

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

Кафедра теплоенергетики  
(повна назва кафедри)

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему:  
**«Підвищення енергоефективності теплопостачання**  
**лікувального закладу»**

Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-21м  
спеціальності 144 - теплоенергетика

(шифр і назва спеціальності)  
Древинський М. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Степанова Н.Д.

(прізвище та ініціали)

« 14 » грудня 2022 р.

Опонент Бондар А. В.

(прізвище та ініціали)

« 19 » грудня 2022 р.

Допущено до захисту  
Зав. кафедри ТВ

к.т.н., доц. Степанов Д.В.

(прізвище та ініціали)

« 16 » грудня 2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
 Завідувач кафедри ТЕ  
 Дмитро СТЕПАНОВ  
 09. 2022 року



**ЗАВДАННЯ**  
 НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ  
Древинському Максиму Валентиновичу  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності теплостачання лікувального закладу

керівник роботи Степанова Наталія Дмитрівна. к.т.н., доцент  
 (прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 14.09.2022 року № 203

2. Строк подання студентом роботи 08.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: максимальна потужність системи опалення  $Q_{оп} = 11 \text{ МВт}$ , температурний графік мережної води  $t_{пр} / t_{зв} = 95 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура холодної води  $t_{хв} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення  $t_{з.о.} = -21 \text{ }^\circ\text{C}$ , середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період  $t_{з.о.} = -0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , тривалість опалювального періоду  $n = 202$  доби, паливо – природний газ з  $Q_{н}^p = 33 \text{ МДж/м}^3$ .

4. Зміст текстової частини

Аналітичний огляд літературної інформації; розробка теплової схеми двопаливної водогрійної котельні для теплостачання лікувального закладу; дослідження ефективності двопаливної водогрійної котельні; організаційно-технологічна частина; економічна частина

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

схема теплова принципова; план котельні на відм. 0.000; результати дослідження ефективності двопаливної водогрійної котельні за варіантом рівномірного пропорційного завантаження твердопаливних і газових теплогенераторів; результати дослідження ефективності двопаливної водогрійної котельні за варіантом першочергового завантаження твердопаливних теплогенераторів; план котельні на відм. 0.000 з розташуванням обладнання та газоходів; схема монтажна аксонометрична; календарний план

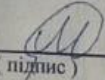
### 6. Консультанти розділів роботи

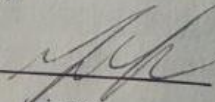
Розділ, підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянська І.М., доц. каф. БЖДІБ		
Економічна частина	Лялюк О.Г., доц. каф. БМГА		

7. Дата видачі завдання 20.09.2022 р

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Формування та аналізування вхідних даних до магістерської кваліфікаційної роботи	30.09.22	
2	Розробка аналітичного огляду літературної інформації	07.10.22	
3	Розробка теплової схеми двопаливної водогрійної котельні для теплопостачання лікувального закладу	20.10.22	
4	Дослідження ефективності двопаливної водогрійної котельні	25.10.22	
5	Організаційно-технологічна частина	10.11.22	
6	Економічна частина	25.11.22	
7	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	06.12.22	

Студент   
(підпис)

Керівник роботи   
(підпис)

Древинський М. В.  
(прізвище та ініціали)

Степанова Н. Д.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.182

Древинський М. В. Підвищення енергоефективності теплопостачання лікувального закладу. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – теплоенергетика, освітня програма – теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2022. 99 с.

На укр. Мові. Бібліогр.: 58 назви; рис.: 10; табл. 16.

В даній роботі виконано аналітичний огляд літературної інформації. Проаналізовано загальну характеристику та класифікацію котелень, переваги та недоліки котелень на традиційних видах паливі. Розроблено, виконано аналіз і розрахунок теплової схеми котельні, що працює на систему теплопостачання лікувального закладу. У розрахунках прийнято два види палива: природний газ та тріска деревини. В результаті розрахунку теплової схеми для максимального опалювального режиму визначено витрату природного газу та твердого палива на котельні, коефіцієнт корисної дії котельні, собівартість виробництва теплоти. Виконано числове дослідження ефективності водогрійної котельні протягом опалювального сезону для двох варіантів організації спалювання: з пропорційним зменшення навантаження всіх котлів та з першочерговим максимальним навантаженням твердопаливних котлів. Виконано аналіз екологічних показників роботи за двома варіантами організації спалювання палива в котельні. Виявлено доцільний варіант з економічної та екологічної точки зору. Розроблено технологію монтажу установки для очищення відхідних газів після теплогенераторів на біомасі. Розроблений календарний графік монтажу установки для очищення газу. Розроблені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Складено локальний кошторис на влаштування системи

Графічна частина складається з 2 плакатів з результатами теоретичних досліджень та 5 креслень.

Ключові слова: біомаса, водогрійна котельня, природний газ, теплогенератор, відхідні гази

## ABSTRACT

Drevynskyi M.V. Increasing the energy efficiency of the medical facility's heat supply. Master's degree in the specialty 144 - heat power engineering, educational program - heat power engineering. Vinnytsia: VNTU, 2022. 99 p.

In Ukrainian language. Bibliogr.: 58 titles; fig.: 10; tabl. 16.

In this work, an analytical review of literary information is performed. The general characteristics and classification of boiler houses, advantages and disadvantages of boiler houses on traditional types of fuel are analyzed. The thermal scheme of the boiler room working on the heat supply system of the medical institution was developed, analyzed and calculated. Two types of fuel are used in the calculations: natural gas and wood chips. As a result of the calculation of the thermal scheme for the maximum heating mode, the consumption of natural gas and solid fuel in the boiler room, the efficiency ratio of the boiler room, and the cost of heat production were determined. A numerical study of the efficiency of the water-heating boiler house during the heating season was performed for two options for the organization of burning: with a proportional reduction in the load of all boilers and with a priority maximum loading of solid fuel boilers. An analysis of the environmental indicators of work was carried out according to two options for the organization of fuel burning in the boiler room. An expedient option from an economic and ecological point of view has been identified. The installation technology of the installation for cleaning waste gases after biomass heat generators has been developed. A calendar schedule for the installation of the gas purification plant has been developed. Measures for labor protection and safety in emergency situations have been developed. A local estimate for the installation of the system has been prepared

The graphic part consists of 2 posters with the results of theoretical research and 5 drawings.

Key words: biomass, water heating boiler house, natural gas, heat generator, waste gases.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ</b> .....	8
1.1 Загальна характеристика водогрійних котелень .....	8
1.2 Енергетичне використання біомаси на водогрійних котельнях .....	10
1.3 Висновки до розділу 1 .....	13
<b>2 РОЗРОБКА ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ДВОПАЛИВНОЇ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНІ ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЛІКУВАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ</b> .....	15
2.1 Аналіз теплової схеми котельні .....	15
2.2 Розрахунок теплової схеми котельні .....	17
2.3 Підбір обладнання двопаливної водогрійної котельні .....	22
2.4 Техніко-економічні показники роботи двопаливної водогрійної котельні .....	26
2.5 Висновки до розділу 2 .....	29
<b>3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОПАЛИВНОЇ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНІ</b> .....	30
3.1 Розроблення математичної моделі для визначення показників теплової схеми двопаливної водогрійної котельні .....	30
3.2 Дослідження показників сезонної ефективності котельні .....	35
3.3 Аналіз екологічних та експлуатаційних показників роботи двопаливної водогрійної котельні .....	39
3.4 Висновок до розділу 3 .....	43
<b>4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	44
4.1 Організація та технологія монтажу установки для очищення димових газів .....	44
4.2 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	56
4.3 Висновки до розділу 4 .....	74

	4
<b>5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	76
5.1 Локальний кошторис .....	76
5.2 Простий термін окупності .....	77
5.3 Висновки до розділу 5 .....	80
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	82
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ</b> .....	85
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	91
Додаток Б (обов'язковий). Технічне завдання.....	93
Додаток В (обов'язковий). Локальний кошторис .....	98
Додаток Г (обов'язковий). Графічна частина.....	101
Додаток Д (обов'язковий). Ілюстративна частина.....	102

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день особливої актуальності набуває задача комфортного екологічно чистого та енергоефективного забезпечення лікувальних закладів тепловою енергією.

Використання викопних органічних палив призводить до виснаження запасів цих енергоресурсів і збільшення їх вартості. Перспективними є технології часткового або повного заміщення природного газу місцевими або відновлюваними енергоресурсами [1].

Математичне моделювання показників роботи теплової схеми водогрійної котельні дозволяє визначати її ефективність за умов різної температури навколишнього середовища, визначати поточну і річну витрату палива на котли, оптимізувати паливну складову у собівартості вироблення теплоти водогрійною котельнею.

Поєднання двох паливних технологій на одній котельні дозволяє, по-перше, забезпечити диверсифікацію паливостачання і збільшити надійність системи теплопостачання, особливо для лікувальних та геріатричних закладів. По-друге, варіюванням палива можливо зменшити експлуатаційні витрати вироблення теплоти, мати можливість мінімізувати собівартість теплової енергії.

**Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.** Магістерська кваліфікаційна робота виконана на кафедрі теплоенергетики Вінницького національного технічного університету в рамках кафедральної науково-дослідної роботи 82 КЗ «Теплообмін та гідродинаміка полікомпонентних, поліфазних потоків і середовищ в елементах тепло- і біотехнологічного устаткування; аналіз та синтез комбінованих теплоенергетичних установок, тепло- і біотехнологічних систем та устаткування».

**Мета і задачі досліджень.** Зменшення експлуатаційних витрат на вироблення теплової енергії та підвищення екологічної ефективності системи теплопостачання лікувального закладу шляхом впровадження технології спалювання біомаси і традиційного палива на двопаливній водогрійній котельні.



У зв'язку з цим розв'язані такі завдання:

- виконати аналітичний огляд літературної інформації по екологічній та енергетичній ефективності використання біомаси як палива для водогрійних котелень;
- проаналізувати ефективність роботи теплової схеми котельні для теплопостачання лікувального закладу;
- розробити математичну модель оцінки ефективності роботи двопаливної водогрійної котельні;
- дослідити сезонну ефективність двопаливної водогрійної котельні та екологічні показники протягом життєвого циклу за різних варіантів завантаження теплогенераторів;
- розробити технологію монтажу установки очищення відхідних газів після твердопаливних теплогенераторів;
- розробити економічні показники двопаливної водогрійної котельні для системи теплопостачання лікувального закладу;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

**Об'єкт дослідження.** Двопаливна водогрійна котельня для теплопостачання лікувального закладу.

**Предмет дослідження.** Підвищення енергетичної та екологічної ефективності двопаливної водогрійної котельні.

**Методи дослідження.** Під час виконання роботи використовувалось математичне моделювання для дослідження показників енергетичної ефективності та програмний продукт SimaPro 9.4.0.2 для оцінки впливу двопаливної котельні на довкілля протягом життєвого циклу.

**Новизна одержаних результатів.**

Набули подальшого розвитку дослідження роботи водогрійної котельні на різних видах палива. Доведено ефективність заміщення викопних палив на водогрійних котельнях біомасою. Показано, що першочергове максимальне завантаження теплогенераторів на біомасі під час роботи водогрійної котельні

протягом опалювального періоду призводить до зниження загального техногенного навантаження на навколишнє середовище на 37,86% у порівнянні із рівномірним однаковим завантаженням теплогенераторів на біомасі і традиційному паливі.

**Апробація результатів дисертації.** Результати роботи були представлені на LI Науково-технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2022 та на міжнародних конференціях : "Енергоефективність в галузях економіки України – 2021", "Інноваційні технології в будівництві - 2022",.

**Публікації.** Результати роботи опубліковані у 3 тезах доповідей конференцій [2-4].

**Структура і обсяг магістерської роботи.**

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів та висновків. Використано 58 наукових джерел за переліком посилань. Обсяг роботи – 99 сторінок, включаючи 10 ілюстрацій, 16 таблиці.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

## 1.1 Загальна характеристика водогрійних котелень

За визначенням [5], котельня є будівлею, приміщенням або спорудою, в якій розміщене комплекс обладнання та пристроїв, які призначені для виробництва теплової енергії та передавання її теплоносію (у вигляді пари або гарячої води) з метою теплозабезпечення споживачів. Тобто котельня є елементом системи тепlopостачання.

На сучасному етапі котельні являють собою високотехнологічні комплекси, які об'єднують окрім котлоагрегатів і допоміжного обладнання ще і засоби автоматизації.

За територіальною ознакою котельні можуть бути вбудовані, прибудовані, дахові та окремо розташовані [5].

Зважаючи на призначення відпущеної теплоти котельні можуть бути промисловими, опалювальними та промислово-опалювальними.

На котельнях може реалізуватися спалювання газоподібного, рідкого, твердого палива, а також існують багатопаливні котельні.

За видом встановлених теплогенераторів котельні бувають парові, водогрійні, змішані, діатермічні.

Котельні можуть обслуговувати одного споживача (автономні), декількох споживачів (групові) або групу територіально відокремлених споживачів (районні).

Для потреб тепlopостачання використовуються переважно водогрійні котельні. Основним елементом будь-якої котельні є котельний агрегат (котел).

Окрім використовуваного палива, теплогенератори можуть різнитися ще і конструкцією. Розрізняють жаротрубні та водотрубні котли.

Водогрійний котел складається з топкової камери (топка), в якій спалюється паливо, та поверхонь нагріву – система труб (або каналів) в яких переміщується робоче середовище (вода) [6].

На ефективність роботи теплогенератора впливає і робота допоміжного обладнання котельні, передусім – система паливоподачі. Для котлів на твердому паливі необхідні установки для приготування і подавання палива в топкову камеру. Можливе і ручне завантаження твердого палива, але використовується лише у побутових умовах за невеликих потужностей обладнання. Для роботи котлів на газоподібному паливі потрібна система газопостачання з відповідним обладнанням. З метою забезпечення процесу горіння окислювачем у котельні встановлюють дуттєві вентилятори. Для видалення димових газів за умови недостатньої природньої тяги встановлюють димососи. Для створення тяги та розсіювання шкідливих викидів у верхніх шарах атмосфери на котельні монтують димові труби. Для очищення відпрацьованих газів, особливо на твердопаливних котельнях, у системі димовидалення перед димовою трубою встановлюються зололовлювачі та фільтри. Твердопаливні котли обладнані пристроями для видалення шлаку і золи з топкової камери.

Ефективність роботи теплогенератора залежить від конструктивних його особливостей, наявності засобів або заходів інтенсифікації теплообміну, особливо з боку димових газів [7]. Крім того на ефективність котла впливає такої і вид палива, його якість, стан поверхонь нагріву [8].

Котельня на основі біопалива на думку авторів [9] о містить систему доставки біопалива :

- обладнання з прийманні, складування та подавання біопалива;
- обладнання для побрібнення біопалива до необхідних розмірів (фракції);
- обладнання для спалювання біомаси і отримання теплової енергії;
- обладнання з видалення димових газів;
- обладнання для золовидалення;
- система управління і контролю (автоматичне регулювання дозуванням палива, управління горінням і теплообміном у теплогенераторі).

Крім того автори [9] пропонують компоувати обладнання котельні у модулі з метою полегшення монтажних робіт.

## 1.2 Енергетичне використання біомаси на водогрійних котельнях

Біомаса для енергетичних потреб з моменту винайдення людиною вогню. Найбільш використовуване паливо у котельнях, що переводяться на місцеві види палива, є палива на деревній основі, не так часто палива на основі природної біомаси в тому числі і солома [10].

Деревні відходи, що можуть бути використані в енергетичних цілях: поліна, залишки після рубки, деревообробні відходи, а також сухостій, деревина із лісосмуг, відходи від обрізки та викорчовування насаджень.

Відомі такі способи отримання теплоти із біомаси [11]:

- анаеробне зброджування відходів тваринництва та органічних фракцій внаслідок якого утворюється газоподібне паливо (біогаз), який можна спалювати у теплогенераторах;
- газифікації та піролізу можна піддавати рослинні залишки та відходи, а також енергетичні плантації внаслідок яких отримуємо газоподібне або рідке паливо (при піролізі);
- грануляції піддають рослинні залишки та відходи, а також енергетичні плантації внаслідок отримуємо тверде паливо для теплогенераторів;
- пряме спалювання за різними технологіями з отриманням теплоти використовують рослинні залишки та відходи, а також енергетичні плантації;
- вилуговуванню і ферментації цукрів з отриманням спиртового палива піддають рослини з вмістом цукру та крохмалю;
- пресуванням отримують паливо рослинних олій із олійних культур.

Із порівняльного аналізу місцевих видів твердих біопалив авторів [10] видно, тріска різни деревних порід, солома різних злакових культур, торф різних видів, ошурки та кора хвойних порід мають великий вміст летючих, тому для їх спалювання потрібні топки збільшеного об'єму. Найбільш доцільним з

місцевих видів біопалива є деревина, а найменш доцільним – рослинна біомаса. Остання має низьку температуру плавлення золи і високий вміст хлору та сірки, що спричиняє використання низькотемпературних технологій спалювання, або сумісного спалювання з іншими видами палива, які мають більшу температуру плавлення, наприклад торф.

Низькосортні біопалива автори [12, 13] пропонують перетворювати на синтез-газ у газогенераторах. Вибір сировини для впровадження процесу газогенерації пердусім залежить від регіону. Це і рослинна сировина, використання якої вимагає попереднього сушіння, що є обмежувальним фактором. Автор [13] експериментально встановив, що піролізний газ має підвищений вміст метану та важких вуглеводнів, що збільшує теплоту його згорання. Найбільш доцільні для газифікації є деревина (пелети та тріска) та рослинні відходи, такі як подрібнені стабла та лушпиння соняшника, пелети з соломи.

На думку авторів [14] покращення процесу спалювання біомаси можна досягти гранулюванням або брикетуванням деревних відходів. Паливні гранули мають такі переваги перед традиційними паливами:

- екологічна чистота, безпека;
- більша теплотворна здатність порівняно із дровами;
- невеликий вміст золи (не більше 3%);
- під час спалювання викидає в навколишнє середовище стільки ж вуглекислого газу, скільки дерево для їх виготовлення поглинуло під час свого зростання;
- низька вологість 8...12 %;
- висока енергоконцентрація;
- більша ніж у дров густина;
- не містить спор та пилу, тому не схильні до самозаймання;
- зменшення площ для складування завдяки високій насипній щільності;
- порівняно низька вартість;
- можлива повна автоматизація подавання палива в теплогенератор;

- зручність зберігання та транспортування;
- не має неприємного запаху;
- простота експлуатації та технічного обслуговування котлів;
- золу можна використовувати у якості добрива.

Автори [15] проаналізували технології термічного перетворення біопалив, провели низку числових досліджень і встановили, що ефективного спалювання біопалива (деревних відходів) можна досягти при спалюванні у киплячому шарі, шаровому спалюванні та у вихорових топках.

В роботі [16] досліджено спалювання біопалива у топках киплячого шару і встановлено, що використання гранульованого палива спрощує експлуатацію теплогенератора, але повного зрідження такого палива не вдалося досягнути через крупність гранул.

Найбільшим джерелом забруднень є об'єкти теплоенергетики. Близько 75% викидів діоксиду сірки, 20% золи, близько 50% оксидів азоту спричиняють саме теплоенергетичні підприємства. Саме тому теплоенергетика є основою технічного прогресу.

Аналізуючи екологічні аспекти використання біомаси автори [17] зауважують, що оскільки біомаса є сполуками на основі вуглецю, що утворилася в процесі фотосинтезу під дією сонячного випромінення, під час спалювання вуглець із біомаси вступає в реакцію із атмосферним киснем, утворюючи  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ , то використання біомаси як енергоносія практично не призводить до скупчення парникових газів у навколишньому середовищі. Але енергетичне використання біомаси може мати і негативний вплив, зокрема забруднення ґрунтів, повітря і водойм забруднюючими речовинами з відходів спалювання. А також суттєвий вплив на родючість ґрунтів має надмірне використання решток та побічних продуктів з сільськогосподарських угідь, що збільшує випаровуваність з поверхні ґрунту і порушує баланс гумусу. Аби не допускати забруднення атмосферного повітря продуктами згорання необхідно вживати заходів та засобів для вловлення золи, її знешкодження та утилізації. Зола може слугувати ефективним добривом.

У роботі авторів [18] порівняно викиди шкідливих речовин при спалюванні відходів деревини, соломи, льняної котриці, соняшникової лузги і природного газу. Показано, що спалювання біомаси є безпечнішою з екологічної точки зору і за умови зниження викидів золи, метану та неметанових летких органічних сполук та забезпечення раціональних режимів спалювання стануть досить перспективними як альтернативний вид палива.

На ефективність вироблення теплової енергії з біомаси впливає:

- наявність сировинної бази та надійність її логістики;
- можливість використання якісного обладнання та технологій спалювання;
- організація безпечної експлуатації і забезпечення будівельних, проти-пожежних, санітарних та екологічних вимог;
- оптимальні затрати.

Енергетичне використання біомаси зумовлює реконструкцію існуючих або будівництво нових котелень.

### 1.3 Висновки до розділу 1

В даному розділі виконано аналітичний огляд літературної інформації. Проаналізовано загальну характеристику та класифікацію котелень, переваги та недоліки котелень на традиційних видах паливі, еколого-економічні питання роботи водогрійних котелень для потреб тепlopостачання та біомаса як джерело відновлювальної енергії. За результатами огляду літературної інформації сформовані задачі та мета досліджень.

**Мета і задачі досліджень.** Зменшення експлуатаційних витрат на вироблення теплової енергії та підвищення екологічної ефективності системи тепlopостачання лікувального закладу шляхом впровадження технології спалювання біомаси і традиційного палива на двопаливній водогрійній котельні.

У зв'язку з цим поставлені такі завдання:



- виконати аналітичний огляд літературної інформації по екологічній та енергетичній ефективності використання біомаси як палива для водогрійних котелень;
- проаналізувати ефективність роботи теплової схеми котельні для теплопостачання лікувального закладу;
- розробити математичну модель оцінки ефективності роботи двопаливної водогрійної котельні;
- дослідити сезонну ефективність двопаливної водогрійної котельні та екологічні показники протягом життєвого циклу за різних варіантів завантаження теплогенераторів;
- розробити технологію монтажу установки очищення відхідних газів після твердопаливних теплогенераторів;
- розробити економічні показники двопаливної водогрійної котельні для системи теплопостачання лікувального закладу;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

## 2 РОЗРОБКА ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ДВОПАЛИВНОЇ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНІ ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЛІКУВАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

### 2.1 Аналіз теплової схеми котельні

Дана водогрійна котельня обслуговує вузол лікарняних та геріатричних закладів у м. Вінниці. Особливістю такої котельні є сезонний характер її роботи. Адже котельня працює тільки для забезпечення потреб опалення.

Сумарна потужність споживачів опалення складає 8 МВт.

Котельня призначена для роботи з закритими системами водяного опалення. Котельня оснащена двома котлами BRS 2500 LM [19] потужністю 2,5 МВт кожний та двома газовими ARS 2000 BMT потужністю 2 МВт кожний.

ККД котлів за паспортом 92% за умови встановлення циклонів утилізаторів. Робочий тиск в системі 0,3 МПа. Температура теплоносія 95°C. Температура продуктів згорання за твердопаливними котлами 160 °С.

До допоміжного обладнання котельні відноситься змонтоване безпосередньо на підлозі котельні або на трубопроводах і з'єднане між собою комунікаціями обладнання, яке забезпечує автоматичну і безпечну роботу котельні у відповідності до ТУ У 25.2-38718237-001:2014:

- станція водопідготовки;
- насоси;
- розширювальний мембранний бак;
- бак запасу підготовленої води.

Станція водопідготовки призначена для помягчення холодної господарсько-питтєвої води яка використовується для заповнення і підживлення приєднаної до котельні системи опалення.

Насосна станція призначена для автоматичного підживлення приєднаної до котельні системи опалення. Управління підживленням проводиться по сиг-

налу реле тиску. Насос контуру опалення разом з запірною і регулюючою арматурою та колектором складають розподільчий вузол, який постачається після погодження з Замовником.

