

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра теплоенергетики

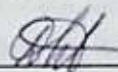
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

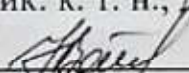
**«Біогазова установка в системі виробництва  
теплової енергії спиртзаводу»**

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



Дмитришєн В.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к. т. н., доцент каф. ТЕ



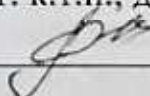
Резидент Н.В.  
(прізвище та ініціали)

« 22 »

12

2022 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. БМГА



Бондар А.В.  
(прізвище та ініціали)

« 22 »

12

2022 р.

Допущено до захисту

В.о. завідувача кафедри ТЕ

к.т.н., доц. Степанов Д. В.

(прізвище та ініціали)

«    »

2022 р.

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
В.о. завідувача кафедри ТЕ  
Степанов Д.В.  
« 14 » 09 2022 року

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

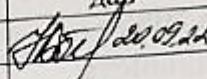
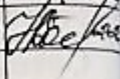


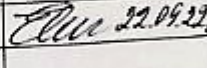
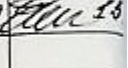
Дмитришену Владиславу Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи Біогазова установка в системі виробництва теплової енергії спиртзаводу  
керівник роботи Резидент Наталія Володимирівна, к.т.н., доц. каф. ТЕ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом вищого навчального закладу від 14.09.2022 року № 203
- Строк подання студентом роботи 15.12.2022
- Вхідні дані до роботи: теплова потужність парової котельні  $-Q_{кот} = 6 \text{ MWt}$ ; витрата пари на промислові соживачі  $D_{pc} = 5 \text{ t/год}$ ; витрата пари на біогазову установку  $D_{бгв} = 0,65 \text{ t/год}$ ; тиск та температура пари на промислові споживачі  $P_{pc} = 0,75 \text{ МПа}$ ;  $t_{pc} = 175 \text{ }^\circ\text{C}$ ; частка повернення конденсату  $\alpha_{к} = 0,95$ ; температура зворотного конденсату  $t_{зк} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ; паливо – природний газ, паливні гранули з деревини, тріска деревини, біогаз, інші відновлювані джерела енергії; існуюча тепла схема котельні. добовий об'єм післяспиртової барди  $V_б = 500 \text{ м}^3/\text{добу}$ .
- Зміст текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити) Біогазові технології як альтернатива природному газу на промислових підприємствах; аналіз показників роботи котельні на різних видах палива; дослідження інтенсивності тепловіддачі до органічних відходів спиртового виробництва; організаційно-технологічне забезпечення реалізації проектних рішень; економічна частина.
- Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): план існуючої котельні на відм. 0.000; план котельні на відм. 0.000 після реконструкції; монтажна схема пальників парового котла; календарний план виконання монтажних робіт; графічні залежності отримані за результатами досліджень.



### 6. Консультанти розділів роботи

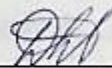
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдан прийм
1-4.1	Резидент Н. В., к.т.н, доц. кафедри ТЕ		
4.2	Кобилянська І.М. к.п.н., доц. кафедри БЖДПБ		
5	Лялюк О.Г., к.т.н, доц. кафедри БМГА		

7. Дата видачі завдання 20.09.22.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Біогазові технології як альтернатива природному газу на промислових підприємствах	20.09.22...10.10.22	<i>вик.</i>
2	Аналіз показників роботи котельні на різних видах палива	11.10.22...21.10.22	<i>вик.</i>
3	Дослідження інтенсивності тепловіддачі до органічних відходів спиртового виробництва	22.10.21...05.11.22	<i>вик.</i>
4	Організаційно-технологічне забезпечення реалізації проектних рішень	06.11.22...22.11.22	<i>вик.</i>
5	Економічна частина	23.11.22...04.12.22	<i>вик.</i>
7	Оформлення МКР	05.12.22...12.12.22	<i>вик.</i>
8	Попередній захист МКР	13.12.22...17.12.22	<i>вик.</i>
9	Захист МКР	18.12.22...24.12.22	<i>вик.</i>

Студент

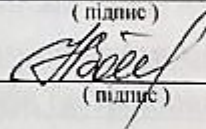


(підпис)

Дмитришен. В В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Резидент Н. В.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.1

Дмитришен В. В. Біогазова установка в системі виробництва теплової енергії спиртзаводу. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – Теплоенергетика, освітня програма – Теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2022. 110 с.

Бібліогр.: 65 назв; рис.: 4; табл. 19.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблені принципові рішення щодо переведення парової котельні з природного газу на біогаз та зменшення техногенного навантаження біогазової установки на навколишнє середовище протягом її життєвого циклу. Під час виконання огляду джерел інформації проаналізовано перспективи впровадження біогазових технологій на промислових підприємствах, вказано що на підвищення їх продуктивності та зменшення енергоємності значно впливає температурний режим, а досліджень щодо інтенсивності теплообміну в багатокомпонентних органічних сумішах недостатньо для інженерної практики. Виконані експериментальні дослідження інтенсивності тепловіддачі до післяспиртової барди. З використанням результатів експерименту визначено площу поверхні трубчатого теплообмінника для термостабілізації біореактора. У технологічній частині розроблено технологію монтажу системи постачання біогазу до парових котлів, план, схеми прокладання газопроводів та календарний план виконання робіт. Графічна частина містить 4 креслення та 2 плакати. У розділі з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях розроблено рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто заходи, дотримання електробезпеки, запобігання вибуху.

Ключові слова: біогаз, відновлювані види палива, біогазова установка, інтенсивність теплообміну, органічні відходи, експериментально-розрахунковий метод.

## ABSTRACT

Dmytryshen V. V. Biogas plant in the thermal energy production system of a distillery. Master's thesis on the specialty 144 – heat and power engineering, educational program – heat and power engineering. Vinnytsia: VSTU, 2022. 110 p.

Bibliography: 65 titles; Fig.: 4; table 19.

In the master's qualification work, principled solutions were developed regarding the transfer of a steam boiler plant from natural gas to biogas and reducing the man-made load of the biogas plant on the environment during its life cycle. During the review of information sources, the prospects for the introduction of biogas technologies at industrial enterprises were analyzed, it was indicated that increasing their productivity and reducing energy consumption is significantly influenced by the temperature regime, and studies on the intensity of heat exchange in multicomponent organic mixtures are insufficient for engineering practice. Experimental studies of the intensity of heat transfer to the post-alcohol bard were carried out. Using the results of the experiment, the surface area of the tubular heat exchanger for thermal stabilization of the bioreactor was determined. In the technological part, the installation technology of the biogas supply system for steam boilers, the plan, gas pipeline laying schemes and the calendar plan for the execution of works have been developed.

The graphic part contains 4 drawings and 2 posters. In the section on labor protection and safety in emergency situations, recommendations for improving working conditions have been developed, as well as measures to observe electrical safety and prevent explosions.

Key words: biogas, renewable fuels, biogas plant, intensity of heat exchange, organic waste, experimental and calculation method

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>4</b>
<b>1 БІОГАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ПРИРОДНОМУ ГАЗУ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ .....</b>	<b>6</b>
1.1 Актуальність впровадження біогазових технологій для отримання енергії з відходів промислових підприємств .....	6
1.2 Визначальні параметри процесу біоконверсії.....	9
1.3 Методи визначення інтенсивності теплообміну в органічних відходах .....	10
1.4 Висновки до розділу .....	11
<b>2 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КОТЕЛЬНІ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА .....</b>	<b>13</b>
2.1 Загальна характеристика парової котельні .....	13
2.2 Розрахунки теплової схеми котельні .....	14
2.3 Техніко-економічні показники роботи котельні на різних видах палива .....	18
2.4 Підбір основного обладнання біогазової установки .....	24
2.5 Висновки до розділу .....	29
<b>3 ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ТЕПЛОВІДАЧІ ДО ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ СПИРТОВОГО ВИРОБНИЦТВА.....</b>	<b>30</b>
3.1 Експериментальна установка.....	30
3.2 Методика проведення дослідів. Результати експериментів .....	31
3.3 Розрахункова частина експериментально-розрахункового методу....	34
3.4 Розрахунок тепловтрат через стінки біореактора .....	37
3.5 Конструктивний розрахунок трубчатого теплообмінника .....	40
3.6 Висновки до розділу .....	46
<b>4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ .....</b>	<b>40</b>
4.1 Технологія монтажу системи подачі біогазу для спалювання в котлах.....	47
4.2 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	65
4.3 Висновки до розділу .....	83

<b>5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	84
5.1 Локальний кошторис .....	84
5.2 Загальні витрати інноваційного проекту та термін окупності .....	87
5.3 Висновки до розділу .....	90
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	91
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ</b> .....	93
Додаток А (обов'язковий). Протокол перевірки МКР .....	99
Додаток Б (обов'язковий). Технічне завдання .....	100
Додаток В (обов'язковий). Графічна частина .....	103
Додаток Г (обов'язковий). Ілюстративна частина .....	108

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Сучасні технології біоенергетики належать до технологій, які сприяють сталому розвитку суспільства. Функціонування промислових підприємств харчової промисловості і тваринницької галузі супроводжується значною кількістю токсичних відходів, які часто спричиняють непоправну шкоду довкіллю. Такі органічні відходи мають енергетичний потенціал і можуть бути використані для виробництва біогазу та біометану в системах біоконверсії, оскільки останні дозволяють замкнути цикл промислового виробництва. Підвищення енергоефективності систем біоконверсії та зменшення їх техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу потребує розвитку методів визначення інтенсивності теплообміну в багатокomпонентних середовищах, що зумовлює актуальність роботи.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами.* Робота виконана відповідно до підрозділу науково-дослідної роботи кафедри теплоенергетики ВНТУ.

*Мета роботи* – підвищити енергоефективність та зменшити техногенне навантаження на довкілля систем анаеробного очищення відходів спиртового виробництва шляхом дослідження процесів теплообміну в елементах системи з використанням експериментально-розрахункового методу.

*Завдання роботи:*

- проаналізувати інформацію про заходи щодо впровадження біогазових технологій на промислових підприємствах;
- виконати розрахунки теплової схеми промислової котельні на природному газі та біогазі, визначити економічні показники;
- виконати експериментальні дослідження інтенсивності теплообміну у післяспиртовій барді;
- застосувати експериментально-розрахунковий метод для конструктивного розрахунку теплообмінного обладнання біогазової установки;
- визначити економічну ефективність впровадження біогазової установки на спиртовому заводі;



- розробити заходи з охорони праці та запобігання вибуху газоповітряної суміші.

*Об'єкт дослідження.* Теплообмінні процесив органічних відходах спиртового заводу.

*Предмет дослідження.* Методи визначення інтенсивності теплообміну в елементах системи переробки органічних відходів спиртового заводу.

*Новизна одержаних результатів.* Набули подальшого розвитку уявлення про закономірності теплообміну в органічних багатокомпонентних середовищах.

*Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.*

Результати роботи доповідались на Міжнародній науково-технічній конференції: «Енергоефективність в галузях економіки України», 2021; «Науково-технічна конференція ВНТУ», 2020.

*Публікація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.*

Результати роботи опубліковані в матеріалах конференцій [1, 2].

# 1 БІОГАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ПРИРОДНОМУ ГАЗУ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

## 1.1 Актуальність впровадження біогазових технологій для отримання енергії з відходів промислових підприємств

Сучасні технології, за можливістю, повинні бути пов'язані між собою таким чином, щоб кінцевий цикл одного з них ставав початком другого циклу. Таким виробництвом є біогазові технології, які сприяють сталому розвитку суспільства [3].

Одним з найдоцільніших способів переробки органічних відходів залишаються біогазові технології, в яких реалізуються контрольовані процеси анаеробного зброджування [4]. Біогазові технології містять як енергетичний, екологічний і соціальний ефекти.

Енергія, що отримується під час спалювання біогазу, може досягати 60 – 90 % від тієї, яку містить вихідний матеріал. Серед усіх відновлюваних джерел енергії біогаз знаходить різноманітне застосування у сферах енергетики, а в умовах України його виробництво може бути найдешевшим [5].

Загальний потенціал України оцінюється в 52 млрд м<sup>3</sup> біогазу на рік [6].

Біогаз – це газ, отриманий з біомаси під час її анаеробного зброджування. Можливі джерела біогазу: відходи тваринних ферм, стічні води чи органіка на сміттєвих полігонах. Біогаз є сумішшю CH<sub>4</sub> – 60...70%, CO<sub>2</sub> та інших газів в невеликій кількості. Біогаз можна використовувати для отримання електричної енергії та для задоволення потреб в опаленні чи приготуванні їжі [7].

Біогаз має наступні переваги:

- це вуглецево-нейтральне паливо;
- побічним продуктом виробництва біогазу є високоякісні добрива;
- можливість працювати на існуючому газовому обладнанні без кардинальних змін конструкції;

- зменшує вихід парникових газів, які утворюються внаслідок розкладання біомаси.

Недоліки біогазу, як палива:

- менша теплота згорання палива порівняно з природним газом;
- збільшення власних потреб тягодуттєвого обладнання;
- великі капіталовкладення в установку для виробництва біогазу.

Зважаючи на переваги біогазових технологій, актуальність їх вдосконалення та широке впровадження для енергетики України є очевидною.

Під час виробництва молочних продуктів на молокозаводах утворюється велика кількість сироватки (90 % від об'єму молока). Молочна сироватка містить до 50 % сухих речовин молока, в т.ч. до 5 % лактози, жир, білок, амінокислоти, органічні кислоти. Відомі різні методи утилізації сироватки – ультрафільтрація, сушка, виробництво етилового спирту та інших продуктів. На підприємстві є цех сушіння знежиреної сироватки, але за технологією не всю сироватку можна сушити - це солена сироватка, яка скидається в каналізацію разом із стічною водою, що створює екологічну проблему. ХСК сироватки і стічних вод становить відповідно близько 30000 та 2000 мг/л [8]. Недостатнє промислове використання відходів призводить до великих втрат цінних речовин, зниження ефективності роботи очисних споруд на підприємстві. Тому для істотного зниження енергоємності і, відповідно, собівартості молочної продукції варто впроваджувати альтернативні більш ефективні технології енергопостачання, наприклад використання когенераційних технологій для власного комбінованого виробництва електроенергії і теплової енергії під час спалювання біогазу.

На спиртзаводах, які переробляють зерно, утворюється післяспиртова барда, яка містить практично всі компоненти вихідної сировини, окрім крохмалю. До того ж, барда збагачується залишковими спиртовими дріжджами, що збільшує її кормову цінність. За своїм хімічним складом свіжа зернова барда є досить поживним кормом, і раніше вона використовувалася на великих

відгодівельних комплексах. Проте останніми роками ці комплекси у багатьох регіонах ліквідовано, і значна кількість барди не використовується. Лише у Вінницькому регіоні функціонує 10 заводів по виготовленню спирту і виробляється біля 124 млн. дал. зернової та мелясної барди. [9]. Виробництво біогазу на спиртових заводах знижує витрати спиртових заводів на енергоносії, покращує екологічний стан водних ресурсів, знижує обсяг викидів парникових газів, посилює енергетичну незалежність регіону та країни в цілому.

Під час виробництва цукру утворюється меляса (5%) та цукровий жом. Кількість цукрового жому становить близько 80% від обсягу буряка, що переробляється. За останні роки спостерігається спад тваринництва, тому швидке окислення і проблеми з утилізацією різко знецінили жом. Його можна пресувати у пресах глибокого віджиму, сушити у барабанні сушарках, але це вимагає великих енерговитрат. Разом з тим, цукровий жом може бути використаний для біогазового комплексу, який далі можна використати для виробництва електроенергії, що закуповується державою за зеленим тарифом. З неабиякою користю можна також використовувати супутні продукти біогазової технології – теплову енергію та ферментований жом [10, 11].

Отже, під час функціонування цукрових заводів, спиртових заводів, м'ясокомбінатів, молокозаводів утворюється значна кількість токсичних відходів, які мають різний енергетичний потенціал. Часто ці відходи нелегально вивозяться, зливаються, розкидаються або закопуються в різних місцях – навколишніх полях, лісах, річках та озерах. Тому на таких підприємствах потрібно організувати безвідходні технології, зокрема з виробництвом біогазу та біометану. Також сировиною для отримання біогазу можуть бути такі органічні відходи: гній, фекальні осади, відходи рибних і забійних цехів, трава, відходи виробництва біодизелю – технічний гліцерин, відходи виробництва соків – гніт фруктовий, ягідний, виноградна вижимка, водорості, відходи виробництва крохмалю, патоки – мезга та сироп, відходи переробки картоплі, побутові відходи [12].

## 1.2 Визначальні параметри процесу біоконверсії

До визначальних параметрів процесу біоконверсії відносять: відсутність доступу кисню, температуру та кислотність середовища, співвідношення вуглецю і азоту в збродженій сировині [13, 14], тому для досягнення оптимального співвідношення C/N змішують різні відходи, отримуючи при цьому високий вихід біогазу. Наприклад, субстрат ВРХ : субстрат свиней : пташиний послід : субстрат ВРХ – 1:0,5:0,5 або 1:1:1, пташиний послід – 1:1, субстрат свиней : подрібнений бур'ян (5л + 5кг) та ін. [15]. Додавання косубстрату впливає на рН середовища і на співвідношення C/N.

Наприклад, в [16] показано, що під час проведення процесів коферментації коноплі та пташиного посліду у співвідношенні компонентів 85:15 можна підвищити вміст метану в біогазі до 70%, а вихід біогазу майже у 2 рази по відношенню до коноплі без додавання посліду.

В разі дотримання режимних параметрів процесу згідно [17] вихід біогазу для органічних відходів становитиме, м<sup>3</sup>/т: пташиний послід клітинний (65% вологість) – 150; силос кукурудзяний (65% вологість) – 220; солома – 330; зерно, борошно, хліб – 538; фруктовий та овочевий жом (80% вологість) – 108; пташиний послід підстилковий (50% вологість) – 200; буряковий жом (75% вологість) – 168; пивна дробина (75% вологість); меляса – 633; барда зернова (93% вологість) – 40; барда мелясна (90% вологість) – 50.

Мікроорганізми досить чутливі до перепаду температур, а тому активність бактерій майже припиняється, якщо температура знижується до +16,5°C. Метанове бродіння може протікати в наступних режимах: психрофільному 12...20°C; мезофільному 32...35°C; термотолерантному 39...42°C; термофільному 52...54°C [15]. В існуючих конструкціях біогазових установок (БГУ) підтримання відповідних температурних режимів супроводжується значною витратою енергії на власні потреби.



Для підтримання температурного режиму в більшості випадків у БГУ використовуються трубчасті теплообмінники, в яких теплоносієм є гаряча вода з температурою  $t < 60$  °С [13]. Нагрівальний пристрій має значну поверхню теплообміну, з двох причин: 1) потрібно дотримуватись низьких температурних напорів –  $1...3$ °С; 2) вільноконвективний теплообмін з боку зовнішньої стінки труби характеризується невисокою інтенсивністю [18, 19].

### **1.3 Методи визначення інтенсивності теплообміну в органічних відходах**

Для підвищення енергоефективності біогазових установок, зменшення їх металоємності та техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу потрібно більш точно визначати інтенсивність теплообміну в багатокомпонентних середовищах. Застосування відомих методів визначення інтенсивності теплообміну за критеріальними рівняннями не є доцільним, оскільки можливі різні комбінації сумішей органічних відходів для зброджування, а їх теплофізичні властивості змінюються в залежності від умов та часу зберігання перед завантаженням в БГУ. Рекомендації для визначення теплофізичних властивостей деяких органічних субстратів показані в [19]. Це обумовлює застосування оригінальних методів розрахунку інтенсивності теплообміну.

Авторами [19, 20]. виконано дослідження процесів теплообміну в одно-, дво- та трифазних середовищах в умовах, що відповідають умовам роботи систем термостабілізації БГУ. В результаті досліджень виявлено та проаналізовано вплив організації конвекції на тепловіддачу від стінки до багатокомпонентного багатофазного середовища. В роботах запропоновано експериментально-розрахунковий метод для прогнозування інтенсивності теплообміну в складних рідинних середовищах з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості.

## 1.4 Висновки до розділу

Під час функціонування цукрових заводів, спиртових заводів, м'ясокомбінатів, молокозаводів утворюється значна кількість токсичних відходів. Часто ці відходи нелегально вивозяться, зливаються, розкидаються або закопуються в різних місцях чим відповідно спричиняють непоправну шкоду на довкілля. Такі органічні відходи мають різний енергетичний потенціал і можуть бути використання для виробництва біогазу та біометану.

Є велика багатоманітність органічних речовин та їх сумішей, які можуть використовуватися для виробництва біогазу. Один із визначальних параметрів процесу біоконверсії – температура. Для підвищення виходу товарного біогазу, зменшення металоємності біогазових установок та техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу потрібно більш точно визначати інтенсивність теплообміну в багатокомпонентних органічних середовищах. Застосування критеріальних рівнянь не є доцільним, оскільки можливі різні комбінації сумішей органічних відходів для зброджування, а їх теплофізичні властивості змінюються залежно від умов та часу зберігання перед завантаженням в БГУ. Експериментальні дослідження інтенсивності теплообміну в органічних сумішах систем біоконверсії обмежені.

Виконаний аналітичний огляд джерел інформації обумовлює мету і завдання роботи. Мета роботи – підвищити енергоефективність та зменшити техногенне навантаження на довкілля систем анаеробного очищення відходів спиртового виробництва шляхом дослідження процесів теплообміну в елементах системи з використанням експериментально-розрахункового методу.

Завдання роботи:

- виконати розрахунки теплової схеми промислової котельні на природному газі та біогазі, визначити економічні показники;
- виконати експериментальні дослідження інтенсивності теплообміну у відходах спиртового заводу – післяспиртовій барді;

- застосувати експериментально-розрахунковий метод для конструктивного розрахунку теплообмінного обладнання біогазової установки;
- визначити економічну ефективність впровадження біогазової установки на спиртовому заводі;
- розробити заходи з охорони праці та запобігання вибуху газоповітряної суміші.

## 2 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ПАРОВОЇ КОТЕЛЬНІ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА

### 2.1 Загальна характеристика парової котельні

Парова котельня Довжоцького спиртового заводу призначена для виробництва насиченої пари тиском 0,75 МПа на вході в парову магістраль. Котельня обладнана 3 котлами ДКВр-10-13, які працюють на газовому паливі – 2 котли основні, 1 – резервний. Насичена пара з котлів подається до парової гребінки. Облік пари здійснюється по агрегатних вузлах обліку пари, що входять в комплект поставки котлів.

Подача пари, а також припинення її подачі, відбувається засувками з ручним приводом, що встановлені на випускному патрубку парогенераторів, засувки входять в комплект їх поставки. Випуск повітря з котла при заповненні його водою, і також при розігріві виконується через патрубок, встановлений у верхній частині парового котла. При спрацьовуванні запобіжних клапанів, з них пара виводиться за межі котельні відповідним ізольованим паропроводами безпеки. Утворений при цьому конденсат в трубах відводиться в мережі виробничої каналізації.

Відбір пари відбувається в паровій гребінці на деаерацію і виробничі потреби. Високотемпературний конденсат, утворення якого можливо у даному вузлі, через конденсатовідвідник під власним вагою подається по окремих лініях в баки запасу конденсату, і пізніше в деаераторний бак перекачується конденсатними насосами.

Контроль параметрів пари виконується встановленими термометрами і манометрами. Підігрів води в котлі, виробництво пари відбувається за допомогою газового пальника ГМГ-10.

Живильними насосами з установки повної деаерації подається підготовлена вода у вбудований в котел економайзер. Використовуючи теплоту відхідних газів, в економайзері вода максимально догрівається, і подається в

котел на приготування пари. Деаератор обладнано запобіжним клапаном системою зливу води і всією необхідною запірною арматурою. Наявність економайзера підвищує ККД котельні в цілому і зменшує споживання палива.

