

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теплоенергетики

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістра

(освітній ступінь)

на тему «Використання відновлювальних джерел енергії
на теплоелектроцентралі цукрового заводу»

08-11.МКР.001.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-19м

спеціальності 144 - теплоенергетика

(шифр і назва спеціальності)

Войтко О.В.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник Степанов Д.В.

(прізвище та ініціали)

Опонент Дудар І.Н.

(прізвище та ініціали)

Вінниця 2021 р.

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання
Кафедра теплоенергетики
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 144 - теплоенергетика
(шифр і назва)
Освітня програма «Теплоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТЕ
С.Й.Ткаченко
“ ” 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ВОЙТКУ ОЛЕГУ ВІКТОРОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи " Використання відновлювальних джерел енергії на теплоелектроцентралі цукрового заводу

керівник роботи Степанов Д.В., к.т.н., доцент,

(прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 09.03.2021 р. № 64

2. Строк подання студентом роботи 3 червня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: на ТЕЦ встановлено 3 котли БКЗ-75-39 ФБ, параметри перегрітої пари 40 бар, 440 °С, електрична потужність турбіни 12 МВт, паливо – гранули з лушпиння соняшника з додаванням біогазу; річна переробка буряку 676 тис. т.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналітичний огляд літературної та патентної інформації, дослідження ефективності використання відновлюваних джерел енергії на ТЕЦ цукрового заводу, дослідження показників парогенератора БКЗ-75-39ФБ при спалюванні різних палив, технологія виконання монтажних робіт системи забезпечення паливними гранулами парогенераторів ТЕЦ, розробка функціональної схеми автоматизації, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, техніко-економічні показники.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) результати дослідження показників використання відновлюваних джерел енергії на ТЕЦ цукрового заводу, повздовжній розріз котла БКЗ-75-39ФБ, поперечний розріз котла БКЗ-75-39ФБ, результати досліджень показників роботи котла БКЗ-75-39ФБ на різних паливах, технологія виконання монтажних робіт системи забезпечення паливними гранулами парогенераторів ТЕЦ (фрагмент плану, схема монтажна, календарний план), схема функціональна автоматизації парового котла БКЗ-75-39ФБ, техніко-економічні показники

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП	Віштак І. Зав. каф. БЖДПБ		
ТЕП	Лялюк О.Г., доц. каф. БМГА		

7. Дата видачі завдання 10 березня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Аналітичний огляд літературної та патентної інформації	10.03.2021 – 16.03.2021	
2	Дослідження ефективності використання відновлюваних джерел енергії на ТЕЦ цукрового заводу	17.03.2021 – 25.03.2021	
3	Дослідження показників парогенератора БКЗ-75-39ФБ при спалюванні різних палив	26.03.2021- 02.04.2021	
4	Технологія виконання монтажних робіт системи забезпечення паливними гранулами парогенераторів ТЕЦ	03.04.2021 – 10.04.2021	
5	Розробка функціональної схеми автоматизації котла БКЗ-75-39ФБ	11.04.2021 – 01.05.2021	
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	02.05.2021 – 10.05.2021	
7	Техніко-економічні показники	11.05.2021 – 15.05.2021	
8	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу. Перевірка на плагіат.	16.05.2021 – 05.06.2021	

Студент _____ **Войтко О.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ **Степанов Д.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Опонент _____ **Дудар І.Н.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

В даній магістерській кваліфікаційній роботі розроблено проблему підвищення ефективності роботи теплоелектроцентралі цукрового заводу шляхом використання відновлюваних джерел енергії, а саме біомаси у вигляді гранул з лущиння соняшника та біогазу.

В роботі виконано аналіз літературної та патентної інформації щодо використання відновлюваних джерел енергії та енергетичного використання органічних відходів на теплоелектроцентралях цукрових заводів, проведено дослідження та узагальнення показників роботи парогенератора БКЗ-75-39ФБ при спалюванні в ньому різних палив, також розроблена технологія виконання монтажних робіт системи забезпечення паливними гранулами парогенераторів ТЕЦ, складено функціональну схему системи автоматизації парогенератора, виконано розробку кошторису та розрахунок техніко-економічних показників роботи ТЕЦ цукрового заводу, розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Annotation

In this master's qualification work the problem of increase of efficiency of work of thermal power plant of sugar factory at use of renewable energy sources, namely biomass in the form of granules from peeling of sunflowers and biogas is developed.