Бак запасу підготовленої води призначений для забезпечення роботоздатності котельні у випадках відсутності тиску води в господарсько-питтєвому водопроводі, або при регенерації станції водопідготовки. Бак обладнано вбудованим клапаном заповнення поплавкового типу, патрубками переливу, дренажу і підключення до підживлюючих насосів.

Контрольно - вимірювальні прилади (далі - КВП) призначені для забезпечення автоматичної безпечної роботи котельні. Значення робочих діапазонів параметрів, які вимірюються КВП і значення спрацювання автоматики повинні бути представлені в технічному звіті і режимній карті, виконаних спеціалістами підприємства, яке проводить пусканалагоджувальні роботи і затверджені в установленому порядку

Кожний котел забезпечується обособленою димовою трубою, твердопаливні котли підключені до цегляної труби, а газові до труби, яка виконана із корозійно-стійкої сталі і утеплена шаром мінерального утеплювача і з зовнішнім кожухом із оцинкованої сталі. Нижня частина димової труби оснащена лючком ревізії і патрубком для відводу конденсату.

Для проведення режимного налагодження в димоходах допускається виконання отворів для зонду газоаналізатора. Після проведення замірів отвори повинні бути закриті в надійний спосіб.

Трубопроводи котельні із змонтованою на них арматурою і обладнанням перевірені на герметичність в зібраному вигляді в заводських умовах. Після кожного випадку транспортування (або переміщення) котельні необхідне проведення перевірки герметичності всіх роз'ємних з'єднань трубопроводів і обладнання.

Кожен твердопаливний котел обладнаний циркуляційними насосами для відбору води з бака-акумулятора. Всі котли обладнанні лініями рециркуляції для уникнення низькотемпературної корозії або зменшення її інтенсивності.

Біля твердопаливних котлів лінії рециркуляції проходять через циклоні-теплоутилізатори, нагріваючи при цьому мережну воду перед зворотний трубопроводом. Температуру води на вході в котлі необхідно підтримувати вище температури точки роси димових газів. Теплова схема передбачає постійну витрату води через котел і підтримання температури в зворотному трубопроводі не менше заданої ( $60^{\circ}\text{C}$ ). Задана температура підтримується перепуском мережної води із прямого в зворотній трубопровід [20].

Для видалення повітря із системи на трубопроводі встановлюються повітровипускні вентиля. На виході із котла встановлена група безпеки котла, яка складається з манометра, термометра та запобіжного клапана. Зливний трубопровід від запобіжного клапана виведений окремою лінією.

Для запобігання протитоку теплоносія на лінії рециркуляції, підживлювальному трубопроводі і після мережних насосів передбачено встановлення зворотних клапанів. Для зливу води із котлів передбачений дренажний трубопровід [21].

## 2.2 Розрахунок теплової схеми котельні

Згідно із початковими даними температура води в прямому трубопроводі котельні  $\tau_1 = 95^{\circ}\text{C}$ , температура води в зворотному трубопроводі котельні  $\tau_2 = 70^{\circ}\text{C}$ , температура додаткової води  $t_{\text{дв}} = 5^{\circ}\text{C}$ , мінімальна температура води на вході в котел  $t_{\text{зв}} = 60^{\circ}\text{C}$ .

Температура в подавальному трубопроводі з врахуванням охолодження в котельні  $\Delta t_{\text{охолодження}} = 0,5^{\circ}\text{C}$

$$\tau'_1 = \tau_1 + \Delta t_{\text{охолодження}}, \quad (2.1)$$

$$\tau'_1 = 95 + 0,5 = 95,5 (^{\circ}\text{C}).$$

Температура в зворотному трубопроводі з врахуванням охолодження в котельні

$$\tau'_2 = \tau_2 - \Delta t_{\text{охолодження}}, \quad (2.2)$$

$$\tau'_2 = 70 - 0,5 = 69,5 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Витрата мережної води на систему теплопостачання лікувального закладу [20]

$$G_{\text{TM}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{C_p (\tau'_1 - \tau'_2)}, \quad (2.3)$$

$$G_{\text{TM}} = \frac{8000}{4,19 \cdot (95,5 - 69,5)} = 76,37 \text{ (кг / с)}.$$

Витрата води для підживлення мережі з врахуванням втрат  $\alpha_{\text{втр}} = 0,005$

$$G_{\text{пж}} = G_{\text{TM}}^{\text{оп}} \cdot \alpha_{\text{втр}}, \quad (2.4)$$

$$G_{\text{пж}} = 76,37 \cdot 0,005 = 0,382 \text{ (кг/с)}.$$

Температура води в зворотному трубопроводі після підживлення

$$t_{\text{MH}} = \frac{G_{\text{TM}}^{\text{оп}} \cdot \tau_2 + G_{\text{пж}} \cdot t_{\text{св}}}{G_{\text{TM}}^{\text{оп}} + G_{\text{пж}}}, \quad (2.5)$$

$$t_{\text{MH}} = \frac{(76,37 - 0,382) \cdot 69,5 + 0,382 \cdot 5}{76,37} = 69,18 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Загальна потужність котельні

$$Q_{\Sigma} = G_{TM} \cdot c_p \cdot (\tau'_1 - \tau'_2), \quad (2.6)$$

$$Q_{\Sigma} = 76,37 \cdot 4,19 \cdot (95,5 - 69,5) = 8,423 \text{ (МВт)}.$$

Відсоток завантаженості котлів

$$b = \frac{Q_{\Sigma}}{\Sigma Q_{\text{НОМ}}}, \quad (2.7)$$

$$b = 8,423 / 11 = 0,766 \text{ або } 76,6\%.$$

Корисна потужність одного газового котла

$$Q_{\text{газ}} = \Sigma Q_{\text{газ ном}} \cdot b, \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{газ}} = 2 \cdot 0,766 = 1,531 \text{ (МВт)}.$$

Корисна потужність твердопаливного котла

$$Q_{\text{твердопал}} = \Sigma Q_{\text{твердоп ном}} \cdot b, \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{твердопал}} = 2,5 \cdot 0,766 = 1,914 \text{ (МВт)}.$$

Витрата води через газовий котел

$$G_{\text{в газ}} = \frac{Q_{\text{газ}}}{c_p \cdot (\tau'_1 - t_{\text{МН}})}, \quad (2.10)$$

$$G_{\text{газ}} = 1531 / (4,19 \cdot (95,5 - 69,18)) = 13,886 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата води з бака-акумулятора на твердопаливний котел

$$G_{\text{в твердоп}} = \frac{Q_{\text{твердоп}}}{c_p \cdot (\tau'_1 - t_{\text{МН}})}, \quad (2.11)$$

$$G_{\text{в твердоп}} = 1914 / (4,19 \cdot (95,5 - 69,18)) = 17,357 \text{ (кг/с)}.$$

Оскільки температура води на вході в котел вище за  $t_{\text{зв}} = 60^\circ\text{C}$ , то витрата води через лінію рециркуляції в розрахунковому режимі  $G_{\text{рец}} = 0$  кг/с.

Теплова потужність циклонів одного твердопаливного котла (з умови корисного використання теплоти відхідних газів та золи в розмірі 2,0% від потужності котла

$$Q_{\text{циклонів}} = Q_{\text{твердоп}} \cdot 0,02, \quad (2.12)$$

$$Q_{\text{циклонів}} = 1,914 \cdot 0,02 = 38,287 \text{ (кВт)}.$$

Витрата рециркуляційної води через циклони (приймаємо в першому наближенні)  $G_{\text{в циклонів}} = 2$  кг/с.

Температура рециркуляційної води після циклонів

$$t_{\text{рец}} = \tau'_1 + \frac{Q_{\text{циклонів}}}{c_p \cdot G_{\text{в циклонів}}}, \quad (2.13)$$

$$t_{\text{рец}} = 95,5 + 38,287 / (4,19 \cdot 2) = 100,07 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Температура води на вході в твердопаливний котел

$$t_{\text{вх твердоп}} = \frac{G_{\text{в твердоп}} \cdot \tau'_2 + G_{\text{в циклонів}} \cdot t_{\text{рец}}}{G_{\text{в твердоп}} + G_{\text{в циклонів}}}, \quad (2.14)$$

$$t_{\text{вх твердоп}} = (17,357 \cdot 69,5 + 2 \cdot 100,07) / (17,357 + 2) = 72,37 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Розрахункова витрата газового палива

$$V_{\text{газ}} = \frac{Q_{\text{газ}} \cdot N_{\text{працюючих}}}{Q_{\text{нгаз}}^p \cdot \eta_{\text{кгаз}}}, \quad (2.15)$$

$$V_{\text{газ}} = 1,531 \cdot 3 / (34 \cdot 0,91) = 0,1485 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

Розрахункова витрата твердого палива

$$V_{\text{твердоп}} = \frac{Q_{\text{твердоп}} \cdot N_{\text{працюючих}}}{Q_{\text{нтвердоп}}^p \cdot \eta_{\text{ктвердоп}}}, \quad (2.16)$$

$$V_{\text{твердоп}} = 1,914 \cdot 2 / (12 \cdot 0,88) = 0,3626 \text{ (кг/с)}.$$

Витрата умовного палива

$$V_y = \frac{Q_{\text{твердоп}} \cdot N_{\text{працюючих}}}{Q_{\text{ну}}^p \cdot \eta_{\text{ктвердоп}}} + \frac{Q_{\text{газ}} \cdot N_{\text{працюючих}}}{Q_{\text{ну}}^p \cdot \eta_{\text{кгаз}}}, \quad (2.17)$$

$$V_y = 1,914 \cdot 2 / (29,3 \cdot 0,88) + 1,531 \cdot 3 / (29,3 \cdot 0,91) = 0,321 \text{ (кг/с)}.$$

ККД котельні



$$\eta = \frac{Q_{\Sigma}}{(B_y \cdot Q_{Hy}^p)}. \quad (2.18)$$

$$\eta = 8 / (0,321 \cdot 29,3) = 0,851.$$

## 2.3 Підбір обладнання двопаливної водогрійної котельні

### 2.3.1 Перевірка котлоагрегатів

Перевірку водогрійних котлів проводимо по розрахунковій продуктивності котельні для максимального опалювального режиму, яка складає  $Q_{\text{кот}} = 8423$  кВт. З врахуванням запасу продуктивності з метою забезпечення надійності системи тепlopостачання лікувального закладу встановлена потужність теплогенераторів має становити

$$Q_{\text{ТГ}} = 1,2 \cdot Q_{\text{кот}}, \quad (2.19)$$

$$Q_{\text{ТГ}} = 1,2 \cdot 8423 = 10107,6 \text{ (кВт)}.$$

До встановлення приймаємо два сталеві газові котли водогрійні котли ARS 2000 ВМТ потужністю 2000 кВт (існуючі) кожний, два твердопаливних водогрійних котли BRS2500 LM (існуючі) для спалювання сипучого твердого палива та жаротрубний газовий котел КОЛВІ 2000 [22] потужністю 2000 кВт. Сумарна потужність котлів 11 МВт, що є достатнім для задоволення потреб споживачів з резервуванням потужності.

### 2.3.2 Перевірка насосів

В тепловій схемі котельні встановлені 3 мережні насоси, по одному насосу котлової води для твердопаливних котлів (2 шт.), по одному насосу рециркуляції для кожного з п'яти котлів (5 шт.), насос підживлювальної води (1 шт.).

Мережні насоси призначені для забезпечення циркуляції теплоносія в тепловій мережі через котли. Їх подача визначається за максимальною масовою витратою мережної води. Згідно з Правилами Держтехнагляду встановлюється резервування такого насосного обладнання

Подача насосу

$$V_{\text{MH}} = \frac{1,1 \cdot G_{\text{MB}} \cdot 3600}{\rho_{\text{MB}}}, \quad (2.20)$$

де  $G_{\text{MB}}$  – масова витрата мережної води в максимальному режимі, кг/с;

$\rho_{\text{MB}}$  – густина мережної води на вході в тепломережу, яка дорівнює  $975 \text{ кг/м}^3$  при температурі  $95^\circ\text{C}$

$$V_{\text{MH}} = \frac{1,1 \cdot 76,37 \cdot 3600}{975} = 310,2 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено три мережних насоси марки Hydrovacuum MVA 65-200A 1100, характеристики якого: подача  $V = 160 \text{ м}^3\text{/год}$ , напір  $H = 50 \text{ м}$ , потужність електродвигуна  $N_{\text{KH}} = 30 \text{ кВт}$  [23]. Достатньо двох насосів робочих та одного резервного.

Подача насоса котлової води від бака-акумулятора до твердопаливного котла за формулою (4.1)

$$V_{\text{кн}} = \frac{1,1 \cdot 17,35 \cdot 3600}{985} = 69,8 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено по одному насосу GHN 100-120 F на кожний твердопаливний котел. Характеристики насоса: подача 70 м<sup>3</sup>/год, напір 3,5 м.в.ст., електрична потужність 2,5 кВт.

Рециркуляційні насоси для газових котлів

$$V_{\text{рн газ}} = \frac{1,1 \cdot 8,99 \cdot 3600}{975} = 36,5 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено по одному насосу Hydrovacuum MVA.40-125 на кожний газовий котел з характеристиками: 40 м<sup>3</sup>/год, 18 м.в.ст., 3,5 кВт.

Рециркуляційні насоси твердопаливних котлів перевіряються за витратою

$$V_{\text{рн твердоп}} = \frac{1,1 \cdot 11 \cdot 3600}{975} = 44,7 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено два насоси Hydrovacuum MVA 40-125 [23] з характеристиками: 48 м<sup>3</sup>/год, 12 м.в.ст., 3,8 кВт.

Насоси підживлення

$$V_{\text{нсв}} = \frac{1,1 \cdot 2 \cdot G_{\text{пж}} \cdot 3600}{\rho_{\text{св}}}, \quad (2.21)$$

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

$\rho_{\text{пж}}$  – густина підживлювальної води на вході в насос, яка дорівнює 999,8 кг/м<sup>3</sup> при температурі 5°C.

Подача насоса підживлення

$$V_{\text{нсв}} = \frac{1,1 \cdot 2 \cdot 0,38 \cdot 3600}{999,8} = 3,01 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено гідрофорна система підняття та підтримання тиску в мережі подачею 5 м<sup>3</sup>/год потужністю електродвигуна  $N_{\text{нсв}} = 1,4$  кВт [23].

### 2.3.3 Перевірка димососів до котлів

Димососи перевіряємо за витратою димових газів з твердопаливних котлів

$$V_{\text{д}} = 1,1 \cdot B_{\text{р}} \cdot V_{\text{г}} \cdot (t_{\text{вг}} + 273) / 273, \quad (2.22)$$

де  $V_{\text{г}}$  – дійсний об'єм димових газів за нормованих умов;

$$V_{\text{д}} = 1,1 \cdot 0,363 \cdot 6,0 \cdot (180 + 273) \cdot 3600 / 273 = 14311 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

На котельні встановлено 4 димососи Д-3,5М [24] (по два на кожний твердопаливний котел). Характеристика димососа : подача 5400 м<sup>3</sup>/год, напір 900 Па, потужність електродвигуна 2,2 кВт.

Розрахункову електричну потужність котельні знаходимо як суму активних потужностей працюючого обладнання котельні, а саме мережних насосів, насосів котлової води, підживлювального насосу, рециркуляційних насосів, двигунів подавання палива та дуттєвих вентиляторів і димососів котлів.

$$N_{\text{вп}} = N_{\text{мн}} \cdot n_{\text{мн}} + N_{\text{кн}} \cdot n_{\text{кн}} + N_{\text{пн}} \cdot n_{\text{пн}} + N_{\text{рн}} \cdot n_{\text{рн}} + N_{\text{рн}} \cdot n_{\text{рн}} + \Sigma N_{\text{доп}}, \quad (2.23)$$

$$N_{\text{вп}}^{\text{макс}} = 30 \cdot 2 + 2,5 \cdot 2 + 1,4 \cdot 1 + 3 \cdot 3,5 + 2 \cdot 3,8 + 4 \cdot 2,2 + 10 = 103,3 \text{ (кВт)};$$

## 2.4 Техніко-економічні показники роботи двопаливної водогрійної котельні

Загальні капіталовкладення в котельню  $K = 100$  млн. грн.

Річне виробництво теплоти на котельні для потреб тепlopостачання лікувального закладу [20]

$$Q_{\text{рік}} = (Q_{\text{кот}} \cdot \tau_{\text{макс}} + Q_{\text{сер}} \cdot \tau_{\text{сер}} + Q_{\text{між}} \cdot \tau_{\text{між}}) \cdot 3600, \quad (2.24)$$

$$Q_{\text{рік}} = ((1,914 \cdot 2 + 1,531 \cdot 3) \cdot 50 + (1,914 \cdot 2 + 1,531 \cdot 3) \cdot 0,467 \cdot 4798) \cdot 3600 \cdot 10^{-3} =$$

$$Q_{\text{рік}} = 69442,9 \text{ (ГДж/рік)}.$$

Річна витрата газоподібного палива на водогрійній котельні [20]

$$V_{\text{р}}^{\text{річ}} = \frac{Q_{\text{річ}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \quad (2.25)$$

$$V_{\text{ргаз}}^{\text{річ}} = [(1,531 \cdot 3 \cdot 50 + 1,531 \cdot 3 \cdot 0,467 \cdot 4798) \cdot 3600] / (34 \cdot 0,92) = 1210860 \text{ (м}^3 \text{ / рік)}.$$

Річна витрата твердого палива на водогрійній котельні

$$V_{\text{рत्व}}^{\text{річ}} = [(1,914 \cdot 2 \cdot 50 + 1,914 \cdot 2 \cdot 0,467 \cdot 4798) \cdot 3600] / (12 \cdot 0,88) = 2989319 \text{ (кг / рік)}.$$

Витрати на паливо протягом опалювального сезону

$$C_{\text{п}} = C_{\text{п}} \cdot V_{\text{р}}^{\text{річ}} \cdot k_{\text{вп}}, \quad (2.26)$$

де  $C_{\text{п}} = 16,55$  грн/м<sup>3</sup> – ціна газу для бюджетних установ [25];

$C_{\text{п}} = 3,15$  грн/кг – ціна тріски деревини;

$k_{\text{ВП}}$  – коефіцієнт, яким враховують втрати палива.

$$C_{\text{П}} = 16,55 \cdot 1210860 \cdot 1,006 + 3,15 \cdot 2989319 \cdot 1,006 = 29,633 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Річна витрата електроенергії на функціонування системи теплопостачання

$$EE^{\text{річ}} = N_{\text{ВП}}^{\text{макс}} \cdot \tau_{\text{макс}} + N_{\text{ВП}}^{\text{сер}} \cdot \tau_{\text{сер}}, \quad (2.27)$$

$$EE^{\text{річ}} = 103,3 \cdot 4848 = 500798,4 \text{ (кВт·год/рік)}.$$

Витрати на електроенергію

$$C_{\text{еє}} = EE_{\text{річ}} \cdot \text{Ц}_{\text{еє}}, \quad (2.28)$$

$$C_{\text{еє}} = 500798,4 \cdot 3,2 = 1,602 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Витрати коштів на воду [26]

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

$$C_{\text{в}} = 6654,55 \cdot 15,1 = 100,48 \text{ (тис. грн./рік)}.$$

Амортизаційні відрахування для відшкодування зношених частин основних фондів [26]

$$C_{\text{а}} = k_{\text{а}} \cdot K, \quad (2.30)$$

$$C_{\text{а}} = 0,07 \cdot 100000000 = 7 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Затрати коштів на поточний ремонт (20% від амортизаційних відрахувань) [27]

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

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot 7 = 1,4 \text{ (млн. грн./рік).}$$

Оплата праці [27]

$$C_{\text{зп}} = n \cdot \text{ЗП} \cdot k_{\text{вщр}}, \quad (2.32)$$

де ЗП – середня заробітна плата,

$$C_{\text{зп}} = 0,8 \cdot 8,423 \cdot 6000 \cdot 12 \cdot 1,41 = 0,684 \text{ (млн. грн./рік).}$$

Інші витрати

$$C_{\text{ін}} = 0,06 \cdot (C_a + C_{\text{зп}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{се}} + C_{\text{в}} + C_{\text{пал}}), \quad (2.34)$$

$$C_{\text{ін}} = 0,06 \cdot (7 + 0,684 + 1,4 + 1,602 + 0,1 + 29,633) = 2,425 \text{ (млн. грн./рік).}$$

Витрати коштів на експлуатацію двопаливної котельні [26, 27]

$$C_{\text{річ}} = C_a + C_{\text{зп}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{се}} + C_{\text{в}} + C_{\text{ін}} + C_{\text{п}}, \quad (2.35)$$

$$C_{\text{річ}} = 7 + 0,684 + 1,4 + 1,602 + 0,1 + 2,425 + 29,633 = 42,844 \text{ (млн. грн./рік).}$$

Собівартість виробництва теплової енергії на двопаливній котельні [26, 27]

$$CB_{\text{тепл}} = C_{\text{річ}} / Q_{\text{річ}} , \quad (2.36)$$

$$CB_{\text{тепл}} = 42,844 / 69442,9 = 616,97 \text{ (грн./ГДж).}$$

## 2.5 Висновки до розділу 2

Розроблено, виконано аналіз і розрахунок теплової схеми котельні, що працює на систему тепlopостачання лікувального закладу з максимальною потужністю 8 МВт. У розрахунках прийнято два види палива: традиційне – природний газ та відновлювальне – біомаса у вигляді тріски деревини.

Витрата природного газу складає 0,1485 м<sup>3</sup>/с, твердого палива – 0,3626 кг/с, загальна витрата умовно палива на котельні 0,321 кг/с. Коефіцієнт корисної дії котельні у розрахунковому періоді склав 0,851. Річне виробництво теплоти котельнею складає 69442,9 ГДж, а собівартість виробництва теплоти – 616,97 грн./ГДж.

Виявлено, що потужності встановлених на котельні теплогенераторів не достатньо для забезпечення надійності тепlopостачання лікувального закладу, тому прийнято рішення встановити у котельні ще один теплогенератор на традиційному паливі, а саме КОЛВІ 2000 потужністю 2000 кВт.



### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОПАЛИВНОЇ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНІ

3.1 Розроблення математичної моделі для визначення показників теплової схеми двопаливної водогрійної котельні

Для дослідження показників теплової схеми двопаливної водогрійної котельні із встановленими твердопаливними та газовими котлами розроблена математична модель.

Розроблена модель є нелінійною, вона складається з 25 лінійних та нелінійних алгебраїчних рівнянь, за параметрами моделювання така модель є детермінованою, структурною, також дискретною з зосередженими кількісними параметрами, крім того, статичною, одномірною. Дана модель є дескриптивною, алгебраїчною і розв'язується аналітичним методом [28-30].

Розроблена математична модель реалізована в середовищі Microsoft Excel.

Її математичний опис складається з 25 рівнянь теплових та енергетичних балансів, використовуються внутрішні ітерації для визначення показників роботи ліній рециркуляції твердопаливних котлів, рівнянь для визначення витрати газового та твердого палива. Основні рівняння, що використані в математичному описі моделі наведені в [20, 21].

Початковими даними для виконання досліджень є:

- термодинамічні параметри теплоносіїв в залежності від температури навколишнього середовища;
- теплота згорання твердого та газового палива;
- значення ККД котлів, теплообмінників, насосів та іншого теплоенергетичного обладнання;
- необхідна потужність споживачів;
- частка власних потреб хімводоочистки;

- охолодження води в мережних трубопроводах та в трубопроводах та обладнанні котельні тощо.

Допущення та спрощення, які використані під час створення даної математичної моделі:

- задаємось осередненими значеннями охолодження води в подавальному та зворотному трубопроводах;
- задаємось осередненими значеннями ККД котлоагрегатів та теплообмінного обладнання;
- виконуємо розрахунки теоретичних теплових схем.

Математичний опис моделі наведений нижче.

