в котел	t_1	°С	52,00	53,00
Температура води на виході котла	t_2	°С	62,00	69,00
Різниця температур води в котлі	D_t	°С	10,00	16,00
Тиск води на вході в котел	P_1	МПа	0,360	0,360
Тиск води на виході з котла	P_2	МПа	0,350	0,350
Гідравлічний опір котла	DP	МПа	0,010	0,010
Паспортна теплопродуктивність котла	Q_n	Гкал/год	0,4515	0,4515

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5
1.2 Природний газ				
Теплота згоряння природного газу при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $P=760\text{ мм рт.ст.}$	Q_{H}^{P}	ккал/м ³	8292	8292
Витрата природного газу за коректором	$V_{\text{д}}^{\text{Г}}$	м ³ /год	29,80	50,00
Температура газу	$t_{\text{Г}}$	$^{\circ}\text{C}$	6,00	6,00
Тиск природного газу перед котлом	$P_{\text{к}}$	кПа	7,00	6,50
Тиск природного газу перед пальником	$P_{\text{Г.п.}}$	кПа	0,32	0,90
Кількість працюючих пальників	n	шт	1	1
1.3 Повітря				
Барометричний тиск (дійсний)	$P_{\text{бар.}}$	мм рт.ст.	758	758
Тиск повітря перед пальником	$P_{\text{пов.}}$	кПа	0,36	1,08
Температура повітря перед пальником	$t_{\text{п.}}$	$^{\circ}\text{C}$	21,00	21,00
1.4 Димові гази				
Розрідження за котлом	$S_{\text{дим.}}$	Па	35...45	30...40
Температура відхідних газів	$t_{\text{вих.г.}}$	$^{\circ}\text{C}$	128,4	172,3
Склад димових газів за котлом:				
– диоксид вуглецю	CO_2	%	7,60	8,30
– кисень	O_2	%	7,50	6,30
– оксид вуглецю	CO	%	0,0006	0,0003
– оксиди азоту	NO_x	%	0,0044	0,0050
– оксид вуглецю	CO	мг/нм ³	7,50	3,70
– оксиди азоту	NO_x	мг/нм ³	90,40	102,70
Коефіцієнт надлишку повітря за котлом	$\alpha_{\text{вих.}}$	–	1,50	1,38
Відношення обсягу горючих газів до теоретичного об'єму повітря	$U_{\text{сг}}/U_{\text{о}}$	–	–	–
2 Тепловий баланс				
Жаропродуктивність палива	T_{max}	$^{\circ}\text{C}$	2010	2010
Максимально можливий вміст трьохатомних газів в сухих продуктах згоряння	$\text{RO}_{2\text{max}}$	%	11,80	11,80
Коефіцієнт відношення обсягу сухих продуктів горіння в порівнянні з теоретичним	h	–	1,553	1,422

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5	
Коефіцієнт відношення сухих і вологих продуктів горіння	z	–	5,80	5,40	
Коефіцієнт по теплоємності вихідних газів	C^*	–	–	–	
Коефіцієнт по теплоємності повітря	k	–	–	–	
Теоретична кількість повітря	U_o	$\text{м}^3/\text{м}^3$	9,204	9,204	
Втрати тепла з димовими газами	q_2	%	6,23	8,17	
Теплотворна здатність СО	Q_{co}	$\text{ккал}/\text{м}^3$	3016	3016	
Нижча теплотворна здатність палива віднесена до 1м^3 сухих продуктів згорання при спалюванні в теоретичних умовах	P	$\text{ккал}/\text{м}^3$	1000	1000	
Втрати тепла від хімічної неповноти згорання	q_3	%	0,00279	0,00128	
Площа поверхні огорожень котла	H	%	9,30	9,30	
Втрати тепла в навколишнє середовище	q_5	%	1,05	0,63	
ККД котла по зворотному балансу	$\eta_{звор.}$	%	92,71	91,20	
3 Питома витрата палива на вироблення тепла					
Питома витрата натурального палива на вироблення тепла	$V_{нп}$	$\text{м}^3/\text{Гкал}$	130,10	132,20	
Питома витрата умовного палива на вироблення 1 Гкал	V_y^y	кг $\text{у.т}/\text{Гкал}$	154,10	156,60	
4 Результати інвентаризаційних шкідливих викидів					
Масова концентрація приведена до нормальних умов та $\alpha=1$	оксиду вуглецю	CCO $\alpha=1$	$\text{мг}/\text{нм}^3$	11,64	5,33
	оксидів азоту в перерах. на NO_x	CNO_x $\alpha=1$	$\text{мг}/\text{нм}^3$	140,27	145,96
Нижча теплота згорання палива, віднесена до обсягу сухих продуктів згорання при $\alpha = 1$	Z	$\text{МДж}/\text{нм}^3$	4,187	4,187	
Теоретичний вміст сухих газів в продуктах згорання U_o (пр.г.) зг.	$U_o \text{ зг.}$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	10,28	10,28	
Теплова характеристика для газу	PQ	$\text{Гкал}/\text{м}^3$	0,0008065	0,0008065	
Питомий викид на 1 Гкал виробленого тепла	оксиду вуглецю	$v \text{ CO}$	$\text{г}/\text{Гкал}$	12,60	5,80

Продовження таблиці 2.10

1		2	3	4	5
	оксидів азоту в перерах. на NO _x	в NO _x	г/Гкал	151,30	160,00
Питомий викид на 1 тис.м ³ газу	оксиду вуглецю	В СО	кг/тис.м ³	0,097	0,044
	оксидів азоту в перерах. на NO _x	В NO _x	кг/тис.м ³	1,163	1,210
Секундний викид	оксиду вуглецю	М СО	г/сек	0,00080	0,00061
	оксидів азоту в перерах. на NO _x	М NO _x	г/сек	0,00963	0,01681

Еколого-теплотехнічні характеристики парового котла «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. № 2 (зав. № 1708A14002) представлені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Зведена таблиця еколого-теплотехнічних характеристик парового котла «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. № 2 (зав. № 1708A14002)

Найменування величини	Од. виміру	Навантаження, %	
		51	84
1	2	3	4
Теплопродуктивність котла	Гкал/год	0,229	0,378
Витрата природного газу	м ³ /год	29,80	50,00
Температура відхідних газів	°С	128,40	172,30
Коефіцієнт надлишку повітря		1,50	1,38
Масова концентрація приведена до нормальних умов:			
– оксидів азоту	мг/нм ³	90,40	102,70
– оксиду вуглецю	мг/нм ³	7,50	3,70
Масова концентрація приведена до нормальних умов та α = 1:			
– оксидів азоту	мг/нм ³	140,30	146,00
– оксиду вуглецю	мг/нм ³	11,60	5,30

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4
Питомий викид на 1 Гкал виробленого тепла:			
– оксидів азоту	г/Гкал	151,30	160,00
– оксиду вуглецю	г/Гкал	12,60	5,80
Питомий викид на 1 тис. м ³ палива:			
– оксидів азоту	кг/тис.м ³	1,163	1,210
– оксиду вуглецю	кг/тис.м ³	0,097	0,044
Секундний викид:			
– оксидів азоту	г/сек	0,00963	0,01681
– оксиду вуглецю	г/сек	0,00080	0,00061

2.3.2 Аналіз результатів випробувань водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2

У період випробувань в топках парових котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 спалювався природний газ с $Q_n = 8292$ ккал/м³.

Перед проведенням основних еколого-теплотехнічних випробувань парових котлів були виконані підготовчі роботи з обстеженням, спостереженням за їх роботою, вимірів параметрів і порівнянням фактичних величин з розрахунковими.

В результаті теплотехнічних випробувань і налагодження процесу горіння шляхом оптимізації співвідношення «газ-повітря» були отримані оптимальні режими роботи теплових агрегатів, які наведені в зведених відомостях.

Максимальне навантаження котла в період випробувань склало:

- PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 – 0,387 Гкал/год;
- PREXTHERM RSW 525 ст. № 2 – 0,378 Гкал/год.

Коефіцієнт корисної дії котла при максимальному навантаженні:

- PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 – 91,48 %;
- PREXTHERM RSW 525 ст. № 2 – 91,20 %.

Коефіцієнт надлишку повітря у вихідних газах знаходився в межах:

- PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 – 1,50 – 1,38;
- PREXTHERM RSW 525 ст. № 2 – 1,52 – 1,27.

Температура відхідних газів на максимальному навантаженні складала:

- PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 – 172,4 °С;
- PREXTHERM RSW 525 ст. № 2 – 172,3°С.

Втрати тепла з димовими газами склали:

- PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 – 7,90 %;
- PREXTHERM RSW 525 ст. № 2 – 8,17 %.

За отриманими даними побудовані графіки залежності основних параметрів котла від його продуктивності і коефіцієнта надлишку повітря.

Графіки залежності коефіцієнту надлишку повітря від теплопродуктивності водогрійних котлів «Ferroli» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1, 2 зображені на рисунках 2.27, 2.28.

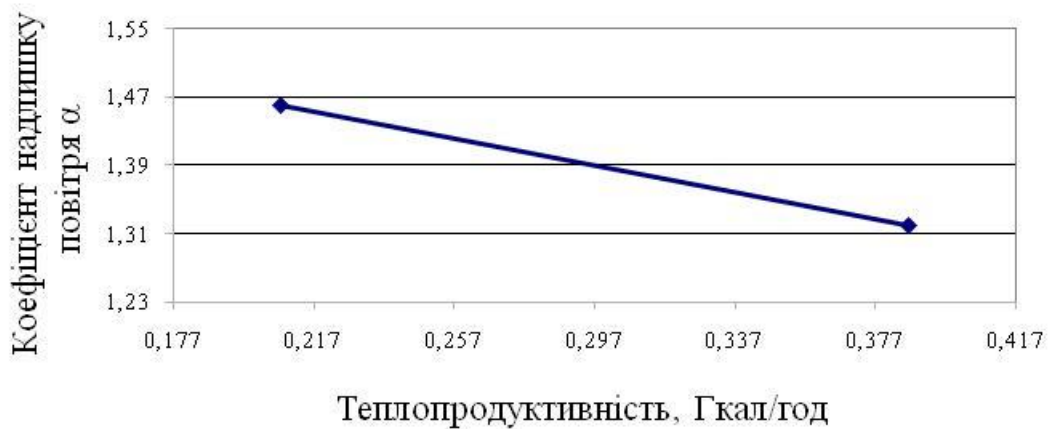


Рисунок 2.27 — Графік залежності коефіцієнту надлишку повітря від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 1

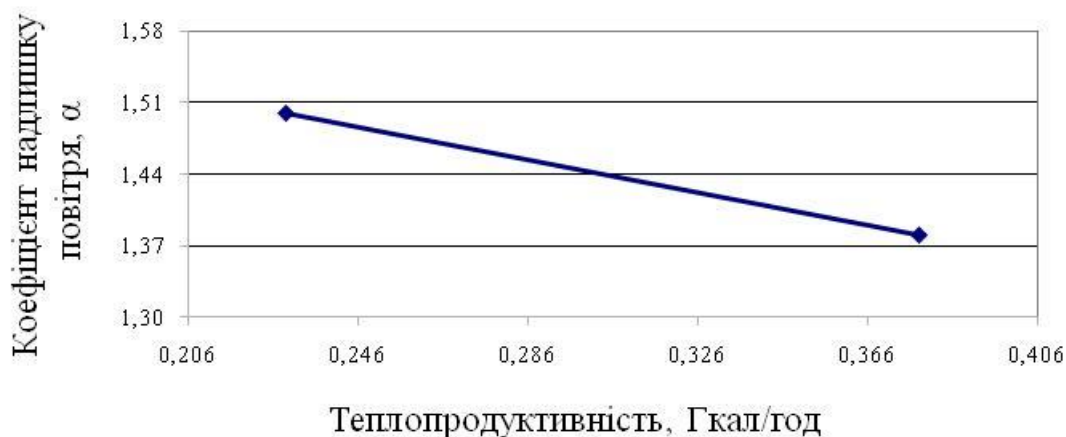


Рисунок 2.28 — Графіки залежності коефіцієнту надлишку повітря від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності температури відхідних газів від теплопродуктивності водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.29, 2.30.