The analysis of literature and patent information on the use of renewable energy sources and energy use of organic waste at thermal power plants of sugar factories, the study and generalization of the performance of the steam generator BKZ-75-39FB when burning various fuels, also developed technology for installation of fuel pellets of CHP steam generators, made a functional diagram of the steam generator automation system, developed an estimate and calculation of technical and economic performance of the CHP of the sugar plant, developed security measures labor and safety in emergencies.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНОЇ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ТЕЦ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ ...	8
1.1 Аналітичний огляд літературної та патентної інформації.....	8
1.2 Дослідження ефективності використання відновлюваних джерел енергії на ТЕЦ цукрового заводу	9
1.3 Висновки до розділу 1	10
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ПАРОГЕНЕРАТОРА БКЗ-75-39ФБ ПРИ СПАЛЮВАННІ РІЗНИХ ПАЛИВ.....	11
2.1 Розробка математичної моделі для визначення показників роботи котла БКЗ-75-39ФБ при спалюванні суміші твердого та газового палива	11
2.2 Тепловий розрахунок парового котла БКЗ-75-39 ФБ при спалюванні суміші гранул з лушпиння соняшника та біогазу	12
2.2.1 Об'єми і ентальпії повітря та продуктів згорання	13
2.2.2 Тепловий баланс котлоагрегату та витрата палива	18
2.2.3 Тепловий розрахунок топки	19
2.2.4 Тепловий розрахунок фестону	23
2.2.5 Тепловий розрахунок пароперегрівників.....	25
2.2.6 Тепловий розрахунок хвостових поверхонь котла.....	33
2.2.9 Розрахунок загальної нев'язки теплового балансу.....	43
2.3 Результати дослідження енергетичної ефективності спалювання різних палив в парогенераторі БКЗ-75-39ФБ	43
2.4 Висновки до розділу 2	45
3 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	46
3.1 Технологія виконання монтажних робіт системи забезпечення паливними гранулами парогенераторів ТЕЦ.....	46
3.1.1 Розрахунок, комплектування основних та допоміжних матеріалів і виробів, складання відомостей	48
3.1.2 Визначення складу та об'ємів робіт	49
3.1.3 Монтаж стрічкових конвеєрів	51
3.1.4 Підбір машин, механізмів, пристосувань.....	52
3.1.5 Витрата паливних та енергетичних ресурсів.....	54
3.1.6 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт	55

3.1.7	Визначення складу ланок і підбір монтажного інструменту	58
3.2	Розробка функціональної схеми автоматизації	59
3.2.1	Характеристика технологічного обладнання	59
3.2.2	Обґрунтування вибору регульованих величин, та каналів регульовального впливу	61
3.2.3	Система потужності котла	62
3.2.4	АСР розрідження в топці	63
3.2.5	АСР паливо – повітря.....	64
3.2.6	АСР температури перегрітої пари	65
3.2.7	АСР живлення котла.....	66
3.2.8	Засоби автоматизації.....	68
3.2.9	Величини, які підлягають контролю та сигналізації.....	71
3.3	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	73
3.3.1	Виробнича санітарія.....	73
3.3.2	Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	78
3.3.4	Пожежна безпека.....	79
3.4	Висновки до розділу 3	81
4	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ.....	82
4.1	Визначення інвестицій на влаштування обладнання	82
4.2	Техніко-економічні показники роботи ТЕЦ на гранулах з лушпиння соняшнику.....	87
4.3	Висновки до розділу 4	90
	ВИСНОВКИ.....	91
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	93
	ДОДАТОК А.....	97

ВСТУП

Актуальність теми. Використання відновлюваних джерел енергії в промисловості виходить останнім часом на провідне місце серед найважливіших проблем енергетики людства.