Відносне теплове навантаження для опалення при  $t_3$  [31]

$$\frac{Q'_0}{Q_0} = \frac{t_{\text{в.п.}} - t_3}{t_{\text{в.п.}} - t_{3.0}}, \quad (3.1)$$

Потужність відпущеної теплоти

$$Q = Q_0 \cdot \left( \frac{Q'_0}{Q_0} \right) \quad (3.2)$$

Температурний напір опалювального приладу в розрахунковому режимі

$$\Delta t_o = \frac{t'' + t'}{2} - t_{\text{в.п.}}, \quad (3.3)$$

Перепад температур мережної води для розрахункового режиму [31]

$$\Delta \tau_o = t'' - t', \quad (3.4)$$

Перепад температур води в опалювальній системі для розрахункового режиму  $\Theta_o = \Delta\tau_o = 20$  (°C).

Температура в подавальному трубопроводі при  $t_3$  [31]

$$\tau_1 = t_{в.р} + \Delta t_o \cdot \left( \frac{Q'_o}{Q_o} \right)_{оп}^{0,8} + (\Delta\tau_o - 0,5 \cdot \Theta_o) \cdot \left( \frac{Q'_o}{Q_o} \right), \quad (3.5)$$

Температура в зворотному трубопроводі при  $t_3$  [29]

$$\tau_2 = t_{в.р} + \Delta t_o \cdot \left( \frac{Q'_o}{Q_o} \right)_{оп}^{0,8} - 0,5 \cdot \Theta_o \cdot \left( \frac{Q'_o}{Q_o} \right), \quad (3.6)$$

Температура в подавальному трубопроводі з врахуванням охолодження в котельні

$$\tau'_1 = \tau_1 + \Delta t_{охолодження}, \quad (3.7)$$

Температура в зворотному трубопроводі з врахуванням охолодження в котельні

$$\tau'_2 = \tau_2 - \Delta t_{охолодження}, \quad (3.8)$$

Витрата мережної води на систему опалення

$$G_{ТМ} = \frac{Q_{оп} \cdot \left( \frac{Q'_o}{Q_o} \right)}{C_p (\tau'_1 - \tau'_2)}, \quad (3.9)$$

Витрата води для підживлення мережі

$$G_{\text{пж}} = G_{\text{тм}}^{\text{оп}} \cdot \alpha_{\text{втр}}, \quad (3.10)$$

Температура води в зворотному трубопроводі після підживлення [20]

$$t_{\text{мн}} = \frac{G_{\text{тм}}^{\text{оп}} \cdot \tau_2 + G_{\text{пж}} \cdot t_{\text{св}}}{G_{\text{тм}}^{\text{оп}} + G_{\text{пж}}}, \quad (3.11)$$

Загальна потужність котельні

$$Q_{\Sigma} = G_{\text{тм}} \cdot c_p \cdot (\tau'_1 - \tau'_2), \quad (3.12)$$

Відсоток завантаженості котлів

$$b = \frac{Q_{\Sigma}}{\Sigma Q_{\text{ном}}}, \quad (3.13)$$

Корисна потужність газового котла

$$Q_{\text{газ}} = \Sigma Q_{\text{газ ном}} \cdot b, \quad (3.14)$$

Корисна потужність твердопаливного котла

$$Q_{\text{твердопал}} = \Sigma Q_{\text{твердоп ном}} \cdot b, \quad (3.15)$$

Витрата води через газовий котел

$$G_{\text{в газ}} = \frac{Q_{\text{газ}}}{c_p \cdot (\tau'_1 - t_{\text{мн}})}, \quad (3.16)$$

Витрата води з бака-акумулятора на твердопаливний котел

$$G_{\text{в твердоп}} = \frac{Q_{\text{твердоп}}}{c_p \cdot (\tau'_1 - t_{\text{мн}})}, \quad (3.17)$$

Витрата води в лінії рециркуляції газового котла

$$G_{\text{рец}} = G_{\text{в газ}} \frac{60 - t_{\text{мн}}}{\tau'_1 - 60}, \quad (3.18)$$

де 60 – мінімально допустима температура води на вході в газовий котел;

Теплова потужність циклонів одного твердопаливного котла (з умови корисного використання теплоти відхідних газів та золи в розмірі 2,0% від потужності котла

$$Q_{\text{циклонів}} = Q_{\text{твердоп}} \cdot 0,02, \quad (3.19)$$

Для подальшого розрахунку необхідно проводити ітерації для визначення витрати рециркуляційної води через циклони  $G_{\text{в циклонів}}$ . Ця витрата з одного боку повинна не дозволити закипяти воді в циклоні, а з іншого – щоб температура води на вході в твердопаливний котел не опускалась нижче 60°C.

Температура рециркуляційної води після циклонів

$$t_{\text{рец}} = \tau'_1 + \frac{Q_{\text{циклонів}}}{c_p \cdot G_{\text{в циклонів}}}, \quad (3.20)$$

Температура води на вході в твердопаливний котел

$$t_{\text{вх твердоп}} = \frac{G_{\text{в твердоп}} \cdot \tau'_2 + G_{\text{в циклонів}} \cdot t_{\text{рец}}}{G_{\text{в твердоп}} + G_{\text{в циклонів}}}, \quad (3.21)$$

Розрахункова витрата газового палива

$$V_{\text{газ}} = \frac{Q_{\text{газ}} \cdot N_{\text{працюючих}}}{Q_{\text{нгаз}}^p \cdot \eta_{\text{кгаз}}}, \quad (3.22)$$

Розрахункова витрата тверого палива

$$V_{\text{твердоп}} = \frac{Q_{\text{твердоп}} \cdot N_{\text{працюючих}}}{Q_{\text{нтвердоп}}^p \cdot \eta_{\text{ктвердоп}}}, \quad (3.23)$$

Витрата умовного палива

$$V_y = \frac{Q_{\text{твердоп}} \cdot N_{\text{працюючих}}}{Q_{\text{ну}}^p \cdot \eta_{\text{ктвердоп}}} + \frac{Q_{\text{газ}} \cdot N_{\text{працюючих}}}{Q_{\text{ну}}^p \cdot \eta_{\text{кгаз}}}, \quad (3.24)$$

ККД котельні

$$\eta = \frac{Q_{\Sigma}}{(V_y \cdot Q_{\text{ну}}^p)}. \quad (3.25)$$

### 3.2 Дослідження показників сезонної ефективності котельні

Система опалення живиться від водогрійної котельні. Згідно завдання розрахункова потужність системи водяного опалення  $Q_{\text{оп}} = 8000$  кВт, система замкнута, графік мережної води в розрахунковому режимі  $95/70^{\circ}\text{C}$ , температура

сирої води  $5^{\circ}\text{C}$ . Розрахункова температура зовнішнього повітря  $t_p^{\text{оп}} = -21^{\circ}\text{C}$ . Середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря  $t_{\text{ср}}^{\text{оп}} = -0,2^{\circ}\text{C}$ . Тривалість опалювального періоду  $n_{\text{оп}} = 202$  доби. Охолодження мережної води в котельні прийняті з розрахунку  $0,5^{\circ}\text{C}$  в подавальному та у зворотному трубопроводах.

За твердопаливними котлами встановлені циклони, як мають поверхню теплообміну і дозволяють отримувати додатково 2% теплоти від димових газів та золи. Через сорочки охолодження циклонів циркулює вода рециркуляції твердопаливного котла. Витрата рециркуляції твердопаливиного котла обмежуються двома температурами: температурою води на вході в котел (не менше  $60^{\circ}\text{C}$ ); температурою рециркуляційної води (не більше  $100^{\circ}\text{C}$ ).

Результати моделювання показників роботи теплової схеми двопаливної водогрійної котельні показані на рис. 3.1 – 3.6.

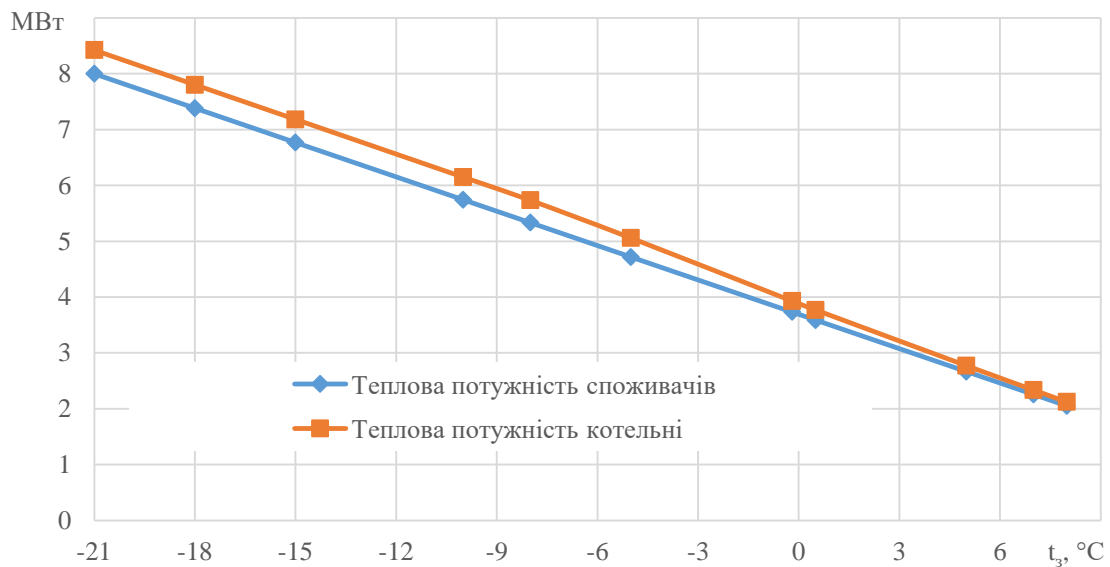


Рисунок 3.1 – Результати моделювання теплової потужності споживачів та котельні в залежності від температури навколишнього середовища

Як видно з рис. 3.1 із зменшенням температури навколишнього повітря зростають втрати теплоти в тепловій схемі котельні, що пов'язано із збільшенням витрат теплоти на нагрів підживлювальної води.

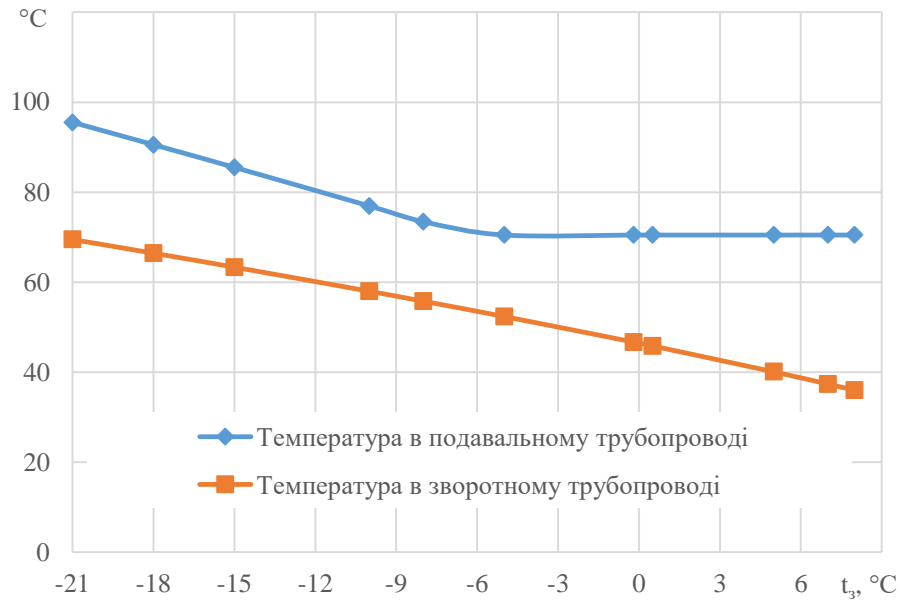


Рисунок 3.2 – Температури в подавальному та зворотному трубопроводах в залежності від температури навколишнього середовища

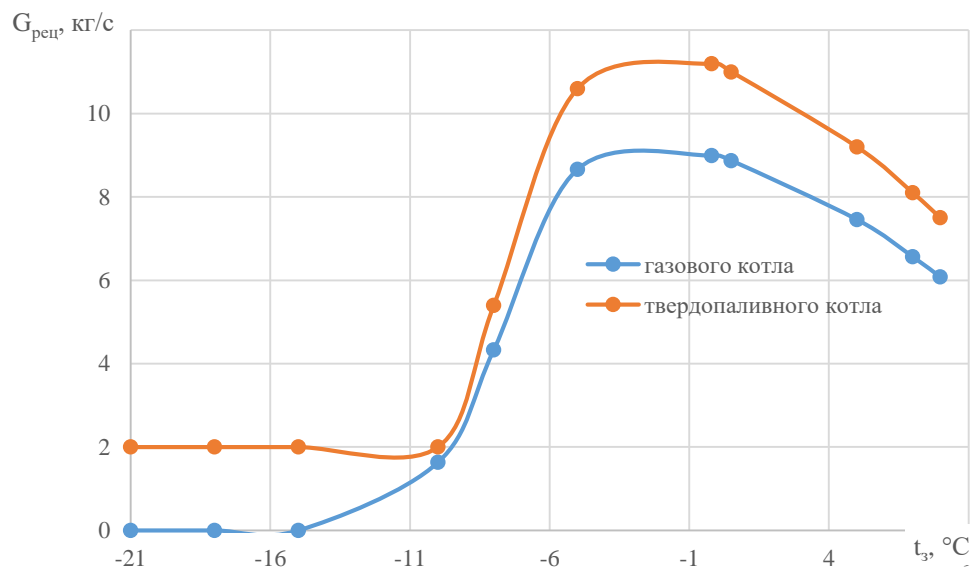


Рисунок 3.3 – Витрати рециркуляційної води в контурі газового та твердопаливного котлів в умовах зміни температури зовнішнього повітря

На рис. 3.2 видно злом температурного графіка тепломережі при температурі навколишнього середовища в межах  $-6^{\circ}\text{C}$ . Це пов'язано із складністю



забезпечення температури мережної води на вході в газові та твердопаливні котли. В розрахунку таку температуру прийнято  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 3.3 показаний результат моделювання зміни витрати рециркуляційної води для газових та твердопаливних котлів. Невелика відмінність нахилу кривих пов'язана із впливом циклонів-теплоутилізаторів.

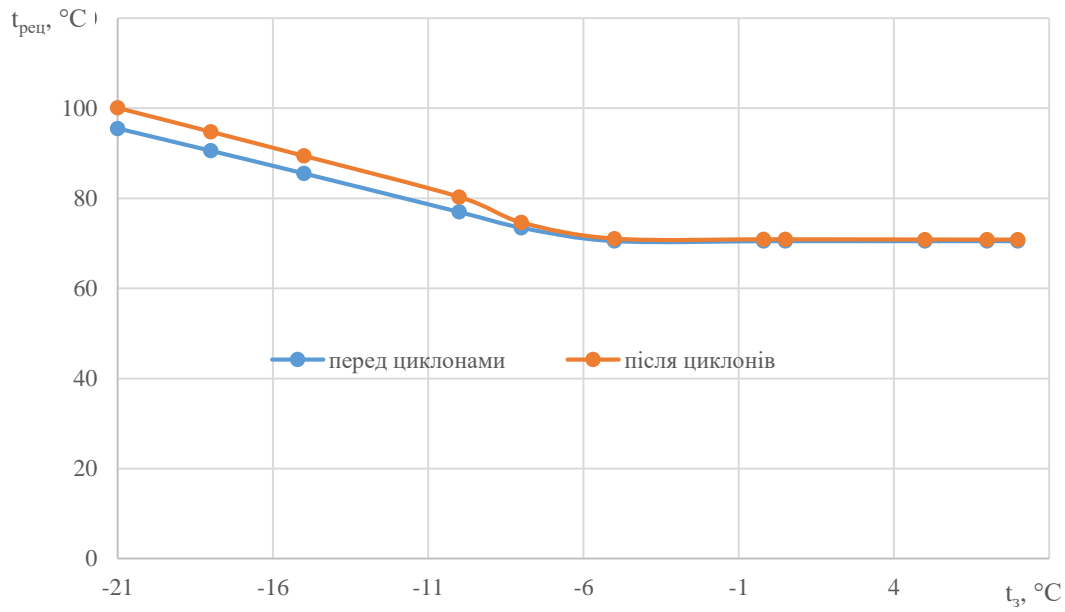


Рисунок 3.4 – Витрати температура рециркуляційної води перед та після циклонів в умовах зміни температури зовнішнього повітря

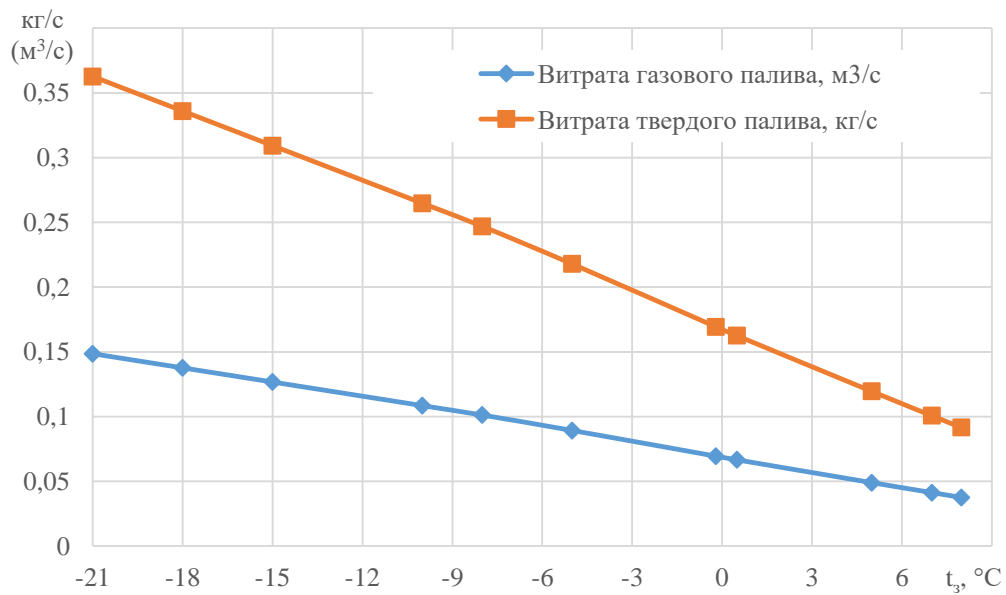


Рисунок 3.5 – Витрати газопалива та твердого палива для різних температур зовнішнього повітря

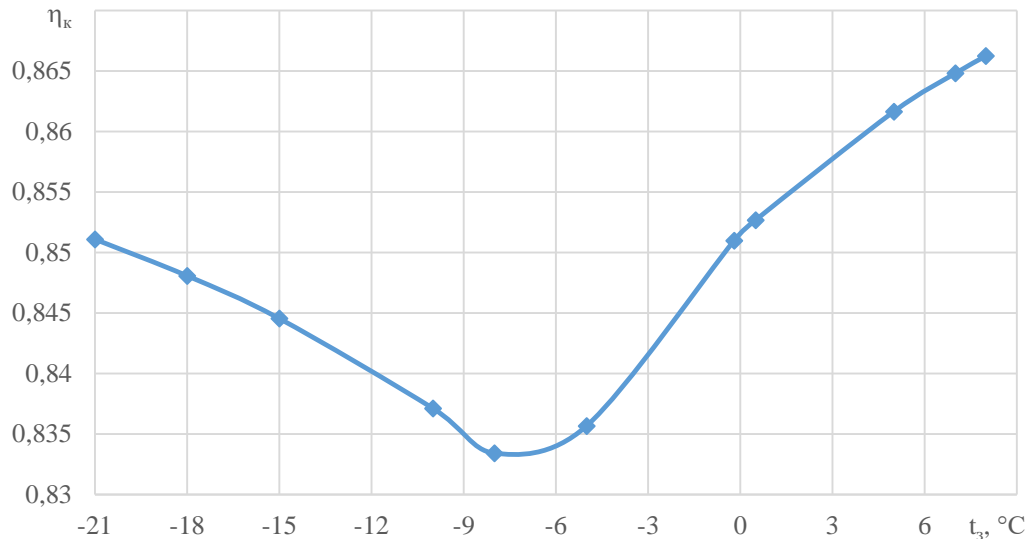


Рисунок 3.6 – Розрахунковий ККД котельні для різних температур зовнішнього повітря

Максимальні навантаження на рециркуляційний насос відбуваються в дапазоні зовнішніх температур  $-1 \dots -6$  °C.

Згідно рис. 3.4 температура води в циклонах-теплоутилізаторах змінюється незначно, що пояснюється великою витратою рециркуляційної води для забезпечення необхідної температури на вході в котел.

Зміни витрати газового та твердого палива на котельню (рис. 3.5) є пропорційними, оскільки початковими даними задано пропорційне зменшення навантаження всіх котлів при зростанні температури навколишнього середовища.

Графік зміни ККД має незначний «мінімум» в умовах зовнішньої температури біля  $-8$  °C (рис. 3.6), що можна пояснити одночасною зміною потужності споживачів та переломом температурного графіка [3].

### 3.3 Аналіз екологічних та експлуатаційних показників роботи двопаливної водогрійної котельні

Дослідження показників теплової схеми двопаливної водогрійної котельні із встановленими твердопаливними та газовими котлами виконувалося за

допомогою розробленої математичної моделі. Математичний опис її складається з теплових та енергетичних балансів і наведений у підрозділі 3.1. Сезонні показники роботи котельні визначалися з врахуванням кліматичних даних за [32]. Розглянуто два варіанти роботи котельні. Варіант 1 передбачає пропорційне зменшення навантаження всіх котлів при зростанні температури навколишнього середовища. У варіанті 2 в першу чергу завантажувалися твердопаливні котли, а газові – за залишковим принципом.

Основні показники роботи двопаливної котельні зведені до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники роботи двопаливної водогрійної котельні

Показник	Варіант 1	Варіант 2
Коефіцієнт корисної дії котельні (max / min)	0,866/0,833	0,85/0,818
Річна витрата газоподібного палива, тис. м <sup>3</sup>	1234,34	171,92
Річна витрата твердого палива, т	3013,77	6126,57
Річна витрата умовного палива, т	67,3	67,42
Завантаження газових котлів, %	19,31 – 76,57 <sup>1</sup>	0 – 80,27 <sup>1</sup>
Завантаження твердопаливних котлів, %	19,31 – 76,57 <sup>1</sup>	49,47 – 100 <sup>1</sup>

Примітка: 1 – залежність завантаження котлів від температури зовнішнього повітря показано на рис. 3.7.

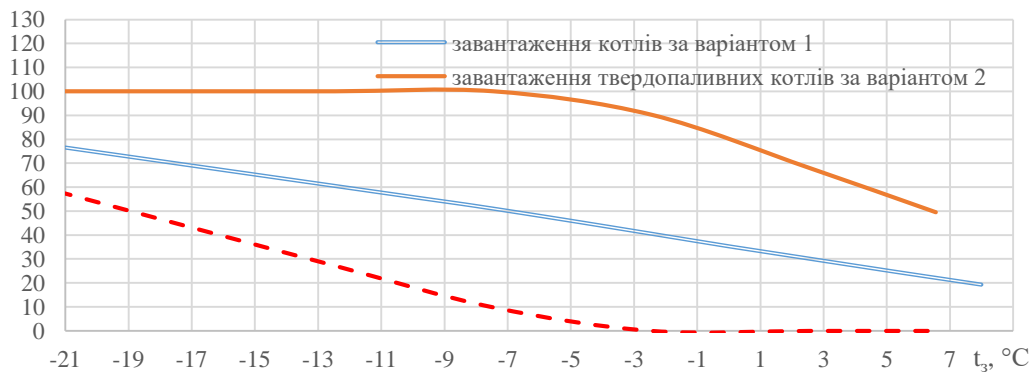


Рисунок 3.7 – Завантаження котлів залежно від температури навколишнього середовища  $t_z$

Аналізуючи дані з табл. 1 видно, що коефіцієнт корисної дії котельні у варіанті 2 зменшується на 1,8...1,92 % у порівнянні із варіантом 1, а витрата умовного палива на 0,18 % збільшується [2.]