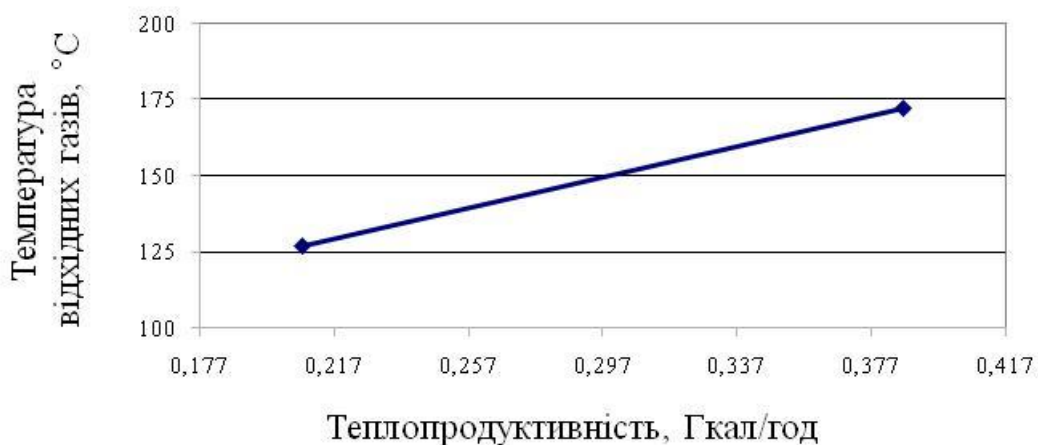


Рисунок 2.29 — Графік залежності температури відхідних газів від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 1

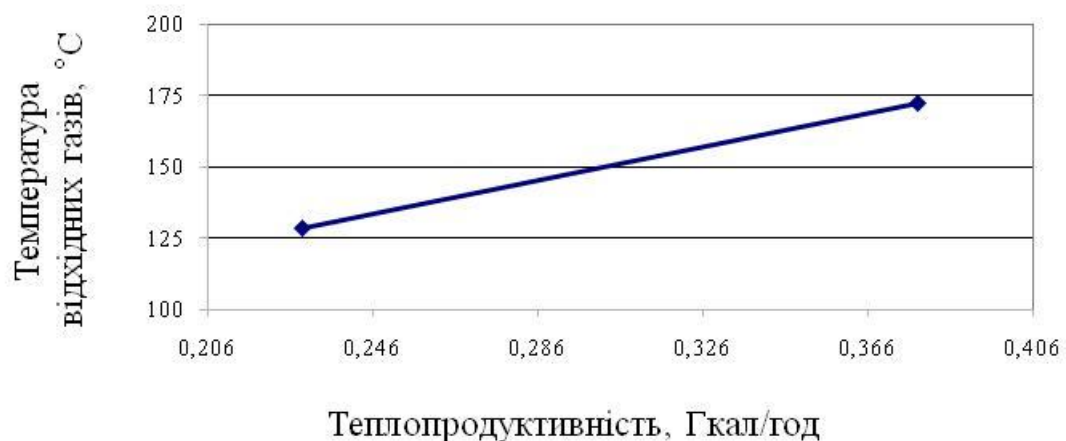


Рисунок 2.30 — Графік залежності температури відхідних газів від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності вмісту у відхідних газах оксидів вуглецю від теплопродуктивності водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.31, 2.32.

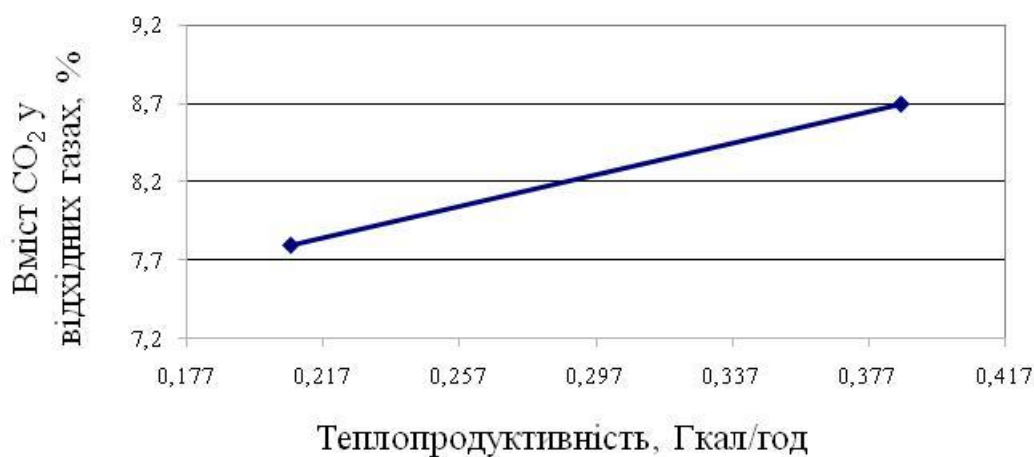


Рисунок 2.31 — Графік залежності вмісту у відхідних газах оксидів вуглецю від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 1

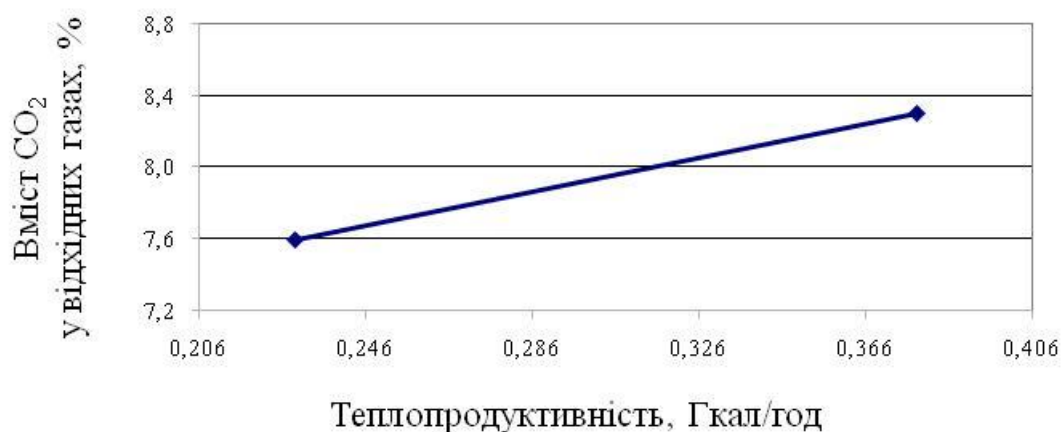


Рисунок 2.32 — Графік залежності вмісту у відхідних газах оксидів вуглецю від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності втрат тепла з відхідними газами від теплопродуктивності водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.33, 2.34.

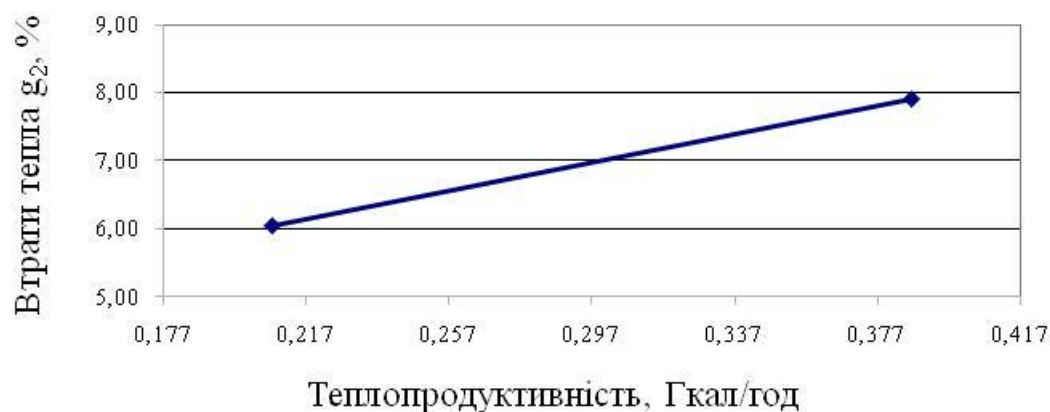


Рисунок 2.33 — Графік залежності втрат тепла з відхідними газами вуглецю від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 1

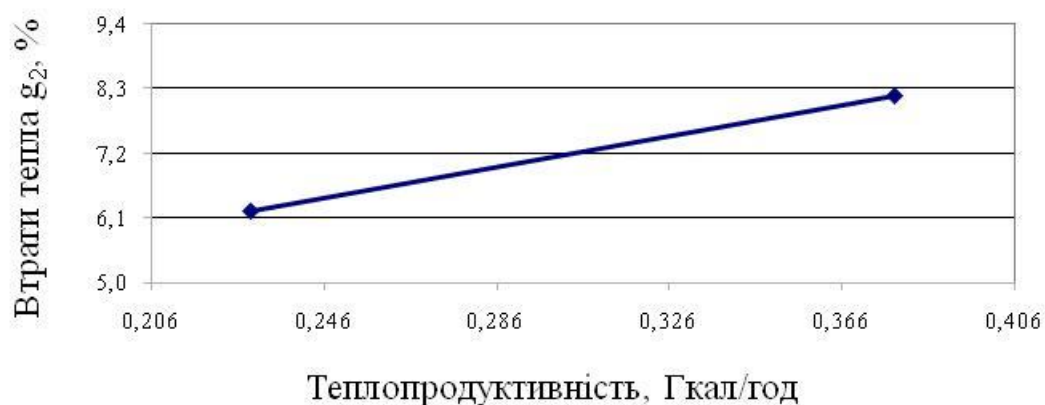


Рисунок 2.34 — Графік залежності втрат тепла з відхідними газами вуглецю від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності втрат тепла в навколишнє середовище від теплопродуктивності водогрійних котлів «Ferroli» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунку 2.35, 2.36.

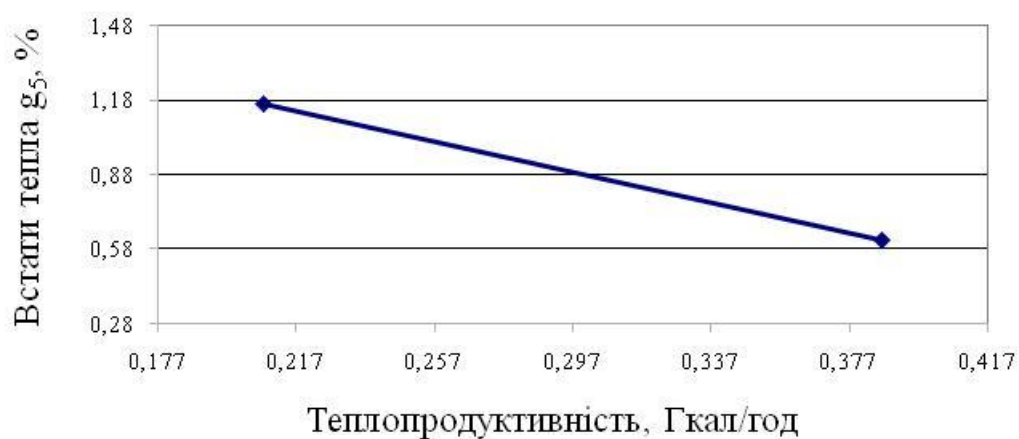


Рисунок 2.35 — Графік залежності втрат тепла в навколишнє середовище від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 1

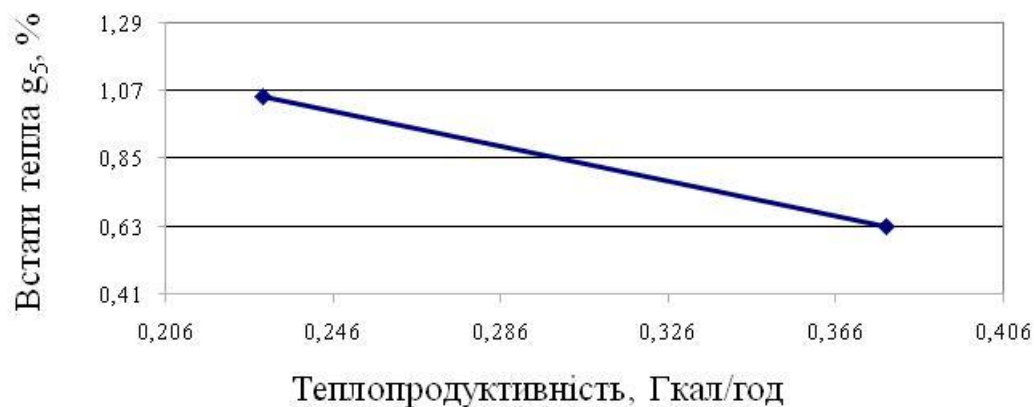


Рисунок 2.36 — Графік залежності втрат тепла в навколишнє середовище від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності коефіцієнту корисної дії від теплопродуктивності водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.37, 2.38.