Передбачається регулювання живильних насосів роботи за допомогою частотного перетворювача для коректної роботи.

## 2.2 Розрахунки теплової схеми котельні

Існуюча котельня спиртового заводу працює на природному газі, який має наступні переваги:

- вже створена інфраструктура
- повна автоматизація котельного обладнання;
- відсутність золи;
- висока теплота згорання палива;
- відсутність гострої необхідності зберігання палива.

Водночас у цього виду палива є суттєві недоліки:

- природний газ – це викопне і невідновлюване паливо.
- залежність ціни на природний газ від політичної ситуації;
- проблеми з підключенням до газотранспортної мережі;
- під час спалювання природного газу утворюється профіцит вуглекислого газу.

Вхідні дані.

Тиск та температура пари на промислові споживачі:  $P_{сп} = 0,75$  МПа,  $t_{сп} = 175$  °С.

Тиск та температура пари на виході з котлів:  $P_0 = 0,75$  МПа,  $t_0 = 175$  °С.

Витрата пари на:

- промислові споживачі  $D_{сп} = 5$  кг/с;
- біогазову установку  $D_{бгу} = 0,65$  кг/с;

Частка повернення конденсату:

- від промислових споживачів  $G_{зк} = 0,95 \cdot D_{сп}$ ;



–від біогазової установки  $G_{\text{бгу}} = 0,95 D_{\text{бгу}}$ .

Температура додаткової води  $t_{\text{дв}} = 10^\circ\text{C}$ .

Температура зворотного конденсату  $t_{\text{к1}} = 90^\circ\text{C}$ .

Температура зворотного конденсату  $t_{\text{кбгу}} = 90^\circ\text{C}$ .

Температура живильної води  $t_{\text{жв}} = 104^\circ\text{C}$ .

Розрахунки теплової схеми котельні та підбір обладнання виконаємо за методиками, які показані в [21–23].

Ентальпії потоків пари, конденсату і води з таблиць теплофізичних властивостей води і водяної пари [24]:

$$\begin{aligned} h_0 = h_{\text{сп}} = h_{\text{д}} &= 2766 \text{ кДж/кг}; h'_{\text{зл}} = 167,6 \text{ кДж/кг}; h'_{\text{к1}} = 377 \text{ кДж/кг}; \\ h''_{\text{рбп}} &= 2693 \text{ кДж/кг}; h'_{\text{жв}} = 436 \text{ кДж/кг}; h'_{\text{дв}} = 42 \text{ кДж/кг}; h'_{\text{кв}} = 709 \text{ кДж/кг}; \\ h'_{\text{рбп}} &= 467 \text{ кДж/кг}. \end{aligned}$$

Теплова потужність промислових споживачів та БГУ

$$Q^{\text{ПГ}}_{\text{сп}} = D_{\text{сп}} (h_{\text{сп}} - h'_{\text{к}}) + (1 - \alpha_{\text{к}}) (h'_{\text{к}} - h'_{\text{дв}}), \quad (2.1)$$

$$Q^{\text{БГ}}_{\text{сп}} = (D_{\text{сп}} + D_{\text{бгу}}) ((h_{\text{сп}} - h'_{\text{к}}) + (1 - \alpha_{\text{к}}) (h'_{\text{к}} - h'_{\text{дв}})).$$

Витрата конденсату, який поступає в деаератор

$$G_{\text{к}}^{\text{сп}} = D_{\text{сп}} \cdot \alpha_{\text{к}}^{\text{сп}}, \quad (2.2)$$

$$G_{\text{к}}^{\text{бгсп}} = (D_{\text{сп}} + D_{\text{бгу}}) \cdot \alpha_{\text{к}}^{\text{сп}}.$$

Паровидатність котельні на природному газі та біогазі відповідно

$$D_0 = D_{\text{сп}} + D_{\text{д}}, \quad (2.3)$$

$$D'_0 = D_{\text{сп}} + D_{\text{д}} + D_{\text{бгу}}.$$

Витрата живильної води

$$G_{\text{жв}} = D_0 + \alpha_{\text{вп}} \cdot D_0 + p \cdot D_0. \quad (2.4)$$

Кількість продувальної води

$$G_{\text{пр}} = p \cdot D_0. \quad (2.5)$$

Витрата насиченої пари вторинного закипання з розширника безперервної продувки (РБП)

$$D_{\text{рбп}} = G_{\text{пр}} \cdot (h'_{\text{кв}} - h'_{\text{жв}}) / (h''_{\text{рбп}} - h'_{\text{рбп}}), \quad (2.6)$$

Витрата води з РБП

$$G_{\text{рбп}} = G_{\text{пр}} - D_{\text{рбп}}. \quad (2.7)$$

Ентальпія додаткової води після підігріву в охолоднику продувальної води (ОПВ)

$$h'_{\text{дв2}} = h'_{\text{дв}} + G_{\text{рбп}} \cdot (h'_{\text{рбп}} - h'_{\text{зл}}) / G_{\text{дв}}. \quad (2.8)$$

Матеріальний баланс деаератора

$$G_{\text{жв}}^{\text{ПГ}} = D_{\text{д}} + G_{\text{к}}^{\text{сп}} + G_{\text{дв}} + D_{\text{рбп}}, \quad (2.9)$$

$$G_{\text{жв}}^{\text{ПГ}} = D_{\text{д}} + G_{\text{к}}^{\text{сп}} + G_{\text{к}}^{\text{бгу}} + G_{\text{дв}} + D_{\text{рбп}}.$$

Тепловий баланс деаератора

$$G_{\text{жв}}^{\text{ПГ}} h'_{\text{жв}} = D_{\text{д}} h'_{\text{д}} + G_{\text{к}}^{\text{сп}} h'_{\text{к}} + G_{\text{дв}} h'_{\text{дв2}} + D_{\text{рбп}} h'_{\text{рбп}}, \quad (2.10)$$

$$G_{\text{жв}}^{\text{ПГ}} h'_{\text{жв}} = D_{\text{д}} h_{\text{д}} + (G_{\text{к}}^{\text{сп}} + G_{\text{к}}^{\text{бгу}}) h_{\text{к}} + G_{\text{дв}} h'_{\text{дв2}} + D_{\text{рбп}} h'_{\text{рбп}}.$$

Теплова потужність ОПВ

$$Q_{\text{пшв}} = G_{\text{рбп}} \cdot (h'_{\text{рбп}} - h'_{\text{зл}}). \quad (2.11)$$

Теплова потужність котельні

$$Q_{\text{к}} = (D_{\text{о}} + D_{\text{о}} \cdot \alpha_{\text{вп}}) \cdot (h_{\text{о}} - h'_{\text{жв}}) + D_{\text{о}} \cdot p \cdot (h'_{\text{кв}} - h'_{\text{жв}}) \cdot 10^{-3}, \quad (2.12)$$

Витрата умовного та робочого палива

$$B_{\text{у}} = \frac{Q_{\text{к}}}{Q_{\text{ну}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \quad (2.13)$$

$$B_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{к}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta}. \quad (2.14)$$

ККД котельні

$$\eta_{\text{кот}}^{\text{бр}} = \frac{Q_{\text{сп}}}{B_{\text{у}} \cdot Q_{\text{ну}}^{\text{р}}}. \quad (2.15)$$

Результати розрахунків теплової схеми котельні в разі роботи на природному газі та біогазі показані в таблиці 2.1.

Електрична потужність власних потреб котельні розраховується, як сума потужностей живильного насоса, насоса додаткової води, насоса сирі води, конденсатного насоса, вентиляторів і димососів котлів. Загальна електрична потужність власних потреб парової котельні становить

$$\Sigma N_{\text{ел.вп}} = N_{\text{жн}} + N_{\text{дод.в}} + N_{\text{св}} + N_{\text{конд}} + N_{\text{вент}} + N_{\text{дим}} = 47 \text{ (кВт)},$$

$$\Sigma N_{\text{ел.вп}} = 17,7 + 0,47 + 0,65 + 3,95 + 23,9 + 13,2 = 47 \text{ (кВт)}.$$

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків теплової схеми парової котельні на природному газі та біогазі

Параметр	Одиниці	Природний газ	Біогаз
Теплова потужність технологічних споживача	МВт	12,03	13,6
Витрата конденсату, що надходить в деаератор	кг/с	4,75	5,37
Паровидатність котельні	кг/с	5,155	5,828
Витрата пари на деаератор	кг/с	0,155	0,178
Витрата живильної води	кг/с	5,39	6,09
Витрата додаткової води	кг/с	0,459	0,5115
Витрата води на продувку	кг/с	0,162	0,175
Витрата насиченої пари вторинного закипання з РБП	кг/с	0,0175	0,0178
Витрата води з РБП	кг/с	0,144	0,155
Ентальпія додаткової води на вході в деаератор	кДж/кг	136	143,7
Теплова потужність охолодника продувальної води	кВт	43,1	46,7
Теплова потужність котельні	МВт	12,23	13,8
Витрата умовного палива	кг/с	0,435	0,519
Витрата робочого палива	м <sup>3</sup> /с	0,355	0,72
ККД котельні	-	0,9	0,89

З таблиці видно, що витрата робочого палива – природного газу становить 0,355 м<sup>3</sup>/с, а біогазу 0,72 м<sup>3</sup>/с, що пояснюється меншою теплотою згорання біогазу.

### **2.3 Техніко–економічні показники роботи котельні на різних видах палива**

Однією з перспективних складових відновлювальної енергетики України є біоенергетика. Вона заснована на використанні енергії біомаси – вуглецевмістких органічних речовин рослинного та тваринного походження. Біомаса, на відміну від інших відновлюваних джерел енергії, є універсальним джерелом енергії, яке може використовуватися як для виробництва електричної та теплової енергії, так і для отримання біопалива на транспортні потреби

[25]. У деревної тріски, як палива, є перевага в низькій ціні і великій кількості пропозицій. Це вуглецево-нейтральне і відновлюване паливо. Під час спалювання тріска має низьку зольність. До недоліків можна віднести наступні характеристики:

- низька вологостійкість;
- низька насипна щільність;
- необхідність зберігання на території котельні;
- менше можливостей для автоматизації подачі палива;
- потрібно встановлювати систему подачі палива.

За рахунок будівництва котельень, що працюють на твердому біопаливі, відбувається заміна в споживанні викопних видів палива і електроенергії, знаходять рішення практичні проблеми охорони довкілля, пов'язані з розміщенням і утилізацією відходів деревини, реалізуються заходи, щодо захисту навколишнього середовища за рахунок скорочення викидів парникових газів і пилу в атмосферу.

Тому для заміщення природного газу, як джерела енергії, пропонуються варіанти з переведенням котлів на спалювання деревної тріски і паливних гранул з деревини або виробництво біогазу з відходів спиртового виробництва з подальшим спалюванням його в котлах. Для визначення витрати робочого палива на цих видах палива задаємося, що нижча теплота згорання паливних гранул  $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 17,7$  МДж/кг, паливної тріски –  $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 12$  МДж/кг, а біогазу  $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 20$  МДж/кг. ККД котлів на твердій біомасі – 0,88.

Економічні показники роботи котельні на різних видах палива визначимо за методиками [21, 26, 27]. Приймаємо, що парова котельня працюватиме 310 діб. Показники вибраних варіантів порівнюватимуться із показниками парової котельні на природному газі

Для визначення витрат на амортизацію і ремонт задаємо, що величина балансової вартості існуючої парової котельні потужністю 6 МВт становить 10 млн. грн, а котельні на твердому паливі – 13 млн.грн, котельні на біогазі



враховуючи витрати на будівництво біогазової установки – 15 млн.грн. Для точних розрахунків капітальних вкладень на виконання будівельно-монтажних робіт складається локальний кошторис.

Витрата палива за рік

$$V_{\text{річ}} = V_{\text{роб}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{\text{річ}}, \quad (2.16)$$

$$E_{\text{річ}} = 0,39 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 310 \cdot 10^{-3} = 10446 \text{ (тис.м}^3\text{/рік)}.$$

Витрата коштів на природний газ

$$S_{\text{п.г}} = V_{\text{річ}} \cdot \Pi_{\text{п.г.}} \cdot k_{\text{вп}}, \quad (2.17)$$

де  $\Pi_{\text{п.г.}}$  – ціна природного газу, грн/м<sup>3</sup>;

$k_{\text{вп}}$  – коефіцієнт, яким враховують витрату палива на власні потреби котельні.

Вартість газу для населення, комунальних підприємств, промислових підприємств, бюджетних установ і організацій змінюється від 7960 до 16650 за 1000 м<sup>3</sup> без урахування доставки, а для промислових підприємств – 37000...65000 грн за 1000 м<sup>3</sup> [28, 29]. Для розрахунків враховувалася орієнтовна ціна природного газу 41904 грн за тис. м<sup>3</sup>.

Тоді

$$S_{\text{пг}} = 10446 \cdot 41904 \cdot 10^{-6} = 440,36 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Річне споживання електричної енергії

$$E_{\text{річ}} = N_{\text{вп}} \cdot 24 \cdot \tau_{\text{оп}}, \quad (2.18)$$

$$E_{\text{річ}} = 47 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 310 \cdot 10^{-3} = 1258848 \text{ (кВт·год/рік)}.$$

Витрати коштів на електричну енергію

$$C_{\text{ЕЕ}} = E_{\text{річ}} \cdot \Pi_{\text{ЕЕ}}, \quad (2.19)$$

де  $\Pi_{\text{ЕЕ}}$  – вартість електроенергії  $\Pi_{\text{ЕЕ}} = 6,06$  грн/(кВт · год) [30];

$$C_{EE} = 1258848 \cdot 6,06 \cdot 10^{-6} = 7,63 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Річне споживання води

$$G_B = \frac{G_{дв}}{\rho_{дв}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{оп}, \quad (2.20)$$

$$C_{EE} = \frac{0,459}{999} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 310 = 12306 \text{ (м}^3\text{/рік)}.$$

Річні витрати на воду

$$C_B = G_{B,рiч} \cdot C_B, \quad (2.21)$$

де  $C_B$  – вартість води, яка становить 27,9 грн./м<sup>3</sup> [31];

$$C_{EE} = 12306 \cdot 27,9 \cdot 10^{-6} = 0,343 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Капіталовкладення

$$K = 10 \text{ (млн.грн)}. \quad (2.22)$$

Витрата на амортизацію

$$C_{AM} = K \cdot S_A, \quad (2.23)$$

$$C_{AM} = 10 \cdot 0,075 = 0,75 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Витрати на поточний ремонт

$$C_{IP} = 0,2 \cdot C_{AM}, \quad (2.24)$$

$$C_{IP} = 0,2 \cdot 0,75 = 0,15 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Витрати на заробітну плату

$$C_{зп} = O_p \cdot \text{ЄСВ} \cdot n \cdot \tau_p, \quad (2.25)$$

де  $O_p$  – середній оклад працівника, грн.;

$\tau_p$  – кількість місяців роботи котельні за рік;

ЄСВ – єдиний соціальний внесок [26];

$n$  – кількість працівників на котельні.

$$C_{зп} = 12500 \cdot 1,385 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 1,30 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Інші витрати

$$C_{ін} = 0,06 \cdot (C_{пал} + C_{ее} + C_{в} + C_{ам} + C_{іпр} + C_{зп}), \quad (2.26)$$

$$C_{ін} = 0,06 \cdot (440,36 + 7,63 + 0,343 + 0,75 + 0,150 + 2,60) = 27,0 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Загальні річні експлуатаційні витрати

$$C_{річ} = C_{пал} + C_{ее} + C_{в} + C_{ам} + C_{іпр} + C_{зп} + C_{ін}, \quad (2.27)$$

$$C_{ін} = 440,36 + 2,12 + 0,394 + 0,75 + 0,150 + 1,30 + 27,0 = 472,07 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Річний відпуск теплоти

$$Q_{річ} = Q_k \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{оп}, \quad (2.28)$$

$$Q_{річ} = 12,2 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 310 = 326764800 \text{ (МДж/рік)}.$$

Собівартість виробництва теплової енергії паровою котельнею

$$CB = \frac{C_{річ}}{Q_{річ}}, \quad (2.29)$$

$$CB = \frac{472,07 \cdot 10^6}{326764,8} = 1444,7 \text{ (грн/ГДж)}.$$

Витрата паливних гранул

$$V_p = \frac{Q_{пу}^н}{Q_p^н} \cdot V_y, \quad (2.30)$$

$$V_p = \frac{29,3}{17,7} \cdot 0,45 = 0,745 \text{ (кг/с)}.$$

Ціна на паливні гранули та тріску коливається від 5 до 14,5 грн/кг і 700...750 грн/м<sup>3</sup> [32 – 34]. Для розрахунків експлуатаційних витрат на паливо вибрані середні ціни. Вхідні дані і результати показані в таблиці 2.2.

Річне споживання електричної енергії в разі роботи котельні на паливних гранулах

$$E_{\text{рлч}} = N_{\text{вп}} \cdot 24 \cdot \tau_{\text{оп}}, \quad (2.31)$$

$$E_{\text{рлч}} = 53 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 310 \cdot 10^{-3} = 1419552 \text{ (кВт}\cdot\text{год/рік)}.$$

Аналогічно прораховуємо техніко-економічні показники котельні в роботі на біогазі і заносимо результати в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Техніко-економічні показники котельні на різних видах палива

Паливо	Природний газ	Паливні гранули	Тріска	Біогаз
Ціна природного газу, грн/м <sup>3</sup>	41	–	–	
Ціна паливних гранул, грн/кг	–	8,1	–	
Ціна паливної тріски, грн/кг	–	–	3,15	
Собівартість виробництва біогазу, грн/м <sup>3</sup>				5
Ціна на електроенергію, грн/кВт год	6,06	6,06	6,06	6,06
Витрата палива, тис. м <sup>3</sup> / рік, т/рік	10446	19951,8	24800	17410
Витрати коштів на паливо, млн.грн./рік	440,36	191,54	112,27	87,05
Витрати коштів на електроенергію, млн.грн./рік	7,63	8,61	8,61	7,63
Витрати коштів на воду, млн.грн./рік	0,214	0,214	0,214	0,214
Капіталовкладення, млн.грн	10	13	13	15,5
Витрати на амортизацію, млн.грн./рік	0,75	0,975	0,975	1,125
Витрати на поточний ремонт, млн.грн./рік	0,15	0,195	0,195	0,225
Витрати на заробітну плату, млн.грн./рік	1,3	1,73	1,73	1,3
Інші витрати, млн.грн./рік	21,10	12,28	7,52	5,85
Загальні річні експлуатаційні витрати, млн.грн./рік	478,81	216,93	132,91	103,4
Річний відпуск теплоти, ГДж/рік	318279,6			
Собівартість теплової енергії, грн/ГДж	1498,41	680,6	412	324,85

З таблиці 2.2 видно, що найменша собівартість виробництва 1 ГДж теплової енергії в разі спалювання біогазу. Також зважаючи на екологічні ефекти від впровадження біогазових технологій приймаємо до розробки роботу котельні на біогазі. Для цього виконаємо підбір основного та допоміжного обладнання.

## 2.4 Підбір основного обладнання біогазової установки

Підбір реактора біогазової установки.

Виконаємо підбір реактора з врахуванням, що проведення процесів коферментації післяспиртової барди (ПСБ) та пташиного посліду у співвідношенні компонентів 85:15 можна підвищити вміст метану в біогазі до 70%, а вихід біогазу майже у 2 рази по відношенню до коноплі без додавання посліду.

Відходи певний час перебувають в біореакторі, де відбувається їхнє перемішування і утворення біогазу. Процес зброджування може проходити в одному реакторі, але при цьому може бути низький вихід біогазу, тому розробники технологій і обладнання рекомендують установки роздільного багатоступеневого зброджування.

Вхідні дані:

- добова витрата післяспиртової барди – 500 м<sup>3</sup>/добу;
- густина барди – 1050 кг/м<sup>3</sup>;
- вміст сухої речовини в барді – 6%;
- зольність барди – 0,3% (5% від сухої речовини);
- необхідна вологість зброджування – 95%;
- частка завантаження – 10%;
- вологість пташиного посліду – 74%;
- вміст сухих речовин – 26%;
- зольність пташиного посліду – 6,5%;
- вміст сухих органічних речовин – 75% (від сухої речовини).

Об'єм біореактора

$$V_p = \frac{V_{\text{заг}} \cdot 100}{D}, \quad (2.32)$$

де  $V_{\text{заг}}$  – загальний обсяг сировини, м<sup>3</sup>/доба;

$D$  – добова доза завантаження сировини, 10%.



Загальний об'єм сировини визначається виходячи з необхідної вологості для збродження. Прийнято вологість 95%.

Розраховується загальна маса сировини після розбавлення та необхідна кількість води. За добу утворюється  $M_6 = 525000$  кг ПСБ, з яких 31500 кг СР.

Маса розбавленої до вологості 95% післяспиртової барди.

$$m_{95\% \text{ ПСБ}} = \frac{m_{\text{срПСБ}} \cdot 100}{5}, \quad (2.33)$$

$$m_{95\% \text{ ПСБ}} = \frac{31500 \cdot 100}{5} = 630000 \text{ (кг/добу)}.$$

Для збродження використовується пташиний послід в якості косубстрату у співвідношенні ПСБ:послід 1:0,18 за сухою речовиною.

Кількість сухої речовини необхідного косубстрату:

$$m_{\text{сркосуб}} = m_{\text{срПСБ}} \cdot 0,18, \quad (2.34)$$

$$m_{\text{сркосуб}} = 31500 \cdot 0,18 = 5670 \text{ (кг/добу)}.$$

При вологості 74% необхідна маса косубстрату

$$m_{\text{косуб}} = \frac{m_{\text{сркосуб}} \cdot 100}{26}, \quad (2.35)$$

$$m_{\text{косуб}} = \frac{5670 \cdot 100}{26} = 21808 \text{ (кг/добу)}.$$

Маса розбавленого до вологості 95% косубстрату

$$m_{95\% \text{ косуб}} = \frac{m_{\text{сркосуб}} \cdot 100}{5}, \quad (2.36)$$

$$m_{95\% \text{ косуб}} = \frac{5670 \cdot 100}{5} = 113400 \text{ (кг)}.$$

Маса води, яку необхідно додати для забезпечення вологості ПСБ 95%

$$m_{\text{водПСБ}} = m_{95\% \text{ПСБ}} - m_{\text{ПСБ}}, \quad (2.37)$$

$$m_{\text{водПСБ}} = 630000 - 525000 = 105000 \text{ (кг/добу)}.$$

Маса води, яку необхідно додати для забезпечення вологості косубстрату 95%

$$m_{\text{водкосуб}} = m_{95\% \text{косуб}} - m_{\text{косуб}}, \quad (2.38)$$

$$m_{\text{водкосуб}} = 113400 - 21808 = 915292 \text{ (кг)}.$$

Об'єм води для розбавлення ПСБ

$$V_{\text{водПСБ}} = \frac{m_{\text{водПСБ}}}{\rho_{\text{вод}}}, \quad (2.39)$$

$$V_{\text{водПСБ}} = \frac{105000}{1000} = 105 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Об'єм води для розбавлення косубстату

$$V_{\text{водкосуб}} = \frac{m_{\text{водкосуб}}}{\rho_{\text{вод}}}, \quad (2.40)$$

$$V_{\text{водкосуб}} = \frac{91592}{1000} = 91,592 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Визначимо загальний об'єм сировини для зброджування.