Як видно із рис. 3.7 при роботі котельні за варіантом 2, газові котли починають роботу при температурі навколишнього середовища нижче  $-3^{\circ}\text{C}$ .

За допомогою математичної моделі проаналідовано витрату палива на двопаливній котельні (рис. 3.8)

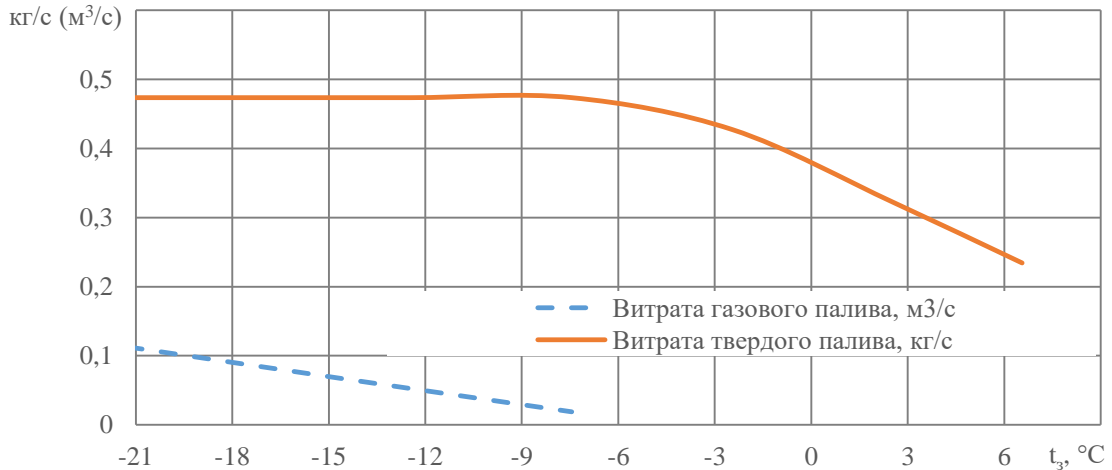


Рисунок 3.8 – Витрати газового та твердого палива для різних температур зовнішнього повітря для варіанту 2 організації спалювання палива

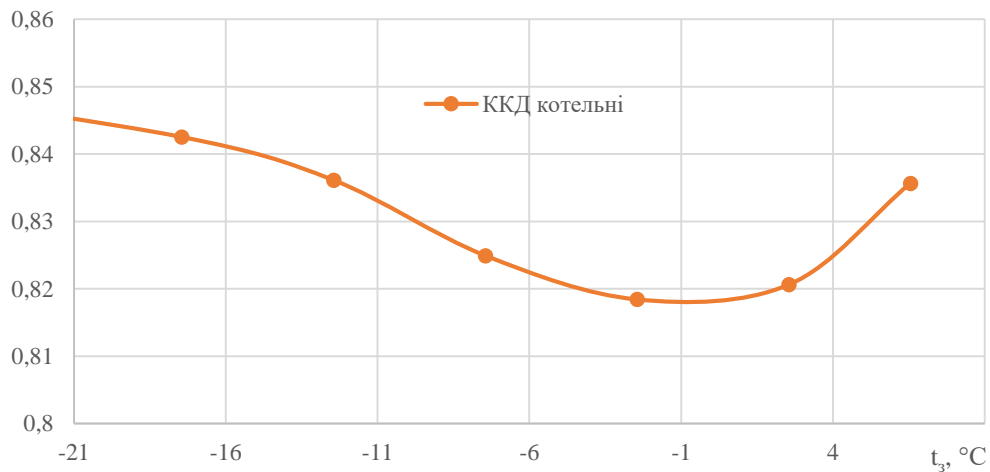


Рисунок 3.9 – Розрахунковий ККД котельні для різних температур зовнішнього повітря

Зважаючи на те, що провадження другого варіанту завантаження теплогенераторів призводить лише до зміни річної витрати палива, тому під час оцінки собівартості виробництва теплоти перераховуємо лише затрати коштів на паливо

$$C_{\Pi} = 16,55 \cdot 171923 \cdot 1,006 + 3,15 \cdot 6126565 \cdot 1,006 = 22,277 \text{ (млн. грн./рік)}.$$

Тоді загальні експлуатаційні витрати складатимуть

$$C_{\text{річ}} = 7 + 0,684 + 1,4 + 1,602 + 0,1 + 2,425 + 22,277 = 35,488 \text{ (млн. грн./рік)},$$

тобто на 17,17% зменшуються у порівнянні із варіантом рівномірного пропорційного завантаження теплогенераторів на різних паливах.

Зважаючи на теперішній стан забруднення навколишнього середовища прийнято рішення оцінити вказані варіанти організації отримання теплоти на даній двопаливній котельні з екологічної точки зору за допомогою програмного продукту SimaPro 9.4.0.2. Результати оцінки екологічних коказників протягом життєвого циклу показано на рис. 3.10.

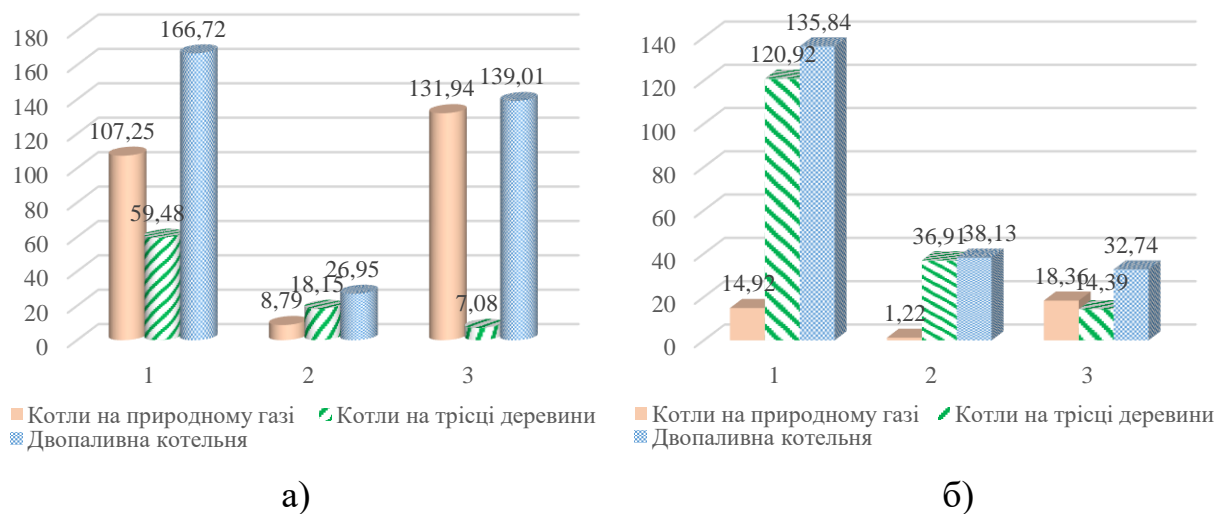


Рисунок 3.10 – Показники впливу варіантів організації спалювання палива для отримання теплоти на навколишнє середовище протягом життєвого циклу у екобалах (kpt): а – для варіанту 1; б – для варіанту 2; 1 – вплив на здоров'я людини; 2 – вплив на екосистему; 3 – вплив на вичерпання ресурсів

Як видно із рис. 3.10, найменший сумарний вплив на екосистему має варіант 1, а найменший вплив на вичерпання ресурсів та здоров'я людини – варіант 2. Аналізуючи сумарний показник впливу на довкілля встановлено, що кращим є варіант 2 (206,71 крт), тоді як варіант 1 має сумарний показник 332,68 крт. Тобто екологічний вплив на 38,9 % покращується із першочерговим завантаженням твердопаливних теплогенераторів.

### 3.4 Висновок до розділу 3

Розроблено математичну модель теплової схеми з використанням матеріальних та теплових балансових рівнянь.

З використанням математичної моделі виконано дослідження зміни показників теплової схеми котельні при зміні температури навколишнього середовища для двох варіантів організації спалювання: з пропорційним зменшенням навантаження всіх котлів при зростанні температури навколишнього середовища та з першочерговим максимальним завантаженням твердопаливних котлів. Виявлено, що варіант із пропорційним завантаженням має 1,8...1,92% вищий коефіцієнт корисної дії та на 0,18% меншу річну витрату умовного палива у порівнянні із іншим варіантом. Перевагою варіанту 2 є зменшення річного споживання природного газу на 86%, а відповідно і загальних експлуатаційних витрат на 17,17 %.

Аналіз екологічних показників роботи котельні за двома варіантами організації спалювання палива в котельні показав, що найменший вплив на довкілля за сумарним показником є першочергове максимальне завантаження твердопаливних котлів.

## 4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Організація та технологія монтажу установки для очищення димових газів

### 4.1.1 Аналіз об'єкту, який підлягає монтажу

Розробляється варіант встановлення циклонів для очищення димових газів після котлів BRS 2500 LM [19]. Дане обладнання встановлюється на котельні, що виробляє теплоту для лікарні у місті Вінниця і працює на трісці деревини.

Система очищення димових газів МЦ-У 1500 – стандартний циклон із вбудованим двоходовим теплообмінником, який використовується для очищення димових газів від зважених частинок і механічних домішок, а також для підігріву води за рахунок теплоти відхідних газів [33].

Потік запилених димових газів вводиться в апарат через вхідний патрубок тангенційно у верхній частині. У апараті формується обертовий потік газу, що спрямований донизу, до конічної частини апарату. Недопалені частинки палива через підвищену тягу спрямовуються у димохід, де надлишкове налипання сажі може призвести до займання і руйнування димоходу. Вбудований теплообміннику циклон-утилізатор дозволяє недопаленим частинкам, що осідають у бункері циклона-утилізатора віддати свою теплоту системі теплопостачання.

Габаритні розміри циклона: діаметр 1100 мм, висота 4550 мм. Ефективність очищення газів складає 85...98 %.

Рух димових газів через циклон у димову трубу організовується за допомогою димососів Д 3,5М. з характеристиками : тиск 340 – 300 Па, продуктивність 1500 – 4100 м<sup>3</sup>/год, робоча температура не більше 200 °С [24].

Необхідний напір для циркуляції мережної води у трубках утилізатора забезпечується циркуляційним насосом GHN 40-120F, характеристиками: подача  $V = 5,5$  м<sup>3</sup>/год, напір  $H = 10$  м, потужність електродвигуна  $N_{\text{ГВП}} =$

= 0,195 кВт [34]. Причому на два паралельно встановлених циклона-утилізатора встановлюється один насос.

Транспортування теплоносіїв виконується сталевими водогазопровідними трубами (ДСТУ 8936:2019) [35]. Для забезпечення можливості ремонту обладнання передбачені запірні крани (шарові) з муфтовим та фланцевим з'єднанням.

Всі трубопроводи після монтажу та приєднання циклонів-утилізаторів згідно з "Правилами устроювання и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды" повинні бути піддані гідравлічному випробуванню тиском, який дорівнює 1,25 робочого тиску.

#### 4.1. 2 Складання комплектувальних відомостей основних та допоміжних матеріалів та виробів

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

Таблиця 4.1 Комплектувальна відомість основних матеріалів і виробів

№ п/п	Найменування робіт та витрат, одиниця вимірювання	Одиниці вимірювання	Кількість	Вага	
				Одиниця	Всього
1	2	3	4	5	6
<b>Основні матеріали</b>					
1	Циклон МЦ-У 1500	шт.	4	420	1680
2	Димосос Д 3,5М	шт.	4	81	324
3	Насос GHN 40-120F	шт	2	17,9	35,6
4	Кран кульовий фланцевий LD повнопрохідний Ду 50	шт	10	7,41	74,1
5	Кран кульовий муфтовий Valtec Base VT 215, Ду 15	шт	4	0,175	0,7
6	Клапан зворотній міжфланцевий двостулковий Auvaz CV-25, Ду 50	шт	2	1,34	2,68
7	Труба сталева водогазопровідна ДСТУ 8936:2019 Ду 50 [35]	м	24	4	96
8	Труба сталева водогазопровідна ДСТУ 8936:2019 Ду 15 [35]	м	2	1,16	3,32



Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
9	Коліно 45°, ø550/620 мм (10,78 м <sup>2</sup> )	шт.	5	10,7	53,5
10	Трійник 87°, ø550/620 мм (8,8 м <sup>2</sup> )	шт.	4	24,97	99,88
11	Труба ø550/620 мм, L = 1 м (49,74 м <sup>2</sup> )	шт.	24	27,58	661,92
12	Труба ø550/620 мм, L = 0,5 м (2,07 м <sup>2</sup> )	шт.	2	13,79	27,58
13	Вибуховий клапан	шт.	3	31,23	93,69
12	Кришка вибухового клапана, ø550/620 мм	шт.	3	5,41	16,23
13	Заглушка вибухового клапана ø550/620 мм	шт.	3	2,35	7,05
14	Хомут обжимний 620 мм (Н = 63 мм)	шт.	22	1,18	25,97
15	Гільза подовження (0,3 – 0,5 м) ø550/620 мм	шт.	4	5,04	20,16
				Σ=	3222,38

Таблиця 4.2 Комплектувальна відомість допоміжних матеріалів та виробів

№ п/п	Найменування робіт та витрат, одиниця вимірювання	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса	
				Одиниця	Всього
1	2	3	4	5	6
<b>Допоміжні матеріали</b>					
для монтажу трубопроводів Ду15 і запірної арматури муфтової [36]					
24	Електроди, діаметр 4 мм, марка Е42	т	0,02	0,0014	0,028
25	Дріт зварний легований, діаметр 4 мм	т	0,02	0,0001 7	0,0034
26	Оліфа натуральна	кг	0,02	0,06	0,0012
27	Вода	м <sup>3</sup>	0,02	0,25	5
28	Прядиво лляне	т	0,02	0,0000 6	0,0012
29	Сурик свинцевий	т	0,02	0,00012	0,0024
для монтажу трубопроводів Ду50 [37]					
30	Електроди, діаметр 4 мм, марка Е55	т	0,096	0,006	0,576
31	Круги армовані абразивні зачисні, діаметр 180х6 мм	кг	0,096	0,813	0,36
32	Пароніт	т	0,096	0,007	0,672
для монтажу шарових кранів та зворотних клапанів [37]					
33	Болти з шестигранною головкою, діаметр різьби 12-[14] мм	т	1,2	0,0071	8,52

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
34	Пластина гумова рулонна вулканізована	кг	1,2	1,7	2,04
35	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1 МПа [10 кгс/см <sup>2</sup> ], діаметр 50 мм	шт	24	2,06	49,44
для монтажу насосів GHN 40-120F [36]					
36	Електроди, діаметр 4 мм, марка Е42	т	2	0,00039	0,78
37	Прокладки гумові (пластина гумова технічна пресована)	кг	2	0,07	0,14
38	Болти з гайками та шайбами, діаметр 16 мм	т	2	0,00127	2,54
39	Фланці плоскі приварні із сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1 МПа [10 кгс/см <sup>2</sup> ], діаметр 50 мм	шт	4	2,06	8,24
для монтажу циклонів [36]					
50	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	0,4	5	2
51	Каболка	т	0,4	0,00001	0,004
52	Оліфа комбінована К-3	т	0,4	0,00001	0,004
53	Електроди, діаметр 4 мм, марка Е42	т	0,4	0,00098	0,392
54	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,4	0,0038	1,52
55	Сурик свинцевий	т	0,4	0,00002	0,008
для монтажу димососів [38]					
57	Поковки із квадратних заготовок, маса 1,8 кг	т	4	0,02	80
58	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э50А	т	4	0,00011	0,44
59	Порошок графітовий	кг	4	0,8	3,2
для монтажу газоходів [39]					
61	Стрічка поліетиленова з липким шаром, марка А	кг	0,714	7,08	5,06
63	Електроди, марка ЭА-400	т	0,714	0,00033	0,236
68	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	0,714	0,008	5,712
для монтажу вибухових клапанів [39]					
69	Азбестовий шнур загального призначення [ШАОН-1], діаметр 8,0-10,0 мм	т	3	0,00012	0,36
70	Вироби гумові технічні морозостійкі	кг	3	0,15	0,45
71	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	3	0,00015	0,45
				Σ=	176,18

Маса основного обладнання і матеріалів – 3222,38.

Маса допоміжних матеріалів (без води) – 171,18 кг.

Необхідна кількість води – 5 кг.

Маса матеріалів для доставки

$$M_{\text{дост}} = 3222,38 + 171,18 + 702,95 = 4096,81 \text{ (кг)}.$$

#### 4.1.3 Визначення складу робіт для монтажу обладнання з очищення димових газів

1. Доставка деталей до місця монтажу.
2. Розмітка місць прокладання трубопроводів та газоходів.
3. Монтаж циклонів-утилізаторів МЦ-У-1500.
4. Монтаж димососів Д 3,5М.
5. Прокладання газоходів і фасонних частин  $\varnothing$  550/620 мм.
6. Монтаж вибухових клапанів  $\varnothing$ 620 мм.
7. Прокладання трубопроводів діаметром 57×3 мм.
8. Встановлення зворотних клапанів та кульових кранів Ду 50.
9. Монтаж насосів контурів циклонів-утилізаторів GHN 40-120F.
10. Прокладання трубопроводів діаметром 21,6×2,5 мм і монтаж муфтової арматури.
11. Випробування трубопроводів.
12. Випробування газоходів.
13. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію.
13. Повернення допоміжного обладнання на склад.

#### 4.1.4 Визначення об'ємів робіт для монтажу обладнання з очищення димових газів

1. Доставка деталей до місця монтажу. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна вага усіх деталей 4096,81 кг (4,1 т). Приймаємо об'єм  $V = 4,1$  т.

2. Розмітка місць прокладання трубопроводів та газоходів. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всієї мережі трубопроводу складає  $L = 2 + 24 + 30,5 = 56,5$  м. Приймаємо  $V = 0,565$ .

3. Монтаж циклонів-утилізаторів МЦ-У-1500. Одиниці вимірювання – 10 штук. У схемі установки очищення газу встановлюється 4 циклони. Отже, приймаємо  $V = 0,4$ .

4. Монтаж димососів Д 3,5М. Одиниці вимірювання – 1 штука. У схемі установки очищення газу встановлюється 4 димососи. Отже, приймаємо  $V = 4$ .

5. Прокладання газоходів і фасонних частин  $\varnothing 550/620$  мм. Одиниця вимірювання – 100 м<sup>2</sup>. У системі очищення газів монтується 71,4 м<sup>2</sup> газоходів і фасонних частин даного діаметру. Приймаємо  $V = 0,714$ .

6. Монтаж вибухових клапанів  $\varnothing 620$  мм. Одиниця вимірювання – 1 шт. У даній схемі монтується 3 вибухових клапани  $\varnothing 620$  мм. Приймаємо  $V = 3$ .

#### 4.1.5 Обґрунтування і вибір допоміжного обладнання для монтажних робіт.

Обладнання для очищення димових газів та допоміжні матеріали завозяться централізовано вантажним автомобілем МАЗ-4370. Технічні характеристики автомашини наведені в таблиці 4.3

Оскільки витрата пально вантажним автомобілем згідно із технічними характеристиками складає  $Q = 18$  л/100 км, а база забезпечення обладнання знаходиться на відстані  $l = 120$  км від даної котельні, то необхідна кількість пального для доставки обладнання

$$Q_{\text{п}} = Q \cdot 2 \cdot n \cdot l, \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{п}} = 0,18 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 120 = 43,2 \text{ (л)}.$$

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики автомашини МАЗ-4370 [40]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Колісна база	мм	3700
Вантажопідйомність	кг	4900
Габарити: Довжина Ширина Висота	мм	8200 2550 2850
Об'єм паливного баку	л	130
Витрата пального	л/100 км	18
Повна маса	кг	10100

Для зварювання використовується зварювальний інверторний напівавтомат РАТОН ПСІ-250S з технічними характеристиками [41]:

- максимальна споживана потужність, кВт – 11;
- сила струму, А – 12 – 250
- напруга мережі живлення, В – 220;
- діаметр електродів, мм – 1,6 – 5,0;
- діаметр використовуваного дроту, мм – 0,6 – 1,2;
- маса – 11,5 кг.

Затрати електроенергії для роботи зварювального апарату

Час роботи апарату  $\tau = 25,4$  год;  $P = 11$  кВт;

$$E_{\text{за}} = 11 \cdot 25,4 = 279,36 \text{ (кВт·год)}.$$

Для монтажу шліфувальних робіт під час монтажу трубопроводів застосовується кутова шліфмашина Metabo WEA 19-180 Quick RT [42], з наступними технічними характеристиками:

- діаметр круга 180 мм;
- потужність 1900 Вт;
- частота обертання 8200 об/хв;
- маса 2,7 кг.

Затрати електроенергії для роботи кутової шліфмащини

$$\tau = 0,307 \text{ год}; P = 1,9 \text{ кВт};$$

$$E_{\text{за}} = 1,9 \cdot 0,307 = 0,58 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Для випробування трубопроводів на міцність та щільність використовуємо ручний опресувальний насос Rothenberger RP 50-S з характеристиками : створюваний тиск 0 – 60 бар, об'єм баку 12 л, маса 8 кг [43].

Для підйому димососів і циклонів-утилізаторів використовуємо лебідку з електроприводом ЛМ–2. Її характеристики вказані в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики лебідки з електроприводом ЛМ–2 [44]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Тягове зусилля в канаті	т	2,0
Напруга мережі	В	380
Швидкість навивки каната	м/с	0,3
Діаметр каната	мм	14
Канатоємність	м	250
Потужність двигуна	кВт	7,5
Габаритні розміри: Довжина×Ширина × Висота	мм	1266× 1070 × 760
Маса	кг	600

## Затрати електроенергії

$$\tau = 36,21 \text{ год}; P = 7,5 \text{ кВт};$$

$$E_{\text{за}} = 7,5 \cdot 36,21 = 271,59 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Таблиця 4.5 – Набір інструментів та пристосувань для монтажників [45]

Найменування	ГОСТ, марка	Кільк., шт.	Заг. маса, кг
Ключ гайковий двохсторонній			
M17x19 мм	ГОСТ2839-80	6	0,9
M19x22 мм		6	1,2
Плоскогубці комбіновані	ГОСТ 5547-75	6	1,6
Викрутки	ГОСТ 5423 - 79	6	0,31
Молоток слюсарний	ГОСТ 2310-77	6	1,8
Зубило слюсарне довжиною 200 мм	ГОСТ 7211-72	6	2,1
Молоток гумовий		6	1,9
Стрічка вимірювальна, 20 м	ГОСТ 7502 - 61	6	0,12
Рівень металевий	ГОСТ 7948-80	2	0,22
Ящик переносний для інструменту		12	3,2
Всього:			11,75

Для переміщення трубопроводів, фасонних елементів по території котельні використовуємо візок гідравлічний ручний Staxx PWH25-II [46]. Його характеристики вказані в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 –Візок гідравлічний ручний Staxx PWH25-II [46]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	т	2,5
Довжина вил	мм	1150
Ширина вил	мм	550
Маса нетто/брутто	кг	67 / 69

Загальна маса допоміжного обладнання складає 702,95 кг.

Загальна витрата електроенергії для роботи електроінструменту

$$E_{\Sigma} = 279,36 + 0,58 + 271,59 = 551,53 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

#### 4.1.6 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Трудомісткість виконання робіт із монтажу теплових насосів і системи транспортування теплоносія визначається на підставі об'ємів робіт, розрахованих у розділі 4, п. 4.1.4 даної роботи.

Трудомісткість монтажних робіт [47]

$$Q = V \cdot N_{\text{ч}} / B, \text{ [люд}\cdot\text{дні]}, \quad (4.2)$$

де  $V$  – об'єм робіт;

$N_{\text{ч}}$  – норма часу на одиницю виміру, люд/год [36 – 39];

$B$  – кількість годин в зміні, год.