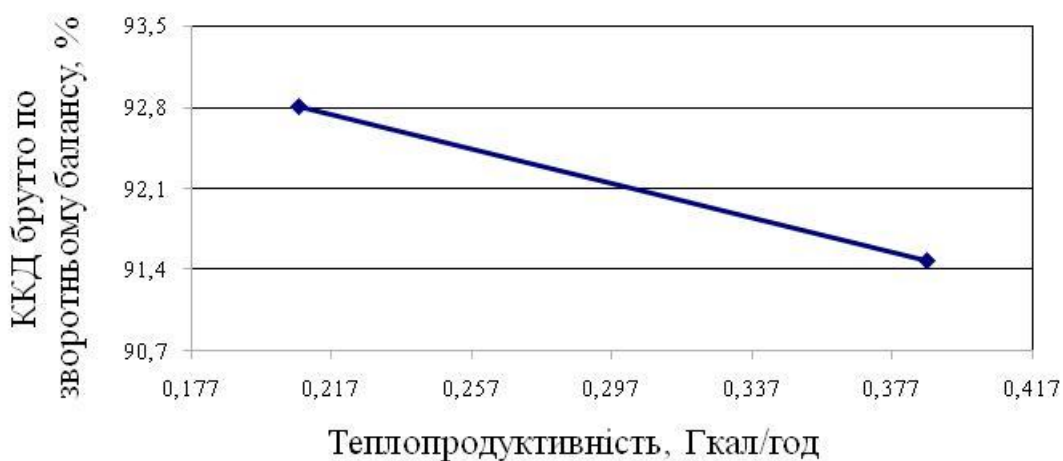


Рисунок 2.37 — Графік залежності коефіцієнту корисної дії від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 1

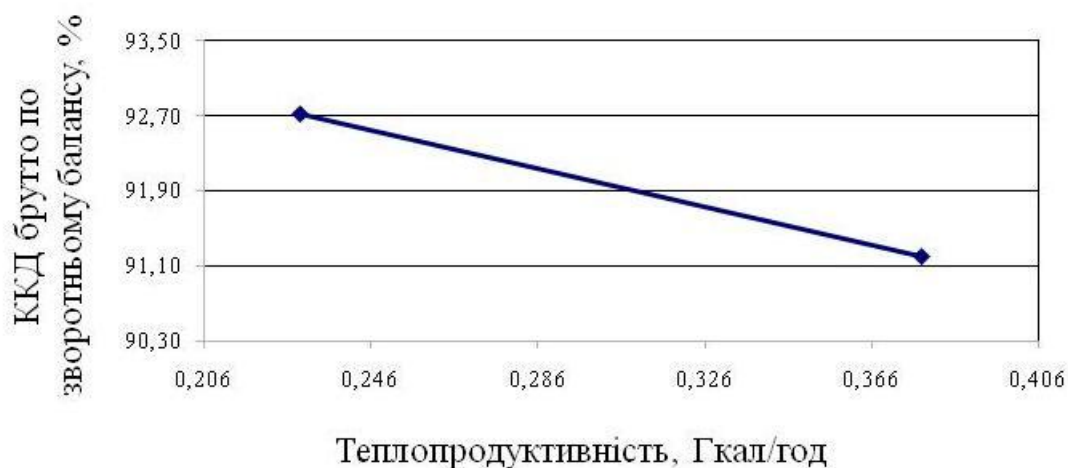


Рисунок 2.38 — Графік залежності коефіцієнту корисної дії від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності питомої витрати умовного палива від теплопродуктивності водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.39, 2.40.

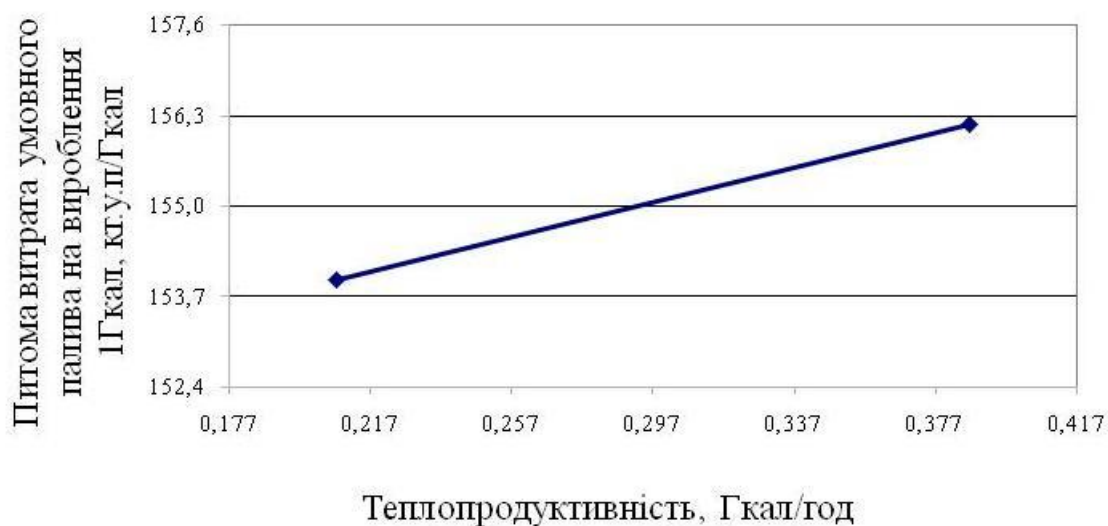


Рисунок 2.39 — Графік залежності питомої витрати умовного палива від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 1

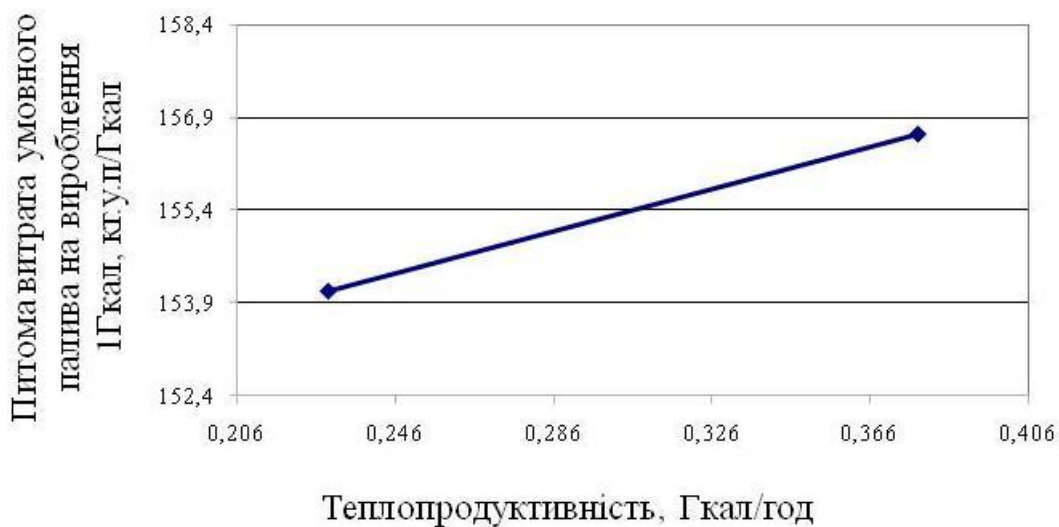


Рисунок 2.40 — Графік залежності питомої витрати умовного палива від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності фактичної витрати природного газу від теплопродуктивності водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.41, 2.42.

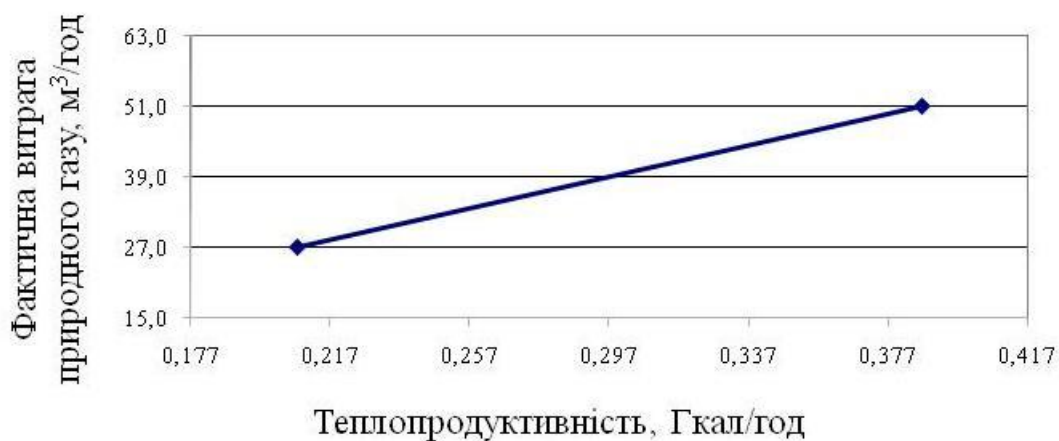


Рисунок 2.41 — Графік залежності фактичної витрати природного газу від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 1

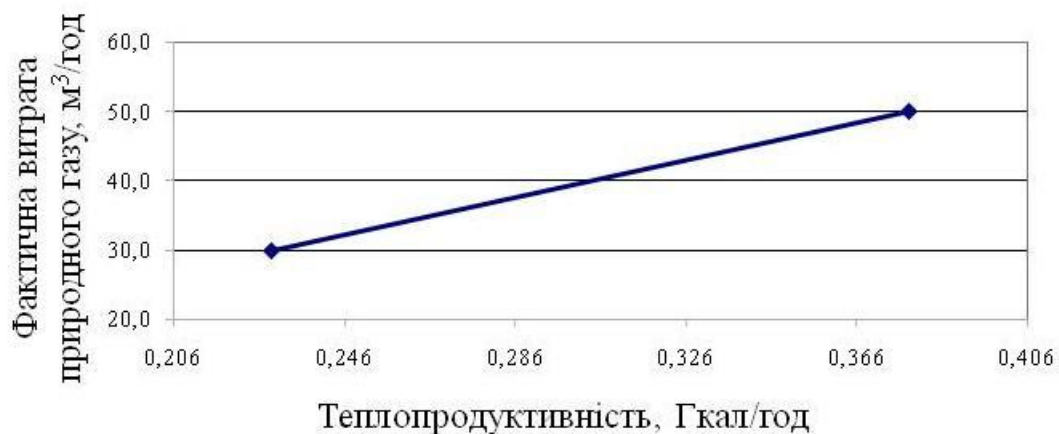


Рисунок 2.42 — Графік залежності фактичної витрати природного газу від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності тиску природного газу перед пальником від теплопродуктивності водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.43, 2.44.

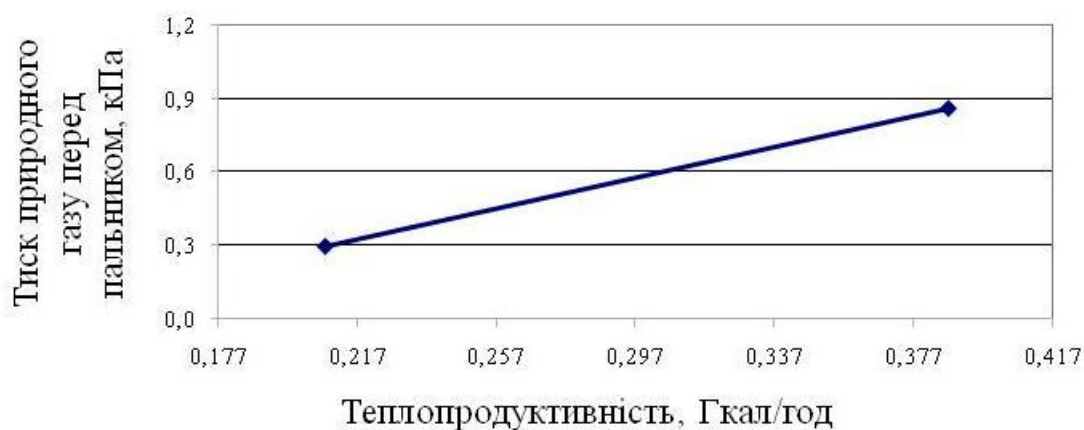


Рисунок 2.43 — Графік залежності тиску природного газу перед пальником від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 1

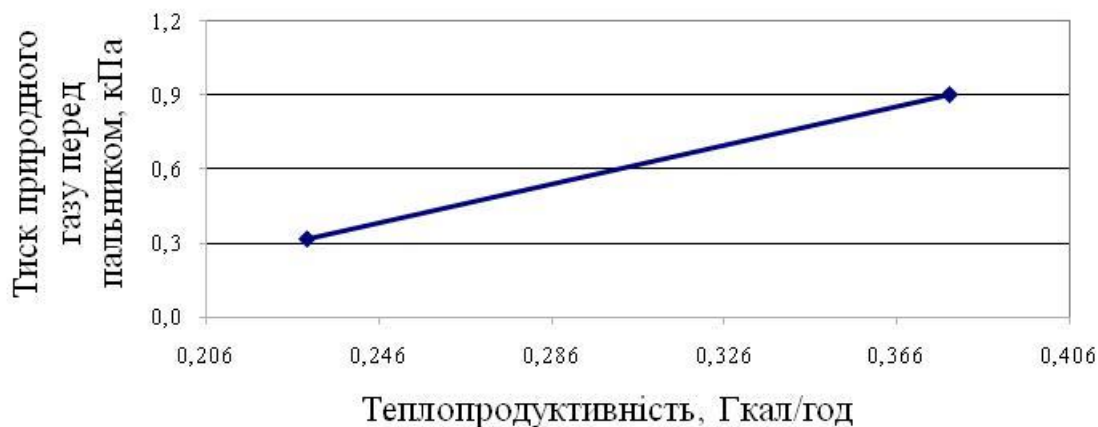


Рисунок 2.44 — Графік залежності тиску природного газу перед пальником від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності концентрацій викидів оксидів азоту від теплопродуктивності водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.45, 2.46.