Густина пташиного посліду

$$\rho_{95\% \text{ косуб}} = \frac{1000 + 2,4 \cdot (100 - W_{95\% \text{ косуб}})}{1000}, \quad (2.41)$$

$$\rho_{95\% \text{ косуб}} = \frac{1000 + 2,4 \cdot (100 - 5)}{1000} = 1,012 \text{ (т/м}^3\text{)}.$$

Густина ПСБ вологості 95% становить  $\rho_{95\% \text{ ПСБ}} = 1041 \text{ кг/м}^3$ .

Об'єм косубстату з вологістю 95%

$$V_{95\% \text{ косуб}} = \frac{m_{95\% \text{ косуб}}}{\rho_{95\% \text{ косуб}}}, \quad (2.42)$$

$$V_{95\% \text{ косуб}} = \frac{113400}{1012} = 112,06 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Об'єм ПСБ з вологістю 95%

$$V_{95\% \text{ ПСБ}} = \frac{m_{95\% \text{ ПСБ}}}{\rho_{95\% \text{ ПСБ}}}, \quad (2.43)$$

$$V_{95\% \text{ ПСБ}} = \frac{630000}{1041} = 622,53 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Загальний об'єм сировини для виробництва біогазу

$$V_{\text{заг}} = V_{95\% \text{ ПСБ}} + V_{95\% \text{ косуб}}, \quad (2.44)$$

$$V_{\text{заг}} = 622,53 + 112,06 = 734,59 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Об'єм реактора-метантенка

$$V_p = \frac{734,59 \cdot 100}{10} = 7345,9 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Для забезпечення роботи системи вибираємо вертикальну циліндричну ємність об'ємом  $V_6 = 8000 \text{ м}^3$ , висота  $H_6 = 21 \text{ м}$ , діаметр  $D_6 = 22 \text{ м}$ .

Підбір газгольдера.

Вихід біогазу

$$V_6 = M_{\text{косуб}} \cdot b_{\text{биог}}, \quad (2.45)$$

де  $b_{\text{биог}} = 115 \text{ м}^3/\text{т}$  – питомий вихід біогазу з 1 т відходів [11, 17].

Добова маса косубстрату

$$M_{\text{косуб}} = M_6 + M_{\text{посл}}, \quad (2.46)$$

$$M = (525000 + 21808) \cdot 10^{-3} = 546,808 \text{ (т/добу)}.$$

Тоді вихід біогазу

$$V_6 = 546,808 \cdot 115 = 62882,92 \text{ (м}^3 \text{ / добу)} = 0,728 \text{ (м}^3 \text{ / с)}.$$

Виберемо газгольдер середнього тиску (8-10 кгс / см<sup>2</sup>) у формі сфери. Тиск зберігання газу до 0,7 МПа. Підбираємо 3 сфери з максимальною ємністю 10000 м<sup>3</sup> кожна для двотижневого запасу.

Підбір пальників для спалювання біогазу.

Для спалювання біогазу вибираємо два пальники МДП-Г2-1200 з максимальною потужністю до 12,5 МВт. Для подачі повітря в топку котла вибираємо радіальний вентилятор ВД 167-37 №6.

Пальник є вертикальним апаратом, який монтується на двері котла. Повітря для роботи пальника поступає з приміщення котельні біля самого пальника на рівні з ним. Подача димососа становить 8300 м<sup>3</sup>/год [35].

## 2.5 Висновки до розділу

Виконані розрахунки теплової схеми парової котельні спиртового заводу. Визначені витрати пари, конденсатів, робочого палива та умовного палива. За результатами розрахунків техніко-економічних показників роботи котельні визначено, що собівартість виробництва теплової енергії котельнею на природному газі при закупівельній ціні 41,9 грн./м<sup>3</sup> становить 1498,4 грн/ГДж.

В розділі визначені техніко-економічні показники парової котельні спиртзаводу на різних видах палива. Встановлено, що собівартість теплової енергії при роботі на пелетах і трісці становить 680 грн./ГДж і 412 грн./ГДж відповідно, а на біогазі 324,85 грн./ГДж при собівартості виробництва біогазу 5 грн/м<sup>3</sup>.

Підібрано основне обладнання біогазової установки – біореактор, газгольдер, пальники для спалювання біогазу.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ТЕПЛОВІДАЧІ ДО ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ СПИРТОВОГО ВИРОБНИЦТВА

#### 3.1 Експериментальна установка

Експериментальні дослідження інтенсивності теплообміну виконані на лабораторній установці [19, 20], яка показана на рис. 3.1 (а, б). Дослідна установка складається з штативу 1, кришки 2, зовнішньої посудини циліндричної форми 4 (рис. 3.1, а). Циліндрична посудина досліджуваної суміші 5 розміщена коаксіально в посудині 4 таким чином, щоб між зовнішньою стінкою посудини 5 і внутрішньою стінкою посудини 4 утворився кільцевий зазор. В порожнині посудини 5 розміщений перемішувальний пристрій 15, який закріплений кронштейном 6 і приводиться в дію мотор-редуктором 10. Мотор-редуктор 10 з'єднаний з перемішувальним пристроєм муфтою 11. Термопари 13 закріплені на кронштейні 7. На рис. 3.1, б позначено: 5, 6 – пристрій збирання і попередньої обробки одиничних аналогових сигналів, що надходять від датчиків температури гарячого теплоносія 5 і органічної суміші рідини 6; 7 – пристрій фіксування показів WEB-камери, фотокамера; 8 – виведення результатів на електронну обчислювальну машину.

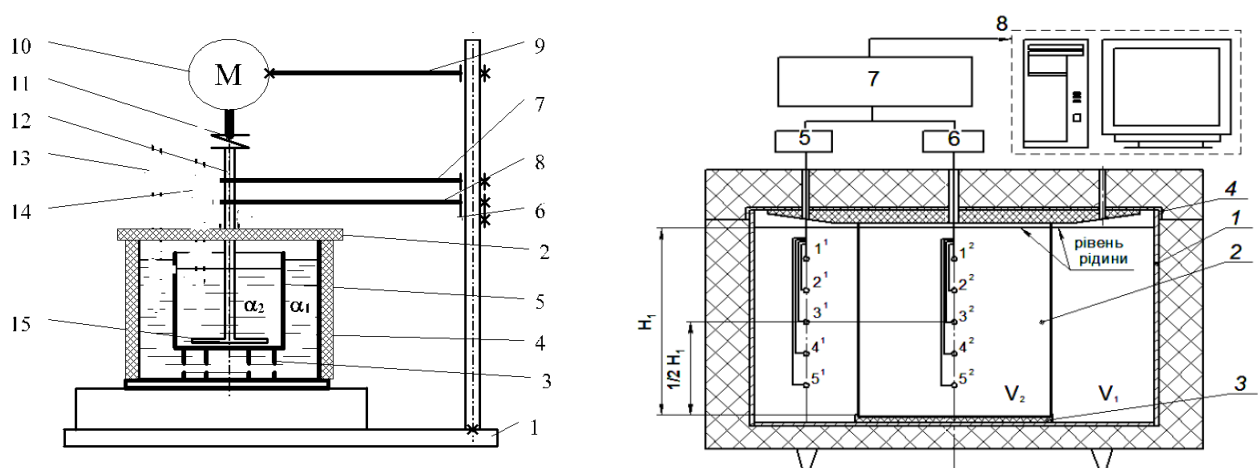


Рисунок 3.1 – Експериментальна установка

Термопари розміщені таким чином, щоб вимірювальна частина знаходилась в середній частині посудин. Діаметр та висота зовнішньої посудини дорівнює  $D = 200$  мм,  $H = 160$  мм, а внутрішньої посудини –  $d = 98$  мм,  $h = 120$  мм, товщина стінки внутрішньої посудини –  $\delta_{ст} = 1$  мм. Геометричні розміри посудин установки підібрані таким чином, щоб забезпечити режим теплообміну між досліджуваною сумішшю і вертикальною циліндричною стінкою за умови вільної конвекції. За допомогою перемішувального пристрою 15 здійснювався режим теплообміну за умови вимушеної конвекції. Перемішувальний пристрій 15 закріплено так, щоб під час проведення експериментів за умов вільної конвекції, була можливість його вилучення.

### **3.2 Методика проведення дослідів. Результати експериментів**

Дослідження інтенсивності теплообміну до барди за умови вільної конвекції біля вертикальної стінки здійснювалось за наступною методикою. У внутрішню порожнину посудини 5 заливається післяспиртова барда, що нагрівається (холодний теплоносій), а в кільцевий зазор заливається гарячий теплоносій (вода). Вимірюється температура води та післяспиртової барди, що нагрівається через деякі проміжки часу. В автоматичному режимі на ЕОМ фіксуються температури води та суміші, а також час. Після досягнення різниці температур між теплоносієм і бардою в  $1 \dots 2^{\circ}\text{C}$  дослід закінчували. Схематично зміна температур теплоносіїв за часом показана на рис. 3.2. Дослідження закономірностей теплообміну в разі вимушеної конвекції здійснювалось аналогічно, але з тією відмінністю, що в проміжках часу між вимірюванням температур відбувалося перемішування досліджуваної суміші, частота обертання вала мішалки дорівнювала  $n = 32$  об/хв.

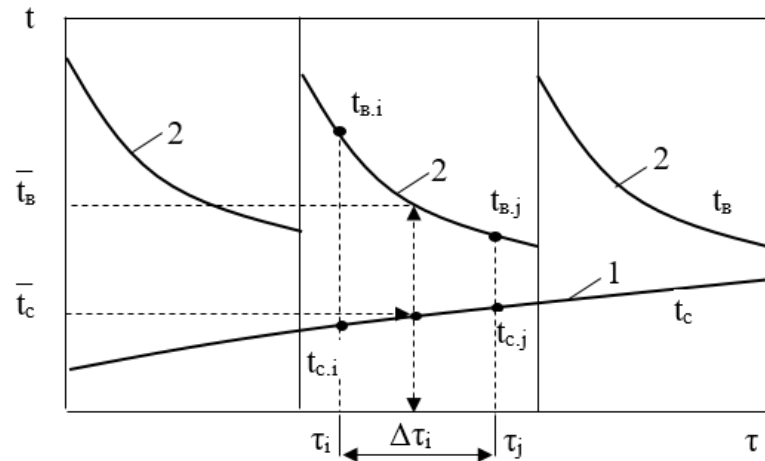


Рисунок 3.2 – Зміна температур за часом:  
1 – післяспиртова барда; 2 – вода

Температурний напір

$$\Delta t_{\text{екс}} = t_2' - t_2'' \quad (3.1)$$

де  $t_2'$  температура «гарячого» теплоносія,  $t_2''$  – «температура» холодного теплоносія. Діапазон температур «гарячого» теплоносія в досліді  $t_2' = 72 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$ , холодного –  $t_2'' = 20 \dots 40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Питомий тепловий потік

$$\bar{q}_{\text{експ}} = \frac{m_B \cdot C_{\text{рв}} \cdot [t'_{2(\tau_2)} - t'_{2(\tau_1)}]}{F(\tau_2 - \tau_1)} \quad (3.2)$$

де  $m_B$  – маса води в циліндричному об'ємі, кг;

$C_{\text{рв}}$  – питома масова теплоємність для середньої температури, кДж/(кг·К);

$t'_{2(\tau_1)}$ ,  $t'_{2(\tau_2)}$  – температури води у початковий та кінцевий момент часу,  $^\circ\text{C}$ ,

у періоди часу  $\tau_1$  і  $\tau_2$ ;

$F$  – площа поверхні теплообміну,  $\text{м}^2$ .

Експериментальний коефіцієнт теплопередачі, який визначається як відношення питомого теплового потоку  $\bar{q}_{\text{експ}}$  до температурного напору  $\Delta t_{\text{експ}}$ .

$$k_{\text{експ}} = \bar{q}_{\text{експ}} / \Delta t_{\text{експ}} \quad (3.3)$$



Коефіцієнт тепловіддачі від води до стінки визначається за відомим критеріальним рівнянням для великого об'єму за умов стаціонарного режиму [24].

$$\alpha_{1Nu} = 0,76 \cdot Ra^{0,25} \left( \frac{Pr_p}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \cdot \frac{\lambda_p}{H}. \quad (3.4)$$

Визначимо коефіцієнти тепловіддачі до субстратів із співвідношення

$$\alpha_2 = \left( \frac{1}{k_{експ}} - \frac{1}{\alpha_{1Nu}} \right)^{-1}. \quad (3.5)$$

Результати обробки експериментів показані на рис. 3.3. – 3.4 та в додатку Г.

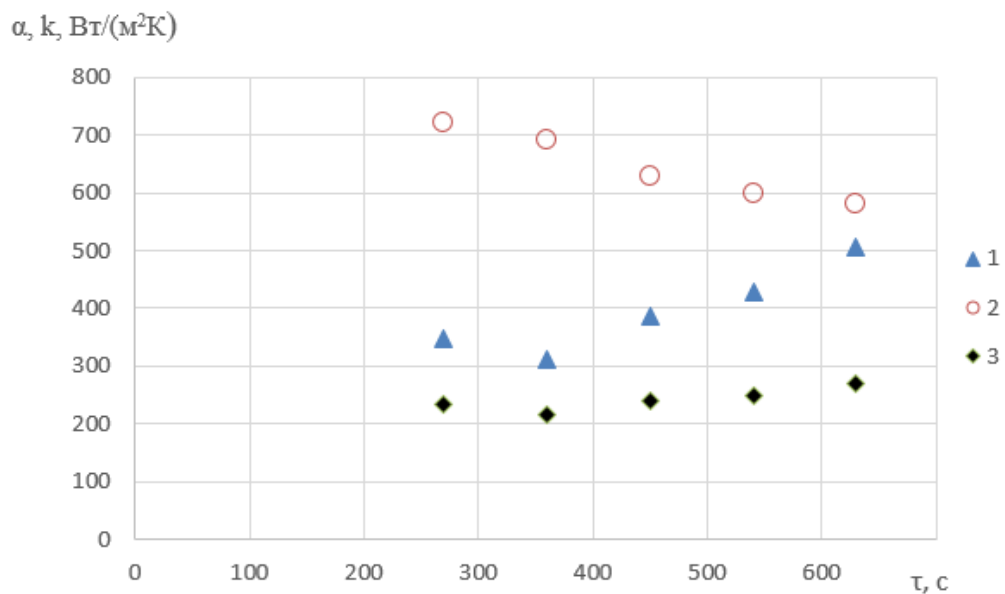


Рисунок 3.3 – Зміна коефіцієнтів тепловіддачі до післяспиртової барди під час нагрівання: 1 – коефіцієнти тепловіддачі від металеві стінки до барди; 2 – коефіцієнти тепловіддачі зі сторони води; 3 – коефіцієнти теплопередачі

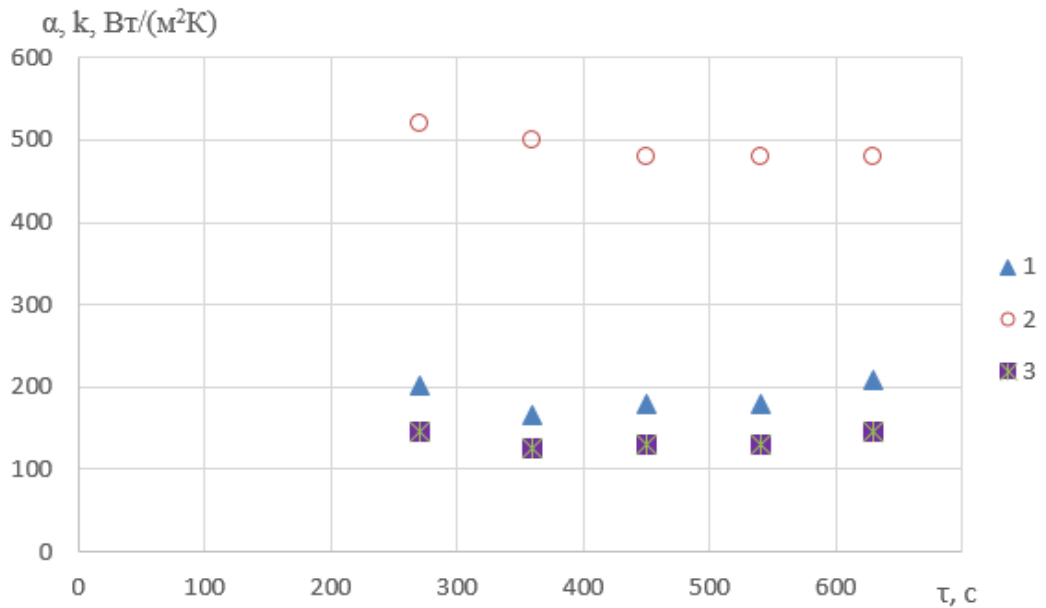


Рисунок 3.4 – Зміна коефіцієнтів тепловіддачі до барди під час охолодження: 1 – коефіцієнти тепловіддачі від металевої стінки до барди; 2 – коефіцієнти тепловіддачі зі сторони води; 3 – коефіцієнти теплопередачі

Із рис. 3.3 – 3.4 видно, що коефіцієнти тепловіддачі до післяспиртової барди змінюються в діапазоні 312...505 Вт/(м²К) під час нагрівання і від 166 до 207 Вт/(м²К) під час охолодження.

### 3.3 Розрахункова частина експериментально-розрахункового методу

Відповідно до експериментально-розрахункового методу [19, 20], з результатів експерименту можна визначити кінематичну в'язкість мелясної барди.

Під час тарування установки виведено критеріальне рівняння для визначення інтенсивності теплообміну в кільцевому каналі. Рівняння має вигляд

$$\text{Nu}_2 = 0,0549 \cdot \text{Re}_{2\delta}^{*0,589} \cdot \text{Pr}^{0,33} \left( \text{Gr}_n \cdot \text{Pr}_p \right)^{0,1} \cdot \left( \frac{\text{Pr}_p}{\text{Pr}_{\text{ст}}} \right)^{0,25} \quad (3.6)$$

Відомо, що

$$\text{Nu}_2 = \frac{\alpha_2 \cdot d_M}{\lambda} \Rightarrow \alpha_2 = \frac{\text{Nu}_2 \cdot \lambda}{d_M}. \quad (3.7)$$

Реструктуризуємо рівняння до розмірного вигляду

$$\frac{\alpha_{2\text{експ}}^6 \cdot 2\delta}{\lambda_2} = 0,0549 \left( \frac{\bar{W} \cdot 2\delta}{v} \right)^{0,589} \cdot \left( \frac{v}{a} \right)^{0,33} \cdot \left( \frac{g\beta\Delta t H^3}{v^2} \cdot \frac{v}{a} \right)^{0,1},$$

$$v^{-0,359} = \frac{\alpha_{2\text{експ}}^6 \cdot 2\delta}{0,0549 (\bar{W} \cdot 2\delta)^{0,589} \cdot \lambda_2 \cdot (g\beta\Delta t H^3)^{0,1} \cdot a^{-0,43}}, \quad (3.8)$$

З рівняння (3.8 )

$$v = \left( \frac{0,0549 (\bar{W} \cdot 2\delta)^{0,589} \cdot \lambda_2 \cdot (g\beta\Delta t H^3)^{0,1} \cdot \left( \frac{\lambda}{C_p \cdot \rho} \right)^{-0,43}}{\alpha_{2\text{експ}}^6 \cdot 2\delta} \right)^{2,7855}. \quad (3.9)$$

В рівняннях (3.6 – 3.9) позначено:

$2\delta = D_{\text{вн}} - d_M$  – визначальний розмір;

$a = \frac{\lambda}{C_p \cdot \rho}$  – коефіцієнт температуропровідності;

$W_{\text{max}} = \frac{2\pi n \cdot d_M}{60}$  – максимальна швидкість;

$\bar{W} = \frac{W_{\text{max}}}{2}$  – умовна характерна швидкість рідини;

$d_M, D_{\text{вн}}, H$  – діаметр мішалки, діаметр і висота внутрішньої ємності відповідно;

$\text{Re}^* = \frac{\bar{W} \cdot 2\delta}{v}$  – критерій Рейнольдса;

$\text{Gr} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot H^3}{v^2}$  – критерій Рейнольдса;

$$Pr = \frac{\nu}{a} - \text{критерій Прандтля};$$

$\bar{\Delta t}$  – температурний напір між теплоносієм та бардою, що нагрівається.

Інші теплофізичні властивості післяспиртової барди визначимо за рівняннями, які рекомендовані в [19].

Густина барди можна визначити за рівнянням

$$\rho = 1000 + 2,4 \cdot (100 - W_6), \quad (3.10)$$

де  $W_6$  – вологість барди, %.

Теплоємність за рівнянням залежності для дисперсних потоків

$$C = C_{\text{сух}} \cdot b + C_{\text{в}} \cdot (1 - b), \quad (3.11)$$

де  $C_{\text{сух}}$  – питома теплоємність сухої речовини, кДж/(кг К);

$C_{\text{в}}$  – питома теплоємність води, кДж/(кг К);

$b$  – вміст сухих органічних речовин в барді, частка.

Теплопровідність барди

$$\lambda = \lambda_{\text{сух}} \cdot b + \lambda_{\text{в}} \cdot (1 - b), \quad (3.12)$$

де  $\lambda_{\text{в}}$  – теплопровідність води, Вт/(м К);

$\lambda_{\text{сух}}$  – теплопровідність безводної речовини, Вт/(м·К).

Отже визначимо кінематичну в'язкість барди для наступних вхідних да-

$$\text{них: } \alpha_2 = 588 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad \lambda = 0,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}, \quad \rho = 1050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad C_p = 4000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, \quad \Delta t = 10^\circ\text{C},$$

$$D_{\text{вн}} = 0,097\text{м}, \quad d_{\text{м}} = 0,058\text{м}, \quad H = 0,108\text{м} \quad n = 32 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Коефіцієнт температуропровідності

$$a = \frac{0,5}{4000 \cdot 1050} = 1,19 \cdot 10^{-7} (\text{м}^2 / \text{с}).$$

Характерні швидкості

$$W_{\max} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 32}{60} = 0,194 \text{ (м / с)},$$

$$\overline{W} = \frac{0,194}{2} = 0,097 \text{ (м / с)}.$$

Визначальний розмір

$$2\delta = 0,097 - 0,058 = 0,039 \text{ (м)}.$$

Тоді кінематична в'язкість барди

$$v = \left( \frac{0,0549(0,097 \cdot 0,039)^{0,589}}{0,5 \cdot (9,8 \cdot 3,87 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 0,108^3)^{0,1} \cdot \left(\frac{0,5}{4000 \cdot 1050}\right)^{-0,43}} \times \frac{588 \cdot 0,039}{588 \cdot 0,039} \right)^{2,7855} = 9,49 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^2 \text{ / с)}.$$

Використаємо отримане значення кінематичної в'язкості для розрахунків трубчатого теплообмінника.

### 3.4 Розрахунок тепловтрат через стінки біореактора

Вхідні дані для розрахунку тепловтрат з поверхні біореактора:

Діаметр біореактора  $D = 22$  м, висота біореактора  $H = 21$  м.

Теплоізолюючий матеріал – мати теплоізоляційні з мінеральної вати.

Температура барди  $t_{p1} = 40^\circ\text{C}$ .

Теплофізичні властивості барди для  $t_{p1} = 40^\circ\text{C}$ :

- коефіцієнт теплопровідності барди  $\lambda_1 = 0,5$  Вт/(м·К);
- кінематична в'язкість  $\nu_1 = 1,74 \cdot 10^{-5}$  (м<sup>2</sup>/с);
- коефіцієнт температурного розширення  $\beta = 3,2 \cdot 10^{-4}$ (К<sup>-1</sup>).

Температура навколишнього повітря ( $-20^\circ\text{C}$ ).

Коефіцієнт теплопровідності нержавіючої сталі  $\lambda_{ст} = 16$  Вт/(м·К).