Непоновлювані енергоресурси вичерпуються, їх ціна стрімко зростає, при їх спалюванні виділяється велика кількість шкідливих викидів, що призводять до глобального потепління та інших негативних екологічних наслідків.

Одним з напрямків зменшення собівартості продукції та техногенного навантаження на навколишнє середовище є впровадження енергосистем, що використовують відновлювані енергоресурси та органічні відходи як джерело енергії.

В Україні утворюється значна кількість біомаси, що може бути використана для задоволення енергетичних потреб, наприклад, лушпиння соняшника та інші сільськогосподарські і промислові відходи. Буряковий жом, меляса патока тощо можуть бути ефективно перероблені в біогазових установках з отриманням висококалорійного палива – біогазу.

Кожен з вищеописаних варіантів використання відновлюваних енергоресурсів має свої переваги і недоліки, свою ефективність для того чи іншого об'єкту.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування теплоелектроцентралі цукрового заводу шляхом використання відновлюваних джерел енергії.

Для досягнення даної мети розв'язані такі **завдання**:

- аналітичний огляд літературної та патентної інформації щодо підвищення ефективності роботи ТЕЦ цукрового заводу;
- аналіз ефективності використання відновлюваних енергоресурсів на ТЕЦ цукрового заводу;
- дослідження ефективності спалювання різних палив в парогенераторі БКЗ-75-39ФБ;

- розробка технології монтажу системи подавання біомаси в ТЕЦ цукрового заводу з парогенераторами БКЗ-75-39ФБ;
- розробка системи автоматизованого регулювання котла БКЗ-75-39ФБ;
- розробка економічних показників використання відновлюваних джерел енергії на ТЕЦ цукрового заводу;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Об’єкт дослідження

Об’єктом є використання відновлюваних джерел енергії на ТЕЦ цукрового заводу.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є ефективність використання відновлюваних джерел енергії на ТЕЦ цукрового заводу.

Методи дослідження

Для виконання даної кваліфікаційної роботи використовуються методи математичного моделювання, методи аналізу та синтезу теплотехнологічних та теплоенергетичних систем, методи економічної оцінки.

Наукова новизна отриманих результатів

- Досліджено та проаналізовано ефективність роботи парогенератора БКЗ-75-39ФБ при спалюванні різних палив та їх сумішей.
- Отримали подальший розвиток методи оцінки ефективності використання відновлюваних джерел енергії на ТЕЦ промислового підприємства.

Практичне значення роботи

- Проаналізовано ефективність роботи парогенератора БКЗ-75-39ФБ при спалюванні в ньому відновлюваних джерел енергії та їх сумішей, що дозволяє підвищити екологічну та економічну ефективність роботи ТЕЦ.

– Оцінено різні варіанти та виявлено ефективний спосіб використання бурякового жому на цукровому заводі.

Особистий внесок магістранта полягає в дослідженні показників роботи парогенератора БКЗ-75-39ФБ при спалюванні відновлюваних джерел енергії, оцінці ефективності енергетичного використання бурякового жому.

Апробація роботи

Матеріали роботи були представлені та обговорені на науково-технічній конференції ФБТЕГП ВНТУ у 2021 р. За матеріалами доповіді опубліковано тези [1].

Структура та обсяг роботи

Магітерська кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку використаної літератури та технічного завдання. Загальний обсяг роботи 103 сторінки. Містить ілюстрації, залежності, креслення.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНОЇ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ТЕЦ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

1.1 Аналітичний огляд літературної та патентної інформації

Відновлювана енергетика в Україні та світі є на сьогодні основою розвитку енергетики. Її беззаперечними перевагами є відносна екологічна чистота, безпека, невичерпність. На теперішній час частка відновлюваної енергетики в світі складає 25% [2].

Україна має значний потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії, як для отримання теплоти так і для вироблення електроенергії. Найбільшими складовими такого потенціалу є відходи сільського господарства, як тваринництва так і рослинництва, та біомаса енергетичних культур.