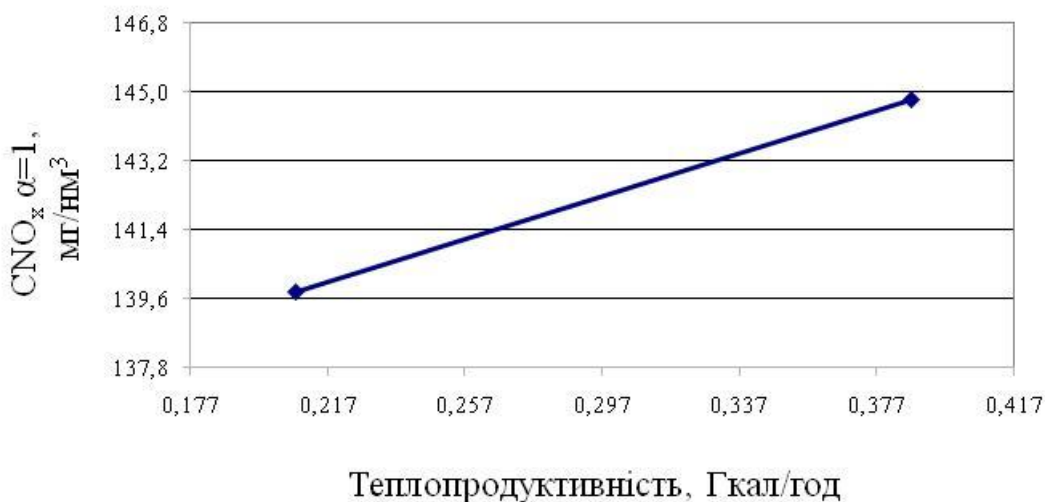


Рисунок 2.45 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів азоту від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 1

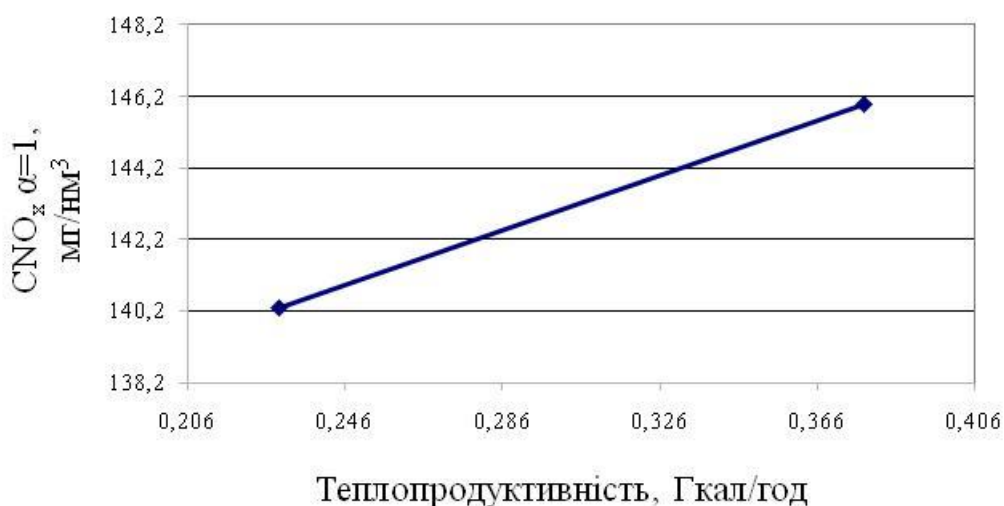


Рисунок 2.46 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів азоту від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від теплопродуктивності водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.47, 2.48.

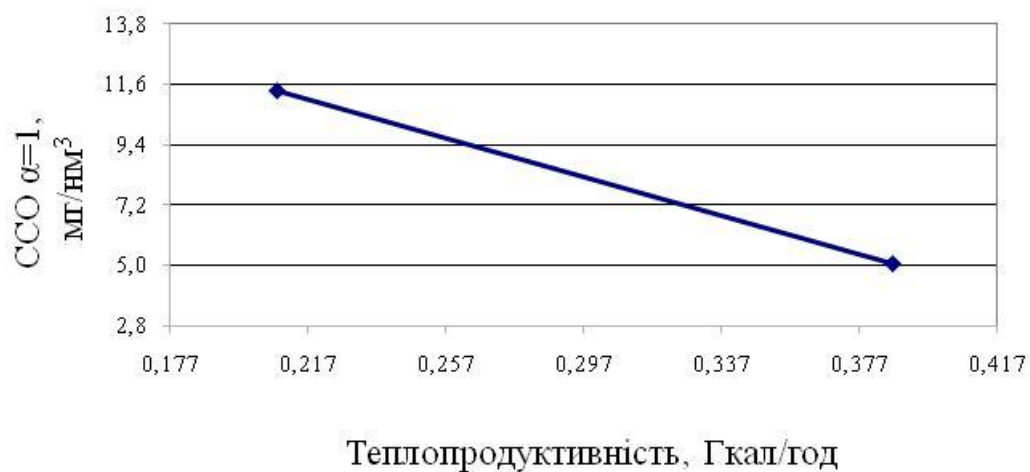


Рисунок 2.47 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 1

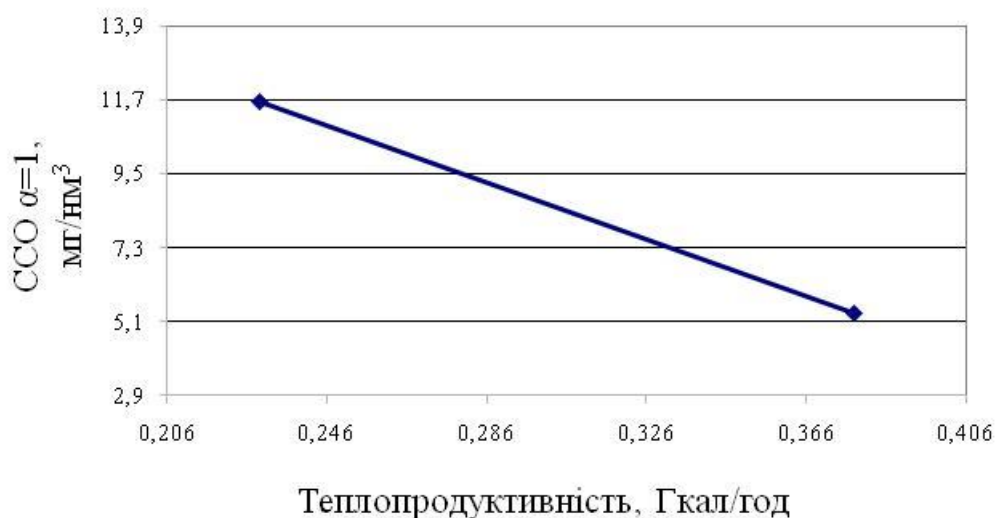


Рисунок 2.48 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від теплопродуктивності водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності концентрацій викидів оксидів азоту від коефіцієнту надлишку повітря парових водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.49, 2.50.

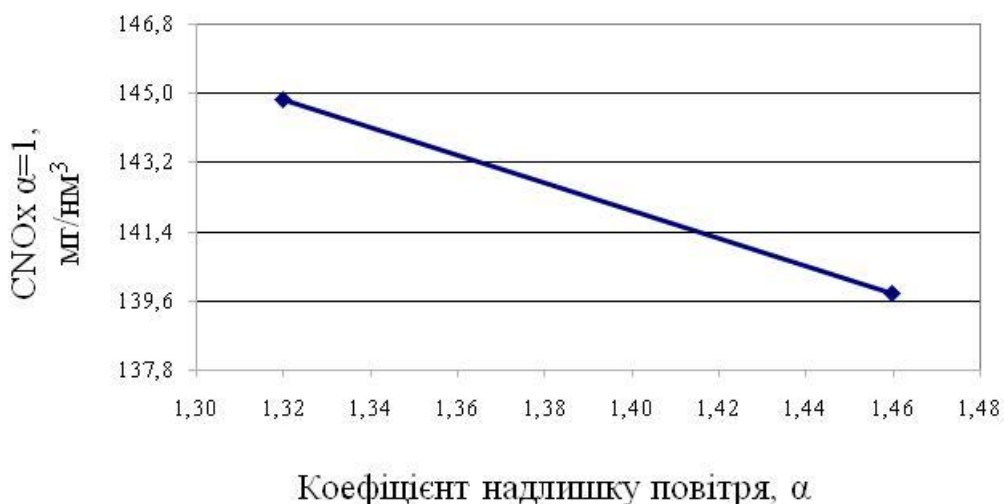


Рисунок 2.49 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів азоту від коефіцієнту надлишку водогрійного котла ст. № 1

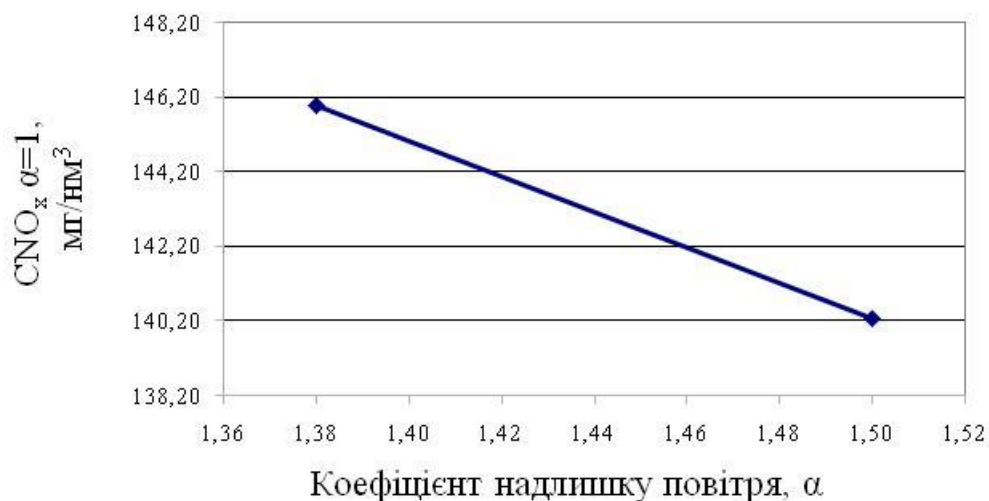


Рисунок 2.50 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів азоту від коефіцієнту надлишку повітря водогрійного котла ст. № 2

Графіки залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від коефіцієнту надлишку повітря водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зображені на рисунках 2.51, 2.52.