Критерій Грасгофа

$$Gr_1 = \frac{g\beta \cdot (t_{p1} - t_{cr}) \cdot H^3}{\nu_{\text{рід}}^2}, \quad (3.13)$$

$$Gr_1 = \frac{9,8 \cdot 3,87 \cdot 10^{-4} \cdot (40 - 35) \cdot 21^3}{(9,49 \cdot 10^{-6})^2} = 1,94 \cdot 10^{12}.$$

Критерій Прандтля

$$Pr_1 = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu \cdot C_p \cdot \rho}{\lambda}, \quad (3.14)$$

$$Pr_1 = \frac{9,49 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 \cdot 1050}{0,5} = 79,7.$$

Критерій Релея

$$Ra = Gr \cdot Pr, \quad (3.15)$$

$$Ra = 1,94 \cdot 10^{12} \cdot 79,7 = 1,55 \cdot 10^{14}.$$

Критерій Нуссельта

$$Nu = 0,15 \cdot Ra^{0,33} \cdot \epsilon_t, \quad (3.16)$$

$$Nu = 0,15 \cdot (1,55 \cdot 10^{14})^{0,33} \cdot 1 = 7233.$$

Коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha_1 = Nu \cdot \frac{\lambda}{H}, \quad (3.16)$$

$$\alpha_1 = 7233 \cdot \frac{0,5}{21} = 172 \text{ (Вт/(м}^2\text{К))}.$$

Критерій Грасгофа

$$Gr_2 = \frac{q\beta_{\text{пов}}(t_{\text{із}} - t_{\text{пов}}) \cdot H^3}{v_{\text{пов}}^2}. \quad (3.17)$$

Коефіцієнт термічного розширення

$$\beta = \frac{1}{t + 273} = \frac{1}{-20 + 273} = 0,004 \text{ (K}^{-1}\text{)}, \quad (3.18)$$

$$Gr_2 = \frac{9,8 \cdot 0,004(30 - (-20)) \cdot 21^3}{(11,79 \cdot 10^{-6})^2} = 1,31 \cdot 10^{14}.$$

Критерій Релея

$$Ra = Gr \cdot Pr, \quad (3.19)$$

$$Ra = 1,31 \cdot 10^{14} \cdot 0,716 = 9,35 \cdot 10^{13}.$$

Критерій Нуссельта

$$Nu = 0,15 \cdot Ra^{0,33} \cdot \varepsilon, \quad (3.20)$$

$$Nu = 0,15 \cdot (9,35 \cdot 10^{13})^{0,33} \cdot 1 = 6116.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря

$$\alpha_2 = Nu \cdot \frac{\lambda}{d}, \quad (3.21)$$

$$\alpha_2 = 6116 \cdot \frac{0,0228}{21} = 6,64 \text{ (Вт/м}^2\text{K)}.$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{в}}}{\lambda_{\text{в}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.22)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{172} + \frac{0,006}{16} + \frac{0,015}{0,05} + \frac{1}{6,64}} = 2,2.$$

Питомий тепловий потік

$$q = K(t_{\text{pid}} - t_{\text{пов}}), \quad (3.23)$$

$$q = 2,2 \cdot (40 - (-20)) = 132 \text{ (Вт/м}^2\text{)}.$$

Площа поверхні біореактора

$$F_1 = \pi D H = 3,14 \cdot 22 \cdot 21 = 1450,68 \text{ (м}^2\text{)}, \quad (3.24)$$

$$F_2 = 2 \cdot \frac{\pi D^2}{4}, \quad (3.25)$$

$$F_2 = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 22^2}{4} = 759,88 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Тепловтрати з поверхні біореактора

$$Q_1 = q \cdot F_1, \quad Q_2 = q \cdot F_2 \quad (3.26)$$

$$Q_1 = 132 \cdot 1450,68 = 191489,76 \text{ (Вт)},$$

$$Q_2 = 132 \cdot 759,88 = 100304,16 \text{ (Вт)}.$$

$$Q_{\text{втр}} = Q_1 + Q_2, \quad (3.27)$$

$$Q_{\text{втр}} = Q_1 + Q_2 = 191489,76 + 100304,16 = 291793,92 \text{ (Вт)}.$$

### 3.5 Конструктивний розрахунок трубчатого теплообмінника

Вхідні дані до розрахунку:

- теплообмінник змійовикого типу;
- потужність – 291794 Вт;



- «гаряче» середовище – вода;
- «холодне» середовище – післяспиртова барда;
- температура «гарячого» теплоносія на вході  $t_1' = 75^\circ\text{C}$ ;
- температура «гарячого» теплоносія на виході  $t_1'' = 50$  ( $^\circ\text{C}$ );
- температура барди, що нагрівається  $t_2' = 40^\circ\text{C}$ ;
- діаметр трубчатого теплообмінника  $d = 50 \times 2,5$  мм.

Середня температура «гарячого» теплоносія

$$\bar{t} = \frac{t_1' + t_1''}{2}, \quad (3.28)$$

$$t_1 = 0,5(70 + 50) = 60$$
 ( $^\circ\text{C}$ ).

Теплофізичні властивості води для середньої температури:

густина води  $\rho_1 = 983,2$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );

коефіцієнт теплопровідності води  $\lambda_1 = 0,659$   $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;

критерій Прандтля  $\text{Pr}_1 = 2,98$ ;

кінематична в'язкість води  $\nu_1 = 0,478 \cdot 10^{-6}$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ );

теплоємність води  $C_{\text{пв1}} = 4,179$  ( $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ).

Масова витрата води

$$G_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot w \cdot \rho, \quad (3.29)$$

$$G_1 = \frac{3,14 \cdot 0,045^2}{4} \cdot 0,9 \cdot 983,2 = 1,41$$
 ( $\text{кг}/\text{с}$ ).

Середня температура барди, що нагрівається

$$t_2 = 0,5(40 + 40) = 40$$
 ( $^\circ\text{C}$ ).

Більша різниця температур між теплоносіями

$$\Delta t_6 = t_1' - t_2, \quad (3.30)$$

$$\Delta t_6 = 70 - 40 = 30(^{\circ}\text{C}).$$

Менша різниця температур між теплоносіями

$$\Delta t_m = t_1'' - t_2, \quad (3.31)$$

$$\Delta t_m = 50 - 40 = 10(^{\circ}\text{C}).$$

Середньологарифмічний температурний напір

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}, \quad (3.32)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{30 - 10}{\ln \frac{30}{10}} = 18,2(^{\circ}\text{C}).$$

Об'ємна витрата грійної води

$$V_1 = G_1 / \rho_1, \quad (3.33)$$

$$V_1 = 1,93 / 983,2 = 1,96 \cdot 10^{-3} (\text{м}^3/\text{с}).$$

Площа поперечного перерізу труби

$$f = 0,785 \cdot d_{\text{вн}}^2, \quad (3.34)$$

$$f = 0,785 \cdot 0,045^2 = 1,59 \cdot 10^{-3} (\text{м}^2).$$

Швидкість води в змійовику

$$w_1 = \frac{V_1}{f}, \quad (3.35)$$

$$w_1 = 1,41 \cdot 10^{-3} / 1,59 \cdot 10^{-3} = 0,9 (\text{м}/\text{с}).$$

Критерій Рейнольдса для грійної води

$$Re_1 = w_1 \cdot d / \nu_1, \quad (3.36)$$

$$Re_1 = 0,90 \cdot 0,05 / (0,523 \cdot 10^{-6}) = 77438.$$

Поправковий коефіцієнт до критеріального рівняння теплообміну

$$\varepsilon_{зм} = 1 + \frac{1,8 \cdot d}{R}, \quad (3.37)$$

де  $R$  – радіус вигину змійовика, м.

$$\varepsilon_{зм} = 1 + \frac{1,8 \cdot 0,05}{11} = 1,008.$$

Температуру стінки зі сторони води в першому наближенні беремо  $t_{ст} = 60$  (°C).

Критерій Прандтля для цієї температури  $Pr_{ст} = 2,66$ .

Критерій Нуссельта зі сторони води

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot (Pr_1 / Pr_{ст})^{0,25} \cdot \varepsilon, \quad (3.38)$$

$$Nu_1 = 0,021 \cdot 77438^{0,8} \cdot 2,66^{0,43} \cdot (2,66 / 2,81)^{0,25} \cdot 1,008 = 195.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від води до стінки труб

$$\alpha_1 = Nu_1 \cdot \frac{\lambda_1}{d}, \quad (3.39)$$

$$\alpha_1 = \frac{195 \cdot 0,659}{0,045} = 2856 \text{ (Вт/(м}^2\text{К))}.$$

Теплофізичні властивості барди для середньої температури:

коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_2 = 0,5$  Вт/(м·К);

густина  $\rho_2 = 1050$  (кг/м<sup>3</sup>);

критерій Прандтля  $Pr_2 = 142,8$ ;

кінематична в'язкість  $\nu_2 = 9,49 \cdot 10^{-6}$  (м<sup>2</sup>/с);

теплоємність  $C_{p2} = 4000$  (кДж/(кг·К)).

## Критерій Грасгофа

$$\text{Gr}_2 = \frac{g \cdot \beta \cdot d_{\text{зн}}^3 \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{зб.с}})}{\nu_2^2}, \quad (3.40)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт термічного розширення для барди  $\beta = 3,87 \cdot 10^{-4}$ ,  $\text{K}^{-1}$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\Delta t$  – перепад температур між рідиною та стінкою,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\nu_2$  – кінематична в'язкість,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$d_{\text{зн}}$  – зовнішній діаметр труби,  $\text{мм}$ .

$$\text{Gr}_2 = \frac{9,8 \cdot 3,87 \cdot 10^{-4} \cdot (60 - 40) \cdot 0,05^3}{(9,49 \cdot 10^{-6})^2} = 1,05 \cdot 10^5.$$

## Критерій Релея

$$\text{Ra}_2 = \text{Gr}_2 \cdot \text{Pr}_2, \quad (3.41)$$

$$\text{Ra}_2 = 1,05 \cdot 10^5 \cdot 79,7 = 8392476.$$

## Критерій Нуссельта

$$\text{Nu}_2 = 0,5 \cdot 8392476^{0,25} \cdot 1 = 26,9.$$

## Коефіцієнт тепловіддачі до барди

$$\alpha_2 = \text{Nu} \cdot \frac{\lambda}{d}, \quad (3.42)$$

$$\alpha_2 = 26,9 \cdot \frac{0,5}{0,05} = 269 \text{ (Вт/(\text{м}^2\text{К}))}.$$

## Коефіцієнт теплопередачі теплообмінника

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.43)$$

де  $\delta_{ст}$  – теплопровідність сталі, Вт/(м·К);

$\lambda_{ст}$  – товщина стінки, м.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{2856} + \frac{0,0025}{16} + \frac{1}{269}} = 237.$$

Питомий тепловий потік, Вт/м<sup>2</sup>

$$q = K \cdot \Delta t_{cp} \cdot 10^{-3}, \quad (3.44)$$

$$q = 237 \cdot 18,2 \cdot 10^{-3} = 4,31 \text{ (кВт/м}^2\text{)}.$$

Температура внутрішньої стінки труби

$$t_{ст} = t_2 + \frac{q}{\alpha_2}, \quad (3.45)$$

$$t_{ст} = 40 + \frac{4,31 \cdot 10^3}{269} = 56 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Площа поверхні нагріву трубчатого теплообмінника

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (3.46)$$

$$F = \frac{291793,92}{237 \cdot 18,2} = 67,65 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Довжина змійовика

$$l = \frac{F}{\pi \cdot d}, \quad (3.47)$$

$$l = \frac{67,65}{3,14 \cdot 0,05} = 431 \text{ (м)}.$$

Звідси довжина кола змійовика

$$L = \pi \cdot D, \quad (3.48)$$

Задаємо діаметром змійовика  $D = 21,4$  м, тоді довжина кола

$$L = 3,14 \cdot 21,4 = 67,2 \text{ (м)}, \quad (3.49)$$

Кількість витків

$$n_b = \frac{l}{L}, \quad (3.50)$$

$$n_b = \frac{431}{67,2} = 6,41.$$

Приймаємо кількість витків  $n_b = 7$ .

### 3.6 Висновки до розділу

Виконані експериментальні дослідження інтенсивності тепловіддачі до післяспиртової барди. Визначено що за умов перемішування з кількістю обертів 32 об/хв коефіцієнти тепловіддачі змінюються в діапазоні 312...505 Вт/(м<sup>2</sup>·К) під час нагрівання і від 166 до 207 Вт/(м<sup>2</sup>·К) під час охолодження.

З використанням значень коефіцієнтів тепловіддачі до барди отриманих за експериментально-розрахунковим методом визначена потужність для термостабілізації біореактора та необхідна площа поверхні теплообміну трубчатого теплообмінника, яка становить 67,65 м<sup>2</sup>.

## 4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

### 4.1 Технологія монтажу системи подачі біогазу для спалювання в котлах

#### 4.1.1. Загальна характеристика об'єкта монтажу

Розробляється можливість встановлення пальника до парогенератора потужністю 6 МВт для утворення повітряно-паливної суміші з подальшим спалюванням у топці котла. Пальник встановлюється в котельній для забезпечення перегрітою парою технологічного процесу Довжоцького спиртзаводу.

Подача повітря в топку котла здійснюється з допомогою радіального вентилятора ВД 167-37 №6 та пальника МДП-Г2-1200 з максимальною потужністю до 12,5 МВт.

Пальник монтується на двері котла. подача пальника становить 8300 м<sup>3</sup>/год [35], тому його потужності достатньо для спалювання 1170 м<sup>3</sup>/год біогазу. Повітря нагнітається в пальник через перехідну насадку. Після насадки до повітря подається біогаз через газопровід, який поступає від біогазового реактора. Габаритні розміри пальника без вентилятора: довжина 600 мм, ширина та висота по 590 мм [36]. Габаритні розміри з вентилятором ВД 167-37 №6: довжина 1020 мм, ширина та висота по 590 мм.

Транспортування біогазу виконується сталевим електрозварним газопроводом. Для виконання ремонтних робіт передбачена запірна арматура (запірні крани з фланцевим з'єднанням).

Проектом передбачається газопостачання газової котельні біогазом низького тиску. Надземний газопровід монтується зі сталевих труб за [37] та підводиться на стійках до будівлі котельні. Газ середнього тиску (>0,005 МПа) вводиться в будівлю сталевим трубопроводом Ду250.

Всі газопроводи після монтажу та приєднання пальника згідно з [37] повинні піддані гідравлічному випробуванню тиском, який дорівнює 0,2 МПа.

#### 4.1.2 Розрахунок трубопроводів системи постачання біогазу

Витрати біогазу на пальник

Витрата біогазу на першому парогенераторі

$$V_p = \frac{Q^{\max}}{Q_n \cdot \eta_k}, \quad (4.1)$$

де  $Q_k^{\max}$  – максимальна потужність парогенератора, МДж/кг;

$\eta_k$  – ККД парогенератора.

$$V_p = \frac{6,0}{20,40 \cdot 0,9} = 0,32 (\text{м}^3 / \text{с}).$$

Витрату біогазу на другому парогенераторі визначаються аналогічно, оскільки їх параметри і параметри першого парогенератора однакові ( $Q_k^{\max}, \eta_k$ ).

Визначаємо сумарні витрати біогазу

$$\sum V = n \cdot V_{k1}^{\max}, \quad (4.2)$$

де  $n$  – загальна кількість парогенераторі

$$\sum V = 2 \cdot 0,32 = 0,65 (\text{м}^3 / \text{с}).$$

Годинна витрата біогазу

$$Q = \sum V \cdot 3600, \quad (4.3)$$

$$Q = 0,65 \cdot 3600 = 2340 (\text{м}^3/\text{год}).$$

Виконаємо гідравлічний розрахунок системи розподілу палива. Газопостачання парогенераторів ДКВр-10-13-250 відбувається від біогазової установки. Для пальників МДП-Г2-1200 робочий тиск біогазу 0,005 МПа[38].

Розраховуємо ділянку 0 – 1.

Відповідно до [38], під час виконання гідравлічного розрахунку надземних та внутрішніх газопроводів, приймаємо швидкість руху газу не більше 15 м/с для газопроводів середнього тиску.



Діаметр трубопроводу на ділянці 0 – 1.

$$d_{0-1} = 0,036238 \sqrt{\frac{Q_{0-1} \cdot (273 + t)}{p_m \cdot \omega}}, \quad (4.4)$$

де  $\omega$  – швидкість газу на ділянці, м/с;

$Q_{0-1}$  – витрата газу на відповідній ділянці, м<sup>3</sup>/год;

$p_m$  – середній абсолютний тиск на ділянці, МПа;

$t$  – середня температура газу.

$$d_{0-1} = 0,036238 \sqrt{\frac{1170 \cdot (273 + t)}{0,105 \cdot 15}} \text{ (см)}.$$

Для встановлення приймаємо трубопровід сталевий електрозварний за [39] діаметром 219x5 мм.

Число Рейнольдса на ділянці

$$Re_{0-1} = 0,0354 \frac{Q_{0-1}}{d_{0-1} \cdot v}, \quad (4.5)$$

де  $v = 13,4 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с – кінематична в'язкість газу [40].

$$Re_{0-1} = 0,0354 \frac{1170}{20,9 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6}} = 147890.$$

Еквівалентна довжина місцевих опорів

$$\left(\sum \zeta \cdot l_d\right)_{0-1} = \sum \zeta_{0-1} \cdot \frac{d_{0-1}}{11 \left( \frac{\Delta}{d_{0-1}} + 1922 \frac{v \cdot d_{0-1}}{Q_{0-1}} \right)^{0,25}}, \quad (4.6)$$

де  $\sum \zeta_{0-1} = 2 \cdot 0,5 + 1,5 + 8 + 2 \cdot 0,5 + 0,5 = 12$  – сума місцевих втрат

$\Delta$  – еквівалентна абсолютна шорсткість.

$$\left(\sum \zeta \cdot l_d\right)_{0-1} = 12 \cdot \frac{20,9}{11 \left( \frac{0,01}{20,9} + 1922 \frac{13,4 \cdot 10^{-6} \cdot 20,9}{1170} \right)^{0,25}} = 130,26 \text{ (м)}.$$

Розрахункова довжина ділянок

$$L_{0-1} = l_{0-1} + \left( \sum \zeta \cdot l_d \right)_{0-1} \quad (\text{м}), \quad (4.7)$$

де  $L_{0-1}$  – довжина ділянки згідно плану, м

$$L_{0-1} = 3,5 - 0,72 + 0,5 + 0,9 + 130,26 = 134,44 \quad (\text{м}).$$

Втрати тиску

$$\frac{P_1^2 - P_0^2}{L_{0-1}} = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot \left( \frac{n}{d_{1-2}} + 1922 \frac{v \cdot d_{1-2}}{Q_{1-2}} \right)^{0,25} \cdot \frac{B_{1-2}^2}{d_{1-2}^5} \rho, \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} & (P_1^2 - 0,105^2) / (134,44) = \\ & = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot (0,01/20,9 + 1922 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6} \cdot 20,9/1170)^{0,25} \cdot (1170^2 \cdot 1,155 / (20,9^5)). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= (0,105^2 + 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot (0,01/20,9 + 1922 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6} \cdot 20,9/1170)^{0,25} \times \\ & \times (1170^2 \cdot 1,155 / (20,9^5)) \cdot 134,44)^{0,5} = 0,10562 \quad (\text{МПа}). \end{aligned}$$

Розраховуємо ділянку 1 – 2.

Ділянки газоходу 1 – 2; 2 – 3 мають однакові . Діаметр трубопроводу на даних ділянках.

$$d_{1-2} = 0,036238 \sqrt{\frac{Q_{1-1'} \cdot (273 + t)}{p_m \cdot \omega}} \quad [\text{см}], \quad (4.9)$$

$$d_{1-2} = 0,036238 \sqrt{\frac{0,65 \cdot 3600 \cdot (273 + 15)}{0,10562 \cdot 15}} = 23,63 \quad (\text{см}).$$

Для встановлення приймаємо трубопровід сталевий електрозварний за ГОСТ 10704-91 з діаметром 273x7 мм.

Число Рейнольдса на ділянці

$$Re_{1-2} = 0,0354 \cdot \frac{Q_{1-2}}{d_{1-2} \cdot v}, \quad (4.10)$$

де  $v = 13,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  [40].

$$Re_{1-2} = 0,0354 \cdot \frac{1170}{25,9 \cdot 1,34 \cdot 10^{-6}} = 119340.$$

Еквівалентна довжина місцевих опорів

$$\left(\sum \zeta \cdot l_d\right)_{1-2} = \sum \zeta_{1-2} \cdot \frac{d_{1-2}}{11 \left( \frac{n}{d_{1-2}} + 1922 \frac{v \cdot d_{1-2}}{Q_{1-2}} \right)^{0,25}}, \quad (4.11)$$

де  $\sum \zeta = 1$  – сума місцевих втрат, (трійник на прохід при розділенні потоків).

$$\left(\sum \zeta \cdot l_d\right)_{1-2} = 1 \cdot \frac{25,9}{11 \left( \left( \frac{0,01}{25,9} \right) + 1922 \cdot \frac{25,9 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6}}{1170} \right)^{0,25}} = 13,39 \text{ (м)},$$

Розрахункова довжина ділянок

$$L_{1-2} = l_{1-2} + \left(\sum \zeta \cdot l_d\right)_{1-2}, \quad (4.12)$$

де  $L_{1-2}$  – довжина ділянки згідно плану, м.

$$L_{1-2} = 9,28 + 13,39 = 22,67 \text{ (м)}.$$

Втрати тиску на ділянках

Ділянка 1–2

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{L_{1-2}} = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot \left( \frac{n}{d_{1-2}} + 1922 \frac{v \cdot d_{1-2}}{Q_{1-2}} \right)^{0,25} \cdot \frac{B_{1-2}^2}{d_{1-2}^5} \rho, \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} & (P_2^2 - 0,10562^2) / (22,67) = \\ & = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot (0,01/25,9 + 1922 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6} \cdot 25,9/1170)^{0,25} \cdot (1170^2 \cdot 1,155 / (25,9^5)). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= (0,10562^2 + 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot (0,01/25,9 + 1922 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6} \cdot 25,9/1170)^{0,25} \times \\ & \times (1170^2 \cdot 1,155 / (25,9^5))) \cdot 22,67)^{0,5} = 0,105656 \text{ (МПа)}. \end{aligned}$$

Ділянка 2–3

$$\Sigma \zeta = 0,5 + 8 + 2 \cdot 0,5 = (\text{засувка} + \text{клапан} + 2 \text{ повороти}) = 9,5;$$

$$\left(\sum \zeta \cdot l_d\right)_{2-3} = 9,5 \cdot \frac{25,9}{11 \left( \left( \frac{0,01}{25,9} \right) + 1922 \cdot \frac{25,9 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6}}{2340} \right)^{0,25}} = 138,97 \text{ (м)}.$$

$$L_{2-3} = 5,8 + 5,4 + 2 + 138,97 = 152,17 \text{ (м)}.$$

$$\begin{aligned} & (P_3^2 - 0,105656^2) / (152,17) = \\ & = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot (0,01/25,9 + 1922 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6} \cdot 25,9/2340)^{0,25} \cdot (2340^2 \cdot 1,155 / (25,9^5)). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 = & (0,105656^2 + 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot (0,01/25,9 + 1922 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6} \cdot 25,9/2340)^{0,25} \times \\ & \times (2340^2 \cdot 1,155 / (25,9^5)) \cdot 152,17)^{0,5} = 0,106533 \text{ (МПа)}. \end{aligned}$$

#### 4.1.3 Розрахунок та комплектування матеріалів і виробів, складання відомостей

До монтажних робіт системи входить монтаж двох пальників МДП-Г2-1200 з вентиляторами ВД 167-37 №6 від котлів ДКВР-10-13-250. Також монтаж трубопроводів з арматурою.