У даній роботі передбачається виконання монтажних робіт у одну зміну. Тривалість зміни визначається у відповідності із трудовим законодавством України і приймається 8 годин.

Тривалість монтажних робіт [47]

$$T = Q / n, \text{ [дні]}, \quad (4.3)$$

де  $Q$  – трудомісткість монтажних робіт, люд.-дні;

$n$  – кількість робітників, люд.

Кількість робітників ( $n$ ), необхідних для виконання певної роботи з монтажу обладнання з очищення димових газів та їх кваліфікація наведена у розділі 5 даної роботи.



Результати розрахунку за формулами (4.2) та (4.3) наведені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Найменування робіт	Од. ви- мір	Об'єм робіт	Норма часу, люд-год	Грудо-міст- кість люд-дні	Виконавці		Три-ва- лість, дні
					кіль- кість	Склад бри- гади	
Доставка деталей та їх складування	т	4,1	4,4	2,255	2	1 робітник 1 водій	1,13
Розмітка місць прокладання трубопроводів і газоходів	100 м	0,565	1,6	0,113	6р-1 3р-1	Монтажники 4,5 розряд	0,05
Монтаж циклонів-утилізаторів МЦ-У-1500	10 шт.	0,4	87,38	4,369	6р-1 4р-1 2р-1	Монтажники 4,3 розряд	1,45
Монтаж димососів Д 3,5М	шт.	4	35	17,5	6р-1 5р-1 4р-1 3р-1	Монтажник 4,5 розряд	4,375
Прокладання газоходів і фасонних частин Ø 550/620 мм	100 м <sup>2</sup>	0,714	156,06	13,93	5р.-1 4р-1 3р-1 2р-1	Монтажники 4,2 розряд	3,48
Монтаж вибухових клапанів Ø620 мм.	шт.	3	6,83	2,56	4р-2 3р-2	Монтажники 4,2 розряд	0,64
Прокладання трубопроводів діаметром 57×3 мм	т	0,096	410,2	4,92	4р-2 3р-2	Монтажники 4,2 розряд	1,23
Монтаж циркуляційних насосів GHN 40-120F	шт.	2	24,52	6,13	5р-2 3р-2	Монтажники 4,2 розряд	1,53
Прокладання трубопроводів Ø 21,6×2,5 мм	100 м	0,02	48,71	0,122	5р-1 3р-1	Монтажники 4,2 розряд	0,061
Випробування трубопроводів	100 м	0,26	8,22	0,267	5р.-1 4р-1 3р-1	Монтажники 4,2 розряд	0,089
Випробування газоходів	100 м	0,305	8,22	0,313	5р.-1 4р-1 3р-1	Монтажники 4,2 розряд	0,104
Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію	100 м	0,565	2,4	0,17	6р-1 5р.-1	Монтажники 4,2 розряд	0,085
Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,703	4,4	0,387	2	1 робітник 1 водій	0,193

#### 4.1.7 Визначення складу ланок для виконання монтажних робіт

Склад бригад та середній розряд робітників для виконання монтажних робіт визначається згідно нормативних документів [36 – 39].

1. Доставка деталей до місця монтажу. Водій і робітник.
2. Розмітка місць прокладання трубопроводів та газоходів. Два монтажника 6 і 3 розрядів.
3. Монтаж циклонів-утилізаторів МЦ-У-1500. Монтажники: 6 розряду – 1 людина, 4 розряду – 1 людина, 2 розряду – 1 людина. .
4. Монтаж димососів Д 3,5М. Монтажники : 6 розряду – 1 людина, 5 розряду – 1 людина, 4 розряду – 1 людина, 3 розряду – 1 людина.
5. Прокладання газоходів і фасонних частин  $\varnothing$  550/620 мм. Монтажники : 5 розряду – 1 людина, 4 розряду – 1 людина, 3 розряду – 1 людина, 2 розряду – 1 людина.
6. Монтаж вибухових клапанів  $\varnothing$ 620 мм. Монтажники : 4 розряду – 2 людини, 3 розряду – 2 людини.
7. Прокладання трубопроводів діаметром 57×3 мм. Монтажники : 4 розряду – 2 людини, 3 розряду – 2 людини.
8. Встановлення зворотних клапанів та кульових кранів Ду 50. Монтажники : 3 розряду – 2 людини і 4 розряду – 2 людини.
9. Монтаж насосів контурів циклонів-утилізаторів GHN 40-120F. Монтажники : 5 розряду – 2 людини, 3 розряду – 2 людини.
10. Прокладання трубопроводів діаметром 21,6×2,5 і монтаж муфтової арматури. Монтажники : 3 розряду – 1 людина і 5 розряду – 1 людина.
11. Випробування трубопроводів. Монтажники : 3 розряду – 1 людина, 4 розряду – 1 людина і 5 розряду – 1 людина.
12. Випробування газоходів. Монтажники : 3 розряду – 1 людина, 4 розряду – 1 людина і 5 розряду – 1 людина.
13. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Монтажники : 5 розряду – 1 людина і 6 розряду – 1 людина.

## 14. Повернення допоміжного обладнання на склад. Водій і робітник.

### 4.2 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

У цьому розділі магістерської роботи розглянуто питання охорони праці та цивільного захисту, що стосуються реалізації заходів з підвищення енергоефективності теплопостачання лікувального закладу. Аварії на будівельних майданчиках, а також невиконання правил по безпечній експлуатації будівельної техніки призводять до серйозної загрози життю та здоров'ю людей через небезпеку падінь з висоти, поранень, опіку, уражень електричним струмом тощо. Отже, на будівельно-монтажний персонал, що здійснює модернізацію системи теплопостачання лікарні, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [48, 49].

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

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, переважно аерозолі фіброгенної дії (нетоксичний будівельний і металевий пил).

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

#### 4.2.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

##### 4.2.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Під час монтажу інженерних систем будинків чи споруд монтажники повинні отримуватися правил охорони праці в будівництві [50],

Під час виконання опоряджувальних робіт (штукатурних, малярних, лицювальних, скляних), робіт з улаштування теплоізолювальних фасадних систем відповідно до вимог правил охорони праці в будівництві [50], потрібно передбачати заходи із запобігання впливу на працівників перерахованих вище небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Під час виконання опоряджувальних робіт необхідно дотримувати вимоги [50], ДСТУ Б А.3. 2-7, НАПБ А.01.001, ДБН В.2.6-33, ДСТУ Б В.2.6-34, ДСТУ Б В.2.6-35, ДСТУ Б В.2.6-36. Фасадні системи за конструктивним рішенням і класифікацією повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.6-34.

Суміші та мастики під час виконання опоряджувальних робіт необхідно готувати, як правило, централізовано. Приготування їх, а також розчинової суміші за ДСТУ Б В.2.6-36 на будівельному майданчику необхідно здійснювати у приміщеннях, обладнаних припливно-витяжною вентиляцією для запобігання перевищенню гранично-допустимих концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Не дозволяється застосовувати лакофарбові матеріали та розчинники невідомого складу, а також речовини й матеріали, на яких нема показників пожежної і токсичної безпеки.

Робочі місця для виконання опоряджувальних робіт, улаштування фасадних систем на висоті повинні бути обладнані засобами підмоцнення і сходами-драбинами для піднімання на них.

Засоби підмоцнення, що застосовуються під час штукатурних, малярних робіт, улаштування фасадних систем у місцях, під якими виконуються інші роботи чи є прохід, повинні бути з настилами без зазорів.

Внутрішні штукатурні роботи, а також монтаж збірних карнизів і ліпних елементів внутрішніх приміщень необхідно виконувати тільки з помостів або пересувних столиків, встановлених на підлогу, або на суцільні настили. Зовнішні штукатурні роботи необхідно виконувати з інвентарних вертикальних або підвісних риштовань. Під час виконання робіт на внутрішніх сходових клітках необхідно застосовувати спеціальні помости (столики) з різною довжиною

опорних підпорок, які установлюються на сходинок. Робочий настил повинен бути горизонтальним та мати парапетні огорожі.

Під час роботи зі шкідливими та пожежовибухонебезпечними матеріалами, що утворюють вибухонебезпечну пару, приміщення необхідно постійно провітрювати, а також протягом 1 год після закінчення роботи, застосовуючи природну або штучну вентиляцію.

Робота з використанням вогню в цих приміщеннях заборонена.

Місця, над якими виконуються скляні чи облицювальні роботи, повинні бути огорожені. Заборонено скління або облицювальні роботи на кількох ярусах по одній вертикалі одночасно.

У разі застосування повітрянагрівачів (електричних або таких, що працюють на рідкому паливі) для просушування приміщень будинків і споруд необхідно дотримуватися вимог ДБН В.1.1-7. Заборонено обігрівати та сушити приміщення жаровнями та іншими пристроями, що виділяють у приміщення продукти згоряння палива.

Під час виконання робіт із розчинами, що містять хімічні добавки, необхідно використовувати засоби індивідуального захисту (гумові рукавички, захисні мазі, окуляри) відповідно до інструкції заводу-виробника, зважаючи на склад речовин, що використовуються. Під час сухого очищення поверхонь та інших роботах, пов'язаних із виділенням пилю і газів, а також під час механізованого шпаклювання і фарбування необхідно користуватися респіраторами із захисними окулярами. Під час очищення поверхонь за допомогою кислоти чи каустичної соди необхідно працювати у захисних окулярах, гумових рукавичках і кислотостійкому фартухі з нагрудником. Під час нанесення розчину на стельову чи вертикальну поверхню необхідно користуватися захисними окулярами.

Забороняється перебування людей на елементах конструкцій і обладнання під час їх піднімання та переміщення.

Навісні монтажні площадки, сходи та інші пристосування, що необхідні для виконання робіт на висоті, потрібно встановлювати на конструкціях, які

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

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

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

#### 4.2.1.2 Електробезпека

Живлення будівельного обладнання та системи освітлення здійснюється трифазною чотирьохпровідною мережею із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ ПБЕ [51, 52] умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що будуються, є струмопровідною.

Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення. Електропривід насосів, вентиляторів,

іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

Будівельно-монтажний персонал під час використання електрифікованого інструменту повинен дотримуватися таких правил з охорони праці [51, 52]. Електрифікований інструмент за умовами безпеки поділяється на такі класи:

I – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, ізолювані і штепсельна вилка має заземлювальний контакт. У електроінструмента класу I всі деталі, що перебувають під напругою, можуть бути з основною, а окремі деталі – з подвійною або посиленою ізоляцією;

II – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, мають подвійну або посилену ізоляцію, Цей електроінструмент не має пристроїв для заземлення. Номінальна напруга для електроінструмента класів I і II має бути не більше 220 В для електроінструмента постійного струму; 380 В – для електроінструмента змінного струму;

III – електроінструмент на номінальну напругу не вище 42 В, у якого ні внутрішні, ні зовнішні кола не перебувають під іншою напругою. Електроінструмент класу III призначений для живлення від безпечної наднизької напруги.

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

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

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

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

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

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

#### 4.2.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

##### 4.2.2.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [53]. Мікроклімат



цеху характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання. Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень наведені в табл. 4.8. Робота з монтажу системи опалення та її обладнання відноситься до категорії Пб по важкості праці.

Таблиця 4.8 – Допустимі норми параметрів повітря на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху, X
Холодний	Пб	13-23	75	не більше 0,4
Теплий		15-29	70 при 25 °С	0,2-0,5

#### 4.2.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м<sup>3</sup> [53].

Під час монтажу системи опалення виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [53] наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери в робочій зоні монтажника

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

Для забезпечення допустимих показників мікроклімату та складу повітря робочої зони відповідно до ДБН проектом передбачені наступні рішення [54]: застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановлені безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря

поступає у виробниче приміщення; необхідно здійснювати контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні; застосовувати природну вентиляцію: організовану та неорганізовану.

#### 4.2.2.3 Виробниче освітлення

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

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

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [55] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г». Нормовані значення освітленості наведені в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характер зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне $E_{нпр}$	Сумісне $E_{сум}$
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній	світлий	-	200	1,5	0,9

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп

E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

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

#### 4.2.2.4 Виробничий шум

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

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи: нормування за гранично допустимим спектром шуму; нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра. За характером спектру шум – широкопasmовий з безперервним спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою – постійний; за походженням – гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [56] і наведені в табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові

деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

#### 4.2.2.5 Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сидниці). Допустимі рівні загальної вібрації на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [57] і наведені в табл. 4.12.

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

Таблиця 4.12 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

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

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

#### 4.2.2.6 Фактори трудового процесу

Фактори трудового процесу вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

#### Фізичні навантаження.

Робоча поза: Вільна зручна поза, можливість зміни пози (сидячи, стоячи) за бажанням працівника. Знаходження в позі стоячи до 40% часу зміни. Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 250. Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну: до 50. Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км. По горизонталі: до 4.

#### Інтелектуальні навантаження:

Відсутня необхідність прийняття рішення. Зміст роботи: Сприймання сигналів, але без потреби в корекції дій, Обробка та виконання завдання, Робота за індивідуальним планом.

#### Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) до 25. Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи до 75. Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження до 5. Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) до 2. Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%. Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) до 16.

#### Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника. Ступінь ризику для власного життя – Виключений. Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – Виключений.

#### Монотонність навантажень:

Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово – більше 10. Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються

(сек.) більше 100. Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) менше 75

Режим праці:

Фактична тривалість робочого дня (год.) 6–7. Змінність роботи Однозмінна робота (без нічної зміни). Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви регламентовані, достатньої тривалості 7% і більше часу зміни.

#### 4.2.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.3.1 Розрахунок наслідків вибуху газоповітряної суміші в разі виникнення умовної аварії

Розрахунок надлишкового тиску вибуху для горючих газів (ГГ), парів легкозаймистих та горючих рідин (ЛЗР і ГР) виконується для котельного приміщення на основі таких даних (за завданням):

- Максимальна витрата газу – 0,047 м<sup>3</sup>/с;
- Категорія мережі – мережа низького тиску;
- Матеріал газопроводу – сталь;
- Допустимі втрати тиску – 180 МПа;
- Питомі втрати тиску – 81,82 Па/м;
- Розрахункова довжина газопроводу – 26 м ;
- Внутрішній діаметр газопроводу – 0,105 мм;
- Речовина – СН<sub>4</sub>;
- Розміри приміщення  $l = 15,65$  м,  $d = 11,49$  м,  $h = 4,9$  м ;
- Розрахункова температура  $t_p = 25$  °С;
- Тиск в апараті –  $P_1 = 250$  кПа;
- Об'єм апарата  $V = 0,0133$  м<sup>3</sup> ;
- Перекривання газопроводу автоматичне ;
- Максимальний тиск у газопроводі  $P_2 = 350$  кПа.

Густина газу або пари при розрахунковій температурі  $t_p$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^3$ , визначається:

$$\rho_{г,п} = \frac{M}{V_o \cdot (1 + 0,00367t_p)}, \quad (4.4)$$

$$\rho_{г,п} = \frac{16}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 25)} = 0,65 \text{ (кг}\cdot\text{м}^3\text{)},$$

де  $M$  – молярна маса речовини,  $\text{кг}\cdot\text{кмоль}^{-1}$ ;

$V_o$  – мольний об'єм, що дорівнює  $22,413 \text{ м}^3\cdot\text{кмоль}^{-1}$ ;

$t_p$  – розрахункова температура,  $^{\circ}\text{C}$  (максимально можлива температура повітря в даному приміщенні);

$C_{ст}$  – стехіометрична концентрація ГГ або парів ЛЗР та ГР, % (об.), що визначається за формулою :

$$C_{ст} = 100 / (1 + 4,84 \cdot \beta), \quad (4.5)$$

де  $\beta = n_c + \frac{n_n - n_o}{4} - \frac{n_x}{2}$  – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції згоряння (при розрахунку  $\beta$  атоми азоту не враховуються);

$n_c, n_n, n_o, n_x$  – число атомів С, Н, О та галогенів у молекулі ГГ або парів ГР.

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 1 + \frac{4}{4} = 2 \quad (4.6)$$

$$\beta = 2 + \frac{4}{4} = 3,$$

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 3} = 6,44 \text{ (\%)},$$

Масу  $m$ , кг, газу, що потрапив до приміщення під час розрахункової аварії

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho_r, \quad (4.7)$$

$$m = (0,033 + 5,97) \cdot 0,65 = 3,9 \text{ (кг)},$$

де  $V_a$  – об'єм газу, що вийшов з апарата,  $\text{м}^3$ ;

$V_T$  – об'єм газу, що вийшов з трубопроводів,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_r$  – густина газу при розрахунковій температурі  $t_p$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^3$ .

При цьому

$$V_a = \frac{P_1}{P_0} \cdot V = 0,01 \cdot P_1 \cdot V, \quad (4.8)$$

$$V_a = \frac{250}{101,3} \cdot 0,0133 = 0,01 \cdot 250 \cdot 0,0133 = 0,033 \text{ (м}^3\text{)},$$

де  $P_1$  – тиск в апараті, кПа;

$V$  – об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

$$V_2 = V_{1T} + V_{2T}, \quad (4.9)$$

$$V_2 = 2,82 + 3,15 = 5,97 \text{ (м}^3\text{)},$$

де  $V_{1T}$  – об'єм газу, що вийшов з трубопроводу до його перекривання,  $\text{м}^3$ ;

$V_{2T}$  – об'єм газу, що вийшов з трубопроводу після його перекривання,  $\text{м}^3$ .

$$V_{1T} = q \cdot \tau, \quad (4.10)$$



$$V_{1T}=0,047 \cdot 60=2,82 \text{ (м}^3\text{)},$$

де  $q$  – витрата газу, яку визначають згідно з технологічним регламентом залежно від тиску у трубопроводі, його діаметру, температури газового середовища тощо,  $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau$  – час перекидання (60 с, якщо у режимі автоматики, 300 с, у разі ручного відключення).

$$V_{2T}=0,01 \cdot \pi \cdot P_2 \cdot (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2), \quad (4.11)$$

$$V_{2T}=0,01 \cdot 3,14 \cdot 350 \cdot (0,105^2 \cdot 26)=3,15 \text{ (м}^3\text{)},$$

де  $P_2$  – максимальний тиск у трубопроводі за технологічним регламентом, кПа;

$r_1$  – внутрішній радіус трубопроводів, м;

$L_i$  – довжина трубопроводів від аварійного апарата до засувки, м;

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

Горизонтальні розміри зони, м, які обмежують область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я ( $C_{\text{НКМП}}$ ), обчислюють за формулами:

для горючих газів (ГГ) :

$$R_{\text{НКМП}}=14,5632 \cdot \left( \frac{m_{\text{Г}}}{C_{\text{НКМП}} \cdot P_{\text{Г}}} \right)^{0,333}, \quad (4.12)$$

$$R_{\text{НКМП}}=14,5632 \cdot \left( \frac{3,9}{14 \cdot 0,65} \right)^{0,333} = 10,98 \text{ (м)},$$

де  $m_{\text{Г}}$  – маса ГГ що надійшли до відкритого простору під час аварійної ситуації, кг;

$\rho_r$  – густина ГГ при розрахунковій температурі й атмосферному тиску,  $\text{кг}\cdot\text{м}^3$ ;

$C_{\text{НКМП}}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я ГГ 14% (об.).

За початок відліку горизонтального розміру зони приймають зовнішні габаритні розміри апаратів установок, трубопроводів тощо. У всіх випадках значення  $R_{\text{НКМП}}$  повинно бути не менше 0,3 м для ГГ і ЛЗР.

Інтенсивність теплового випромінювання розраховуємо для пожежі «вогненна куля».

Інтенсивність теплового випромінювання  $q$ ,  $\text{кВт}\cdot\text{м}^2$

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \Psi, \quad (4.13)$$

$$q = 450 \cdot 0,2 \cdot 0,98 = 88,2 \text{ (кВт}\cdot\text{м}^2\text{)},$$

де  $E_f$  – середньоповерхнева густина теплового потоку випромінювання полум'я,  $\text{кВт}\cdot\text{м}^2$ , величину  $E_f$  приймаємо рівною 450  $\text{кВт}\cdot\text{м}^2$ ;

$F_q$  – кутовий коефіцієнт опромінювання;

$\Psi$  – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Значення  $F_q$  обчислюємо за формулою :

$$F_q = \frac{H/D_s + 0,5}{4 \cdot ((H/D_s + 0,5)^2 + (r/D_s)^2)^{1,5}}, \quad (4.14)$$

$$F_q = \frac{4,155/8,31 + 0,5}{4 \cdot ((4,155/8,31 + 0,5)^2 + (9,8/8,31)^2)^{1,5}} = 0,2,$$

де  $H$  – висота центра «вогняної кулі», м;

$D_s$  – ефективний діаметр «вогняної кулі», м;

$r$  – відстань від об'єкта що опромінюється до точки на поверхні землі безпосередньо під центром «вогняної кулі», м.

Ефективний діаметр «вогняної кулі»  $D_s$ , м, визначаємо за формулою :

$$D_s = 5,33m^{0,327}, \quad (4.15)$$

$$D_s = 5,33 \cdot 3,9^{0,327} = 8,31 \text{ (м)}.$$

Значення  $H$  приймаємо рівним  $D_s/2$ .

Відстань від зовнішніх меж кулі до точки на поверхні землі безпосередньо під центром «вогняної кулі»

$$r = \sqrt{D_s^2 + H^2}, \quad (4.16)$$

$$r = \sqrt{8,31^2 + 3,155^2} = 8,9 \text{ (м)}.$$

Час існування «вогняної кулі»  $t_s$ , с, визначаємо за формулою :

$$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303}, \quad (4.17)$$

$$t_s = 0,92 \cdot 3,9^{0,303} = 1,4 \text{ (с)}.$$

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу  $\psi$  розраховуємо за формулою :

$$\Psi = \exp(-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2), \quad (4.18)$$

$$\Psi = \exp\left(-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{8,9^2 + 3,155^2 - \frac{8,31}{2}}\right) = 0,98.$$

Надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$ , кПа, для індивідуальних горючих речовин, які складаються з атомів С, Н, О, N, Cl, Br, I, F визначається за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{Г,П}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (4.19)$$

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{3,9 \cdot 0,5}{704 \cdot 0,65} \cdot \frac{100}{6,44} \cdot \frac{1}{3} = 17,62 \text{ (кПа)}.$$

де  $P_{\max}$  – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної або пароповітряної суміші у замкнутому об'ємі (приймається 900 кПа);

$P_0$  – початковий тиск, кПа (приймається 101 кПа);

$K_{\text{н}}$  – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення й неадіабатичність процесу горіння (приймається  $K_{\text{н}} = 3$ )

$m$  – маса ГГ або парів ЛЗР та ГР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до приміщення, яку визначають для ГГ, кг;

$Z$  – коефіцієнт участі ГГ або парів у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілення газів і парів в об'ємі приміщення;

$V_{\text{вільн}}$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{Г,П}}$  – густина газу або пари при розрахунковій температурі  $t_p$ , кг·м<sup>3</sup>.

В підрозділі «Безпека в надзвичайних ситуаціях» було розраховано наслідки вибуху газоповітряної суміші в разі виникнення умовної аварії за результатами якого можна зробити висновки:

- очікувана величина надлишкового тиску ударної хвилі становить

$$\Delta P_{\text{ф.макс}} = 17,62 \text{ кПа};$$

- внаслідок дії ударної хвилі можливі слабкі руйнування несучих стін приміщення, повне руйнування дахів та склінь, руйнування деяких видів обладнання;

- для підвищення стійкості приміщення та обладнання до дії ударної хвилі необхідно підсилити основні конструкції та збільшити площу легкоруйнованих конструкцій;

- за розрахованих інтенсивності та тривалості теплового випромінювання можна зробити висновок, що займання речовин та матеріалів в приміщенні не відбудеться, можливе лиш незначне їх обуглення.