За оцінками [3] економічно доцільний потенціал української біомаси коливається в межах 25...35 млн т.у.п. на рік, або 13...18% споживання всіх первинних енергоресурсів в Україні.

В світі використання біомаси для вироблення електроенергії забезпечує 6,4% всієї виробленої з відновлюваних джерел електроенергії. Ще більші темпи зростання має біогазова електроенергетика. За останні 20 років її приріст склав 44 рази. Біогазові технології дозволили виробити понад 16% всієї електроенергії відновлюваних джерел [4].

В Україні вироблення електроенергії з біомаси та біогазу також активно зростає [3]. За результатами 2020 року з біомаси вироблено понад 250 млн. кВт·год, а з біогазу понад 415 млн. кВт·год. Це складає біля 7% всієї електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії. Використання біомаси як палива дозволило зекономити понад 4 млрд. м³ природного газу за рік.

Методи одержання енергії з біомаси:

- спалювання сировини рослинного походження (деревини, соломи, лушпиння тощо)[5 – 7];
- спалювання твердих побутових відходів міст [8 – 10];
- використання рослинних масел як палива для двигунів внутрішнього згоряння;
- біорозкладення органічних речовин рослинницьких, тваринницьких та

промислових (цукрова, спиртова галузь) відходів у анаеробних умовах з утворенням біогазу, етанолу, бутанолу та ін. [11 – 13];

- термохімічна конверсія (піроліз, газифікація, синтез) твердих органічних речовин (торф, деревина та ін.) з одержанням “синтез-газу”, штучного бензину.

Цукрові заводи є суттєвими споживачами теплової та електричної енергії. Енергетична складова в значній мірі визначає конкурентоспроможність вітчизняної продукції цукрової галузі. В той же час недостатня увага до утилізації її відходів погіршує екологічну ситуацію [4].

1.2 Дослідження ефективності використання відновлюваних джерел енергії на ТЕЦ цукрового заводу

Для визначення ефективності використання відновлюваних джерел енергії обрано цукровий завод у Вінницькій області. За результатами 2020 року перероблено 676,3 тис. т буряку. При цьому розрахункова витрата палива для функціонування підприємства 29 тис. т.у.п.

В процесі переробки утворюється біля 83% органічних відходів. З кожної тонни відходів цукрового виробництва економічно доцільним є вироблення 78 м³ біогазу [14]. Таким чином з відходів такого цукрового заводу за рахунок технології біоконверсії можна отримати біля 44 млн. м³ біогазу або 34,5 тис. т.у.п. Таким чином біогазова технологія переробки відходів дозволяє повністю покрити енергетичні потреби підприємства.

Ще одним варіантом енергетичного використання біомаси на цукровому заводі є спалювання жому – основного органічного відходу цукрового виробництва. Єдиним недоліком такого варіанту утилізації відходів є їх висока вологість. Для стабільного горіння жому необхідна його сушка. Найкращі енергетичні показники сушіння жому – 245 м³ газу на 1 тону. А його теплота згорання після сушіння складає біля 12 МДж/кг. Таким чином, максимальний коефіцієнт відтворення теплоти при спалюванні жому не більше 1,4 [15].

Ще один варіант використання відновлюваних енергоресурсів на ТЕЦ цукрового заводу - спалювання відходів деревини, лушпиння соняшника, ро-

слинних відходів та паливних гранул з таких відходів з теплою згорання 12,4...13,7 МДж/кг або сумісне спалювання їх з газовим паливом.

При спалюванні біомаси в реконструйованому котлі відбувається зниження на 6...10% ККД та на 20% паровидатності котла, але забезпечується стабільне та надійне горіння [16].

Проведені також числові дослідження сумісного спалювання в топці реконструйованого котла БКЗ-75-39ФБ гранул з лушпиння соняшника та біогазу. Виявлено, що при спалюванні 2,46 кг/с гранул та 0,615 м³/с біогазу забезпечується паровидатність 60 т/год з ККД біля 88% [17].

Таким чином, досягається економія природного газу, а також є можливість продажу високоліквідного бурякового жому як кормової добавки після сушіння та гранулювання.