В результаті аналізу конструктивних особливостей об'єкту складено перелік основних та допоміжних виробів та матеріалів. Результати розрахунку та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів наведенні у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Відомість витрат матеріалів

№ п.п	Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Маса одиниці, кг	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Потреба в основних матеріалах					
1	Пальник газовий МДП-Г2-1200[36]	шт	2	71	142
2	Вентилятор ВД 167-37 №6 з двигуном [35]	шт.	2	358	716
3	Клапан електромагнітний газовий Madas M16/RM NC, DN250[41]	шт.	1	109	109

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
4	Засувка типу Батерфляй Ду 200[42]	шт.	2	21	42
5	Клапан електромагнітний газовий Madas M16/RM NC, DN200[41]	шт.	2	62	124
6	Засувка 30лс41нж, DN250[42]	шт.	1	317	317
7	Кран шаровий сталевий фланцевий ZET Ду 200[43]	шт.	2	55	110
8	Труба сталева електрозварна прямошовна ГОСТ 10704-91 Ø219×5 мм[39]	м	4,18×2= =8,36	26,39	220,62
9	Труба сталева електрозварна прямошовна ГОСТ 10704-91 Ø273×7 мм[39]	м	22,48	45,92	1032,3
Потреба у допоміжних матеріалах					
Для монтажу пальника [44]					
1	Електроди, діаметр 3 мм, марка 355	т	0,142	0,0136	1,93
На монтаж вентилятора до пальника [45]					
2	Поковки з квадратних заготовок, маса 1,8 кг	т	2	0,04	80
3	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э50А	т	2	0,00011	0,22
4	Масло турбінне	т	2	0,01	20
На монтаж електромагнітного клапана Ду 250 [44]					
5	Болти з гайками та шайбами, діаметр 20 мм.	кг	1	8,5	8,5
6	Фланці плоскі приварні зі сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1,0 МПа [10 кгс/см <sup>2</sup> ], діаметр 250 мм	шт	2	10,65	21,3
7	Електроди, діаметр 2 мм, марка Е42	кг	1	0,26	0,26
8	Прокладки із пароніту, марка ПМБ, товщина 3 мм, діаметр 300 мм.	шт	2	0,12	0,24
На монтаж запірної арматури Ду 250 [46]					
9	Фланці плоскі приварні зі сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1,0 МПа [10 кгс/см <sup>2</sup> ], діаметр 250 мм	шт	2	10,65	21,3
10	Болти із шестигранною головкою, діаметр різьблення 20мм	кг	1/10=0,1	110	11

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
11	Прокладки із пароніту, марка ПМБ, товщина 3 мм, діаметр 250 мм.	шт	2	0,12	0,24
На монтаж електромагнітних клапанів Ду 200 [44]					
12	Електроди, діаметр 2 мм, марка Е42	кг	2	0,26	0,26
13	Прокладки із пароніту, марка ПМБ, товщина 3 мм, діаметр 250 мм.	шт	4	0,08	0,32
14	Болти із шестигранною головкою, діаметр різьблення 20 мм	кг	1/10=0,1	110	11
15	Фланці плоскі приварні зі сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1,0 МПа [10 кгс/см <sup>2</sup> ], діаметр 250 мм	шт	2	8,05	16,1
На монтаж запірної арматури Ду 200 [46]					
16	Фланці плоскі приварні зі сталі ВСт3сп2, ВСт3сп3, тиск 1,0 МПа [10 кгс/см <sup>2</sup> ], діаметр 250 мм	шт	8	8,05	64,4
17	Болти із шестигранною головкою, діаметр різьблення 20мм	кг	4/10=0,1	110	11
18	Прокладки із пароніту, марка ПМБ, товщина 3 мм, діаметр 200 мм.	шт	8	0,08	0,64
Для монтажу трубопроводів Ду 250 [46].					
19	Електроди, діаметр 4 мм, марка 355	кг	0,35	7	2,45
20	Прокладки гумові	кг	0,22	0,07	0,015
21	Кола армовані абразивні зачисні, діаметр 180х6 мм	шт	0,22	0,36	0,353
22	Болти будівельні з гайками і шайбами М20	т	0,22	0,00127	1,27
Для монтажу трубопроводів Ду 200 [46]					
23	Електроди, діаметр 4 мм, марка 355	т	1,032	0,007	7,22
24	Прокладки гумові	кг	1,032	0,07	0,0073
25	Кола армовані абразивні зачисні, діаметр 180х6 мм	шт	1,032	0,36	0,353
26	Болти будівельні з гайками і шайбами М20	т	1,032	0,00127	1,27

Маса основного обладнання і матеріалів – 2812,92 кг.

Маса допоміжних матеріалів (без води) – 289 кг.

Необхідна кількість води – 0 кг.

Маса інструменту– 451,16 кг.

Загальна маса вантажів

$$\Sigma M_{\text{заг}} = \Sigma M_{\text{осн.обл}} + \Sigma M_{\text{доп.обл}} + \Sigma M_{\text{інст}},$$

$$\Sigma M_{\text{заг}} = 2812,92 + 289 + 451,16 = 3553,1 \text{ (кг)}.$$

4.1.4 Визначення складу і об'ємів робіт.

4.1.4.1. Склад робіт.

1. Доставка деталей до місць монтажу та їх складування.
2. Розмітка місць прокладання трубопроводу.
3. Монтаж пальника МДП-Г2-1200.
4. Монтаж радіального вентилятора ВД 167-37 №6.
5. Встановлення фланців плоских приварних Ду 250.
6. Прокладання трубопроводів діаметром 273x7 мм.
7. Встановлення клапана Madas M16/RM NC, Ду250.
8. Встановлення затвора поворотного фланцевого «батерфляй» Ду 250.
9. Прокладання трубопроводів діаметром 219x5 мм.
10. Встановлення затворів поворотних фланцевих «батерфляй» Ду 200.
11. Встановлення кранів кульових 11с41п, Ду 200
12. Встановлення клапанів електромагнітних Madas M16/RM NC, Ду200.
13. Пневматичне випробування системи газопостачання.
14. Перевірка системи в цілому і здавання в експлуатацію.
15. Повернення допоміжного обладнання на склад.

4.1.4.2. Об'єми робіт.

1. Доставка деталей до місць монтажу та їх складування. Загальна маса усіх деталей 3553,1 кг. Одиниці вимірювання в тоннах. Приймаємо об'єм  $V=3,553$ .

2. Розмітка місць прокладання трубопроводу. Довжина всієї мережі трубопроводів складає  $L=30,84$  м. Одиниці вимірювання 100 м. Приймаємо об'єм  $V=0,31$ .

3. Монтаж пальника МДП-Г2-1200. Одиниці вимірювання в штуках. Отже, приймаємо  $V=2$ .

4. Монтаж радіального вентилятора ВД 167-37 №6. Одиниці вимірювання в штуках. Приймаємо  $V=2$ .

5. Встановлення фланців плоских приварних Ду 250. Одиниці вимірювання в штуках. Приймаємо  $V=2$ .

6. Прокладання трубопроводів діаметром 273x7 мм. Одиниці вимірювання т. Маса труб з діаметром 273x7 мм складає 1032,3 кг, отже, приймаємо  $V=1,032$ .

7. Встановлення клапана електромагнітного Madas M16/RM NC, Ду250. Одиниці вимірювання в штуках. Приймаємо  $V=1$ .

8. Встановлення затвора поворотного фланцевого типу «батерфляй» Ду 250. Одиниці вимірювання в штуках. Отже, приймаємо  $V=1$ .

9. Прокладання трубопроводів діаметром 219x5 мм. Одиниці вимірювання т. Маса труб з діаметром 219x5 мм складає 220,62 м, отже, приймаємо  $V=0,22$ .

10. Встановлення затворів поворотних фланцевих «батерфляй» Ду 200. Одиниці вимірювання в 10 штук. Отже, приймаємо  $V=0,2$ .

11. Встановлення кранів кульових фланцевих 11c41n, Ду 200. Одиниці вимірювання в 10 штук. Отже, приймаємо  $V=0,2$ .

12. Встановлення клапанів електромагнітних газових Madas M16/RM NC, Ду200. Одиниці вимірювання в штуках. Отже, приймаємо  $V=2$ .

13. Пневматичне випробування системи газопроводів. Загальна довжина трубопроводів: 30,84 м. Одиниці вимірювання в 100 метрах. Приймаємо  $V=0,31$ .

15. Робоча перевірка системи в цілому і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання в 100 метрах. Загальна довжина трубопроводів: 30,84 м. Отже, приймаємо  $V=0,31$ .



16. Повернення допоміжного обладнання на склад. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна маса усього обладнання 451,16 кг. Приймаємо об'єм  $V=0,45$ .

#### 4.1.5 Вибір і обґрунтування методів виконання робіт.

##### 4.1.5.1. Монтаж пальників.

Основні правила, що необхідно дотримуватися при монтажу пальника: перевірити цілності пальника та відсутності будь-яких дефектів; монтується пальник на двері котла, чотирма болтами. При високому встановленні пальника виконується монтаж підставки під вентилятор для зменшення навантаження на пальник [36].

Після закінчення усіх монтажних робіт пальника виконується монтаж газопроводу та його подальше випробовування повітрям.

При здачі пальника в експлуатацію необхідно виконати наступні кроки:

1. До здачі пальника в експлуатацію обов'язкове проведення на ньому налагоджувальних робіт, які включають:

- перевірку та наладку органів управління і контролю;
- перевірку щільності трубопроводів та газової арматури;
- перевірку наявності та якості заземлення;
- складання режимної карти агрегату.

Налагоджувальні роботи повинні проводитися спеціалізованою пуско-налагоджувальною організацією.

2. Перед початком робіт переконайтесь у відсутності запаху газу в технологічних приміщеннях.

За виявлення запаху газу робота до усунення причин забороняється.

3. Перевірте у змінному журналі відсутність записів, які забороняють виконувати роботу або попереджають про несправність обладнання.

4. Порядок роботи, можливі несправності та засоби їх усунення, технічне обслуговування пальника визначаються після установки органів управління та контролю та описуються в виробничій інструкції [37].

4.1.6 Підбір машин , механізмів, пристосувань для монтажних робіт.

4.1.6.1. Підбір машин, механізмів, пристосувань.

Труби, деталі, конструкції та обладнання для котельні завозяться вантажним автомобілем МАЗ-4371N2-521-000. Оскільки загальна вага усіх деталей становить 3553,1 кг, то доставка деталей та обладнання до місця монтажу проводиться повністю. Технічні характеристики вантажного автомобіля наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики МАЗ-4371N2-521-000 [48]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Довжина платформи	м	5,300
Вантажопідйомність	кг	4525
Габарити:		
Довжина	м	7,250
Ширина		2,550
Висота		3,660
Вага	кг	5575

Для переміщення вантажу використовуємо візок гідравлічний ручний Staхх DFL-30. Його характеристики вказані в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Візок гідравлічний ручний [49]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	кг	3000
Ширина вил	мм	550
Довжина вил	мм	1150
Маса	кг	80

Для підйому вантажу використовуємо лебідку з електроприводом ЛЕЦ–2 (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики лебідки з електроприводом ЛЕЦ–2-200[50]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Діаметр барабана	мм	190
Тягове зусилля в канаті	кН	20
Швидкість навивки каната	м/с	0,3
Потужність двигуна	кВт	5,5
Канатоемність	м	50
Габарити: ДхШхВ	мм	1000x1300x560
Маса	кг	350

Для зварювання стиків трубопроводу застосуємо електродугове зварювання постійним струмом. Застосуємо апарат MMA 307 PROFІ (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Характеристики зварювального апарату MMA 307 PROFІ [51]

Величина	Одиниці вимірювання	Значення
Діаметр електрода	мм	1,6-5,0
Напруга	В	160-230
Напруга холостого ходу	В	65
Потужність	кВт	4,3
Вага	кг	3,8

Для влаштування кріплень трубопроводів та кронштейнів використовують перфоратор Makita M 8700 з такими технічними характеристиками [52]:

- енергія удару – 0 v 1,9 Дж;
- число ударів при номінал. числі обертів – 0 v 4350 1/хв ;
- потужність – 710 Вт;
- вага – 2,5 кг.

Трубні заготовки комплектуються по гілкам. Труби на монтаж системи постачання біогазу зв'язують в пакети, які мають відповідне маркування, що не допускає помилок між ділянками.

В зв'язку з тим, що фасонні частини трубопроводів поступають в готовому вигляді, то маємо потребу лише в монтажних інструментах та шліфувальних кругах для кутової шліфмашини (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Технічна характеристика кутової шліфмашини Makita GA 7010 C [53].

Величина	Одиниця вимірювання	Значення
Тип рукоятки	-	довга
Діаметр круга	мм	180
Потужність	Вт	2000
Кількість обертів	об/хв	6400
Вага	кг	4,3

Для випробування трубопроводів на міцність та щільність використовуємо електричний опресувальник DSY60 [25], його характеристики наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6– Технічні характеристики компресора DSY60 [54]

Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
Номінальна пропускна спроможність	л/хв	3
Робочий тиск	МПа	6
Напруга мережі	В	220 – 240
Споживана потужність	кВт	0,25
Габаритні розміри	мм	410x310x280
Маса	кг	13

Для монтажу системи трубопроводів підібрано набір інструментів та пристосувань для монтажників, який наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Набір інструментів та пристосувань для монтажників системи трубопроводів [55].

Найменування	ГОСТ, марка	Кількість, шт.	Загальна маса, кг
1	2	3	4
Плоскогубці комбіновані	ГОСТ 5547-75	6	1,6
Ключ гайковий двохсторонній М22х19мм, М19х22 мм	ГОСТ2839-80	6	0,9
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
Рівень металевий	ГОСТ 7948-80	2	0,22
Стрічка вимірювальна, 20 м	ГОСТ 7502 - 61	6	0,12
Молоток гумовий		6	1,9
Ящик переносний для інструме- нту		12	3,2
Висок	ГОСТ 7948-80	2	0,2
Круги армовані абразивні зачисні, діаметр 180х6 мм		2	0,71
Всього:			10,56

Загальна маса всіх інструментів і пристосувань складає:

$$\Sigma_{\text{інст.}} = 3,8 + 2,5 + 4,3 + 10,56 + 80 + 350 + 13 = 451,16 \text{ (кг)}.$$

Витрати електричної енергії на роботу електроприладів

$$E = P \times \tau \times k, \quad (4.14)$$

де  $\tau$  – термін роботи приладу, год;

$P$  – потужність приладу чи механізму, кВт;

$k$  – коефіцієнт, що враховує періодичність дії електричного обладнання.

Витрати електроенергії на роботу лебідки ЛЕЦ–2

$$\begin{aligned} \tau = & 35,98 \cdot 0,142 + 2,33 \cdot 2 + 5,6 \cdot 1,032 + 5,6 \cdot 0,22 + 1,32 \cdot 1 + 1,32 \cdot 2 + \\ & + 6,1 \cdot 0,1 + 0,4 \cdot 4,2 = 23,03 \text{ год, } p = 5,5 \text{ (кВт)}; \end{aligned}$$

$$E_1 = 5,5 \cdot 23,03 = 126,7 \text{ (кВт·год)}.$$

Витрати електроенергії на роботу зварювального інверторного апарату Tesla Weld MMA 265

$$\tau = 1,26 \cdot 0,142 + 2,7 \cdot 2 + 4,16 \cdot 1,032 + 4,96 \cdot 0,22 + 3,3 \cdot 3 = 20,86 \text{ год,}$$

$$p = 4,3 \text{ (кВт)};$$

$$E_2 = 4,3 \cdot 20,86 = 89,70 \text{ (кВт·год)}.$$

Витрати електроенергії на роботу електричного випробувального опресувального насосу DSY60.

$$\tau = 1,5 \cdot 0,31 = 0,46 \text{ год, } p = 0,25 \text{ (кВт)};$$

$$E_3 = 0,25 \cdot 0,46 = 0,12 \text{ (кВт·год)}.$$

Витрати електричної енергії на роботу кутової шліфмашини Dnipro-M GL-190S

$$\tau = 0,1 \cdot 0,22 + 0,09 \cdot 1,032 = 0,115 \text{ год, } p = 2,0 \text{ (кВт)};$$

$$E_4 = 2 \cdot 0,115 = 0,23 \text{ (кВт год)}.$$

Сумарна витрата електроенергії на роботу допоміжного обладнання

$$\Sigma E_i = 126,7 + 89,7 + 0,12 + 0,23 + 0,297 = 434,03 \text{ (кВт·год)}.$$

Витрата палива для доставки матеріалів та виробів автомашиною МАЗ-4371N2-521-000:

- відстань 200(км);
- кількість поїздок  $n = 1$ ;
- витрата палива  $Q = 15$  (л/100км).

Необхідна кількість палива для доставки труб

$$Q_{\text{п}} = Q \cdot 2 \cdot n \cdot l, \tag{4.15}$$

$$Q_{\text{п}} = 0,15 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 200 = 60 \text{ л.}$$

## 4.1.7 Розрахунки трудомісткості виконання монтажних робіт.

Трудомісткість монтажних робіт

$$Q = V \cdot N_{\text{ч}} / B, \text{ [люд} \cdot \text{дні]}, \quad (4.16)$$

де  $V$  – об'єм монтажних робіт; $B$  – кількість годин в зміні, год; $N_{\text{ч}}$  – норма часу на одиницю вимірювання, люд/год.

Тривалість монтажних робіт

$$T = Q/n \text{ [дні]}, \quad (4.17)$$

де  $Q$  – трудомісткість монтажних робіт, люд·дні, $n$  – кількість робітників, люд.

Результати розрахунку наведені в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Найменування робіт	Од. вим	Об'єм робіт	Норма часу, люд/год	Трудомісткість люд/дн	Виконавці		Тривалість, дні
					кількість	Склад бригади	
1	2	3	4	5	6	7	8
Доставка деталей до місць монтажу та їх складування	т	3,553	4,4	1,95	3	2 робітників 1 водій	0,653
Розмітка місць прокладання трубопроводу	100 м	0,31	1,6	0,062	6р-1 3р-1	Монтажник 3, 6 розряд	0,031
Монтаж пальника МДП-Г2-1200	т	0,142	200,2	3,55	6р-1 4р-1 3р-1	Монтажник 3, 4, 6 розряд	1,185
Монтаж радіального вентилятора ВД 167-37 №6	шт	2	40,6	10,15	5р-1 3р-2	Монтажник 4 розряд	2,54
Прокладання трубопроводів діаметром 273×7,0 мм.	т	1,032	104,03	13,42	5р-1 4р-1 3р-2	Монтажник 3, 4, 5 розряд	3,36
Встановлення фланців плоских приварних Ду 250	шт	2	4,55	1,14	5р-1 3р-1	Монтажник 5, 3 розряд	0,57
Монтаж фланцевих засувок типу Батерфляй(1шт), Ду 250	10 шт	0,1	64	0,8	5р-1 3р-2	Монтажник 3, 5 розряд	0,267

Продовження табл. 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8
Встановлення клапана електромагнітного газового Madas M16/RM NC, Ду250	шт	1	24,09	3,01	5р-1 4р-1 3р-1	Монтажник 3, 4, 5 розряд	1,00
Прокладання трубопроводів діаметром 219×5 мм	т	0,22	152	4,18	4р-1 3р-1	Монтажник 3, 4 розряд	2,09
Встановлення фланців плоских приварних Ду 200	шт	6	4,55	3,41	4р-1 3р-1	Монтажник 3, 4 розряд	1,7
Встановлення клапана електромагнітного газового Madas M16/RM NC, Ду200	шт	2	24,09	6,020,	5р-1 4р-1 3р-1	Монтажник 3, 4, 5 розряд	2,01
Монтаж фланцевих засувок типу Батерфляй (2шт), Встановлення кранів кульових фланцевих 11с41п, Ду 200 (2шт.).	10 шт	0,4	64	3,2	4р-1 3р-2	Монтажник 3, 4 розряд	1,07
Випробування трубопроводів	100 м	0,31	8,22	0,32	6р-1 5р-1 4р-1	Монтажник 6, 5, 4 розряд	0,106
Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію	100 м	0,31	2,4	0,093	5р-2	Монтажник 5 розряд	0,047
Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,451	4,4	0,248	2	1 робітник 1 водій	0,124

#### 4.1.8 Визначення складу монтажних бригад.

1. Доставка деталей до місць монтування та їх складування. Робітник – 2 людини, водій – 1 людина.

2. Розмітка місць прокладання трубопроводу. Монтажники: 6 розряду – 1 людини, 3 розряду – 1 людина.

3. Монтаж пальника МДП-Г2-1200. Монтажники: 6 розряду – 1 людини, 4 розряду – 1 людини, 3 розряду – 1 людина.

4. Монтаж радіального вентилятора ВД 167-37 №6. Монтажники: 5 розряду – 1 людини, 3 розряду – 1 людина.



5. Прокладання трубопроводів діаметром 273x7 мм. Монтажники: 5 розряду – 1 людини, 4 розряду – 1 людина, 3 розряду – 2 людина.

6. Встановлення фланців плоских приварних Ду 250. Монтажники: 5 розряду – 1 людини, 3 розряду – 1 людина .

7. Встановлення клапана газового Madas M16/RM NC, Ду250. Монтажники: 5 розряду – 1 людини, 4 розряду – 1 людина ,3 розряду – 1 людина.

8. Встановлення затвора поворотного фланцевого «батерфляй» Ду 250. Монтажники: 5 розряду – 1 людини, 3 розряду – 2 людина .

10. Прокладання трубопроводів діаметром 219x5 мм. Одиниці вимірювання т. Монтажники: 4 розряду – 1 людини, 3 розряду – 1 людина .

10. Встановлення фланців плоских приварних Ду 200. Монтажники: 4 розряду – 1 людини, 3 розряду – 1 людина .

11. Встановлення затворів поворотних фланцевих «батерфляй» Ду 200. Встановлення кранів кульових фланцевих 11с41n, Ду 200 Монтажники: 4 розряду – 1 людини, 3 розряду – 2 людина .

12. Встановлення клапанів газових Madas M16/RM NC, Ду200. Монтажники: 5 розряду – 1 людини, 3 розряду – 1 людина.

13. Пневматичне випробування системи газопостачання. Монтажники: 6 розряду – 1 людина, 5 розряду – 1 людина, 4 розряду – 1 людина.

14. Перевірка системи в цілому і здавання в експлуатацію. Монтажник 5 розряду – 2 людини.

15. Повернення допоміжного обладнання на склад. Робітник – 1 людина, водій – 1 людина.

#### **4.2 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**

У цьому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглянуто питання охорони праці та цивільного захисту стосовно підвищення енергетичної та

екологічної ефективності парової котельні спиртового заводу. Під час реконструкції котельні спиртового заводу потрібно використовувати проектну та нормативно-технічну документацію. Для безпечного та ефективного виконання монтажних робіт працівники повинні бути забезпечені всіма необхідним будівельним обладнанням та інструментами. Крім того, необхідно створити для них сприятливі умови праці.

Отже, на будівельно-монтажний персонал, що здійснює монтажні роботи з реконструкції парової котельні, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [56, 57].

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, в основному аерозолі фіброгенної дії (нетоксичний пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, 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 [58], за якими потрібно перебувати на раніше встановлених і надійно закріплених конструкціях чи

засобах підмоцування. 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.

Заготівлю та припасування труб необхідно виконувати в заготівельних майстернях. Виконання цих робіт на риштуваннях, призначених для монтажу трубопроводів, забороняється.