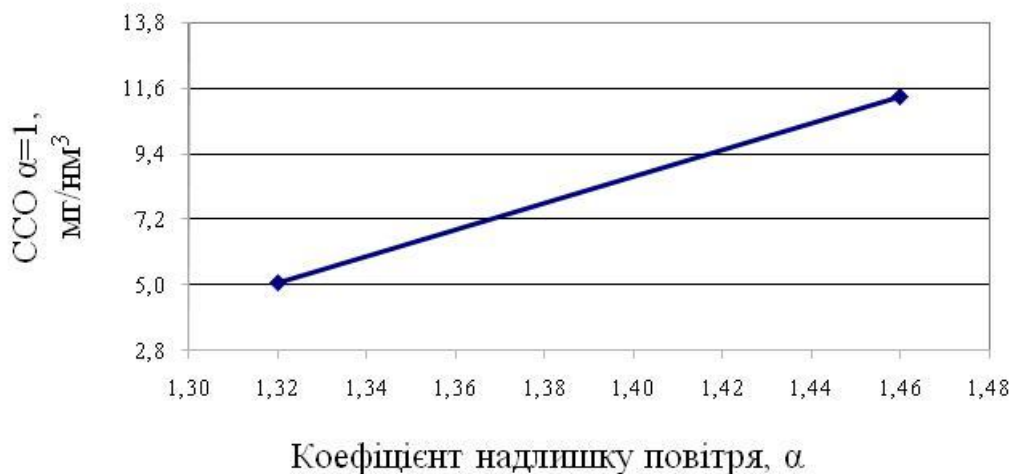


Рисунок 2.51 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від коефіцієнту надлишку повітря водогрійного котла ст. № 1

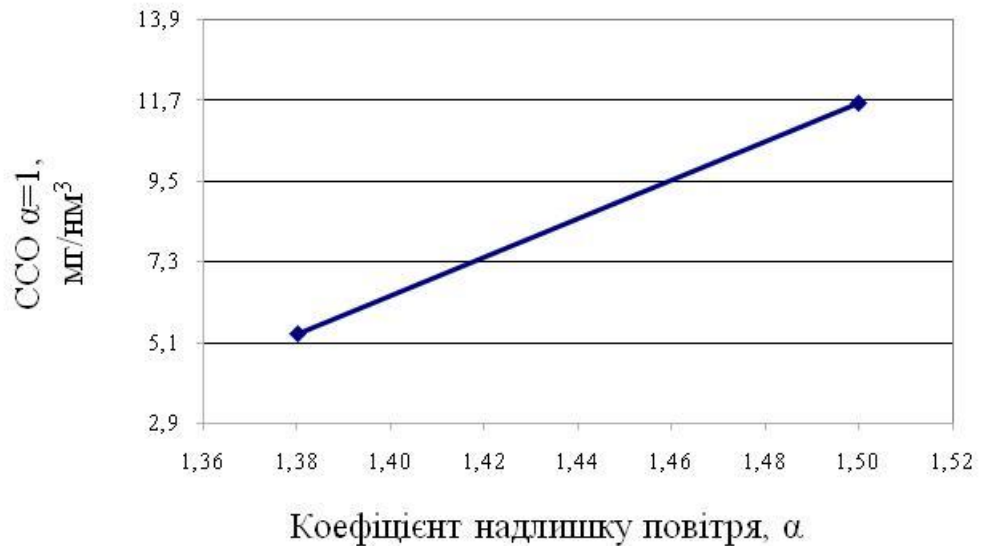


Рисунок 2.52 — Графік залежності концентрацій викидів оксидів вуглецю від коефіцієнту надлишку повітря водогрійного котла ст. № 2

З наведених графіків видно, що кількість забруднюючих речовин залежить від теплової потужності котла та від коефіцієнта надлишку повітря.

Показники забруднюючих речовин представлені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Показники забруднюючих речовин у період випробувань водогрійних котлів

Найменування величини	Од. виміру	Показники забруднюючих речовин	
		Котел ст. № 1	Котел ст. № 2
Вміст забруднюючих речовин:			
– оксиди азоту ($\text{NO}_{x(\alpha=1)}$)	мг/м ³	139,78...144,82	140,27...145,96
– оксиди вуглецю ($\text{CO}_{(\alpha=1)}$)	мг/м ³	11,34...5,09	11,64...5,33
Секундний викид:			
– оксиди азоту (NO_x)	г/сек	0,00869...0,01701	0,00963...0,01681
– оксиди вуглецю (CO)	г/сек	0,00071...0,00060	0,00080...0,00061

Фактичні величини оксидів азоту не перевищують гранично-допустимих концентрацій пред'явлених інститутом Газу АН України і Управлінням з охорони атмосферного повітря Мінприроди України (250 мг/м³).

Одним з методів придушення оксидів азоту є організація та ведення теплових режимів таким чином, щоб концентрація оксиду вуглецю підтримувалася на рівні гранично-допустимої (130 мг/м³).

За результатами еколого-теплотехнічних випробувань газових водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. №№ 1,2 зроблені наступні висновки:

1. Максимальне навантаження котла в період випробувань було:

- PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 – 0,387 Гкал/г, що відповідає оптимальному коефіцієнту надлишку повітря на виході з топки – 1,32;
- PREXTHERM RSW 525 ст. № 2 – 0,378 Гкал/ч, що відповідає оптимальному коефіцієнту надлишку повітря на виході з топки – 1,38.

Робота при цьому режимі дозволяє мати ККД, що дорівнює 91,48 % (PREXTHERM RSW 525 ст. №1), 91,20 % (PREXTHERM RSW 525 ст. №2) і порівняно з номінальним навантаженням менший викид оксидів азоту та продуктів хімічної неповноти горіння.

2. Автоматика безпеки спрацьовує при порушенні будь-якого з заданих параметрів.

2.4 Рекомендації та інструкція по раціональному використанню палива

З метою раціонального використання палива, економічного ведення топкового процесу і підтримки отриманих характеристик рекомендовано:

1. топковий режим вести згідно режимних карт. Режимні карти парових та водогрійних котлів представлені в таблицях 2.13 – 2.16;
2. виконувати регулярний перевірочний контроль правильності показань контрольно-вимірювальних приладів;
3. стежити за ущільненням місць можливих присосів повітря в топку, газохід котла і своєчасно усувати їх, тому що вони не тільки розбавляють топкові гази, але і беруть участь в допалювання палива з утворенням додаткової кількості NO_x;

4. розрідження в топці підтримувати на мінімальному рівні, щоб забезпечити відсутність вибивання газів з топки;
5. регулярно проводити контроль якості спалювання палива на наявність CO_2 , O_2 , CO , NO_x , SO_2 у відхідних газах;
6. пальники, регулюючу та запірну арматуру підтримувати в технічно справному стані;
7. для забезпечення ефективного теплообміну і зниження температури відхідних газів стежити за станом поверхонь нагріву і своєчасно виконувати механічну чистку зовнішніх поверхонь нагріву котлів.
8. для забезпечення максимальної тепловіддачі і збільшення терміну служби трубної частини теплових агрегатів підтримувати систему хімоводоочищення в технічно справному стані;
9. для забезпечення ефективного теплообміну і зниження гідравлічного опору парових котлів необхідно:
 - періодично, один раз на 3-4 роки, виконувати хімічну промивку внутрішніх поверхонь нагріву котлів;
 - воду для підживлення котлів використовувати тільки після хімоводоочищення.

Контроль щодо раціонального використання палива зводиться до контролю оперативним персоналом дотримання відповідності топкового процесу.

Однією з вирішальних умов економічної та надійної експлуатації паливоспоживчого обладнання є підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу. Тому до оперативного персоналу, зайнятого експлуатацією паливоспоживчого обладнання пред'являються підвищені вимоги в галузі знань щодо раціонального і ефективного використання палива.

Оперативний персонал, зайнятий обслуговуванням паливовикористовуючого обладнання, повинен володіти необхідним мінімумом знань і навичок визначених кваліфікаційною характеристикою, розбиратися і розуміти наступне коло питань:

- втрати теплоти і шляхи їх зниження;
- ведення оптимального топкового процесу, умови досягнення розрахункових показників економічності;
- зниження теплових втрат за рахунок підтримки чистих теплообмінних поверхонь нагріву, зменшення втрат в навколишнє середовище з димовими газами.

Вживати заходів для підтримання раціональної роботи основного і допоміжного устаткування:

- підтримувати вміст CO₂ і O₂ в продуктах згоряння за тепловим агрегатом відповідно до зазначених в режимній карті;
- змінювати продуктивність теплового агрегату, керуючись міркуваннями економічної роботи.

Таблиця 2.13 – Режимна карта газового парового котла «Ferrolі» VAPOPPEX HVP 1250 ст. № 1 (зав. № 8380)

Показники	Одиниця виміру	Навантаження, %	
		37	79
1	2	3	4
1. Основні показники			
1.1 Пар, вода			
Паропроductивність котла	т/год	0,462	0,982
Тиск пари в барабані	кгс/см ²	2,50	2,50
Температура води на вході в котел	°С	90,00	90,00
Температура насиченої пари	°С	139,02	139,02
1.2 Природний газ			
Витрата природного газу за коректором	м ³ /год	34,00	72,00
Тиск природного газу перед пальником	кПа	0,20	1,20
Кут відкриття газової заслінки	град	30	100
Кількість працюючих пальників	шт	1	1
1.3 Повітря			
Тиск повітря перед пальником	кПа	0,40	0,40
Кут відкриття повітряної заслінки	град	30	60
Температура повітря	°С	19,00	19,00
2. Контрольні параметри (димові газы)			
Розрідження за котлом	Па	30...40	25...35

Продовження таблиці 2.13

1	2	3	4	
Температура відхідних газів	°С	132,80	141,00	
Склад димових газів за котлом:				
– диоксид вуглецю	%	8,70	8,30	
– кисень	%	5,50	6,30	
– оксид вуглецю	%	0,0009	0,0004	
– оксиди азоту	%	0,0066	0,0068	
– оксид вуглецю	мг/нм ³	11,20	5,00	
– оксиди азоту	мг/нм ³	135,50	139,60	
Коефіцієнт надлишку повітря	–	1,32	1,38	
3. Техніко-економічні показники				
Втрати тепла з димовими газами	%	5,94	6,59	
Втрати тепла від хімічної неповноти згоряння	%	0,00366	0,00171	
Втрати тепла в навколишнє середовище	%	1,90	0,90	
ККД котла по зворотному балансу	%	92,16	92,51	
Концентрація NO _x приведена до нормальних умов та α=1	мг/нм ³	183,80	198,51	
Концентрація СО приведена до нормальних умов та α=1	мг/нм ³	15,26	7,11	
Питома витрата умовного палива на 1Гкал виробленого тепла	кг у.т/Гкал	155,01	154,42	
4. Екологічні показники				
Питомий викид на 1Гкал виробленого тепла	оксиду вуглецю	мг/нм ³	16,60	7,70
	оксидів азоту	мг/нм ³	199,40	214,60

Таблиця 2.14 – Режимна карта газового парового котла «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250 ст. № 2 (зав. № 8379)

Показники	Одиниц я виміру	Навантаження, %	
		32	80
1	2	3	4
1. Основні показники			
1.1 Пар, вода			
Паропродуктивність котла	т/год	0,402	1,003
Тиск пари в барабані	кгс/см ²	2,50	2,50
Температура води на вході в котел	°С	90,00	90,00
Температура насиченої пари	°С	139,02	139,02
1.2 Природний газ			

Продовження таблиці 2.14

1	2	3	4	
Витрата природного газу за коректором	м ³ /год	30,00	74,00	
Тиск природного газу перед пальником	кПа	0,20	1,30	
Кут відкриття газової заслінки	град	30	60	
Кількість працюючих пальників	шт	1	1	
1.3 Повітря				
Тиск повітря перед пальником	кПа	0,30	1,50	
Кут відкриття повітряної заслінки	град	30	70	
Температура повітря	°С	19,00	19,00	
2. Контрольні параметри (димові гази)				
Розрідження за котлом	Па	30...40	25...35	
Температура відхідних газів	°С	131,00	140,00	
Склад димових газів за котлом:				
– диоксид вуглецю	%	7,10	7,40	
– кисень	%	8,40	7,80	
– оксид вуглецю	%	0,0007	0,0003	
– оксиди азоту	%	0,0053	0,0060	
– оксид вуглецю	мг/нм ³	8,70	3,70	
– оксиди азоту	мг/нм ³	108,80	123,20	
Коефіцієнт надлишку повітря	–	1,59	1,53	
3. Техніко-економічні показники				
Втрати тепла з димовими газами	%	6,86	7,14	
Втрати тепла від хімічної неповноти згоряння	%	0,0035	0,0014	
Втрати тепла в навколишнє середовище	%	2,15	0,87	
ККД котла по зворотному балансу	%	90,99	91,99	
Концентрація NO _x приведена до нормальних умов та α=1	мг/нм ³	180,86	196,46	
Концентрація СО приведена до нормальних умов та α=1	мг/нм ³	14,54	5,98	
Питома витрата умовного палива на 1Гкал виробленого тепла	кг у.т/Гкал	157,00	155,30	
4. Екологічні показники				
Питомий викид на 1Гкал виробленого тепла	оксиду вуглецю	мг/нм ³	16,00	6,50
	оксидів азоту	мг/нм ³	198,80	213,60

Таблиця 2.15 – Режимна карта газового водогрійного котла «Ferrolі»
PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 (зав. № 1708A14003)