#### 4.3 Висновки до розділу 4

В даному розділі розроблено технологію монтажу обладнання з очищення димових газів з використанням циклонів утилізаторів МЦ-У 1500 на котельні потужністю 11 МВт.

Розроблено монтажну схему обладнання з очищення відхідних газів.

Визначено діаметри трубопроводів для забезпечення транспортування теплоносіїв циклонів-утилізаторів теплоти, а саме діаметр трубопроводів мережної води – 57×3 мм.

Складено відомість основних та допоміжних матеріалів, необхідних для монтажу циклонів-утилізаторів, нагнітального обладнання із комунікаціями. При цьому основного обладнання і матеріалів склала 3222,38 кг, а допоміжного – 176,18 кг.

Також визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах. Так для транспортування матеріалів використовується автомашина МАЗ-4370, для зварювання використовується зварювальний апарат РАТОН PCI-250S, для шліфувальних робіт під час монтажу трубопроводів застосовується кутова шліфмашина Metabo WEA 19-180 Quick RT, для випробування газоходів на міцність

та щільність – опресувальний насос Rothenberger RP 50-S, для підйому обладнання та газоходів – лебідку з електроприводом ЛМ–2, для переміщення вантажу – візок гідравлічний ручний Staxx PWH25-II.

Вибрано допоміжне обладнання для монтажу системи. Загальна маса обладнання – 702,95 кг.

Визначено затрати паливно-енергетичних ресурсів для виконання монтажних робіт. Так витрата електроенергії на роботу електроінструменту складає 551,53 кВт год, а витрата пального для доставки вантажу 43,2 л.

Визначено трудомісткість і тривалість виконання монтажних робіт. Так загальна трудомісткість складає 53,04 люд.-дні. Розроблено календарний план виконання монтажних робіт, згідно з яким загальна тривалість виконання монтажних робіт складає 14 діб.

Проаналізовано умови праці при виконанні монтажних робіт та експлуатації теплоелектроцентралі. Проаналізовано і визначено, які фактори є небезпечними та шкідливими для життя людини, які можуть бути присутні при виконанні монтажних робіт, експлуатації парогенераторів, а саме: несприятливі параметри мікроклімату; підвищений рівень шуму, вібрації; недостатня освітленість на робочому місці; ураження електричним струмом, тощо. Внаслідок прогнозованого вибуху газоповітряної суміші у випадку аварії ударною хвилею можливі слабкі руйнування несучих стін приміщення, повне руйнування дахів та склінь, руйнування деяких видів обладнання, тому треба вжити необхідних заходів для запобігання руйнування. Розраховані інтенсивності та тривалості теплового випромінювання, за якими можна зробити висновок, що займання речовин та матеріалів в приміщенні не відбудеться, можливе лиш незначне їх обвуглення.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В даному розділі необхідно оцінити обсяги економії енергоресурсів при підвищенні енергоефективності теплопостачання лікувального закладу.

Для розрахунку кошторсної вартості влаштування обладнання дотримувалися вимог Кошторсних норм України „Настанова з визначення вартості будівництва” від 02.05.2022 і використовували кошторисну програму “АВК”.

### 5.1 Локальний кошторис

Для визначення кошторисної вартості влаштування обладнання робляємо локальний кошторисний документ за допомогою програмного комплексу АВК (додаток В) на основі: ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН, ДБН Д.2.2 - 2000); збірника єдиних середніх кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції загально виробничі витрати розраховані відповідно до усереднених показників додатка 3 до ДСТУ Б Д.1.1 – 1 – 2013.

Кошторисна вартість влаштування конструкцій враховує трудовитрати та заробітна плата будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатації будівельних машин та механізмів. Кошторисна вартість влаштування конструкцій визначається як сума прямих та загально виробничих витрат.

Прямі витрати ( ПВ) враховують в своєму складі заробітну плату робочих, вартість експлуатації будівельних машин та механізмів, вартість матеріалів, виробів та конструкцій.

Загально виробничі витрати ( ЗВВ ) – це витрати будівельно-монтажної організації, які входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Усі затрати, які відносяться до ЗВВ, згруповані в три групи.

## 5.2 Простий термін окупності

Загальні витрати інноваційного проекту представлені в таблиці 5.1, розраховуються у відсотках від кошторисної вартості будівельно-монтажних робіт (значення приймається з локального кошторису див.додаток).

Таблиця 5.1 – Перелік інноваційних витрат [58]

Орієнтовна робота	Питома вага вартості роботи, %	Термін виконання роботи, міс.	Загальна вартість виконання роботи, тис. грн.
Формування інноваційної ідеї проекту	1	1	92,06
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	18,41
Техніко-економічне обґрунтування	1,5	3	138,09
Проектування	2,5	4	230,15
Експертиза інноваційного рішення	1	1	92,06
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу-хау, технологій	2	2	184,12
Виготовлення нового виробу	100	6	9206,04
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко-економічних показників	3	1	276,18
Витрати на підготовку кадрів	5	2	460,30
Всього		21	10697,41



## Показники комерційної ефективності проекту (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2 – Показники комерційної ефективності проекту, тис. грн.

Показники	Рік						
	-1	0	1	2	3	4	5
Потік реальних грошей	-754,89	-10073,5	3523,93	3511,78	3504,92	3506,17	3499,24
Сальдо реальних грошей	-754,89	-9604,5	3523,93	3469,55	3462,69	3468,06	3465,25
Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	-754,89	-10359,4	-6835,46	-3365,91	96,78	3564,84	7030,08
Коефіцієнт дисконтування при нормі дисконту 16%	1,16	1,00	0,86	0,74	0,64	0,55	0,48
Чиста поточна вартість	-875,68	-10073,52	3037,87	2609,83	2245,46	1936,42	1666,03
Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п .5 ((t)+(t-1))	-875,68	-10949,20	-7911,32	-5301,50	-3056,04	-1119,62	546,41

З таблиці 5.2 видно додатне сальдо накопичених реальних грошей на третьому році реалізації проекту.

## Оцінювання економічної ефективності інноваційного проекту

Чистими грошовими надходженнями [58]

$$NV = \sum_{t=0}^{T_p} NCF_t = \sum_{t=0}^{T_p} R_t - Z_t - N_t - K_t, \quad (5.1)$$

де  $NCF_t$  - чистий грошовий потік на  $t$ -ому році;

$R_t$  - результат виручки у  $t$ -й рік;

$Z_t$  - витрати у  $t$ -й рік;

$N_t$  - податки у  $t$ -й рік;

$K_t$  - інвестиції у  $t$ -й рік;

$T_p$  - розрахунковий період.

$$NV = 6717,62 \text{ тис. грн.}$$

### Чиста поточна вартість

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_p} NCF_t \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{T_p} (R_t - Z_t - N_t - K_t) \cdot \eta_t, \quad (5.2)$$

де  $\eta_t$  - коефіцієнт дисконтування.

$$NPV = 546,21 \text{ тис. грн.}$$

Якщо  $NPV > 0$ , то проект можна рекомендувати до реалізації;

якщо  $NPV < 0$ , то проект необхідно відхилити;

$NPV = 0$ , то в разі прийняття рішення про реалізацію проекту інвестори не отримають доходів на вкладений капітал.

Оскільки  $NPV$  та  $NV$  є додатними, тобто за розрахунковий період грошові надходження перевищують суму капітальних вкладень, що призведе до зростання доходів інвестора, то проект вважається ефективним.

Термін окупності [58]

$$\sum_{t=0}^{T_p} (P_t - B_t) \cdot \eta_t = \sum_{t=0}^{T_p} K_t \cdot \eta_t. \quad (5.3)$$

## Розрахунок терміну окупності кумулятивним методом

Кумулятивний метод передбачає знаходження періоду окупності [58]

$$T = t + \frac{COF_t}{CIF_{t+1}}, \quad (5.4)$$

де  $COF_t$  – залишок інвестиційних витрат, не забезпечених доходами на початок  $t$ -го періоду, грн.,

$CIF_t$  – чисті грошові надходження  $(t + 1)$ -го періоду, грн.

Розрахунок представлений в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок простого терміну окупності кумулятивним методом, тис. грн.

Показник	Номер кроку розрахункового періоду						
	-1	0	1	2	3	4	5
Потік реальних грошей	-754,8949	-10073,5	3523,93	3511,78	3504,92	3506,17	3499,24
Кумулятивна	-754,8949	-10828,4	-7304,48	-3792,70	-287,78	3218,39	6717,62

Як видно з таблиці 5.3 за показником залишку інвестиційних витрат, строк окупності даного проекту знаходиться між 2 та 3 роком (перехід від від'ємного до додатного залишку). Відповідно, за формулою (5.4) термін окупності буде дорівнювати

$$T = 3 + 287,78 / 3506,17 = 3,08 \text{ років.}$$

### 5.3 Висновки до розділу 5

В розділі складено кошторисний документ – локальний кошторис. В локальному кошторисі пораховано: кошторисна вартість  $K_B = 9206,035$  тис. грн.,

кошторисна заробітна плата ЗП = 33,408 тис. грн., кошторисна трудомісткість  $T = 1,591$  тис. люд –год., вартість матеріалів – 9146,234 тис. грн. Розрахували основні показники ефективності інвестицій в інноваційний проект: чисті грошові надходження – 6717,62 тис. грн.; чиста поточна вартість – 546,41 тис. грн.; термін окупності, розрахований за кумулятивним методом та методом усереднених параметрів – 3,08 роки.

## ВИСНОВКИ

В даній роботі виконано аналітичний огляд літературної інформації. Проаналізовано загальну характеристику та класифікацію котелень, переваги та недоліки котелень на традиційних видах паливі, еколого-економічні питання роботи водогрійних котелень для потреб теплопостачання та біомаса як джерело відновлювальної енергії. За результатами огляду літературної інформації сформовані задачі та мета досліджень.

Розроблено, виконано аналіз і розрахунок теплової схеми котельні, що працює на систему теплопостачання лікувального закладу з максимальною потужністю 8 МВт. У розрахунках прийнято два види палива: традиційне – природний газ та відновлювальне – біомаса у вигляді тріски деревини. Виявлено, що потужності встановлених на котельні теплогенераторів не достатньо для забезпечення надійності теплопостачання лікувального закладу, тому прийнято рішення встановити у котельні ще один теплогенератор на традиційному паливі, а саме КОЛВІ 2000 потужністю 2000 кВт. В результаті розрахунку теплової схеми для максимального опалювального режиму визначено витрату природного газу, що складає  $0,1485 \text{ м}^3/\text{с}$ , твердого палива –  $0,3626 \text{ кг}/\text{с}$ , загальна витрата умовно палива на котельні  $0,321 \text{ кг}/\text{с}$ . Коефіцієнт корисної дії котельні у розрахунковому періоді склав  $0,851$ . Річне виробництво теплоти котельнею складає  $69442,9 \text{ ГДж}$ , а собівартість виробництва теплоти –  $616,97 \text{ грн.}/\text{ГДж}$ .

Розроблено математичну модель для оцінювання ефективності роботи двопаливної котельні. За використання математичної моделі виконано числове дослідження ефективності водогрійної котельні протягом опалювального сезону для двох варіантів організації спалювання: з пропорційним зменшенням навантаження всіх котлів при зростанні температури навколишнього середовища та з першочерговим максимальним завантаженням твердопаливних котлів. Виявлено, що варіант із пропорційним завантаженням має  $1,8...1,92\%$  вищий коефіцієнт корисної дії та на  $0,18\%$  меншу річну витрату умовного палива

у порівнянні із іншим варіантом. Перевагою варіанту 2 є зменшення річного споживання природного газу на 86%, а відповідно і загальних експлуатаційних витрат а отже і собівартості виробництва теплової енергії на 17,17 %.

Аналіз екологічних показників роботи котельні за двома варіантами організації спалювання палива в котельні показав, що найменший вплив на довкілля за сумарним показником є першочергове максимальне завантаження твердопаливних котлів. Порівняння екологічних показників протягом життєвого циклу виконувалося за допомогою програмного продукту SimaPro 9.4.0.2. За результатами встановлено, що першочергове завантаження теплогенераторів на біомасі дозволить знизити сумарний вплив на навколишнє середовище на 37,86 % у порівнянні із рівномірно- пропорційним завантаженням теплогенераторів на обох видах палива.

У організаціо-технологічному розділі проаналізовано об'єкт який підлягає монтажу, а саме установку для очищення відхідних газів після теплогенераторів на біомасі. Підібране основне, допоміжне обладнання матеріали та вироби для монтажу установки для очищення газів. Встановлено, що маса обладнання, основних та допоміжних матеріалів і обладнання для монтажу складає 4096,81 кг. Сумарна витрата електроенергії на роботу допоміжного обладнання складає 551,53 кВт·год. Розроблений календарний графік монтажу установки для очищення газу, графік руху робітників, графік руху машин та механізмів. Встановлено, що загальна трудомісткість монтажних робіт становить 53,04 люд.-дні. Тривалість виконання монтажних робіт дорівнює 14 днів.

В підрозділі охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях було проаналізовано умови праці при виконанні монтажних робіт та експлуатації котельні. Визначені і проаналізовані фактори, що є небезпечними та шкідливими для життя людини при виконанні монтажних робіт, експлуатації теплогенераторів, а саме: підвищений рівень шуму, вібрації, несприятливі параметри мікроклімату; ураження електричним струмом; недостатня освітленість на робочому місці тощо. Внаслідок прогнозованого вибуху газоповітряної суміші у випадку аварії ударною хвилею можливі слабкі руйнування несучих стін

приміщення, повне руйнування дахів та склінь, руйнування деяких видів обладнання, тому треба вжити необхідних заходів для запобігання руйнування. Розраховані інтенсивності та тривалості теплового випромінювання, за якими можна зробити висновок, що займання речовин та матеріалів в приміщенні не відбудеться, можливе лиш незначне їх обвуглення

В розділі економічна частина складено кошторисний документ – локальний кошторис. В локальному кошторисі пораховано: кошторисна вартість  $K_v = 9206,035$  тис. грн., кошторисна заробітна плата ЗП = 33,408 тис. грн., кошторисна трудомісткість  $T = 1,591$  тис. люд –год., вартість матеріалів – 9146,234 тис. грн. Розраховали основні показники ефективності інвестицій в інноваційний проект: чисті грошові надходження – 6717,62 тис. грн.; чиста поточна вартість – 546,41 тис. грн.; термін окупності, розрахований за кумулятивним методом та методом усереднених параметрів – 3,08 роки.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гелетуха Г. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник. Київ, 2015. 71с.
2. Степанова Н. Д., Древинський М. В., Глеба Я. О. Аналіз екологічних та експлуатаційних показників роботи двопаливної водогрійної котельні. Інноваційні технології в будівництві – 2022: зб. тез доп. міжнар. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 23-25 листоп. 2022 р. Вінниця, 2022. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/viewFile/16791/13991> (дата звернення 01.12.2022).
3. Степанова Н. Д., Древинський М. В., Глеба Я. О. Сезонна ефективність двопаливної водогрійної котельні Матеріали LI Науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання ВНТУ, Вінниця, 2022. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15170/12784> (дата звернення 01.12.2022).
4. Степанова Н. Д., Древинський М. В., Степанов О. Д. Залежність продуктивності рушникосушарки водяного типу від температурного графіку теплоносія. Енергоефективність в галузях економіки України 2021 : зб. тез доп. міжнар. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 23-25 листоп. 2021 р. Вінниця, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2021/paper/viewFile/14098/11952> (дата звернення 01.12.2022).
5. ДБН В.2.5 –77:2014. Котельні. [Чинний від 2015-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 66 с.
6. Степанов Д. В., Корженко Є. С., Боднар Л. А. Котельні установки промислових підприємств. Вінниця: ВНТУ, 2011. 321 с.
7. Степанов Д. В., Боднар Л. А. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2011. 148 с.



8. Сенчук М. П., Корогод А. І. Експлуатаційна ефективність роботи твердопаливних теплогенераторів невеликої теплопродуктивності. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2018. Вип. 26. С. 13 – 22.
9. Ялечко В. І., Матіко Ф. Д., Гнатишин Я. М. Котельня на основі удосконаленої паливної підвищеної ефективності. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Т. 27, №6. С. 131 – 134.
10. Снежкін Ю. Ф., Корінчук Д. М. Теплотехнічні характеристики твердих біопалив з торфу і біомаси як енергетичного ресурсу малої енергетики. Промышленная теплотехника. 2012. Т. 34, № 6. С. 70-77.
11. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Матвеев Ю. Б., Жовмір М. М. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні. Промислова теплотехніка. 2006. Т. 28, № 2. С. 85 – 93.
12. Піменов К. Ю., Топоров А. А. Використання рослинної сировини та деревини у роботі газогенератора. Міжнародний науковий журнал «Грааль науки». 2021. №8. С. 169 – 175.
13. Ключ С. В. Енергоефективне перетворення біомасив горючий газ і біовугілля в газогенераторах щільного шару палива: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08. Київ, 2016. 167 с.
14. Дзядикевич Ю. В., Розум Р. І., Буряк М. В. Особливості процесу спалювання деревної біомаси та шляхи його покращення. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2010. №10 (80). С. 41 – 45.
15. Джиоев Р. Л. Технології спалювання деревних відходів у котлах малої потужності. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2021. Вип. 198. С. 82 – 93.
16. Півненко Ю. О. Підвищення ефективності спалювання деревних відходів у топках киплячого шару опалювальних котельних: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03. Харків, 2018. 164 с.
17. Гелетуха Г., Матвеев Ю., Олійник Є. Куций Д. Практичний посібник з використання біомаси як палива в муніципальному секторі України (для представників державних установ та громадських організацій, що працюють у

сфері екології). URL : <https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/01/ecofin.pdf> (дата звернення 01.12.2022).

18. Левицька О. Г., Січевий О. В. Порівняльний аналіз викидів шкідливих речовин при застосуванні альтернативних природному газу біопалив. Вісник ЛДУБЖД. 2019. №20. С. 90 – 95.

19. Котел з автоподачею КЗОТ BRS 2500 Comfort LM. URL : <https://kzot-kotel.com.ua/tverdopalyvni-kotly/kotel-z-avtopodacheiu-kzot-brs-2500-comfort-lm/> (дата звернення 01.12.2022).

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

21. Основи проектування промислових та опалювальних котелень. Курсове проектування / під ред. Боженко М. Ф. Київ : Вища школа, 1992. 280 с.

22. Промисловий жаротрубний котел Колві 2000. URL : <https://kolvi.org.ua/ghazovi-kotly/promyslovyi-zharotrubnyi-kotel-kolvi-2000/> (дата звернення 01.12.2022).

23 Програма автоматичного підбору насосів. URL : [http://www.hydro-vacuum.com.ua/single-stage\\_centrifugal\\_pumps\\_water\\_mv.php](http://www.hydro-vacuum.com.ua/single-stage_centrifugal_pumps_water_mv.php) (дата звернення 01.12.2022).

24. Димосос Д-3,5М. URL : <https://systemax.ua/ua/ventilyatory/dimososi/d-m/d-3-5m.html> (дата звернення 01.12.2022).

25. Уряд встановив ціни на газ для виробників і постачальників тепла. URL : <https://zaxid.net/news/> (дата звернення 01.12.2022).

26. Лялюк О. Г. Економіка енергетики : практикум. Вінниця: ВНТУ, 2009. 118 с.

27. Денисов В. І. Техничко-економические расчеты в энергетике. Москва: Энергоиздат, 1985. 312 с.

28. Степанов Д. В., Степанова Н. Д. Математичні методи і моделі теплоенергетичного обладнання: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 81 с.

29. Попырин Л. С. Математическое моделирование и оптимизация тепло-энергетических установок. Москва : Энергия, 1978. 416 с.
30. Радченко С. Г. Математичне моделювання і оптимізація технологічних систем. Київ : Вища школа, 2001. 315 с.
- 31 Степанова Н. Д., Степанов Д. В. Теплові мережі: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2009. 127с.
32. ДСТУ-Н Б В.1.1-27.2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. 123 с. (Національний стандарт України).
33. Циклон МЦ-У 1500. URL: [https://nvzto.com.ua/?do=shop&func=show\\_product&product=120](https://nvzto.com.ua/?do=shop&func=show_product&product=120) (дата звернення 01.12.2022).
34. Циркуляційний насос IMP Pumps GHN basic II 40-120F. URL: <https://volar.com.ua/ua/shop/tsirkuliatsionnyi-nasos-imp-pumps-ghn-basic-ii-40-120f.html> . (дата звернення 01.12.2022).
35. Труби сталеві водогазопровідні. Технічні умови : ДСТУ 8936:2019. – [Чинний від 2021-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 70 с.
36. ДБН Д.2.4-15-2000. Збірник 15. Внутрішні сантехнічні роботи. [Чинний від 2001-01-01]. Київ: Держстандарт України, 2000. 106 с.
37. Технологические трубопроводы: ДБН Д.2.3-12-99. [Чинний від 2000-01-01]. Київ : Госстрой Украины, 2000. 70 с.
38. Компрессорные установки, насосы, вентиляторы: ДБН Д.2.3-7-99. – [Чинний від 2000-01-01]. Київ : Госстрой Украины, 2000. 42 с.
39. Вентиляция и кондиционирование воздуха: ДБН Д.2.2-20-99. [Чинний від 2000-01-01]. Київ : Госстрой Украины, 2000. 70 с.
40. MAZ-4370. URL: <https://spectekhnika.info/maz-4370/> (дата звернення 01.12.2022).
41. Зварювальний інверторний напівавтомат PATON PSI-250S. URL: <https://mirmark.com.ua/uk/svarochnyy-invertornyuy-poluavtomat-paton-psi-250s/> . (дата звернення 01.12.2022).

42. Кутошліфувальна машина Metabo WEA 19-180 Quick RT. URL: <https://storgom.ua/ua/product/ugloshlifovalnaia-mashina-metabo-wea-19-180-quick-rt-601095000.html#properties-tab> . (дата звернення 01.12.2022).
43. Ручной опрессовочный насос Rothenberger RP 50-S. URL: <https://teplota.ua/shop/ruchnoy-opressovochnyiy-nasos-rothenberger-rp-50-s-60200-303696p.html>. (дата звернення 01.12.2022).
44. Лебідка електрична ЛМ-2. URL: <https://xn--80aqy.com.ua/pto/lebedki/montazhnye/lm-2/> (дата звернення 01.12.2022).
45. Каталог будівельних машин і інструментів. URL : <http://power-tools.co.nz>. (дата звернення 01.12.2022 ).
46. Візок гідравлічний палетний Staxx PWH25-II. URL: <https://kozak-plus.ua/products/transport-store-equipment/hand-pallet-truck/pwh25-ii> .(дата звернення 01.12.2022).
47. Ратушняк Г. С., Попова Г. С. Експлуатація систем теплопостачання та вентиляції : навч. посіб. Вінниця: ВДТУ, 2003. 122 с.
48. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=58073](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073). (дата звернення 01.12.2022).
49. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->(дата звернення 01.12.2022).
50. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. Київ : Мін-регіонбуд України, 2009. 116 с.

51. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

52. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text> (дата звернення 01.12.2022).

53. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972> (дата звернення 01.12.2022).

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

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

56. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>. (дата звернення 01.12.2022).

57. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99> (дата звернення 01.12.2022).

58. Лялюк О. Г., Ратушняк О. Г. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в теплоенергетиці : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2020. 93 с.

Додаток А  
(обов'язковий)

Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи  
на наявність текстових запозичень



Додаток Б  
(обов'язковий)  
Технічне завдання



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

УЗГОДЖЕНО

Керівник або заступник Назва підприємства або

установи

Підпис

Ініціали і прізвище

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Завідувач кафедри ТЕ  
доц. Д. В. Степанов  
Підпис  
"20" 09 2022 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

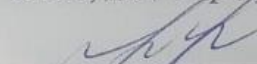
на магістерську кваліфікаційну роботу на тему:

**"ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ  
ЛІКУВАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ "**

08-11.МКР.003.00.00.000 ТЗ

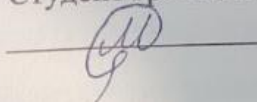
Керівник роботи:

К.т.н., доц. кафедри ТЕ,

 Н.Д. Степанова

Виконавець:

Студент гр. ТЕ-21м

 М. В. Древинський

Вінниця 2022

## **1. Підстава для виконання роботи:**

Робота проводиться на підставі наказу ректора ВНТУ від 17.09.2022 року № 203.