Ліквідацію недоліків, виявлених під час випробувань змонтованої системи та обладнання, необхідно виконувати на підставі розроблених і затверджених замовником і генеральним підрядником разом із субпідрядними організаціями заходів щодо безпеки виконання цих робіт.

Встановлення і зняття перемичок (зв'язків) між змонтованим і діючим устаткуванням, а також підключення тимчасових установок до діючих систем (електричних, парових, технічних тощо) без письмового дозволу генерального підрядника і замовника не допускається.

Монтаж трубопроводів і повітроводів на естакадах необхідно виконувати з інвентарного риштування, обладнаного сходами для піднімання та спускання працівників. Піднімання та спускання конструкціями естакад не допус-

кається. Забороняється перебування людей під обладнанням, що встановлюється, монтажними вузлами обладнання і трубопроводів до їх остаточного закріплення.

Опускати труби у закріплену траншею необхідно так, щоб не порушувати кріплення траншеї. Не дозволяється скочувати труби в траншею за допомогою ломів і ваг, а також використовувати розпірки кріплення траншеї як опори для труб.

Монтаж обладнання, трубопроводів і повітропроводів поблизу електричних мереж (у межах відстані, яка дорівнює найбільшій довжині вузла чи ланки трубопроводу, що монтується) виконується при знятій напрузі. За неможливості зняття напруги роботи необхідно виконувати за нарядом-допуском, затвердженим у визначеному порядку.

Під час монтажу трубопроводів і обладнання стикування та з'єднання отворів і перевіряння їх збігу в деталях, що монтуються, необхідно виконувати за допомогою спеціального інструменту (конусних оправок, складальних пробок тощо). Перевіряти збіг отворів у деталях, що монтуються, пальцями рук не допускається.

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.

Установлені в проектне положення елементи конструкцій чи обладнання повинні бути закріплені так, щоб забезпечувалася їх стійкість і геометрична незмінність. Забороняється виконання монтажних робіт на висоті у відкритих місцях за

швидкості вітру 15 м/с і більше, під час ожеледі, грози, туману, що унеможлиблює видимість у межах фронту робіт.

#### 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 [59, 60] умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у приміщеннях, що будуються, є струмопровідною.

Загальні вимога 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 [59, 60]. Електрифікований інструмент за умовами безпеки поділяється на такі класи:

I – електроінструмент, у якого всі деталі, що перебувають під напругою, ізольовані і штепсельна вилка має заземлювальний контакт. У електроінструмента класу I всі деталі, що перебувають під напругою, можуть бути з основою, 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.

Якщо безпечну наднизьку напругу одержують перетворенням вищої напруги, то це слід здійснювати за допомогою безпечного ізолювального трансформатора, далі за текстом – «розподільчий трансформатор безпеки», або перетворювача з окремими обмотками. Електроінструмент, який живиться від електромережі, слід обладнувати незнімним гнучким кабелем (шнуром) зі штепсельною вилкою. Незнімний гнучкий кабель електроінструмента класу I повинен мати жилу, яка з'єднує заземлювальний затискач електроінструмента із заземлювальним контактом штепсельної вилки.

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

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

Доступні для доторкання металеві деталі електроінструмента класу I, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, повинні бути з'єднані із заземлювальним затискачем. Електроінструмент класів II і III не заземлюють.

Заземлення корпусу електроінструмента слід здійснювати спеціальною жилою живильного кабелю, яка не може одночасно бути провідником робо-

чого 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 унеможливити з'єднання їх з розетками на напругу понад 42 В.

Працівники, допущені до роботи з електроінструментом, повинні спочатку пройти навчання і перевірку знань щодо безпечного виконання робіт з застосуванням електроінструменту. До роботи з електроінструментом класу I в приміщеннях з підвищеною небезпекою та поза приміщеннями допускаються працівники з II групою електробезпеки. До роботи з електроінструментом II і III класу достатньо I групи з електробезпеки.

У електроінструмента класу I, крім того, має бути перевірена справність кола заземлення між його корпусом і заземлювальним контактом штепсельної вилки. Працівнику мають бути видані засоби індивідуального захисту (діелектричні рукавички, калоші, килими) або розподільчий трансформатор, чи перетворювач із окремими обмотками, чи захисно вимикальне устаткування.

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.

У посудинах, апаратах та інших металевих спорудах в умовах обмеженої

можливості переміщення і виходу з них дозволяється працювати електроінструментом класів I і II за умови, якщо тільки один електроінструмент одержує живлення від автономної двигун-генераторної установки, розподільчого трансформатора безпеки або перетворювача частоти із роздільними обмотками, а також електроінструментом класу III. В цьому разі джерело живлення (трансформатор, перетворювач тощо) слід розміщувати поза вказаними посудинами, а вторинне коло джерела не слід заземлювати.

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 [61]. 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. 4.9. Робота з монтажу системи опалення та її обладнання відноситься до категорії IIб по важкості праці.

Таблиця 4.9 – Допустимі норми параметрів повітря на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху, X
Холодний	IIб	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  $\text{мг/м}^3$  [61].

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 [61] наведено в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери в робочій зоні монтажника

Назва речовини	ГДК, $\text{мг/м}^3$		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення допустимих показників мікроклімату та складу повітря робочої зони відповідно до ДБН проектом передбачені наступні рішення [62]:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;
- необхідно здійснювати контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;
- застосовувати природну вентиляцію: організовану та неорганізовану.

#### 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 – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [63] розряд зорової роботи V, підрозряд «в». Нормовані значення освітленості наведені в табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – 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		
Малої точності	Від 1,0 до 5,0 включно	V	в	малий	світлий	-	200	1	0,6

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.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки – дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності. Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

- нормування за гранично допустимим спектром шуму;
- нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум – широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою – постійний; за походженням – гідродинамічний. Допустимі рівні звукового тиску на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 32.23-85 [64] і наведені в табл. 4.12.

Таблиця 4.12 – Допустимі рівні звукового тиску

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

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 [65] і наведені в табл. 4.13.

Таблиця 4.13 – 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.

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.

#### 4.2.2.6. Фактори трудового процесу.

Фактори трудового процесу визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [56]. Робота монтажника будівельних конструкцій потребує великих фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кГ/м) – до 290; зовнішнє фізичне

динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кг/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) – 13000; при загальному навантаженні ( за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – до 44000; маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кг – до 30 кг; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 40000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 20000; статичне навантаження (кг/с): двома руками (чоловіки) – до 70000; за участю м'язів тулуба та ніг – до 100 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни; перебування у вимушеній позі до 10%, в позі «стоячи» – до 60% часу зміни;нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 51-100 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 8, вертикалі – 4 км.

## 2. Класи умов праці за показниками напруженості праці.

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи - рішення складних завдань з вибором за алгоритмом; сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій; розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, контроль, перевірка завдання; характер виконуваної роботи – робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності

Сенсорні навантаження: зосередження (%за зміну) - більше 75; щільність сигналів (звукові за 1 год) - більше 300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності - є відповідальним за функціональну якість основної роботи; ступінь ризику для власного життя – вірогідний; ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

#### 4.2.3 Розрахунок надмірного тиску вибуху пилоповітряної суміші.

Оцінка можливих наслідків вибуху газу в разі аварії в котельні на котлі ДКВР 10-13

Густина газу при розрахунковій температурі  $t_p = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  визначається за формулою:

$$\rho_{\Gamma} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)},$$

$$\rho_{\Gamma} = \frac{16}{22,413(1 + 0,0036 \cdot 25)} = 0,65 \text{ (кг} \times \text{м}^{-3}\text{)},$$

де  $M$  – молярна маса речовини ( $M(C_xO_yH_z) = x \cdot M_C + y \cdot M_O + z \cdot M_H$ ),  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$  (для природного газу  $\text{CH}_4$  –  $M(\text{CH}_4) = 12 + 4 \cdot 1 = 16$ );

$V_0$  – мольний об'єм, що дорівнює  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ .

Стехіометрична концентрація ГГ або парів ЛЗР та ГР, % (об.), що визначається за формулою:

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta},$$

де  $\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 1 + \frac{4}{4} = 2$  – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції

згоряння (при розрахунку  $\beta$  атоми азоту не враховуються);

$n_c=1$ ,  $n_n=4$ ,  $n_o=0$ ,  $n_x=0$  – число атомів С, Н, О та галогенів у молекулі ГГ або парів ГР (робоче паливо – газ метан).

Тоді

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2} = 9,36.$$

Об'єм газу, що вийшов з апарата

$$V_a = \frac{P_1}{P_0} \cdot V,$$

де  $P_1=600$  – тиск в апараті, кПа (згідно техпаспорта котла);

$V = 2,75$  – об'єм апарата (згідно техпаспорта котла), м<sup>3</sup>;

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

$$V_a = 0,01 \cdot P_1 \cdot V = 0,01 \cdot 600 \cdot 2,75 = 16,5 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Об'єм газу, що вийшов з трубопроводів

$$V_T = V_{1T} + V_{2T} \text{ (м}^3\text{)},$$

де  $V_{1T}$  – об'єм газу, що вийшов з трубопроводу до його перекривання, м<sup>3</sup>;

$V_{2T}$  – об'єм газу, що вийшов з трубопроводу після його перекривання, м<sup>3</sup>.

$$V_{1T} = q \cdot \tau,$$

$$V_{1T} = 0,2 + 50 = 10 \text{ (м}^3\text{)}.$$

де  $q=0,2 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$  – витрата газу при максимальному навантаженні, яку визначають згідно з технологічним регламентом залежно від тиску у трубопроводі, його діаметру, температури газового середовища тощо (згідно техпаспорта котла);

$\tau = 50 \text{ с}$  – час перекривання у автоматичному режимі

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

$$V_{2T} = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot 0,11 \cdot 9 = 7,77 \text{ (м}^3\text{)},$$

де  $P_2 = 250$  – максимальний тиск у трубопроводі за технологічним регламентом, кПа;

$r_1 = 0,11$  – внутрішній радіус трубопроводів, м;

$L_1 = 9$  – загальна довжина трубопроводів від аварійного апарата до засувки, м;

$P_0 = 101,3$  – атмосферний тиск, кПа.

$$V_T = 10 + 7,77 = 17,77 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Масу газу, що потрапив до приміщення під час розрахункової аварії, визначаємо за формулою:

$$m_{\Gamma} = (V_a + V_T) \cdot \rho_{\Gamma},$$

$$m_{\Gamma} = (16,5 + 17,77) \cdot 0,65 = 22,3 \text{ (кг)}.$$

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

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m_{\Gamma} \cdot Z}{V_{вільн} \cdot \rho_{\Gamma}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_H},$$

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;

$m_{\Gamma}$  – маса ГГ або парів ЛЗР та ГР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до приміщення, яку визначають для ГГ;

$Z = 0,5$  – коефіцієнт участі ГГ або парів у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілення газів і парів в об'ємі приміщення;

$V_{вільн} = 480$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup> (згідно проекту);

$K_H$  – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення та неадіабатичність процесу горіння (приймається  $K_H = 3$ ).

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{22,3 \cdot 0,5 \cdot 100}{(8 \times 15 \times 4) \cdot 0,65 \cdot 9,36 \cdot 3} = 407 \text{ (кПа)}.$$



Визначимо розміри зони поширення полум'я та інтенсивності теплового випромінювання внаслідок вибуху.

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

$$R_{\text{НКМП}} = 14,5632 \cdot \left( \frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,333},$$

де  $m$  – маса ГГ, що надійшли до відкритого простору під час аварійної ситуації, кг;

$\rho_{\Gamma}$  – 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.

$$R_{\text{НКМП}} = 14,5632 \cdot \left( \frac{22,3}{0,65 \cdot 14} \right)^{0,333} = 19,62 \text{ (м)}.$$

Інтенсивність теплового випромінювання розраховуємо для пожежі «вогненна куля».

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

$$D_s = 5,33 m^{0,327},$$

$$D_s = 5,33 \cdot 22,3^{0,327} = 2,76 \text{ (м)}.$$

Висоту центра «вогняної кулі» визначаємо

$$H = D_s / 2,$$

$$H = 2,76 / 2 = 1,38 \text{ (м)}.$$

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

$$t_s = 0,92m^{0,303},$$

$$t_s = 0,92 \cdot 22,3^{0,303} = 2,6 \text{ (с)}.$$

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

$$r = \sqrt{D_s^2 + H^2},$$

$$r = \sqrt{2,76^2 + 1,38^2} = 3,08 \text{ (м)}.$$

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

$$\psi = \exp \left[ -7 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2) \right],$$

$$\psi = \exp \left[ -7 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \sqrt{(3,08^2 + 1,38^2)} - 2,76 / 2 \right) \right] = 0,99.$$

Кутовий коефіцієнт опромінення

$$F_q = \frac{H / D_s + 0,5}{4 \cdot \left[ (H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2 \right]^{1,5}},$$

$$F_q = \frac{1,38 / 2,76 + 0,5}{4 \cdot \left[ (1,38 / 2,76 + 0,5)^2 + (3,08 / 2,76)^2 \right]^{1,5}} = 0,103.$$

Інтенсивність теплового випромінювання обчислюємо за формулою:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi \text{ (кВт} \cdot \text{м}^{-2}\text{)},$$

де  $E_f$  – середньоповерхнева густина теплового потоку випромінювання полум'я, кВт·м<sup>-2</sup>. Величину  $E_f$  приймаємо рівною 450 кВт·м<sup>-2</sup>.

$$Q = 450 \cdot 0,103 \cdot 0,99 = 45,9 \text{ (кВт} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Внаслідок прогнозованого вибуху газоповітряної суміші у випадку аварії надмірний тиск ударної хвилі буде достатнім для сильного руйнування котельні, тому необхідно:

- забезпечити дотримання норм експлуатації обладнання;
- забезпечити дотримання всіх норм пожежної безпеки;
- встановити додаткові системи запобігання витоку газу з трубопроводів;
- робоче місце оператора розмістити за межами зони поширення полум'я;
- спроектувати конструкцію будівлі так щоб надмірний тиск ударної хвилі компенсувався за рахунок руйнування даху та віконних прорізів;
- запобігти розміщення в зоні поширення полум'я речовин, що можуть спалахнути за розрахованої інтенсивності теплового випромінювання;
- забезпечити виконання всіх внутрішніх норм і інструкцій безпеки.

### 4.3 Висновки до розділу

Розроблено технологію монтажу системи постачання біогазу для спалювання в парових котлах. Загальна маса усіх деталей становить 3553 кг. Для доставки деталей вибрано вантажний автомобіль МАЗ-4371N2-521-000. Після проведення необхідних розрахунків розроблені план для виконання монтажних робіт, аксонометричну схему трубопроводів, графік монтажу системи. Загальна тривалість монтажу обладнання  $T_{\text{заг}} = 11$  днів.

В підрозділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» проведено аналіз умов праці, розроблено вимоги до виробничої санітарії, розроблено технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту, заходи з електробезпеки, заходи запобігання вибуху газоповітряної суміші.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В даному розділі необхідно оцінити економічну ефективність інвестицій у влаштування нового обладнання у водогрійній котельні.

### 5.1 Локальний кошторис

Для розрахунку кошторисної вартості влаштування обладнання дотримувалися вимог ДСТУ Б Д 1.1.1 – 2013 «Правила визначення вартості будівництва» і використовували кошторисну програму «АВК».

Для визначення кошторисної вартості влаштування обладнання розробляємо локальний кошторисний документ за допомогою програмного комплексу АВК (табл. 5.1) на основі: ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН); кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції загально виробничі витрати розраховані відповідно до усереднених показників додатка 18 до Настанови з визначення вартості будівництва.

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.

Загальновиробничі 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.

Форма № 1

Таблиця 5.1 – Локальний кошторис на будівельні роботи № 2-1-1

Основа:  
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 2821,594 тис. грн.  
Кошторисна трудомісткість 2,62 тис.люд.-год.  
Кошторисна заробітна плата 195,826 тис. грн.  
Середній розряд робіт 4,6 розряд

Складений в поточних цінах станом на "2 грудня" 2020 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	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
					на одиницю	всього					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	M8-4-1	Монтаж реактора	шт	1	<u>800085,69</u> 2240,38	<u>876,28</u> 203,16	2400257	6721	<u>2629</u> 609	<u>29,44</u> 9,6544	<u>88,32</u> 28,96
2	M8-4-1	Монтаж газгольдера	шт	1	<u>86085,69</u> 2240,38	<u>876,28</u> 203,16	86086	2240	<u>876</u> 203	<u>29,44</u> 9,6544	<u>29,44</u> 9,65
3	M7-23-1	Монтаж компресора	комплект	1	<u>185331,52</u> 152509,50	<u>20541,29</u> 7241,43	185332	152510	<u>20541</u> 7241	<u>1836,8</u> 385,4128	<u>1836,8</u> 385,41
4	M6-11-1	Монтаж пальника МДП-Г2	т	0,1	<u>22496,72</u> 16850,83	<u>5360,24</u> 1244,04	2250	1685	<u>536</u> 124	<u>200,2</u> 57,9832	<u>20,02</u> 5,8
5	E20-31-1	Установлення вентиляторів	шт	2	<u>20457,13</u> 749,50	<u>9,70</u> 2,86	40914	1499	<u>19</u> 6	<u>10,2</u> 0,163	<u>20,4</u> 0,33
		Разом прямі витрати по кошторису					2714839	164655	<u>24601</u> 8183		<u>1994,98</u> 430,15
		Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн. всього заробітна плата, грн.					2714839		2525583		172838

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Загальновиробничі витрати, грн. трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. <b>Всього будівельні роботи, грн.</b>					106755 194,94 22988 <b>2821594</b>				
		----- <b>Всього по кошторису</b>					<b>2821594</b>				
		Кошторисна трудоємність, люд.год. Кошторисна заробітна плата, грн.					2620 195826				

Склав

\_\_\_\_\_

*[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]*

Перевірив

\_\_\_\_\_

*[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]*

## 5.2 Загальні витрати інноваційного проекту та термін окупності

Загальні витрати інноваційного проекту представлені в таблиці 5.2, розраховуються у відсотках від кошторисної вартості будівельно-монтажних робіт (значення приймається з локального кошторису таблиці 5.1).

Таблиця 5.2 – Перелік інноваційних витрат

Орієновна робота	Питома вага вартості роботи, %	Термін виконання роботи, міс.	Загальна вартість виконання роботи, тис. грн.
Формування інноваційної ідеї проекту	1	1	28,22
Вивчення інформаційних джерел, патентний пошук	0,2	1	5,64
Техніко–економічне обґрунтування	1,5	3	42,32
Проектування	2,5	4	70,54
Експертиза інноваційного рішення	1	1	28,22
Витрати на придбання патентів, ліцензій, ноу–хау, технологій	2	2	56,43
Виготовлення нового виробу	100	6	2821,594
Витрати на пусконаладжувальні роботи, комплексне освоєння проектних потужностей і досягнення техніко–економічних показників	3	1	84,65
Витрати на підготовку кадрів	5	2	141,08
Всього		21	3278,69

Показники комерційної ефективності проекту (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Показники комерційної ефективності проекту, тис. грн.

№	Показники	Рік						
		-1	0	1	2	3	4	5
1	Потік реальних грошей	- 231,37	-3178,32	1118,66	1108,11	1131,62	1134,89	1172,51
2	Сальдо реальних грошей	- 231,37	-2709,3	1118,66	1065,88	1089,39	1096,78	1138,52
3	Сальдо накопичених реальних грошей за п.2	- 231,37	-2940,67	-1822,02	-756,14	333,25	1430,03	2568,56
4	Коефіцієнт дисконтування при нормі дисконту 16%	1,16	1,00	0,86	0,74	0,64	0,55	0,48
5	Чиста поточна вартість	- 268,39	-3178,32	964,36	823,50	724,98	626,79	558,25
6	Інтегральний економічний ефект(накопичена чиста вартість) за п .5 ((t)+(t-1))	- 268,39	-3446,71	-2482,35	-1658,85	-933,87	-307,08	251,17

З таблиці 5.3 видно додатне сальдо накопичених реальних грошей на протязі п'яти років реалізації проекту.

Оцінювання економічної ефективності інноваційного проекту.

Чисті грошові надходженнями визначаються за формулою:

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

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.  $NV = 2256,1$  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  $\eta_t = 0,16$  – коефіцієнт дисконтування.

$$NPV = 251,17 \text{ тис. грн.}$$

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 інвестицій

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

Розрахунок терміну окупності кумулятивним методом.

Кумулятивний метод передбачає знаходження періоду окупності за формулою:

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

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 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунок простого терміну окупності кумулятивним методом, тис. грн.

Показник	Номер кроку розрахункового періоду						
	-1	0	1	2	3	4	5
Потік реальних грошей	-231,3707	-3178,32	1118,66	1108,11	1131,62	1134,89	1172,51
Кумулятивна	-231,3707	-3409,69	-2291,04	-1182,93	-51,31	1083,58	2256,10

Як видно з таблиці 5.4 за показником залишку інвестиційних витрат, строк окупності даного проекту знаходиться між 3 та 4 роком (перехід від від'ємного до додатного залишку). Відповідно, за формулою (5.4) термін окупності буде дорівнювати:

$$T = 3 + 51,31 / 1134,89 = 3,06 \text{ років.}$$

### 5.3 Висновки до розділу

Склали кошторисний документ – локальний кошторис. В локальному кошторисі пораховано:

- кошторисна вартість  $K_v = 2821,594$  тис. грн.;
- кошторисна заробітна плата ЗП = 195,826 тис. грн.;
- кошторисна трудомісткість  $T = 2,62$  тис. люд – год;
- вартість матеріалів – 172,838 тис. грн.

Розраховали основні показники ефективності інвестицій в інноваційний проект:

- чисті грошові надходження – 2256,1 тис. грн.;
- чиста поточна вартість – 251,17 тис. грн.;
- термін окупності, розрахований кумулятивним методом та методом усереднених параметрів – 3,06 роки.

## ВИСНОВКИ

Під час функціонування цукрових заводів, спиртових заводів, м'ясокомбінатів, молокозаводів утворюється значна кількість токсичних відходів. Часто ці відходи нелегально вивозяться, зливаються, розкидаються або закопуються в різних місцях чим відповідно спричиняють непоправну шкоду на довкілля. Такі органічні відходи мають енергетичний потенціал і можуть бути використані для виробництва біогазу та біометану. Для впровадження біогазових технологій потрібно вдосконалювати методи визначення інтенсивності теплообміну в багатокомпонентних органічних відходах.

Виконані розрахунки теплової схеми парової котельні спиртового заводу. Визначені витрати пари, конденсатів, робочого палива та умовного палива. Розрахунками визначено, що собівартість виробництва теплової енергії котельнею на природному газі при закупівельній ціні 41,9 грн./м<sup>3</sup> становить 1498,4 грн/ГДж.

Визначені техніко-економічні показники парової котельні спиртзаводу на різних видах палива. Встановлено, що собівартість теплової енергії при роботі на пелетах і трісці становить 680 грн./ГДж і 412 грн./ГДж відповідно, а на біогазі 324,85 грн./ГДж при собівартості виробництва біогазу 5 грн/м<sup>3</sup>.

Підібрано основне обладнання біогазової установки – біореактор, газгольдер, пальники для парових котлів.

Виконані експериментальні дослідження інтенсивності тепловіддачі до післяспиртової барди. Визначено що за умов перемішування з кількістю обертів 32 об/хв коефіцієнти тепловіддачі змінюються в діапазоні 312...505 Вт/(м<sup>2</sup>К) під час нагрівання і від 166 до 207 Вт/(м<sup>2</sup>К) під час охолодження.