Показники	Одиниц я виміру	Навантаження, %	
		46	86
1	2	3	4
1. Основні показники			
1.1 Пар, вода			
Теплопродуктивність котла	Гкал/год	0,208	0,387
Витрата води (розрахункова)	м ³ /год	24,20	24,20
Температура води на вході в котел	°С	51,00	52,00
Температура води на виході котла	°С	60,00	68,00
Тиск води на вході в котел	МПа	0,360	0,360
Тиск води на виході з котла	МПа	0,350	0,350
Гідравлічний опір котла	МПа	0,010	0,010
1.2 Природний газ			
Витрата природного газу за коректором	м ³ /год	27,00	51,00
Тиск природного газу перед пальником	кПа	0,30	0,86
Кількість працюючих пальників	шт.	1	1
1.3 Повітря			
Тиск повітря перед пальником	кПа	0,26	0,90
Температура повітря перед пальником	°С	21,00	21,00
2. Контрольні параметри (димові газ)			
Розрідження за котлом	Па	35...45	30...40
Температура відхідних газів	°С	127,20	172,40
Склад димових газів за котлом:			
– диоксид вуглецю	%	7,80	8,70
– кисень	%	7,10	5,50
– оксид вуглецю	%	0,0006	0,0003
– оксиди азоту	%	0,0045	0,0052
– оксид вуглецю	мг/нм ³	7,50	3,70
– оксиди азоту	мг/нм ³	92,40	100,80
Коефіцієнт надлишку повітря за котлом	–	1,46	1,32
3. Техніко-економічні показники			
Втрати тепла з димовими газами	%	6,03	7,90
Втрати тепла від хімічної неповноти згоряння	%	0,00272	0,00122
Втрати тепла в навколишнє середовище	%	1,16	0,62
ККД котла по зворотному балансу	%	92,80	91,48
Концентрація NO _x приведена до нормальних умов та α=1	мг/нм ³	139,78	144,82

Продовження таблиці 2.15

1	2	3	4
Концентрація СО приведена до нормальних умов та $\alpha=1$	мг/нм ³	11,34	5,09
Питома витрата умовного палива на вироблення 1 Гкал	кг у.т/Гкал	153,90	156,20
4. Екологічні показники			
Питомий викид на 1 Гкал виробленого тепла	оксиду вуглецю	г/Гкал	12,20
	оксидів азоту	г/Гкал	150,60
		5,60	158,30

Таблиця 2.16 – Режимна карта газового водогрійного котла «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525 ст. № 2 (зав. № 1708A14002)

Показники	Одиниця виміру	Навантаження, %	
		51	84
1	2	3	4
1. Основні показники			
1.1 Пар, вода			
Теплопродуктивність котла	Гкал/год	0,229	0,378
Витрата води (розрахункова)	м ³ /год	23,60	23,60
Температура води на вході в котел	°С	52,00	53,00
Температура води на виході котла	°С	62,00	69,00
Тиск води на вході в котел	МПа	0,360	0,360
Тиск води на виході з котла	МПа	0,350	0,350
Гідравлічний опір котла	МПа	0,010	0,010
1.2 Природний газ			
Витрата природного газу за коректором	м ³ /год	29,80	50,00
Тиск природного газу перед пальником	кПа	0,32	0,90
Кількість працюючих пальників	шт.	1	1
1.3 Повітря			
Тиск повітря перед пальником	кПа	0,360	1,080
Температура повітря перед пальником	°С	21,00	21,00
2. Контрольні параметри (димові газы)			
Розрідження за котлом	Па	35...45	30...40
Температура відхідних газів	°С	128,40	172,30

Продовження таблиці 2.16

1	2	3	4	
Склад димових газів за котлом:				
– диоксид вуглецю	%	7,60	8,30	
– кисень	%	7,50	6,30	
– оксид вуглецю	%	0,0006	0,0003	
– оксиди азоту	%	0,0044	0,0050	
– оксид вуглецю	мг/нм ³	7,50	3,70	
– оксиди азоту	мг/нм ³	90,40	102,70	
Коефіцієнт надлишку повітря за котлом	–	1,50	1,38	
3. Техніко-економічні показники				
Втрати тепла з димовими газами	%	6,23	8,17	
Втрати тепла від хімічної неповноти згоряння	%	0,0028	0,0013	
Втрати тепла в навколишнє середовище	%	1,05	0,63	
ККД котла по зворотному балансу	%	92,71	91,20	
Концентрація NO _x приведена до нормальних умов та $\alpha=1$	мг/нм ³	140,27	145,96	
Концентрація СО приведена до нормальних умов та $\alpha=1$	мг/нм ³	11,64	5,33	
Питома витрата умовного палива на вироблення 1 Гкал	кг у.т/Гкал	154,10	156,60	
4. Екологічні показники				
Питомий викид на 1Гкал виробленого тепла	оксиду вуглецю	г/Гкал	12,60	5,80
	оксидів азоту	г/Гкал	151,30	160,00

Режимні карти складені при спалюванні природного газу з $Q_H^P=8292$ ккал/м³. Зазначені в режимних картах значення температури відхідних газів отримані при задовільному стані поверхні нагрівання.

При зміні теплоти згоряння більш ніж на 10 %, а також після капітального ремонту, реконструкції або відхилення параметрів від нормальних значень рекомендоване проведення повторних випробувань для коригування режимних карт.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я, життя й працездатності людини в процесі праці [23].

Охорона праці розглядає наступні напрямки: безпечна праця, запобігання травматизму і професійних захворювань, виникнення пожежо-небезпечних ситуацій, питання правової охорони праці.

Котельня призначена для теплопостачання систем опалення та гарячого водопостачання підприємства, а також для виробництва технологічної пари. Сумарна потужність котельної складає 2784 кВт. Розрахунковий температурний графік в тепловій мережі 80/50 °С. Котельня включає:

- парогенератор «Ferrolі» VAPOPPEX HVP 1250 (1250 кг пари/год, $P = 6 \text{ кгс/см}^2$) – 2 од;
- котел сталевий водогрійний «Ferrolі» PREXTHERM RSW (525 кВт) – 2 од;
- пальник газовий модуляційний «Baltur» TBG 120 MC – 2 од;
- пальник газовий модуляційний «Baltur» TBG 60 MC – 2 од;
- деаератор атмосферний з робочим об'ємом 2000 л і деаераційною колонкою 3 т/год;
- бойлер непрямого нагріву (1000 л).

Робота водогрійних котлів передбачається без обслуговуючого персоналу (в автоматичному режимі). Робота парогенераторів передбачається в автоматичному режимі з контролем кожні 24 години.

При проектуванні котельні виконані нормативні вимоги з охорони праці та техніці безпеки:

- ДНАОП 0.00-1.26-96 «Правилами будови і безпечної експлуатації парових котлів з тиском пари не більше 0,07 МПа, водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою води не вище 115 °С» [10];

- ДБН В.2.5-77-2014. «Котельні» [1];
- ДБН А.3.2-2-2009. «Охорона праці і промислова безпека у будівництві» [4];
- ДБН В.1.1.7–2002. «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [5].

Санітарна група виробничого процесу по ДБН В.2.2-28:2010 року для працюючих в котельні – 1б.

Котли оснащені необхідними технологічними захистами, які відключають подачу газу при аварії або відхиленні технологічних параметрів від норми.

Компонування основного і допоміжного обладнання виконане виходячи зі зручності обслуговування:

- забезпечені нормативні відстані між будівельними конструкціями і технологічним обладнанням;
- з котельні передбачений вихід назовні;
- передбачена теплоізоляція трубопроводів і газоходів;
- передбачено робоче та аварійне освітлення згідно з ПУЕ;
- передбачене огороження струмоведучих частин і заземлення обладнання, яке може виявитися під напругою.

Передбачається встановлення стаціонарного автоматичного сигналізатора загазованості для контролю концентрації метану.

В даному розділі будуть розглянуті питання, що забезпечують безпеку при експлуатації котельної, питання промислової санітарії і безпеки в надзвичайних ситуаціях.

3.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного обладнання

3.1.1 Компонування основного і допоміжного устаткування

Компонування основного і допоміжного устаткування в приміщенні котельні виконано згідно з вимогами розділу 7 ДНАОП 0.00-1.08-94 і

передбачає можливість демонтажу і монтажу котлів в умовах діючого виробництва [11].

В котельні встановлені парогенератори «Ferrolі» VAPOPREX HVP 1250 – 2 од. та водогрійні котли «Ferrolі» PREXTHERM RSW (525 кВт) – 2 од.

Автоматика безпеки котлів відключає подачу газу на пальникові пристрої при наступних аварійних ситуаціях:

- згасанні полум'я пальників;
- незапаленні газу при запалюванні;
- зниженні тиску газу в колекторі пальників нижче допустимого;
- збільшенні тиску пара в барабані котла вище допустимого;
- неприпустимому зниженні рівня води в барабані котла;
- зниженні тиску повітря за вентилятором;
- несправності основних вузлів блоку управління і сигналізації;
- припинення подачі електроенергії.

Щоб не допускати збільшення тиску понад допустимого для котлів передбачаються пружинні запобіжні клапани у верхній точці котла.

Для припинення збільшення тиску понад допустимого передбачений вибухові клапани, встановлені на газоходах котлів.

В котлоагрегатах встановлюються запірні органи на вході і виході води з котлів. Перед запірним клапаном на задній стінці котла на трубопроводі подачі підживлювальної води в котел встановлений клапан зворотний фланцевий з ковкого чавуну.

Для припинення або зміни подачі робочого середовища на всіх трубопроводах встановлюються засувки і вентиля. Арматура встановлена в місцях зручних для обслуговування і ремонту. Засувки і вентиля, що вимагають для відкриття великих зусиль, забезпечені обвідними лініями, механічними приводами.

Димові гази з котлів відводяться через металеві сбірні газоходи діам. 300/360 мм та діаметром 400/460 мм з теплоізоляцією 30 мм, що встановлені в двох витяжних башнях. На газоходах передбачені ревізії (прочистки), вибухові

клапани та відвід конденсату. Горизонтальні ділянки газоходів прокладені з ухилом не менше 0,010. Температура димових газів на виході з котла не перевищує нормативних значень.

На вводі газу в котельню встановлений автоматичний запірний клапан Ду 100 мм, що закривається при спрацюванні сигналізатору газу. Передбачений вивід сигналу «Загазованість» на шафу сигналізації, розташовану в приміщенні охорони.

Всі трубопроводи (окрім зливних та дренажних в каналі) теплоізолювані:

- труби пари – сегментами теплоізоляційними (40 мм);
- труби конденсату – круглою ізоляцією (15 мм);
- труби холодної води – круглою ізоляцією (13 мм);
- труби гарячої води – круглою ізоляцією (9-13 мм).

Всю трубну арматуру, КВП і датчики, розташовані на висоті від 1,5 до 2,5 м передбачається обслуговувати з переносної драбини. Для обслуговування вище 2,5 м в котельні передбачена пересувний майданчик.

Система автоматизації котельні забезпечує:

- контроль параметрів технологічного процесу і сигналізацію відхилень їх від заданного значення;
- автоматичне управління основними технологічними блоками, агрегатами і виконавчими механізмами;
- автоматичне регулювання основних технологічних параметрів.
- автоматичне відключення подачі газу при підвищенні допустимої концентрації горючих газів у приміщенні;
- автоматичне відключення котлів в аварійних ситуаціях.

Підтримання технологічних режимів відбувається автоматично за допомогою регуляторів фірми «Madas», які поставляються в комплекті з технологічним обладнанням.

Передбачений обсяг автоматизації та контролю котельні забезпечує надійну, економічну і безаварійну роботу обладнання, а також можливість аналізу роботи обладнання.

3.1.2 Організаційні заходи з техніки безпеки

При експлуатації і обслуговуванні котлів слід керуватися діючими «Правилами безпеки систем газопостачання України» (ДНАОП 0.00-1.20-98), «Правил будови та безпечної експлуатації об'єкта електроустановок споживачів», «Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів» для електроустановок напругою до 1000 В [9].

До роботи на котлах можуть бути допущені особи, які пройшли інструктаж з охорони праці і які мають посвідчення на право роботи з газифікованим обладнанням та обслуговуванням котлів.

До робіт з технічного обслуговування і ремонту електроустаткування і автоматики допускаються особи, які мають право на проведення робіт в електроустановках, з кваліфікацією не менш III розряду.

Клеми датчиків і виконавчих приладів повинні бути надійно захищені від попадання пилу і вологи. Металоконструкції та електрообладнання повинно бути надійно заземлено.

Забороняється знімати кришки з електроустаткування при наявності напруги, а також експлуатувати електрообладнання зі знятими кришками.

Забороняється повторний запуск пальників після аварійного вимкнення без з'ясування і усунення причин вимикання.

Експлуатація пальників при несправній автоматичі забороняється.

3.1.3 Заходи по забезпеченню електробезпеки

В електроустановках котельні передбачена огорожа струмовідних частин і заземлення обладнання, яке може опинитися під напругою.

Конструкція, виконання і клас ізоляції застосованого обладнання і матеріалів обрані відповідно до умов навколишнього середовища, пожежної безпеки приміщень та прокладання електромереж.

Види електропроводок і способи прокладки електрокабелів прийняті з урахуванням вимог електро-та пожежної безпеки. Оболонки та ізоляція кабелів відповідають способам прокладки і умов навколишнього середовища.