Дата початку роботи – 20.09.2022 р.

Дата закінчення роботи – 06.12.2022 р.

## **2. Мета і призначення НДР**

*Мета роботи* – зменшення експлуатаційних витрат на вироблення теплової енергії та підвищення екологічної ефективності системи теплопостачання лікувального закладу шляхом впровадження технології спалювання біомаси і традиційного палива на двопаливній водогрійній котельні.

*Об'єкт дослідження* – двопаливна водогрійна котельня для теплопостачання лікувального закладу.

*Основний предмет* – підвищення енергетичної та екологічної ефективності двопаливної водогрійної котельні.

*Узагальнений науковий результат* – Набули подальшого розвитку дослідження роботи твдогрійної котельні на різних видах палива. Доведено ефективність заміщення викопних палив на водогрійних котельнях біомасою. Показано, що першочергове максимальне завантаження теплогенераторів на біомасі під час роботи водогрійної котельні протягом опалювального періоду призводить до зниження загального техногенного навантаження на навколишнє середовище на 37,86% у порівнанні із рівномірним однаковим завантаженням теплогенераторів на біомасі і традиційному паливі.

## **3. Вихідні дані для проведення НДР**

Під час проведення НДР будуть використані за матеріалами попередніх досліджень та матеріали таких публікацій:

1. Гелетуха Г. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні : практичний посібник. Київ, 2015. 71с.

2. Степанова Н. Д., Древинський М. В., Глеба Я. О. Аналіз екологічних та експлуатаційних показників роботи двопаливної водогрійної котельні. Інноваційні технології в будівництві – 2022: зб. тез доп. міжнар. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 23-25 листоп. 2022 р. Вінниця, 2022. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/viewFile/16791/13991> (дата звернення: 01.12.2022).

3. Степанова Н. Д., Древинський М. В., Глеба Я. О. Сезонна ефективність двопаливної водогрійної котельні Матеріали LI Науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання ВНТУ, Вінниця, 2022. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/15170/12784> (дата звернення: 01.12.2022).

4. Степанова Н. Д., Древинський М. В., Степанов О. Д. Залежність продуктивності рушникосушарки водяного типу від температурного графіку теплоносія. Енергоефективність в галузях економіки України 2021 : зб. тез доп. міжнар. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 23-25 листоп. 2021 р. Вінниця, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2021/paper/viewFile/14098/11952> (дата звернення: 01.12.2022).

5. ДБН В.2.5 –77:2014. Котельні. [Чинний від 2015-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 66 с.

6. Степанова Н. Д., Степанов Д. В. Теплові мережі: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2009. 135 с.

7. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем та основи проектування джерел теплопостачання : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2005. 139 с.

8. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2011. 123 с. (Інформація та документація).

#### **4. Виконавці НДР**

Організація-виконавець – Вінницький національний технічний університет, кафедра теплоенергетики.

#### **5. Вимоги до виконання НДР**

Двопаливна водогрійна котельня повинна розглядатися як велика ієрархічна багаторівнева система, що супроводжується протягом життєвого циклу техногенними ризиками.

Слід врахувати при плануванні досліджень стан розробки двопаливної водогрійної котельні у м. Вінниця.

У процесі виконання НДР потрібно застосовувати теоретичні та експериментальні методи досліджень екологічної і енергетичної ефективності водогрійної котельні.

В результаті досліджень повинні бути розроблені теоретичні засади математичного моделювання робочих процесів, обладнання і підсистем в складі систем виробництва енергоносіїв, наукові основи мінімізації техногенних ризиків цих систем.

Вимоги нормативних матеріалів ГОСТ, ДСТУ, СНіП, ДБН, СанПіН, СН до обладнання систем виробництва енергоносіїв повинні бути враховані в процесі теоретичних досліджень та експериментальних випробувань.

Додаток В  
(обов'язковий)  
Локальний кошторис

Локальний кошторис на будівельні роботи № 1

Основа:  
креслення (специфікації ) №

Кошторисна вартість  
Кошторисна трудомісткість  
Кошторисна заробітна плата  
Середній розряд робіт

9206,035 тис. грн.  
1,591 тис.люд.-год.  
33,408 тис. грн.  
3,7 розряд

Складений в поточних цінах станом на "3 грудня" 2022 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього заробітної плати	експлуатації машин в тому числі заробітної плати	Всього	заробітної плати	експлуатації машин в тому числі заробітної плати	не зайнятих обслуговуванням машин	
										тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	E20-39-3	Установлення Циклонів МЦ-У 1500	10шт	0,4	<u>356660,24</u> 7830,00	<u>9212,75</u> 2301,87	142664	3132	<u>3685</u> 921	<u>384,2</u> 109,4103	<u>153,68</u> 43,76
2	E18-2-10	Установлення котла BRS 2500 LM	шт	2	<u>1943612,94</u> 2919,20	<u>1026,17</u> 310,57	3887226	5838	<u>2052</u> 621	<u>146,62</u> 18,2031	<u>293,24</u> 36,41
3	E18-2-9	Установлення котлів ARS 2000 BMT	шт	2	<u>1606316,31</u> 2181,14	<u>732,80</u> 221,26	3212633	4362	<u>1466</u> 443	<u>109,55</u> 12,9555	<u>219,1</u> 25,91
4	E18-2-8	Установлення котлів КОЛВІ 2000	шт	1	<u>1540734,40</u> 1724,56	<u>547,04</u> 164,45	1540734	1725	<u>547</u> 164	<u>84,62</u> 9,6271	<u>84,62</u> 9,63
5	E9-4-4	Монтаж бункерів ЗмЗ	т	0,4	<u>132145,79</u> 1057,35	<u>2721,80</u> 883,11	52858	423	<u>1089</u> 353	<u>48,48</u> 42,0813	<u>19,39</u> 16,83
6	E20-39-3	Установлення циклонів ЦН-15у	10шт	0,4	<u>387260,24</u> 7830,00	<u>9212,75</u> 2301,87	154904	3132	<u>3685</u> 921	<u>384,2</u> 109,4103	<u>153,68</u> 43,76
7	E18-13-1	Установлення димососів Д-3,5-М	шт	4	<u>10138,90</u> 429,38	<u>33,37</u> 8,71	40556	1718	<u>133</u> 35	<u>21,32</u> 0,5002	<u>85,28</u> 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	E18-13-1	Установлення насосів GHN 40-120F, GHN 100-120F	шт	4	<u>639,29</u> 429,38	<u>33,37</u> 8,71	2557	1718	<u>133</u> 35	<u>21,32</u> 0,5002	<u>85,28</u> 2
9	C130-508 варіант 8	насос GHN-40-120F	шт	2	<u>22824,97</u> -	- -	45650	-	- -	- -	- -
10	C130-508 варіант 9	насос GHN-100-120F	шт	2	<u>26904,97</u> -	- -	53810	-	- -	- -	- -
11	E18-10-16	Установлення Акумуляційної ємності 5 м3	шт	1	<u>23097,79</u> 519,28	<u>70,41</u> 21,34	23098	519	<u>70</u> 21	<u>27,06</u> 1,2173	<u>27,06</u> 1,22
12	E18-13-5	Установлення Насосів Hydrovacuum MVA 65-200A 1100	шт	3	<u>1694,25</u> 1023,92	<u>170,71</u> 49,77	5083	3072	<u>512</u> 149	<u>50,84</u> 2,8779	<u>152,52</u> 8,63
13	C130-513 варіант 2	Насос Hydrovacuum MVA 65-200A 1100	шт	3	<u>7820,42</u> -	- -	23461	-	- -	- -	- -
Разом прямі витрати по кошторису							9185234	25639	<u>13372</u> 3663		<u>1273,85</u> 190,15
Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн. всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. <b>Всього будівельні роботи, грн.</b>							9185234				
-----							9146223				
							29302				
							20801				
							127				
							4106				
							<b>9206035</b>				
<b>Всього по кошторису</b>							<b>9206035</b>				
<b>Кошторисна трудоємність, люд.год.</b>							<b>1591</b>				
<b>Кошторисна заробітна плата, грн.</b>							<b>33408</b>				

Склав

\_\_\_\_\_

[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]

Перевірив

\_\_\_\_\_

[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]

Додаток Г  
(обов'язковий)

**ГРАФІЧНА ЧАСТИНА**

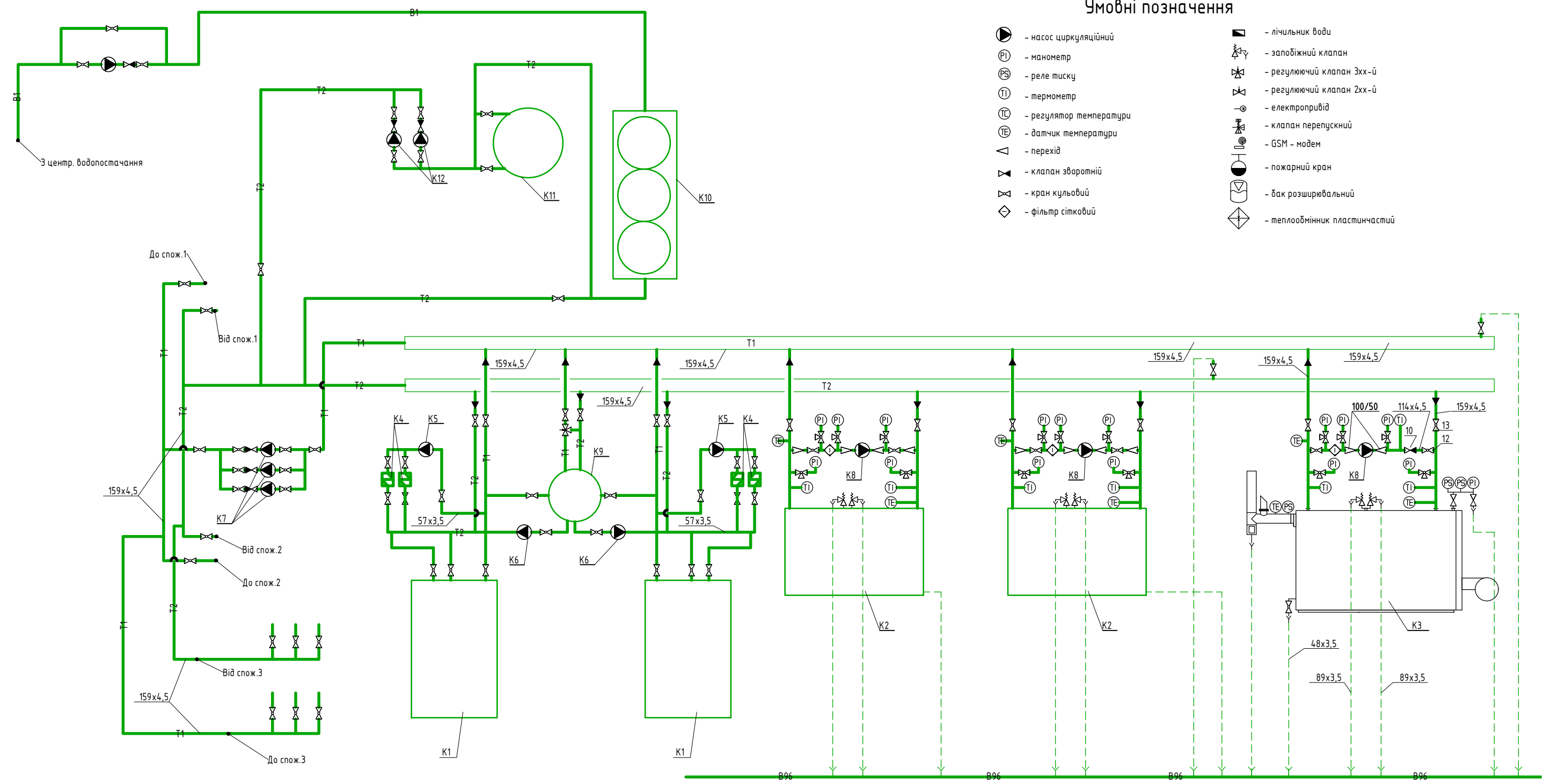
**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ  
ЛІКУВАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ**





Умовні позначення

- насос циркуляційний
- манометр
- реле тиску
- термометр
- регулятор температури
- датчик температури
- перехід
- клапан зворотній
- кран кульбовий
- фільтр сітковий
- лічильник води
- запобіжний клапан
- регулюючий клапан 3хх-й
- регулюючий клапан 2хх-й
- електропривід
- клапан перепускний
- GSM - модем
- пожежний кран
- бак розширювальний
- теплообмінник пластинчастий



Умовні позначення трубопроводів

- B1 - господарсько-питний водопровід
- T1 - подавальний трубопровід системи опалення
- T2 - зворотній трубопровід системи опалення
- B% - Трубопровід системи каналізації
- Межа проектування

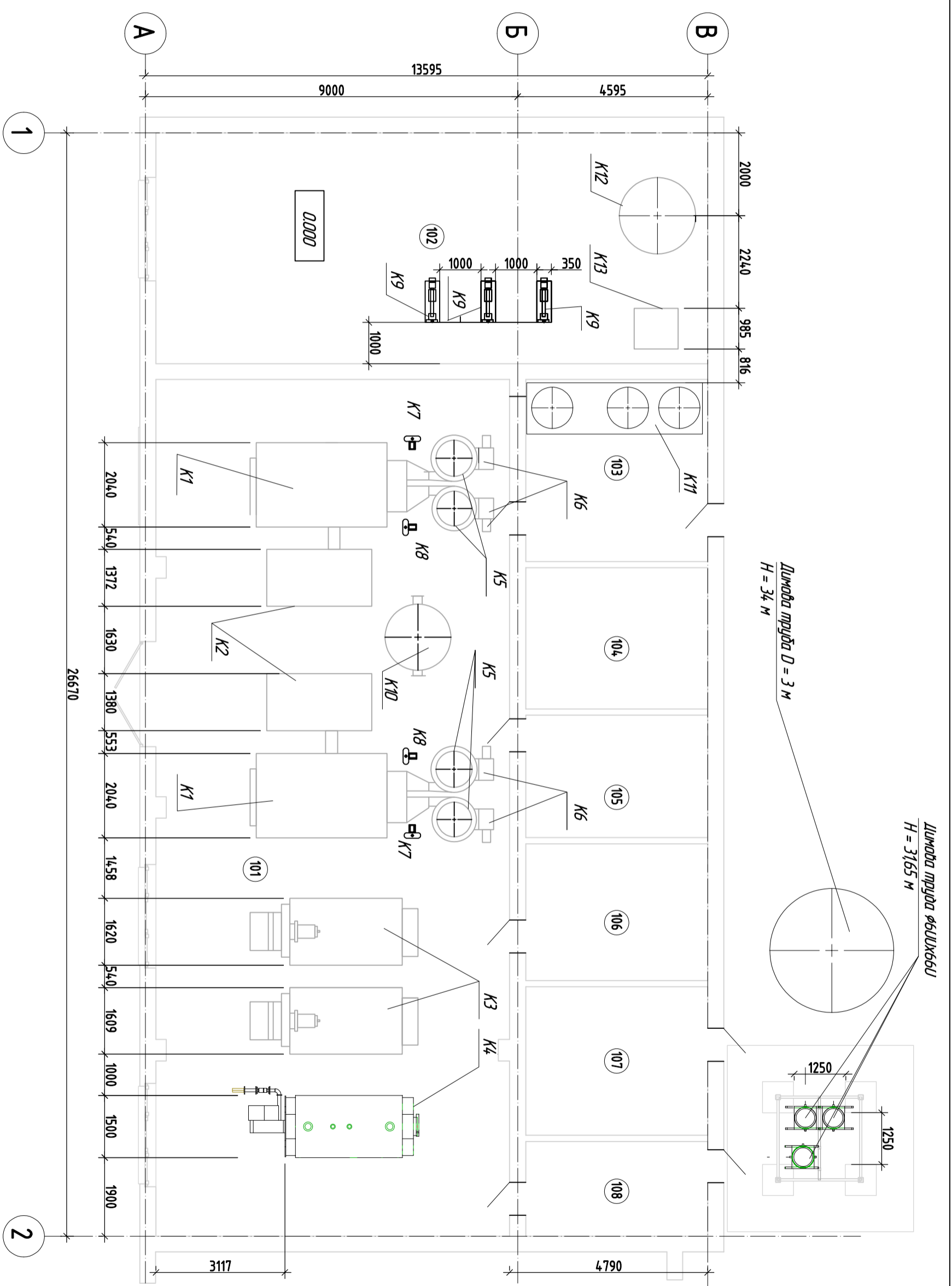
Примітка: на всіх верхніх ділянках трубопроводів встановити розповітрявачі з кранами

Создано	
Взам інв №	
Підпись і дата	
Инв. № подл	

08-11.МКР.003.01.00.000 ТЗ					
Изм.	Колуч.	Лист	N док.	Подп.	Дата
Схема теплова принципова					
Розробив				Дрединський М.В.	
Перевірів				Степанова Н.Д.	
Т. контр.				Степанова Н.Д.	
Рецензент				Бондар А.В.	
Норм. контр				Степанова Н.Д.	
Затвердив				Степанова Н.Д.	
				Лист	Листов
ВНТУ гр. ТЕ-21м					

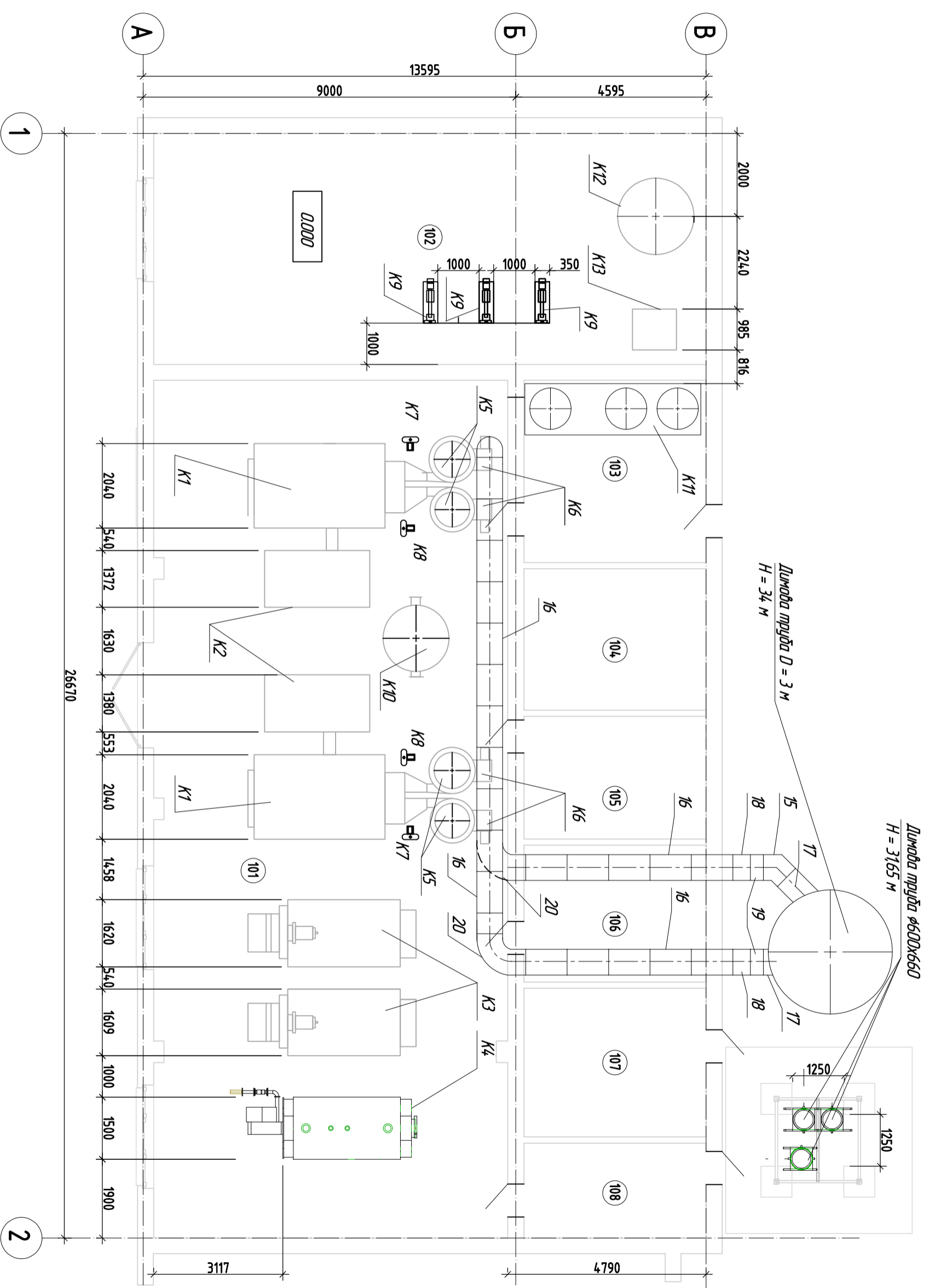


Инв. № подл	Подпись и дата	Взам инв №



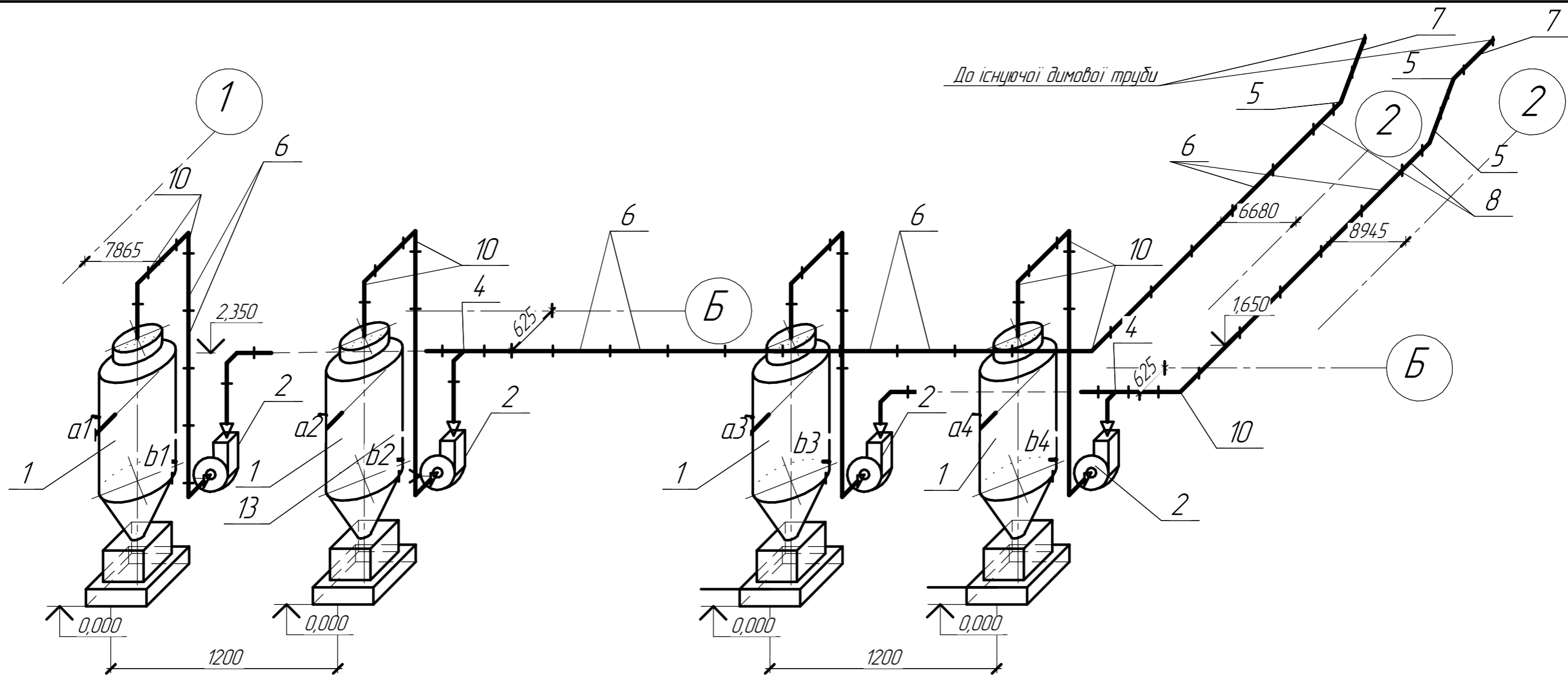
08-11.МКР.003.02.00.000 АР			
<b>М. ВІННУЦЯ</b>			
Изм.	Кол. ун.	Лист	№ док.
Розробив	Древицький М.В.		
Перевірив	Степанова Н.Д.		
Т. конпр.	Степанова Н.Д.		
Рецензент	Бондар А.В.		
Норм. контр	Степанова Н.Д.		
Замвердив	Степанов Д.В.		
Підвищення енергоефективності теплопостачання ліквідаційного закладу		Смадя	Лист
План котельні на відм. 0000		1	2
ВНТУ, зр. ТЕ-21м		Листов	