З використанням значень коефіцієнтів тепловіддачі до барди отриманих за експериментально-розрахунковим методом визначена потужність для термостабілізації біореактора та необхідна площа поверхні теплообміну трубчатого теплообмінника, яка становить 67,65 м<sup>2</sup>.

Розроблено локальний кошторис. В локальному кошторисі визначено: кошторисна вартість  $K_s = 2821,594$  тис. грн; кошторисна заробітна плата ЗП = 195,826 тис. грн; кошторисна трудомісткість  $T = 2,62$  тис. люд –год; вартість матеріалів –172,838 тис. грн. Розрахували основні показники ефективності інвестицій в інноваційний проект: чисті грошові надходження – 2256,1 тис. грн.; чиста поточна вартість –251,17 тис. грн. Термін окупності, розрахований кумулятивним методом та методом усереднених параметрів – 3,06 роки.

Розроблено технологію монтажу системи постачання біогазу для спалювання в парових котлах. Загальна маса усіх деталей становить 3553 кг. Після проведення необхідних розрахунків розроблені план для виконання монтажних робіт, аксонометричну схему трубопроводів, графік монтажу системи. Загальна тривалість монтажу обладнання  $T_{\text{заг}} = 11$  днів.

Проведено аналіз умов праці, розроблено заходи з охорони праці та електробезпеки. При цьому виявлено, що внаслідок прогнозованого вибуху газоповітряної суміші у випадку аварії надмірний тиск ударної хвилі є достатнім для суттєвого руйнування котельні, тому необхідно забезпечити дотримання норм експлуатації обладнання, забезпечити дотримання всіх норм пожежної безпеки.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ткаченко С. Й., Власенко О. В., Степанова Н. Д., Резидент Н. В., Дмитришен В. В. Спряжена задача: теплопередача від навколишнього середовища до рідинного середовища. Енергоефективність в галузях економіки України : зб. тез доп. Міжнар. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 23-25 листоп. 2021 р. Вінниця, 2021. URL: <https://bit.ly/3WrOFdg> (дата звернення: 30.09.2022).
2. Власенко О. В., Дмитришен В. В. Спалювання енергетичної продукції в промислових котлах. НТКП ВНТУ. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії : зб. тез доп. Міжнар. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 18-29 травн. 2020 р. Вінниця, 2020. URL: <https://bit.ly/3Ia98P8> (дата звернення : 30.09.2022).
3. Сталий розвиток. URL: <https://bit.ly/3jetlsM> (дата звернення : 30.09.2022).
4. Ткаченко С.Й., Степанов Д. В., Степанова Н.Д. Аналіз соціальної та енерго- і природозбережної ефективності реалізації біогазової технології. *Вісник ВПІ*. 2020, №2, С. 34–41. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2478/2371>
5. Панчук М.В., Шлапак Л.С. Аналіз перспектив розвитку виробництва та використання біогазу в Україні. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. № 3(60). 2016. С. 26–33.
6. Стан та перспективи виробництва біогазу в Україні. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uabio.org/img/files/news/pdf/min-agro.pdf>
7. Біогаз і біометан. URL: <https://uabio.org/biogas-and-biomethane/> (дата звернення : 30.09.2022).
8. Які методи застосовують для очищення стічних вод молокозаводів ХСК. URL: <https://bit.ly/3PQ2ejW>. (дата звернення : 30.09.2022).
9. Мазур А.Г., Гонтарук Я.В. Економічна ефективність виробництва біогазу з відходів підприємств спиртової галузі вінницького регіону, Збірник наукових праць ВНАУ. №1 (56) 2012 .  
<http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/6141.pdf>

10. Brooks L., Parravicini V., Svardal K., Kroiss H., Prendl L. Biogas from sugar beet press pulp as substitute of fossil fuel in sugar beet factories. URL : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18957765/> (дата звернення: 30.09.2022).
11. Друга черга біогазового комплексу Юзефо-Миколаївської біогазової компанії: особливості проекту. URL : <https://uabio.org/news/uabio-news/11829/> (дата звернення: 02.10.2022).
12. Сировина для біогазу. URL : <https://ecolog-ua.com/news/syrovyna-dlya-biogazu> (дата звернення : 30.09.2022).
13. Баадер Б., Доне Е., Брендерфер М. Биогаз: Теория и практика. Москва : Колос, 1982. 148 с.
14. Гелетуха Г. Г., Кобзар С. Г. Современные технологии анаэробного сбраживания биомассы. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2002. № 4. С. 3–11.
15. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок. Київ : Техніка, 1992. 346 с.
16. Голуб Н. Б., Лелеко І.Г., Козловець О.А. Вплив коферментації сировини на вихід біогазу. *Відновлювана енергетика*. 2015. Вип. 41. № 2. С. 87–92.
17. Зорг вихід біогазу з різних видів сировини. URL : <https://zorg-biogas.com/biogaz/vyhod-biogaza> (дата звернення : 30.09.2022).
18. Ткаченко С. Й., Резидент Н. В. Моделювання інтенсивності теплообміну до багатокомпонентних органічних сумішей. *Вісник ВПІ*. 2005. № 6. С. 187 – 192.
19. Ткаченко С. Й., Резидент Н. В. Тепломасообмінні та гідродинамічні процеси в елементах систем біоконверсії : монографія. Вінниця: Універсум – Вінниця, 2011. 132 с.
20. Ткаченко С. Й., Пішеніна Н. В. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2017. 148 с.
21. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел тепlopостачання. Вінниця : ВНТУ, 2005, 137 с.

22. Степанова Н. Д., Степанов Д. В. Теплові мережі. Вінниця : ВНТУ, 2009. 135 с.
23. Боженко М. Ф. Основи проектування промислових та опалювальних котелень. Курсове проектування. Київ : Вища школа, 1992. 280 с.
24. Чепурний, М. М., Резидент Н.В. Тепломасообмін в прикладах і задачах : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2011. 128 с.
25. Аналіз перспектив розвитку виробництва та використання біогазу в Україні. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/84122738.pdf> (дата звернення 03.10.2022).
26. Лялюк О. Г. Економіка енергетики. Вінниця : ВНТУ, 2009. 118 с.
27. Денисов В. І. Техничко-економические расчеты в энергетике. Москва : Энергоиздат, 1985. 312 с.
28. Уряд встановив ціни на газ для виробників і постачальників тепла. URL: [https://zaxid.net/uryad\\_vstanoviv\\_tsini\\_na\\_gaz\\_do\\_vesni\\_nastupnogo\\_roku\\_n1546700](https://zaxid.net/uryad_vstanoviv_tsini_na_gaz_do_vesni_nastupnogo_roku_n1546700) (дата звернення: 11.10.2022).
29. Ціни на газ для установ та організацій, що фінансуються з державного та місцевих бюджетів. URL: <https://gazpostach.od.ua/dlya-ustanov-ta-organizacij-shho-finansuyutsya-z-derzhavnogo-ta-miscevih-byudzhativ/> (дата звернення: 11.10.2022).
30. Ціна на електроенергію в опалювальний період на 2022-2023 роки. URL: [phttps://ukravtonomgaz.ua/blog/tarifi-na-elektroenergiyu-dlya-biznesu-5-7-grnkvt-god-v-opalyvalniy-period-2022-2023-rokiv](https://ukravtonomgaz.ua/blog/tarifi-na-elektroenergiyu-dlya-biznesu-5-7-grnkvt-god-v-opalyvalniy-period-2022-2023-rokiv) (дата звернення: 11.10.2022).
31. Тарифи на водопостачання та водовідведення. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/water/>.(дата звернення: 11.10.2022).
32. Пелети з деревини. URL: <https://bit.ly/3V4KxhO> (дата звернення: 15.10.2022).
33. Пелети А1. <https://gi-pellets.com.ua/produksiya/na-palletakh> (дата звернення: 15.10.2022).
34. Тріска опалювальна 1 м куб. Ціна на пелети та тріску. URL: <https://gi-pellets.com.ua/produksiya/shepa-otopitelynaya> (дата звернення: 15.10.2022).

35. Вентилятор ВД-6 (ВД 167-37 №6) дугтьевой одностороннего всасывания. URL: <https://ukrvent.com/vd-6-html/>(дата звертання 19.11.2021).
36. Пальники газові мікродифузійні URL: [http://www.eecomplex.com.ua/wp-content/uploads/pdf/dg\\_mdp-g.pdf](http://www.eecomplex.com.ua/wp-content/uploads/pdf/dg_mdp-g.pdf) (дата звертання 15.10.2022).
37. НПАОП 0.00-1.73-14. Правила охорони праці та безпечної експлуатації технологічних трубопроводів. [Чинний від 2014-12-09]. Вид. офіц. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2014. 84 с.
38. ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання. [Чинний від 2019-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 207 с.
39. Труби сталеві електрозварні. URL: <https://www.kt-stal.com.ua/ua/products/truba-kruglaya-vgr-2/truba-el-sv> (дата звертання 20.10.2022).
40. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Частина I : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2021. 113 с.
41. Газовый электромагнитный клапан MADAS M16/RM NC. URL: <https://armakip.com.ua/index.php?id=57> (дата звертання 20.10.2022).
42. Задвижка бабтерфляй Ду200 поворотный затвор – СЛЭМЗ. URL: <https://slemz.com.ua/zaporka/zatvori/dy200/batterfly-dy2050-py16-chugun> (дата звертання 20.10.2022).
43. Кран шаровий сталевий фланцевий ZET Ду 200 URL: <https://bit.ly/3WDIbHO> (дата звертання 20.12.2021).
44. ДБН Д.2.2-19-99. Збірник 19. Газопостачання - внутрішні пристрої. [Чинний від 2019-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держбудівництва та архітектури, 1999. 159 с.
45. ДБН Д.2.3-7-99. Збірник 7. Компресорні установки, насоси і вентилятори [Чинний від 2000-01-01]. Вид. офіц. Київ : ЦМДБ «Созидатель», 2000. 105 с.
46. ДБН Д.2.3-12-99. Збірник 12. Технологічні трубопроводи. [Чинний від 1999-05-11]. Вид. офіц. Київ: Держбудівництва та архітектури, 2000. 46 с.



47. Монтаж трубопроводів і запірної арматури. URL: [https://zinref.ru/000\\_uchebniki/00850\\_energetica/004\\_montaj\\_i\\_remont\\_teplovih\\_elektr\\_stanci\\_lekicii\\_ukraina/007.htm](https://zinref.ru/000_uchebniki/00850_energetica/004_montaj_i_remont_teplovih_elektr_stanci_lekicii_ukraina/007.htm) (дата звертання 20.10.2022).

48. Вантажні автомобілі. Каталог URL: <https://avtek.ua> (дата звертання 20.12.2021).

49. Візок гідравлічний ручний Staxx DFL-30. URL: <https://kozakplus.ua/products/transport-store-equipment/hand-pallet-truck/lf30> (дата звернення 20.10.2022).

50. Лебідка монтажна ЛЕЦ-2-200. URL: <https://lebedka.ua/lebedki/montazhnaya-lec-2-200/> (дата звертання 20.12.2021).

51. Каталог обладнання для електричного зварювання. URL: <https://hunter-ua.com/ru> (дата звертання 20.10.2022).

52. Перфораторы. URL: <https://maklta.com.ua/hammers-makita-m8700>. (дата звертання 20.12.2021).

53. Кутова шліфмашина. URL: <https://maklta.com.ua/uglovye-shlifmashiny-makita> (дата звертання 20.10.2022).

54. Опрессовщик электрический Aqua Word DSY-60 URL: <https://termosvit.com.ua/p1241511580-opressovschik-elektricheskij-aqua.html> (дата звертання 20.10.2022).

55. Каталог будівельних машин і інструментів URL: <http://powertools.co.nz> (дата звертання 20.10.2022).

56. 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).

57. 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://bit.ly/3jtkBPL>

58. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.
59. 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.
60. 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>.
61. 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>.
62. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
63. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.
64. 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>.
65. 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>



Додаток Б  
(обов'язковий)

УЗГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖЕНО

\_\_\_\_\_  
Керівник або заступник

\_\_\_\_\_  
Назва підприємства або установи

\_\_\_\_\_  
Підпис

\_\_\_\_\_  
Ініціали та прізвище

“ ” 20 р.

В.о. завідувача кафедри ТЕ



ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу на тему:

«Біогазова установка в системі виробництва  
теплової енергії спиртзаводу»

Керівник роботи:

к. т. н. доц. Резидент Н. В.

Виконавець:

студент гр. ТЕ-21 м

Дмитришен В. В.

Вінниця 2022

## 1 Найменування та область застосування

Розробка стосується промислової теплоенергетики і реконструкції парової котельні в с. Довжок, яка дозволить підвищити ефективність зменшити споживання природного газу, зменшити шкідливі викиди котельні та спиртового заводу в навколишнє середовище.

## 2 Основа для проведення розробки

Основою для виконання роботи є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, вхідні дані з котельні, наказ ректора ВНТУ про затвердження теми МКР № 203 від «14» вересня 2022 року.

## 3 Мета та призначення розробки

Заміщення природного газу зменшення собівартості виробництва теплової енергії, зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище шляхом впровадження відновлюваних видів палива та проведення експериментальних досліджень інтенсивності тепловіддачі до органічних відходів спиртового виробництва.

## 4 Джерела розробки

Основою для розробки є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу, дані літературних та інтернет джерел, інші технічні матеріали щодо застосування відновлюваних видів палива.

1. Ткаченко С. Й., Резидент Н. В. Тепломасообмінні та гідродинамічні процеси в елементах систем біоконверсії : монографія. Вінниця: Універсум – Вінниця, 2011. 132 с.

2. Ткаченко С. Й., Пішеніна Н. В. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2017. 148 с.

3. S.Tkachenko, O. Vlasenko, N. Rezydent., D. Stepanov, N. Stepanova. Cooling and heating of the fluid in the cylindrical volume. *Acta Innovations..* DOI: [10.32933/ActaInnovations.42.2/](https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.42.2/)

4. Власенко О. В. Дослідження теплообміну в об'ємі двофазної рідини за умов вимушеної її конвекції. *Вісник ВПІ*. 2021. № 6. С. 14 – 20.

5. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Частина I : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2021. 113 с.

## 5 Технічні вимоги

5.1 Забезпечення промислових споживачів парою з визначеними показниками: тиском, температурою, витратою.

- |   |                           |
|---|---------------------------|
| 5.1.1 Витрата пари на промислові споживачі..... | 5 т/год;                  |
| 5.1.2 Витрата пари на біогазову установку... .. | 0,65 т/год;               |
| 5.1.3 Тиск пари на промислові споживачі .....   | 0,75 МПа;                 |
| 5.1.4 Температура пари.....                     | 175 °С;                   |
| 5.1.5 Витрата післяспиртової барди.....         | 500 м <sup>3</sup> /добу. |



5.2 Використання для джерела енергопостачання відновлюваного виду палива. Паливо: тверда біомаса, біогаз.

5.3 Зменшення споживання або повна заміна природного газу.

## 6 Економічні показники

Створення об'єкту повинно вестись з мінімальними витратами праці та з мінімальними затратами виробництва. Здійснити економічне обґрунтування доцільності переведення котельні на альтернативні природному газу види палива, визначивши річні витрати палива, економію палива, зменшення шкідливих викидів в атмосферу, визначити термін окупності капіталовкладень на будівництво.

## 7 Вимоги до стандартизації та уніфікації

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

## 8 Вимоги з надійності

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

## 9 Стадії та етапи розробки

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Біогазові технології як альтернатива природному газу на промислових підприємствах	20.09.22...10.10.22	
2	Аналіз показників роботи котельні на різних видах палива	11.10.22...21.10.22	
3	Дослідження інтенсивності тепловіддачі до органічних відходів спиртового виробництва	22.10.21...05.11.22	
4	Організаційно-технологічне забезпечення реалізації проектних рішень	06.11.22...22.11.22	
5	Економічна частина	23.11.22...04.12.22	
7	Оформлення МКР	05.12.22...12.12.22	
8	Попередній захист МКР	13.12.22...17.12.22	
9	Захист МКР	18.12.22...24.12.22	

Дата видачі завдання «\_\_»\_\_\_\_\_ 2022 р.

Крайні терміни виконання «\_\_»\_\_\_\_\_ 2022 р.

## 10 Порядок контролю та приймання

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

## 11 Корегування технічного завдання допускається з дозволу керівника МКР.

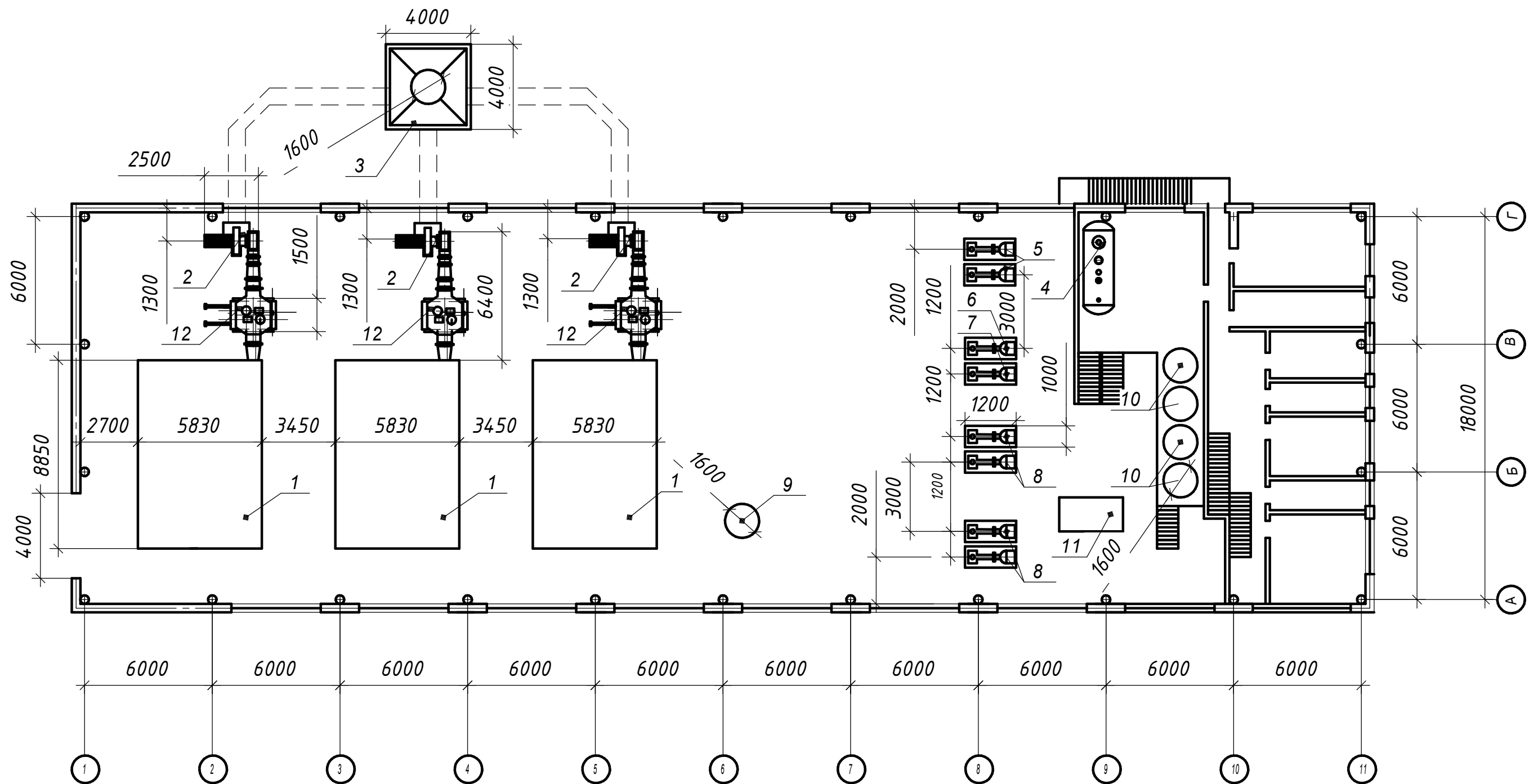
Додаток В  
(обов'язковий)

**ГРАФІЧНА ЧАСТИНА**

**БІОГАЗОВА УСТАНОВКА В СИСТЕМІ ВИРОБНИЦТВА  
ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ СПИРТЗАВОДУ**





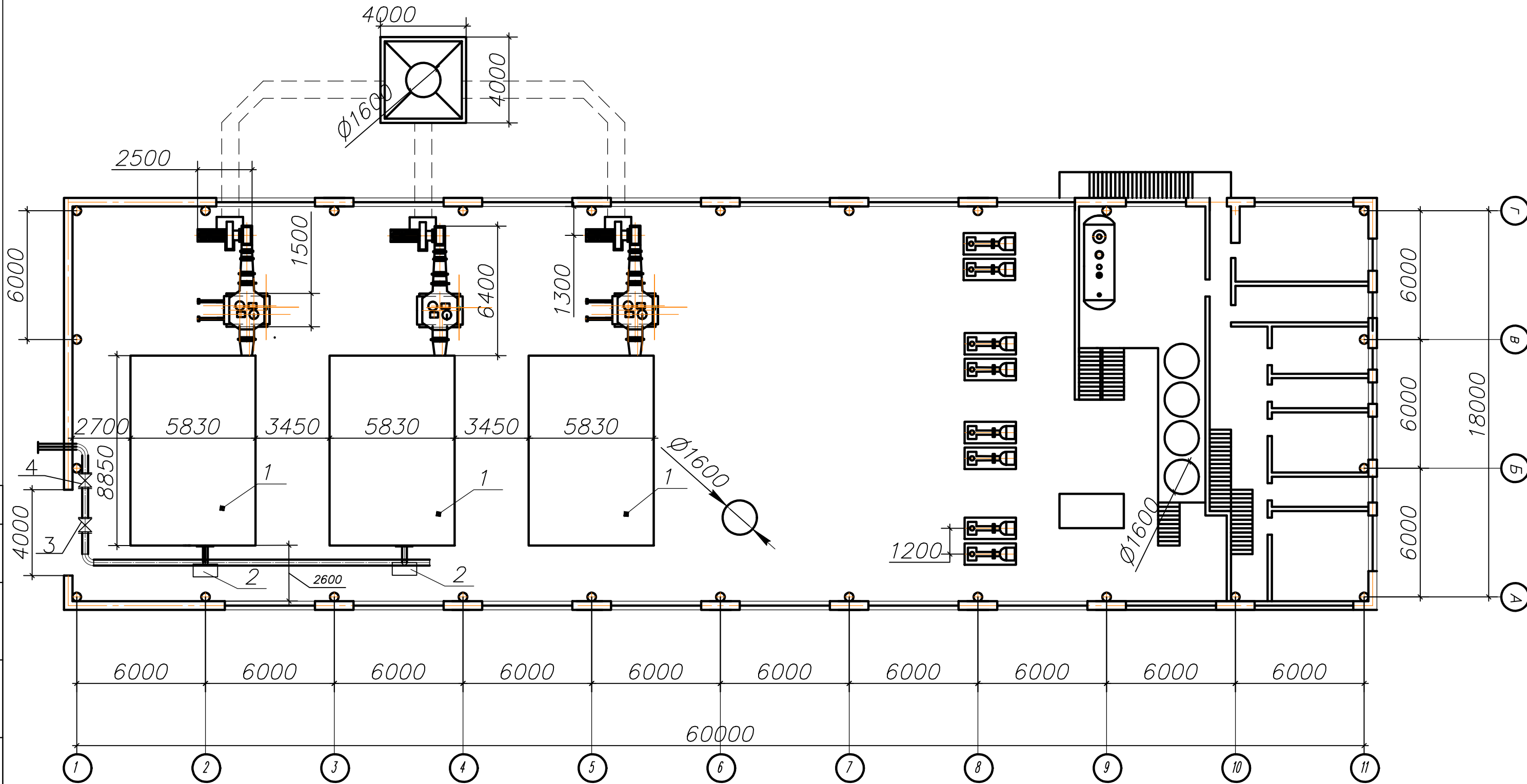


Согласовано

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

08-11.МКР.002.01.00.000 АР					
с. Довжок					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Розробив		Дмитришен В.В.			
Перевірів		Резидент Н.В.			
Т.контр.		Резидент Н.В.			
Опонент		Бондар А.В.			
Н.контр.		Резидент Н.В.			
Затверд.		Степанов Д.В.			
Біогазова установка в системі виробництва теплової енергії спиртзаводу				Стадія	Лист
План існуючої котельні на відм. 0.000					Листов
					1
				ВНТУ, гр. ТЕ-21м	





Согласовано

Инв. № подл.	
Подпись и дата	
Взам инв №	

						08-11.МКР.002.02.00.000 АР			
						с. Довжок			
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Біогазова установка в системі виробництва теплової енергії спиртзаводу	Стадія	Лист	Листов
Розробив	Дмитришен В.В.								
Перевірив	Резидент Н.В.								
Т.контр.	Резидент Н.В.								
Опонент	Бондар А.В.								
Н.контр.	Резидент Н.В.					План котельні на відм. 0.000 після реконструкції	ВНТУ, гр. ТЕ-21м		
Затверд.	Степанов Д.В.								