Мережа, як силова, так і контрольна, прокладається по стінах з кріпленням скобами і на металевих конструкціях. Силові магістралі і розподільні мережі виконуються кабелями з мідними жилами і дротами в трубах і металевих рукавах. Зовнішня електропроводка виконана ізольованим дротом і розміщена на висоті 2,5 м над робочими місцями.

Умови праці при експлуатації та ремонті мереж і електроустановок повинні відповідати вимогам безпеки та захисту працівників від небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть впливати на їх здоров'я, згідно з ДБН В.2.5-27-2006 [6].

Для створення та дотримання безпечних і нешкідливих умов праці при експлуатації та ремонті мереж і споруд електропостачання необхідно керуватися вимогами ДНАОП 0.00-1.21-98, а при виконанні окремих видів робіт, які є не специфічними для електротехнічного персоналу – вимогами міжгалузевих, чинних в Україні нормативних актів про охорону праці.

Для запобігання поразки електричним струмом при пошкодженні ізоляції, проводки і т.п. встановлюються переносні захисні огорожі і заземлення.

Для роботи з електроустаткуванням обслуговуючий персонал забезпечується діелектричними рукавичками, гумовими ботами, струмовимірювальними кліщами, інструментами з ізольованими ручками; також використовують гумові килимки і діелектричні підставки.

Електромонтажні роботи виконувати згідно з вимогами ДБН В.2.5-27-2006.

3.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії

3.2.1 Заходи по забезпеченню мікроклімату

Під мікрокліматом виробничих приміщень розуміють клімат внутрішнього середовища виробничого приміщення, який визначається поєднаними діями на організм людини, температури, вологості, швидкості руху повітря та теплових випромінювань. Отже, основними параметрами мікроклімату є: температура, відносна вологість, швидкість переміщення повітря та інтенсивність теплового випромінювання [7].

Параметри мікроклімату можуть змінюватись у широких межах і істотно впливати на самопочуття та здоров'я працівника продуктивність та якість його праці. Людина постійно знаходиться в процесі теплової взаємодії з навколишнім середовищем. Рівняння теплового балансу між організмом людини і зовнішнім середовищем Q визначається за формулою

$$Q = Q_T + Q_{KT} + Q_{ВП} + Q_{ВПР} + Q_{П}, \quad (3.1)$$

де Q_T , Q_{KT} , $Q_{ВП}$, $Q_{ВПР}$ – теплота, яку віддає організм людини навколишньому середовищу відповідно через одяг, шляхом конвекції, через випромінювання, шляхом випаровування вологи з поверхні шкіри;

$Q_{П}$ – теплота, яку витрачає організм людини на нагрівання вдихнутого повітря.

Вологість повітря зумовлюється вмістом у ній водяної пари. Відносна вологість B – це відношення абсолютної вологості A до максимальної M :

$$B = \left(\frac{A}{M}\right) \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

Абсолютна вологість – це маса водяної пари, яка міститься в даний момент у повітрі.

Максимальна вологість повітря – максимально можливий вміст водяної пари в повітрі за даної температури (стан насиченості).

Підвищення вологості повітря (понад 75 %) у поєднанні з низькими температурами значно впливає на охолодження, а в поєднанні з високими температурами сприяє перегріву організму.

Параметри мікроклімату діють на організм людини комплексно. Параметри мікроклімату нормуються по ДСН 3.3.6-042-99 (Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони) залежно від тяжкості виконуваних робіт і періоду року.

Відповідно до цього нормовані параметри зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Допустимі і оптимальні параметри температури повітря, відносної вологості і швидкості руху повітря

Період року	Оптимальний			Допустимий		
	t, °C	W, %	V, м/с	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	(22 ... 24)	(40 ... 60)	0,2	(21 ... 28)	≤ 60	(0,1 ... 0,3)
Холодний	(21 ... 23)	(40 ... 60)	0,1	(20 ... 24)	≤ 75	(0,1 .. 0,2)

Технічні рішення для забезпечення вимог норм:

– приміщення, де розташовано основне і допоміжне обладнання, побутові приміщення обладнані природною припливно-витяжною вентиляцією, що забезпечує 3-кратний повітрообмін. Відведення відхідних газів проводиться по газоходах від котла до димової труби за рахунок створення природної тяги;

– для підтримки необхідної температури в приміщеннях котельної в зимовий час в котельній виконується опалювання. Теплоносієм системи опалювання є гаряча вода що йде в систему опалювання від водогрійних котлів «Ferrolі» PREXTHERM RSW 525;

– проходить зниження викидів забруднюючих речовин за рахунок скорочення витрати палива, застосування досконаліших газоспалюючих пристроїв;

– димова труба забезпечує розсіювання шкідливих викидів на великі площі.

3.2.2 Заходи по оптимізації складу повітря в зоні постійного перебування персоналу

Для безпечної роботи в приміщенні котельні встановлюється газоаналізатор. Контроль наявності довибухонебезпечної концентрації природного газу в приміщенні котельні, а саме метану (CH_4), а також перевищення концентрації чадного газу (CO) виконується системою газоаналізатора ВАРТА 1-03 ЗАТ «ТЕМІО».

При досягненні загазованості приміщення 10 % від нижньої межі займистості природного газу, а також при перевищенні 200 р.р.т. чадного газу, включається попереджувальна сигналізація. При досягненні загазованості приміщення 20 % від нижньої межі займистості природного газу спрацьовує газосигналізатор, який приводить в дію швидкодіючий клапан-відсікач на ввіді газопроводу. Також передбачається контроль зниження температури в котельні, пожежний контроль (підвищення температури повітря в котельні вище $70\text{ }^\circ\text{C}$) і охоронна сигналізація.

3.2.3 Технічні рішення та заходи щодо покращення умов праці

В котельні встановлене удосконалене устаткування, в якому, по можливості, усунені витoki шкідливих газів. Для запобігання витоків природного газу через нещільність приєднання трубопроводів до арматури передбачені прокладки ущільнювачів всіх фланцевих з'єднань.

Передбачена автоматизація технологічних процесів, на місцях вимірювання параметрів встановлені датчики, які передають інформацію на щит управління.

За рахунок застосування ізоляції і фарбування зменшене виділення тепла і вологи.

Передбачений щит централізованого управління і теплового контролю загальнокотельним допоміжним устаткуванням (деаераційна установка, водопідготовка);

3.2.4 Заходи по оптимізації виробничого освітлення робочої зони персоналу

У котельні передбачені наступні види освітлення:

- робоче освітлення на напрузі 220 В;
- аварійно-евакуаційне на напрузі 220 В;
- ремонтне освітлення на напрузі 12 В.

Мережі освітлення захищені від перевантаження і струмів короткого замикання.

Ремонтне освітлення виконується на напрузі 12 В і живиться від мережі аварійного освітлення через знижувальні трансформатори 220/12 В.

Проектні рішення по природному, штучному і комбінованому освітленню приміщень та окремих зон відповідають вимогам СНіП 23-05-95 [13].

3.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

У разі виникнення надзвичайної ситуації працівники зобов'язані діяти тверезо й спокійно, не панікувати, точно й оперативно слідувати вказівкам керівництва підприємства, осіб, відповідальних за цивільний захист (цивільну оборону) та техногенну безпеку, протипожежну безпеку, охорону праці, а також представників ДСУ та державної пожежної охорони.

У випадку виникнення надзвичайної ситуації кожний працівник мусить:

- припинити роботу (якщо це дозволено технологічним процесом виробництва);

- якнайшвидше сповістити про надзвичайну ситуацію керівника та відповідальну посадову особу;
- приступити до ліквідації (локалізації) надзвичайної ситуації наявними засобами;
- за необхідності викликати підрозділи ДСУ та державну пожежну охорону.

Керівництво підприємства, а також особи, відповідальні за цивільний захист (цивільну оборону) та техногенну безпеку, протипожежну безпеку, охорону праці, зобов'язані в разі виникнення надзвичайної ситуації:

- перевірити та продублювати повідомлення про надзвичайну ситуацію, довести це до відома керівника підприємства;
- оцінити умови, з'ясувати кількість і місцезнаходження людей, за потреби вжити заходів щодо оповіщення працівників, населення про надзвичайну ситуацію;
- під час загрози для життя людей негайно організувати їх рятування (евакуацію), використовуючи для цього наявні сили й засоби;
- забезпечити виведення з небезпечної зони людей, які не беруть безпосередньої участі в ліквідації надзвичайної ситуації;
- обмежити допуск людей та транспортних засобів до небезпечної зони;
- у разі необхідності виконати: відключення електроенергії (за винятком систем протипожежного захисту), зупинку транспортувальних пристроїв, агрегатів, апаратів, перекриття сировин них, газових, парових комунікацій, зупинку систем вентиляції в аварійному приміщенні (за винятком пристроїв протидимового захисту) та вжити інших заходів, що сприяють ліквідації (локалізації) надзвичайної ситуації;
- організувати надання медичної допомоги потерпілим, харчування та відпочинок осіб, які беруть участь у ліквідації надзвичайної ситуації.

3.4 Технічні рішення з питань пожежної безпеки

Приміщення котельні відноситься до II ступеня вогнестійкості, за ступенем пожежної небезпеки – до категорії «Г».

Межа вогнестійкості конструкцій котельні більше 0,75 години.

Протипожежні заходи передбачені відповідно до ДБН В.1.1-7-2002, ДБН В.2.5-77-2014 «Котельні» і з «Правилами будови і безпечної експлуатації парових котлів з тиском пари не більше 0,07 МПа, водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою води не вище 115 °С»

У котельні передбачені:

- легкоскридні конструкції площею, що відповідає розрахунковому показнику 0,05 м² на 1 м³ приміщення;
- система пожежної сигналізації, що передає сигнал на диспетчерський пункт;
- комплектацію котельні двома порошковими вогнегасниками ВП-5.

3.5 Розрахунок теплоізоляції та теплових втрат трубопроводу подачі опалення виробничо-складського комплексу

Устаткування та трубопроводи вимагають ізоляції, якщо температура нагрітих поверхонь перевищує 45 °С, а трубопроводів 60 °С.

Застосування теплової ізоляції дозволяє підтримувати необхідні параметри теплоносіїв в установках, сприяє підвищенню продуктивності установок і інтенсивності технологічних процесів, які відбуваються в них. Теплова ізоляція дозволяє зменшувати до 70 %, а в ряді випадків до (90 ... 95) % кількості теплоти, яка втрачається в навколишнє середовище.

Теплові розрахунки ізолювання трубопроводів озвояють вирішувати такі задачі:

- визначити теплові втрати неізолюваного трубопроводу;

- визначити необхідну товщину ізоляції по заданій температурі її поверхні;
- визначити теплові втрати ізольованого обладнання при заданій конструкції ізоляції.

Згідно СНіПу 2.04.14-88 «Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів», товщину теплоізоляційного шару визначаємо як для обладнання та трубопроводів з позитивними температурами для циліндричних об'єктів діаметром менше 2,0 м [14].

Для циліндричних апаратів та трубопроводів діаметром менше 2 метрів втрати тепла визначаються за формулою, Вт

$$Q = \frac{t_g - t_n}{R} L, \quad (3.3)$$

де t_g – температура теплоносія в трубопроводі, °С;

t_n – допустима температура навколишнього повітря, °С;

R – опір теплопередачі на 1 м довжини теплоізоляційної конструкції трубопроводу діаметром менше 2 м, (м·К)/Вт

L – довжина трубопроводу, м;

Величину R визначаємо по нормованій поверхносній щільності теплового потоку за формулою

$$R = \frac{t_g - t_n}{q \cdot K}, \quad (3.4)$$

де q – нормована поверхносна щільність теплового потоку, Вт/м²;

K – коефіцієнт, прийнятий згідно обов'язкового Додатку 10 Сніп 2.04.14-88.

Товщина теплоізоляційного шару визначається за формулою, м

$$\delta_{iz} = \frac{\lambda_{iz}(t_g - t_n)}{\alpha(t_n - t_n)}, \quad (3.5)$$

де λ_{iz} – коефіцієнт теплопровідності ізоляційного шару, Вт/(м·К);

t_n – допустима температура поверхні трубопроводу, °С;

α – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ізоляції в навколишнє середовище згідно Додатку 9 СНіПу 2.04.14-88, Вт/(м·К);

Теплові втрати ізольованого трубопроводу при заданій конструкції ізоляції визначаємо за формолою, Вт

$$Q = \frac{2\pi\lambda L(t_g - t_n)}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}, \quad (3.6)$$

де d – зовнішній діаметр трубопроводу, м;

D – зовнішній діаметр трубопроводу в ізоляції, м.

Зовнішній діаметр трубопроводу в ізоляції визначається за формулою, м

$$D = d + 2 \cdot \delta_{iz}. \quad (3.7)$$

В котельні виробничо-складського комплексу спроектовані наступні трубопроводи подачі опалення:

- трубопровід діаметром 20x2,8 мм – 6,0 м;
- трубопровід діаметром 32x3,2 мм – 3,0 м;
- трубопровід діаметром 89x4,0 мм – 8,2 м;
- трубопровід діаметром 133x4,0 мм – 8,3 м.