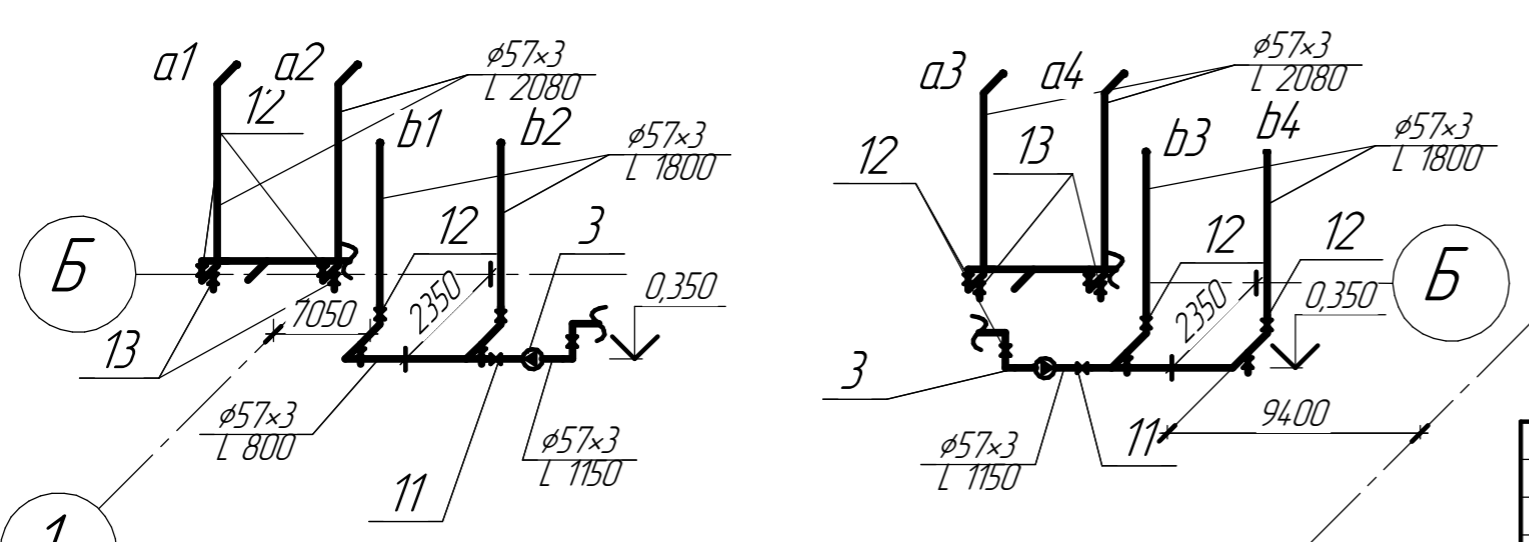


08-11.МКР.003.05.00.000 АР			
<b>М. Вінниця</b>			
Розробив	Лист	№ док.	Подп.
Перевірив	Степанова Н.Д.		
Т. конпр.	Степанова Н.Д.		
Рецензент	Бондар А.В.		
Норм. конпр	Степанова Н.Д.		
Замвердив	Степанов Д.В.		
Підвищення енергоефективності теплопостачання ліквідального закладу			Смадя
План котельні на відм. 0.000 з розрахуванням обладнання та газозаходів			Лист
			Листов
			1
			2
ВНТУ, гр. ТЕ-21м			





До існуючої димової труди



Соголасовано  
 Взам. інв. №  
 Подп. и дата  
 Інв. № подл.

						08-11.МКР.003.06.00.000 Г5			
						м. Вінниця			
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Підвищення енергоефективності теплопостачання лікувального закладу	Стадія	Лист	Листов
Виконав									3
Перевірив									
Т. контр.									
Рецензент									
Н. контр.						Схема монтажна аксонометрична	ВНТУ, ТЕ-21М		
Затв.							Формат А3		





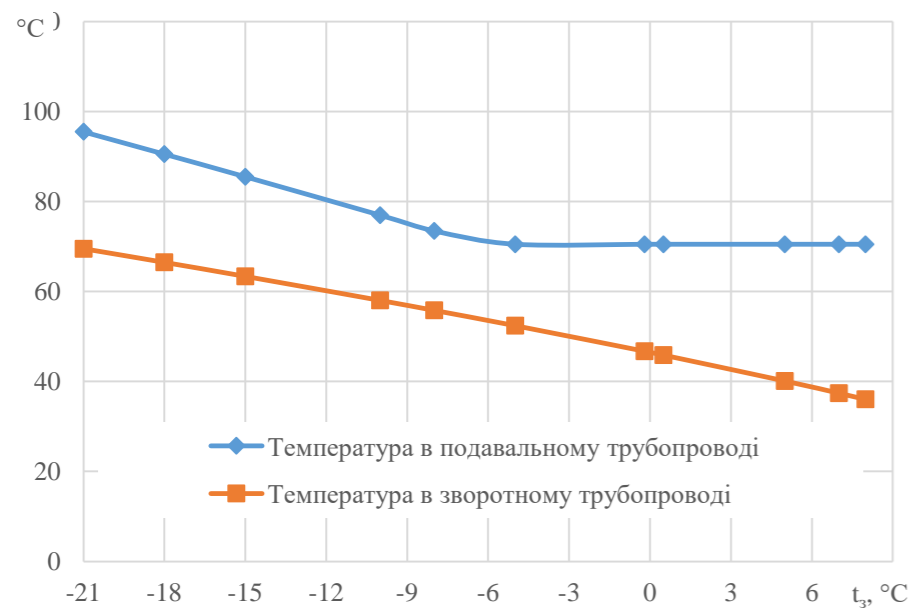
Додаток Д  
(обов'язковий)

**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

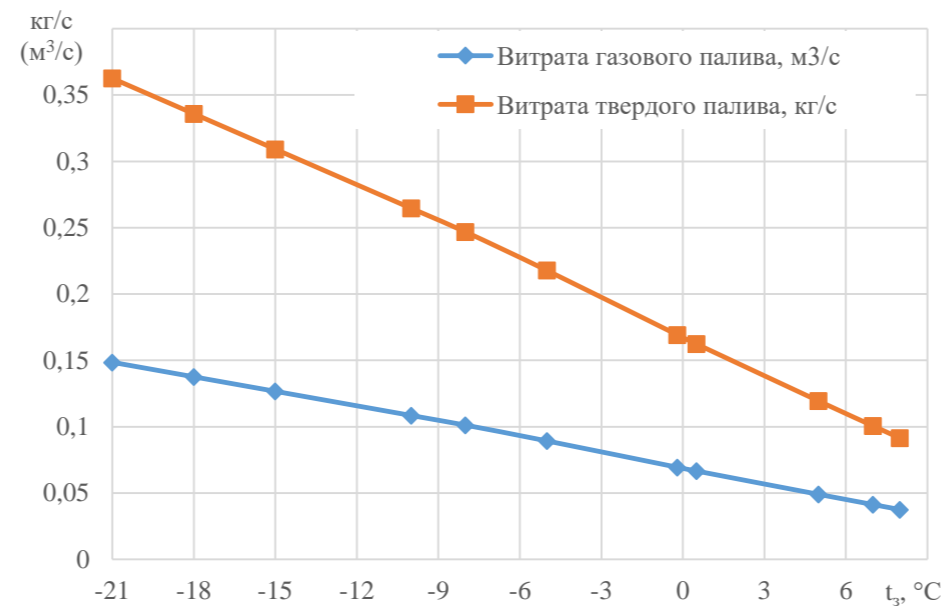
**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ  
ЛІКУВАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ**

# РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОПАЛИВНОЇ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ ЗА ВАРІАНТОМ РІВНОМІРНОГО ПРОПОРЦІЙНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ТВЕРДОПАЛИВНИХ І ГАЗОВИХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ

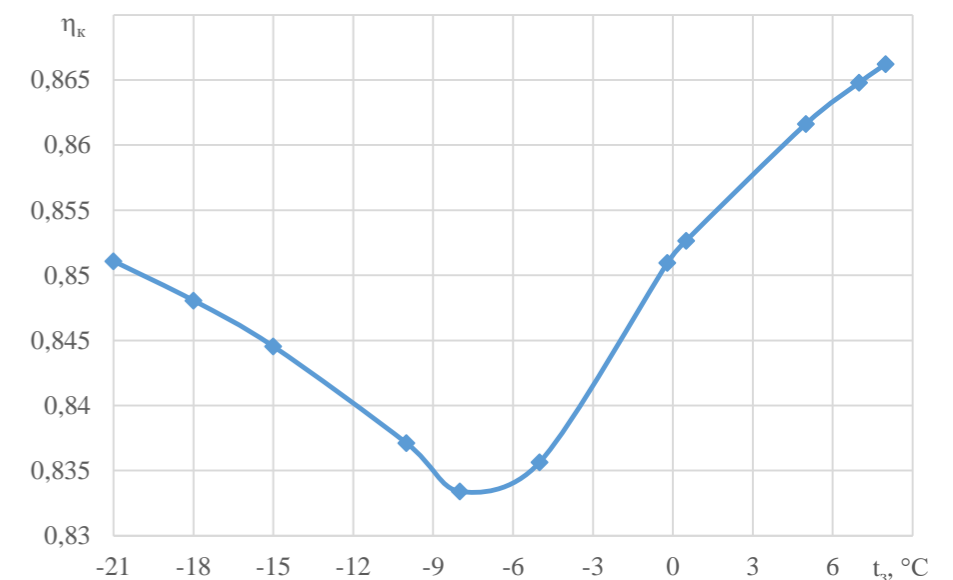
Температури в подавальному та зворотному трубопроводах в залежності від температури навколишнього середовища



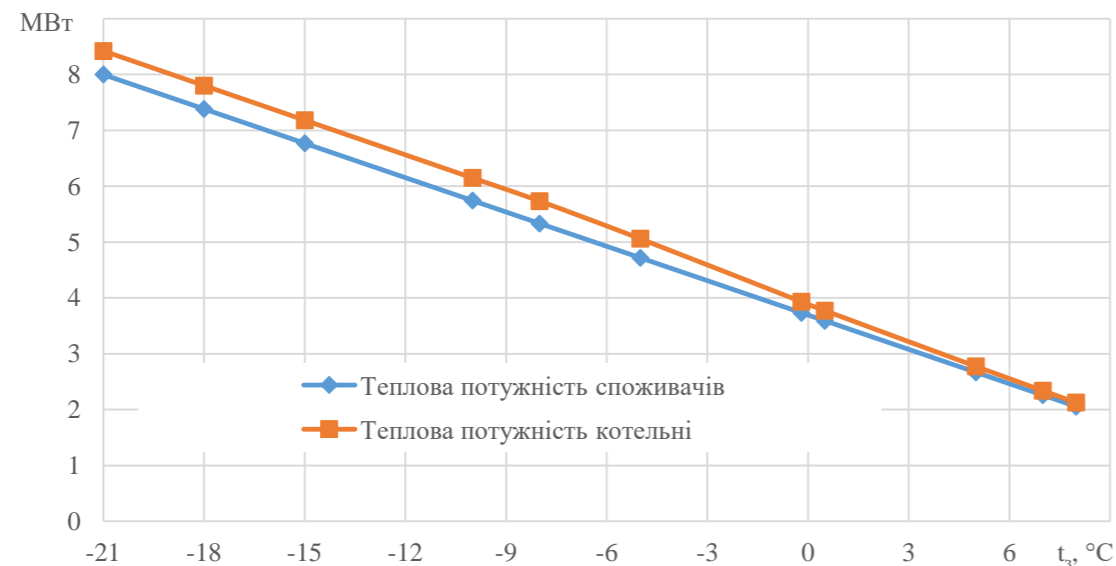
Витрати газового та твердого палива в залежності від температури навколишнього середовища



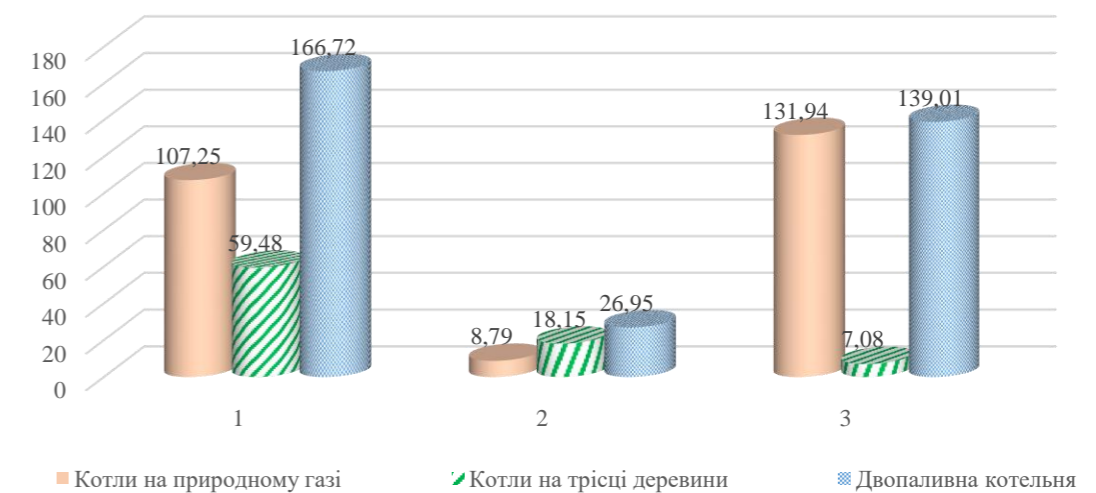
Розрахунковий ККД котельні в залежності від температури навколишнього середовища



Теплова потужність споживачів та котельні в залежності від температури навколишнього середовища



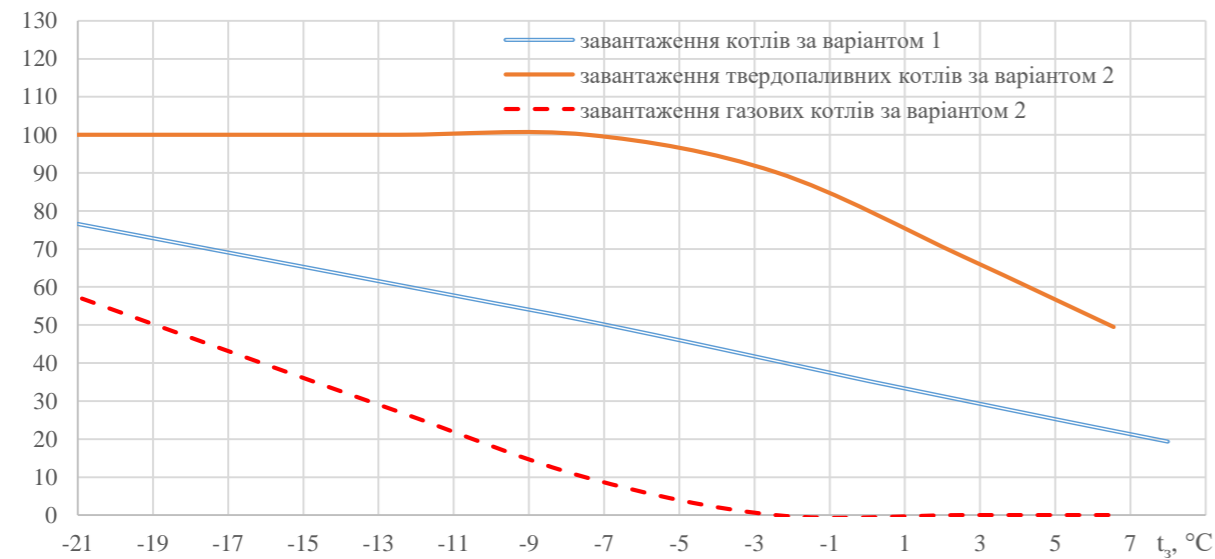
Оцінка екологічних показників роботи двопаливної котельні протягом життєвого циклу



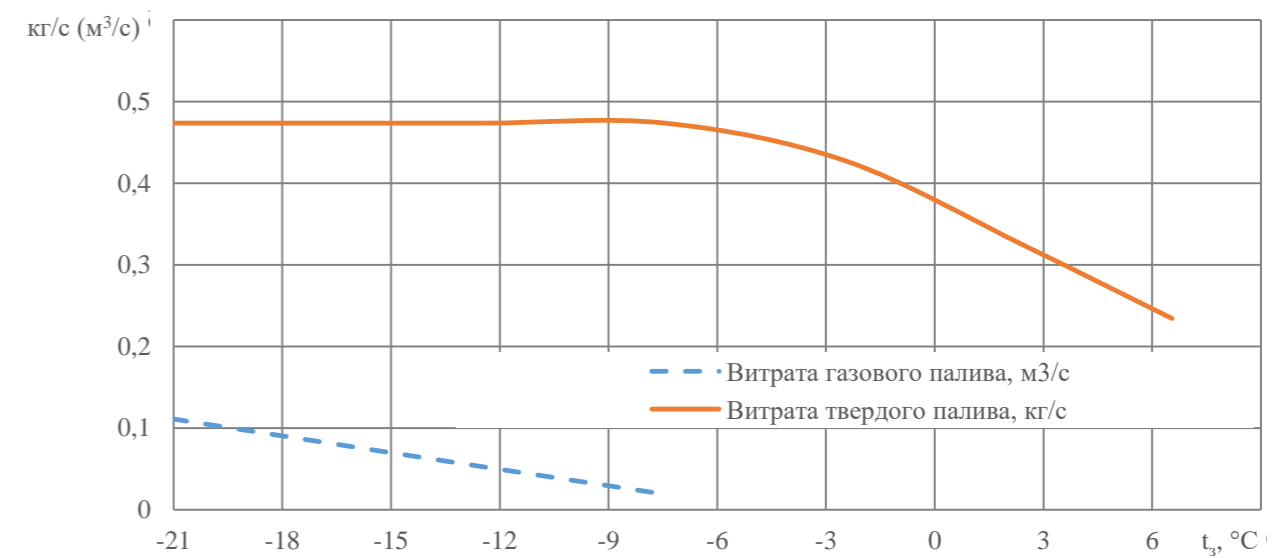
1 – вплив на здоров'я людини; 2 – вплив на екосистему;  
3 – вплив на вичерпання ресурсів

# РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОПАЛИВНОЇ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ ЗА ВАРІАНТОМ ПЕРШОЧЕРГОВОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ТВЕРДОПАЛИВНИХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ

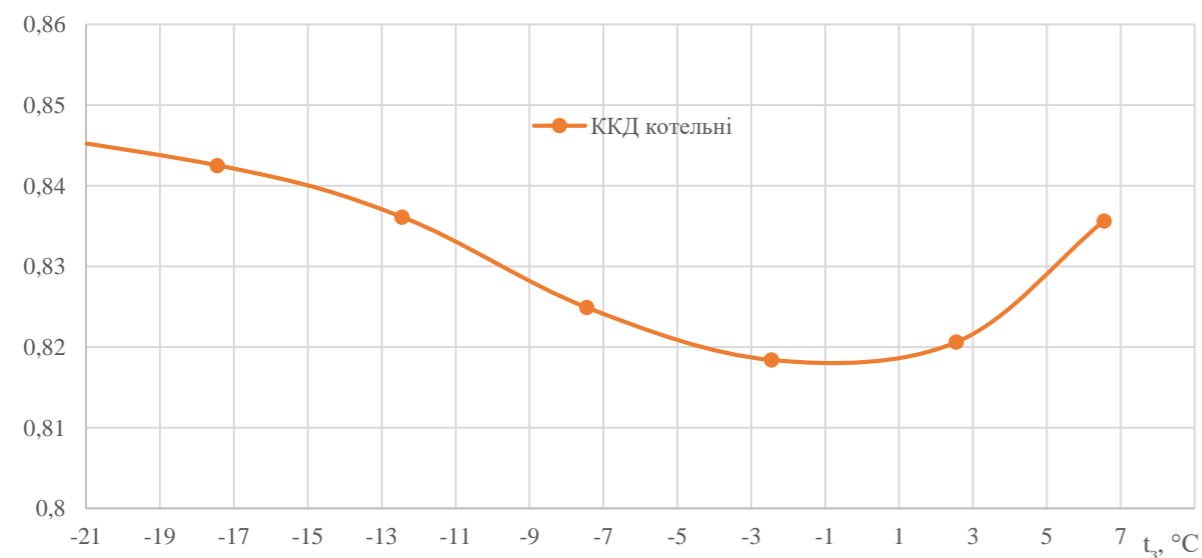
Завантаження теплогенераторів в залежності від температури навколишнього середовища



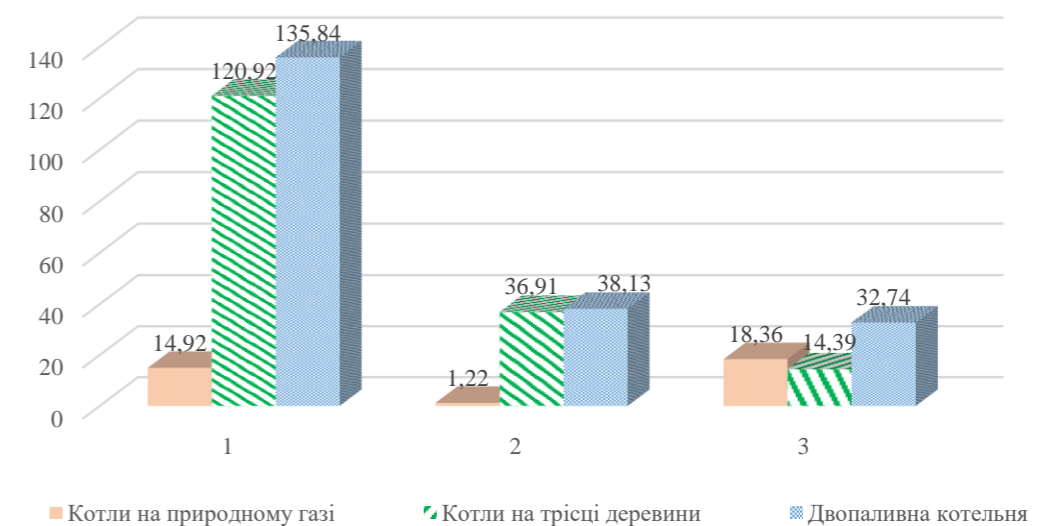
Витрати газового та твердого палива в залежності від температури навколишнього середовища



Розрахунковий ККД котельні в залежності від температури навколишнього середовища



Оцінка екологічних показників роботи двопаливної котельні протягом життєвого циклу



1 – вплив на здоров'я людини; 2 – вплив на екосистему;  
3 – вплив на вичерпання ресурсів