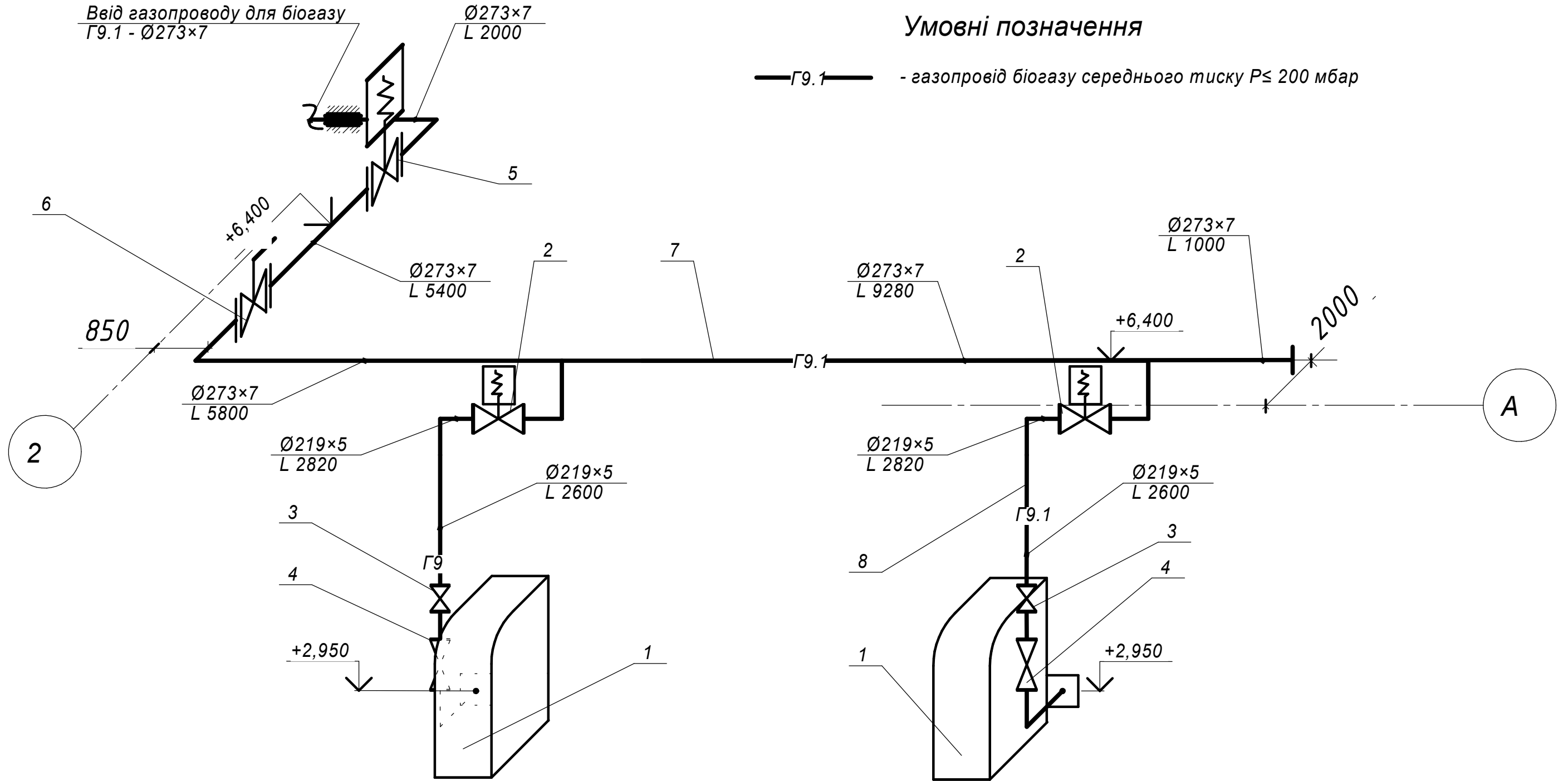
Поз. обозначение	Наименование				Кол.	Примечание
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.		
1	Пальник газовий МДП-2Г-2200				2	шт
2	Клапан електромагнітний газовий Madas V16/RM NC, DN200				2	шт
3	Засувка "багерфляй" газова, DN 200				2	шт
4	Кран кульовий фланцевий				2	шт
5	Клапан електромагнітний газовий Madas V16/RM NC, DN250				1	шт
6	Засувка 30лс41нж, DN250				1	шт
7	Труба 273×7, ГОСТ 10704-91				22,5	м
8	Труба 219×5, ГОСТ 10704-91				8,4	м
08-11.МКР.002.03.00.000						
					Монтажна схема пальників	
					парового котла	
					ВНТУ, гр. ТЕ-21м	
					1	

Ввід газопроводу для біогазу  
Г9.1 - Ø273×7

Ø273×7  
L 2000

Умовні позначення

— Г9.1 — - газопровід біогазу середнього тиску  $P \leq 200$  мбар



Соголасовано				
Взам. инв. №				
Подп. и дата				
Инв. № подл.				

						08-11.МКР.002.03.00.000 Г5			
						с. Довжок			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Біогазова установка в системі виробництва теплової енергії спиртзаводу	Стадія	Лист	Листов
Розробив				Дмитришен В.В.					
Перевірив				Резидент Н.В.					
Т.контр.				Резидент Н.В.					
Опонент				Бондар А.В.					
Н.контр.				Резидент Н.В.		Монтажна схема паливників парового котла	ВНТУ, гр. ТЕ-21м		
Затверд.				Степанов Д.В.			Формат А3		

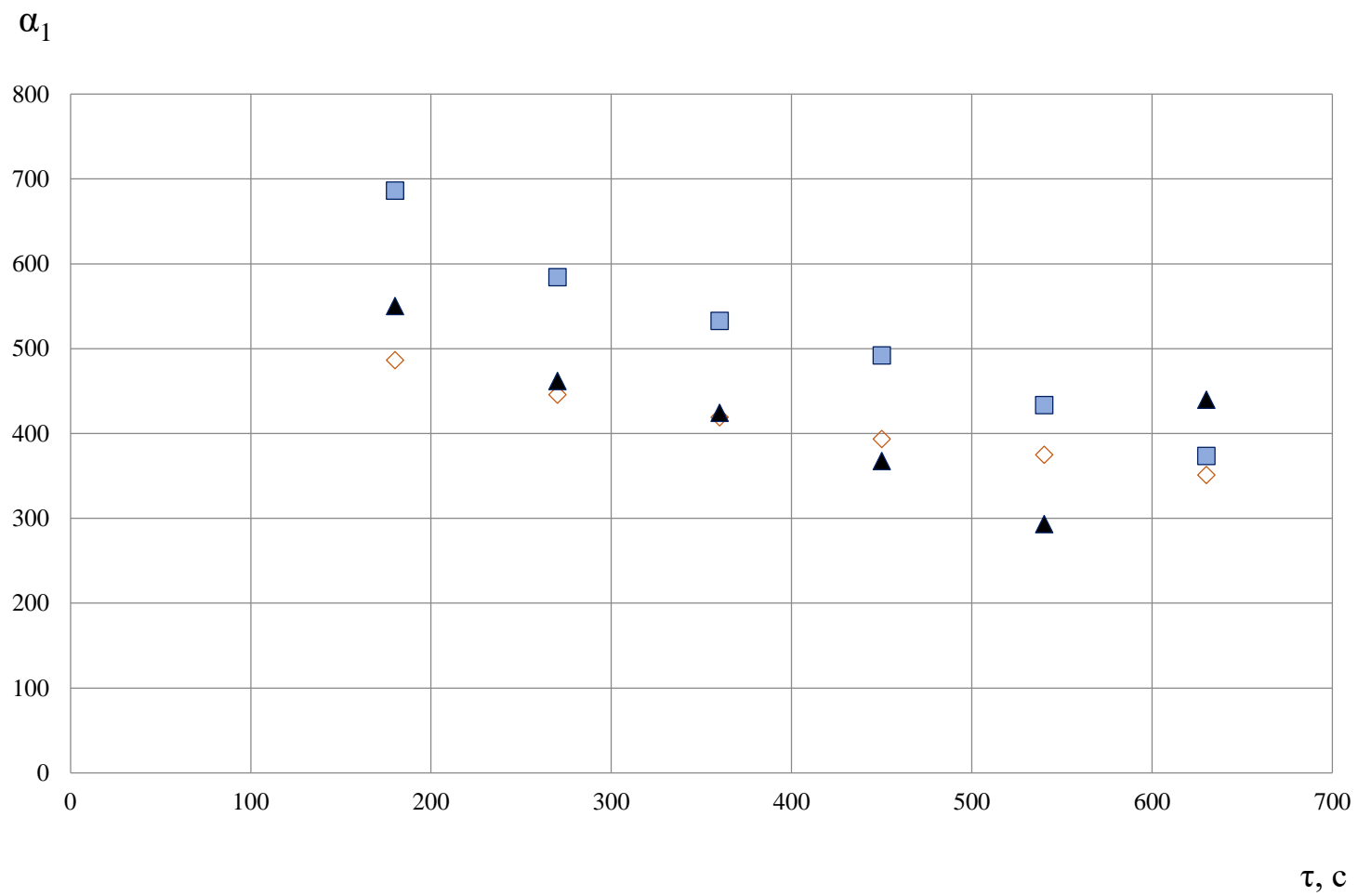


Додаток Г  
(обов'язковий)

**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

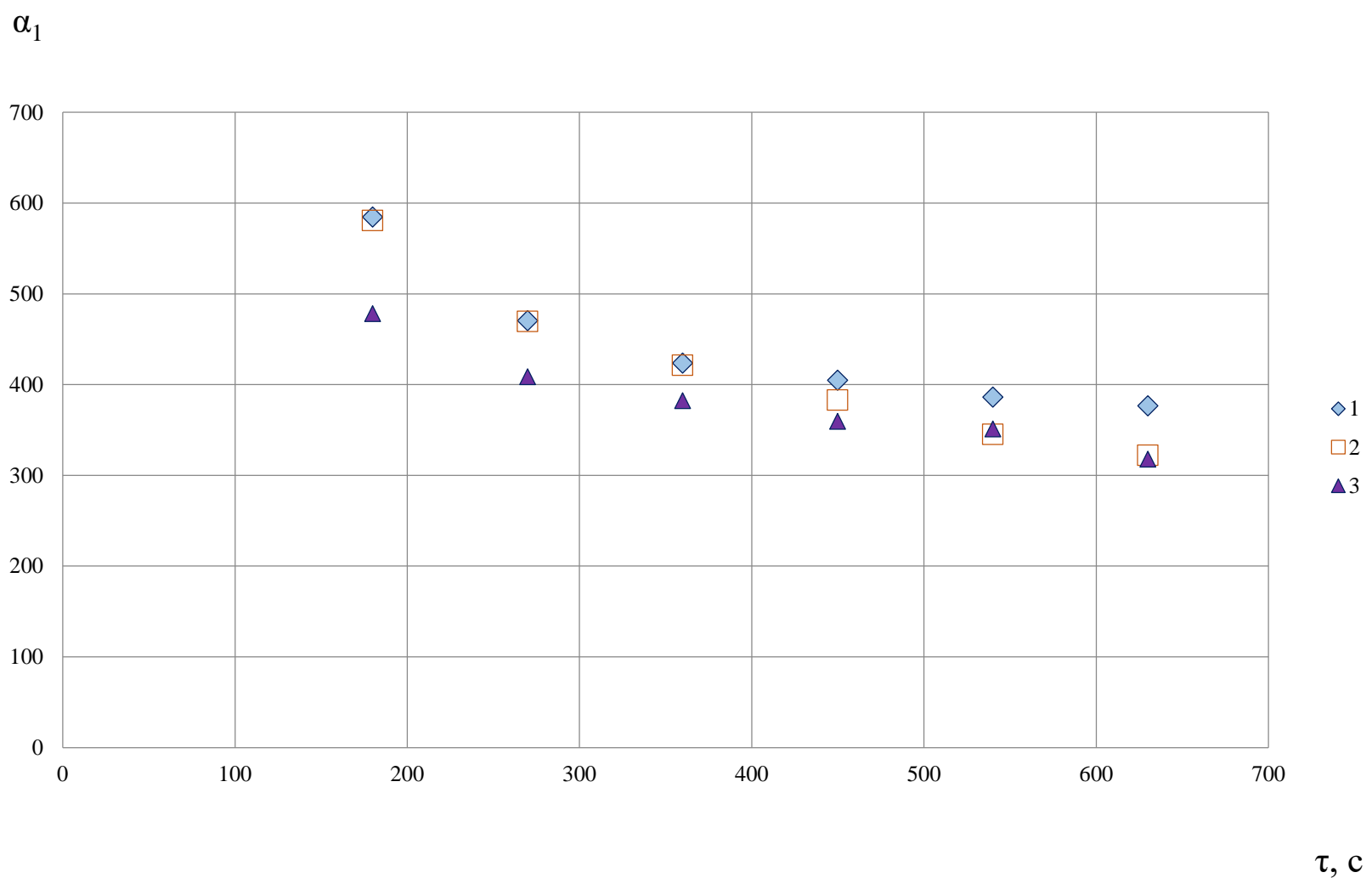
**БІОГАЗОВА УСТАНОВКА В СИСТЕМІ ВИРОБНИЦТВА  
ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ СПИРТЗАВОДУ**

## КОЕФІЦІЄНТИ ТЕПЛОВІДАЧІ ДО ВОДИ ПІД ЧАС НАГРІВАННЯ



1 –  $w = 0,16$  м/с; 2 –  $w = 0,31$  м/с; 3 –  $w = 0,63$  м/с

## КОЕФІЦІЄНТИ ТЕПЛОВІДАЧІ ДО ВОДИ ПІД ЧАС ОХОЛОДЖЕННЯ

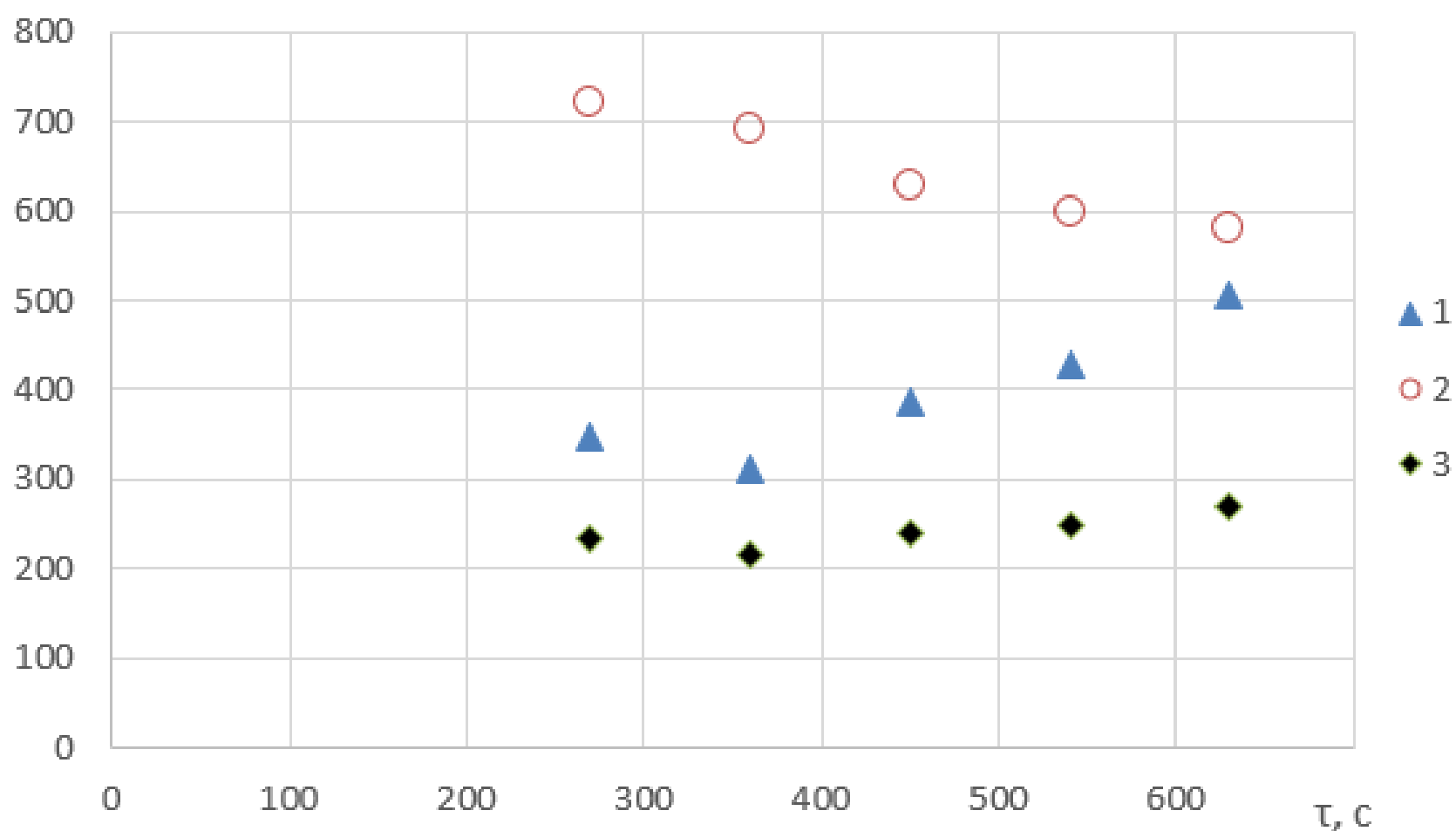


1 –  $w = 0,16$  м/с; 2 –  $w = 0,31$  м/с; 3 –  $w = 0,63$  м/с



## КОЕФІЦІЄНТИ ТЕПЛОВІДДАЧІ ДО БАРДИ ПІД ЧАС НАГРІВАННЯ

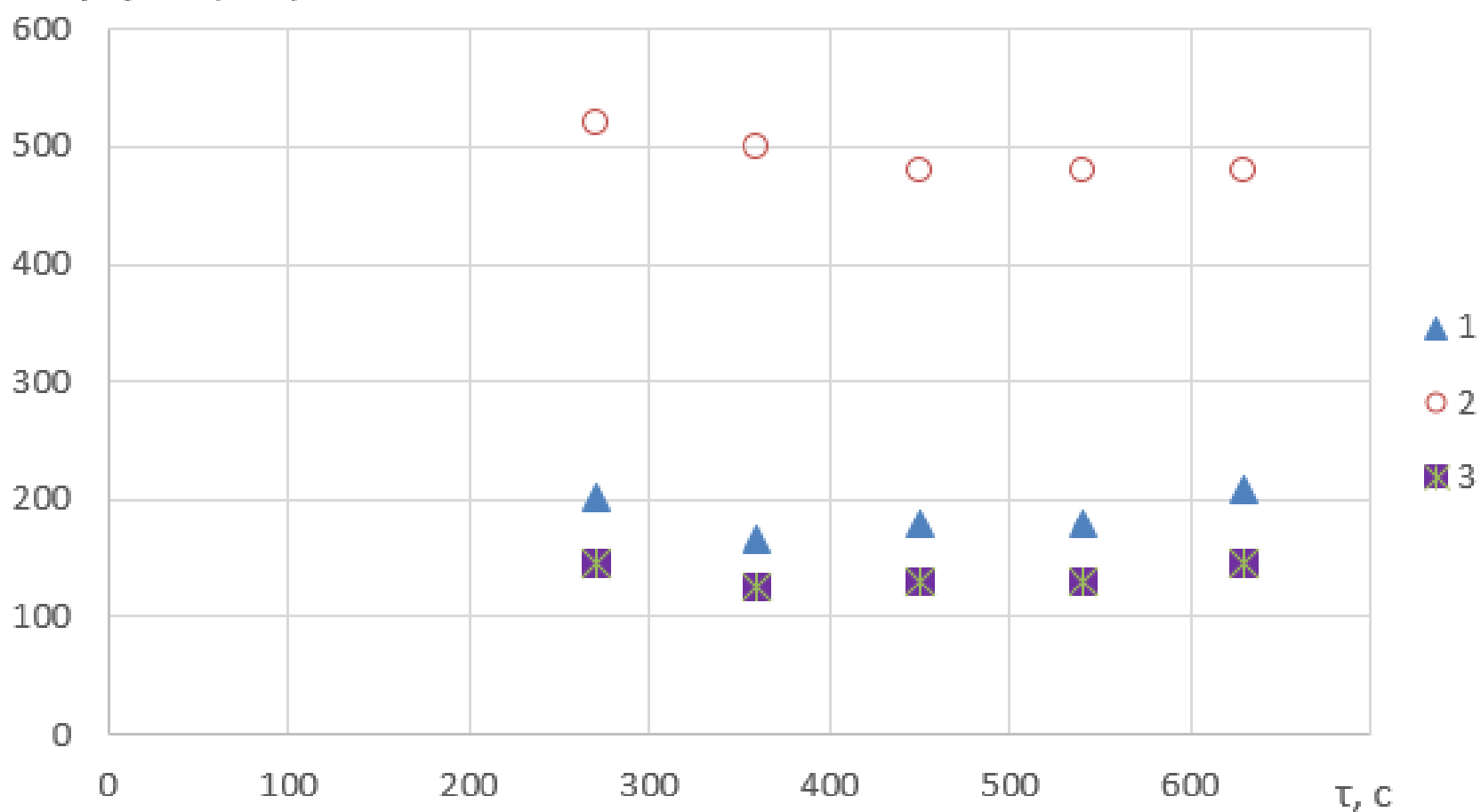
$\alpha, k, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$



1 – КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОВІДДАЧІ ВІД МЕТАЛЕВОЇ СТІНКИ ДО БАРДИ;  
2 – КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОВІДДАЧІ ЗІ СТОРОНИ ВОДИ; 3 – КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ

## КОЕФІЦІЄНТИ ТЕПЛОВІДДАЧІ ДО БАРДИ ПІД ЧАС ОХОЛОДЖЕННЯ

$\alpha, k, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$



1 – КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОВІДДАЧІ ВІД МЕТАЛЕВОЇ СТІНКИ ДО БАРДИ;  
2 – КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОВІДДАЧІ ЗІ СТОРОНИ ВОДИ; 3 – КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