Розрахунок теплової ізоляції та теплових втрат трубопроводу подачі опалення діаметром 20 x 2,8 мм.

Вихідні дані:

- d – 0,02 м (зовнішній діаметр трубопроводу);
- L – 6,0 м (довжина трубопроводу);
- t_g – 80 °С (температура теплоносія в трубопроводі);
- t_n – 70 °С (допустима температура навколишнього повітря);

- α – 6 Вт/(м·К) (коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ізоляції в навколишнє середовище згідно Додатку 9 СНіПу 2.04.14-88);
- λ_{iz} – 0,04 Вт/(м·К) (коефіцієнт теплопровідності ізоляційного шару);
- q – згідно Додатку 4, таблиці 3 СНіПу 2.04.14-88, приймаємо 22 Вт/м² (нормована поверхносна щільність теплового потоку);
- K – коефіцієнт, прийнятий згідно обов'язкового Додатку 10 СНіП 2.04.14-88, приймаємо 1.

Опір теплопередачі на 1 м довжини теплоізоляційної конструкції трубопроводу діаметром менше 2 м, (м·К)/Вт

$$R = \frac{80-12}{22 \cdot 1} = 3,09.$$

Теплові витрати трубопроводів діаметром менше 2,0 м, Вт

$$Q_l = \frac{80-12}{3,09} \cdot 6 = 132,04.$$

Товщина теплоізоляційного шару, м

$$\delta_{iz} = \frac{0,04 \cdot (80-70)}{6 \cdot (70-12)} = 0,0011.$$

Згідно Додатку 5 ДБН В.2.5-67:2003 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» мінімальна товщина шару теплоізоляційного матеріалу трубопроводу з внутрішнім діаметром до 22 мм приймається 20 мм.

В якості теплоізоляційного матеріалу приймаємо техноніколь мат ламельний.

Зовнішній діаметр трубопроводу в ізоляції, м

$$D = 0,02 + 0,02 \cdot 2 = 0,06.$$

Теплові втрати ізолюваного трубопроводу, Вт

$$Q_{1із} = \frac{2 \times 3,14 \times 0,04 \times 6 \times (80 - 12)}{\ln \frac{0,06}{0,02}} = 94,02.$$

Аналогічно виконуємо розрахунок теплових втрат трубопроводів подачі опалення з діаметрами 32 x 3,2 мм, 89 x 4,0 мм, 133 x 4,0 мм. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахункв теплових втрат трубопроводів подачі опалення

Діаметр трубопроводу	Теплові втрати, Вт			
	20 x 2,8 мм	32 x 3,2 мм	89 x 4,0 мм	133 x 4,0 мм
Без використання теплової ізоляції	132,4	150	247,47	306,76
З використанням теплової ізоляції	94,2	94,02	100,48	117,73

Сумарні втрати тепла трубопроводів подачі опалення без використання теплової ізоляції, Вт

$$Q = 132,05 + 150 + 247,47 + 306,76 = 836,27.$$

Сумарні втрати тепла трубопроводів подачі оплення з використанням теплої ізоляції, Вт

$$Q = 94,02 + 34,02 + 100,48 + 117,73 = 406,25.$$

За результатами розрахунків теплових втрат трубопроводу подачі опалення можна зробити висновок, що використання теплової ізоляції трубопроводів обраними теплоізоляційними конструкціями дозволить зменшити теплові втрати приблизно на 51 %.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній випускній роботі для здобуття ступеня вищої освіти магістра розглядалась теплова схема та режими роботи котельні виробничо-складського комплексу у смт. Меліоритивне.

В котельні використовується устаткування іноземних виробників, що забезпечує високу надійність експлуатації, економічний режим у відношенні паливо- і електроспоживання, що володіє високими коефіцієнтами корисної дії. Все застосовуване устаткування сертифіковане відповідно до діючих норм і вимог України.

Виконаний аналіз літературних джерел за тематикою дослідження. Розглянута характеристика та класифікація джерел тепlopостачання, а також особливості пароводогрійних котелень.

Виконаний аналіз теплової схеми тепlopостачання та паропостачання котельні. Проведений опис та аналіз основного та допоміжного обладнання котельної. Визначені основні техніко-економічні показники котельні. За результатами аналізу теплової схеми зроблено висновок, що обладнання підібрано доцільно до потреб споживача. Котельня не потребує модернізації чи реконструкції.

Виходячи з того, що котельня виробничо-складського комплексу має оптимальні теплотехнічні рішення та не потребує істотних змін, з метою встановлення оптимальних еколого-економічних режимів роботи котлів, мінімально-можливих питомих витрат палива і викидів забруднюючих речовин в атмосферу запропоноване проведення режимно-налагоджувальних та еколого-теплотехнічних випробувань існуючих котлів.

В результаті теплотехнічних випробувань і налагодження процесу горіння шляхом оптимізації співвідношення «газ-повітря» були отримані оптимальні режими роботи теплових агрегатів, які наведені в зведених відомостях.

За результатами еколого-теплотехнічних випробувань газових парових та водогрійних котлів «Ferrolі» зроблені наступні висновки:

1. Максимальне навантаження котлів в період випробувань було:

- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 1 – 0,5523 Гкал/г, що відповідає оптимальному коефіцієнту надлишку повітря на виході з топки – 1,38;
- VAPOPREX HVP 1250 ст. № 2 – 0,5644 Гкал/ч, що відповідає оптимальному коефіцієнту надлишку повітря на виході з топки – 1,53.
- PREXTHERM RSW 525 ст. № 1 – 0,387 Гкал/г, що відповідає оптимальному коефіцієнту надлишку повітря на виході з топки – 1,32;
- PREXTHERM RSW 525 ст. № 2 – 0,378 Гкал/ч, що відповідає оптимальному коефіцієнту надлишку повітря на виході з топки – 1,38.

Робота при цьому режимі дозволяє мати ККД, що дорівнює 92,51 % (VAPOPREX HVP 1250 ст. № 1), 91,99 % (VAPOPREX HVP 1250 ст. № 2), 91,48 % (PREXTHERM RSW 525 ст. №1), 91,20 % (PREXTHERM RSW 525 ст. №2) і порівняно з номінальним навантаженням менший викид оксидів азоту та продуктів хімічної неповноти горіння.

Розроблені заходи, спрямовані на підвищення надійності економічності роботи котлів та пропозиції щодо зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Складені режимні карти парових та водогрійних котлів.

Застосовуване устаткування дозволяє повністю автоматизувати тепломеханічні процеси і як наслідок, працювати котельні без постійної присутності обслуговуючого персоналу.

Виконаний розрахунок теплоізоляції та теплових втрат трубопроводу подачі опалення виробничо-складського комплексу.

За результатами розрахунків видно, що використання теплової ізоляції трубопроводів обраними теплоізоляційними конструкціями дозволить зменшити теплові втрати приблизно на 51 %.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДБН В.2.5-77:2014 Котельні.
2. ДБН В.2.6-31:2006 зі зміною №1 від 1 липня 2013 року. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель.
3. ДБН В 2.5-28-2006. Державні будівельні норми. Природне і штучне освітлення.
4. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека у будівництві.
5. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
6. ДБН В.2.5-27-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.
7. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
8. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
9. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
10. ДНАОП 0.00-1.26-96 Правилами будови і безпечної експлуатації парових котлів з тиском пари не більше 0,07 МПа, водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою води не вище 115 °С.
11. ДНАОП 0.00-1.08-94. Правила будови і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів.
12. СНіП 2.01.02-85. Протипожежні норми проектування будівель і споруд споруджень.
13. СНіП 23-05-95. Природне та штучне освітлення.
14. СНіП 2.04.14-88 Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів.
15. СНіП 2.01.01-82. Будівельна кліматологія та геофізика.
16. Гічов, Ю.О. Джерела теплопостачання промислових підприємств: консп. лекцій. / Ю.О. Гічов, НМетУА. – Дніпропетровськ: НМетУА, 2011.

17. Боженко, М.Ф. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будинків: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 Теплоенергетика. / М.Ф.Боженко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 380 с.

18. Боженко, М.Ф. Джерела тепlopостачання та споживачі теплоти: навч. посіб. / М.Ф. Боженко, В.П. Сало, – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2004. – 192 с.

19. Клімов, Р.О. Джерела тепlopостачання та теплові мережі: консп. лекц. для студ. ден. та заочн. форми навч. за напрямом Теплоенергетика. / Р.О. Клімов. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016 – 103 с.

20. Алабовский, О.М. Проектування котелень промислових підприємств: навч. посіб. / О.М. Алабовський, М.Ф. Боженко, Ю.В. Хоренженко. – К.: Вища шк., 1992. – 207с.

21. Голубков, Б.Н. Теплотехнічне обладнання і тепlopостачання промислових підприємств. / Б.Н. Голубков. – М.: Енергія, 1979. – 544 с.

22. Ривкин, С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара: справочник. Рек. гос. службой стандартных справочных данных. – 2-е изд., перераб. и доп. / С.Л. Ривкин, А.А. Александров – М.: Энергоатомиздат, 2008 – 80с. с ил.

23. Про охорону праці: Закон України від 14 жовтня 1992 р. № 2695-ХІІ. Відомості Верховної Ради України. 1992. № 49. ст. 669

24. Белоконь, К.В. Основи охорони праці [Текст]: навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА всіх спец. ден. та заоч. форм навчання / К.В. Белоконь, В.Г. Рижков, Ю.В. Куріс, Є.А. Манідіна; ЗДІА. – Запоріжжя: ЗДІА, 2015. – 180 с.

25. Абильтарова, Е.Н. Основи охорони праці. Модуль 1: Правові та організаційні питання охорони праці, основи фізіології, гігієни праці та виробничої санітарії [Текст]: навч.-метод. посібник / Е.Н. Абильтарова, М.С. Корець, С.М. Яшов. – К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2010. – 409с.

26. Гандзюк, М.П. Основи охорони праці [Текст]: підруч. Для студ. Вищих навч. Звкладів / М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський; за ред. М. П. Гадзюка — Київ: Каравела, 2004 — 408 с. - ISBN 966-8019-06-6.
27. Голінько, В.І. Основи охорони праці [Текст]: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Дніпропетровськ: НГУ, 2014. - 271 с. - ISBN 978-966-350-497-1.
28. Ткачук, К.Н. Основи охорони праці [Текст]: підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. за ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – Київ: Основа, 2006 — 448 с. - ISBN 966-699-156-X.
29. Агеєв, Є.Я. Основи охорони праці: навч.-метод. посібник для самост. роботи по вивченню дисципліни / Є.Я. Агеєв. – Львів: Новий Світ-2000, 2009 — 404 с.: іл. - (Вища освіта в Україні) — 180 прим. - ISBN 978-966-418-080-8.
30. Медведєв, Е.Н. Основи охорони праці [Текст]: навч. посібник для студентів вищих навч. закладів / Е.Н. Медведєв, Г.Ф. Сорокін. – Київ: Професіонал, 2008. – 208 с.: іл. – Бібліогр.:с.198-199. – 100 прим. - ISBN 978-966-370-090-8.
31. Лапін, В.М. Основи охорони праці [Текст]: навч. Посібник для студентів вищих навч.закладів / В.М. Лапін. – Л.: ЛБІ НБУ, 2004. – 142с. – 300 прим. - ISBN 966-7330-49-4.
32. Степанов, Д. В. Теплові мережі: навч. Посіб. / Д.В. Степапов, Н.Д. Степанова. – : Вінниця: ВНТУ, 2009. – 135 с.
33. Степанов, Д.В. Котельні установки промислових підприємств: навч. посібн. / Д. В. Степанов, Є.С. Корженко, Л.А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 120 с.
34. Чепурний. М.М. Теплові розрахунки парогенераторів: навч. Посіб. / М.М. Чепурний, Д.В. Степанов, Є.С. Корженко. – Вінниця: ВНТУ, – 2005. – 155 с.

35. Алабовський, О.М. Проектування котельнь промислових підприємств. / О. М. Алабовський. – К. : Вища школа, 1992. – 270 с.

36. Иванова, Г.М. Теплотехнические измерения и приборы: учебн. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Г.М. Иванова, Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. – 460 с., ил. — ISBN 5-7046-1046-3.

37. Методическое пособие по проведению комплексных эколого-теплотехнических испытаний котлов, работающих на газе и мазуте. – К.: ИГ АН Украины, 1992.

38. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1987.

39. Равич, М.Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. / М.Б. Равич. – М.: Изд-во АН СССР, 1966. – 407 с.