1.3 Висновки до розділу 1

Проаналізовано стан відновлюваної енергетики в Україні та в світі. Окремо увагу приділено біоенергетиці. Показано, що потенціал біомаси в Україні дозволяє заміщати до 18% не поновлюваних енергоресурсів. Вказано, що технології вироблення теплоти та електроенергії з біомаси та біогазові технології активно поширюються. Їх вклад в вироблення електроенергії в Україні складає 7% і продовжує зростати. Джерелами біомаси для енергетичного використання є, в тому числі, відходи цукрового виробництва.

Проаналізовано три варіанти використання відновлюваних енергоресурсів на ТЕЦ цукрового заводу, а саме: вироблення біогазу з відходів виробництва і спалювання їх в котлах ТЕЦ; спалювання відходів виробництва (бурякового жому) в котлах після його осушування; спалювання в топках котлів відходів рослинництва, деревообробної галузі, лушпиння соняшника та гранул з цих відходів.

Виявлено, що на даний момент варіант сушіння, гранулювання та продажу бурякового жому є найбільш прийнятним і тому доцільним є спалювання інших видів біомаси окремо або сумісно з біогазом в топках котлів.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ПАРОГЕНЕРАТОРА БКЗ-75-39ФБ ПРИ СПАЛЮВАННІ РІЗНИХ ПАЛИВ

2.1 Розробка математичної моделі для визначення показників роботи котла БКЗ-75-39ФБ при спалюванні суміші твердого та газового палива

Для дослідження показників роботи парогенератора БКЗ-75-39ФБ при спалюванні в ньому суміші твердого та газового палива розроблена відповідна математична модель. В якості твердого палива обрано гранули з лушпиння соняшника, а в якості газового палива – біогаз.

Розроблена модель є нелінійною, складається з 236 лінійних та нелінійних рівнянь, відповідно до параметрів моделювання така модель є детермінованою, з зосередженими кількісними параметрами, структурною, статичною, дискретною, одномірною, дескриптивною, алгебраїчною розв'язується аналітичним методом. Кожний розрахунковий блок розв'язується ітераційним способом.

Розроблена математична модель реалізована за допомогою середовища Microsoft Excel.

Її математичний опис складається з загальновідомих рівнянь як теплових так і матеріальних балансів, кінетичних рівнянь по визначенню інтенсивності конвективного та випромінювального теплообміну, формул для визначення оптичних характеристик продуктів згорання палива та геометричних розмірів поверхонь нагріву котлоагрегата. Основні рівняння, які використані в математичному описі моделі наведені також в Нормативному методі теплового розрахунку котлоагрегатів та [18].

Початковими даними для виконання досліджень є [19-26]:

- елементарний хімічний склад палив;
- співвідношення кількостей палив в суміші;
- температура холодного повітря дуття;
- коефіцієнт надлишкового повітря в топці, тепловтрати з хімічним недопалом і механічним недопалом;
- парова видатність котла, параметри перегрітої пари (тиск і її температура), також живильної та котлової води;

Кінцевими результатами моделювання є:

- швидкості потоків та коефіцієнти тепловіддачі в елементах котла;
- температури носіїв (пари, води і повітря) в основних точках котла;
- ККД котлоагрегата та витрати палив;

- температури та ентальпії продуктів згорання в характерних точках котла;
 - кінцева неув'язка теплового розрахунку котла.
- Під час побудови матмоделі використані такі допущення та спрощення:
- величини тепловтрат через стінки котла та втрат з недопалом при розрахунку ККД котла прийнято за довідниками.
 - теплофізичні та термодинамічні параметри теплоносіїв визначалися шляхом інтерполяції за табличними даними властивостей теплоносіїв;
 - в розрахунках теплообміну в нагрівальних поверхнях використані осереднені температури та швидкості носіїв, розрахункові залежності побудовані на осереднених коефіцієнтах тепловіддачі;
 - в розрахунках хвостового повітропідігрівника не враховано радіаційний теплообмін;
 - частка виносу золи при виконанні розрахунку елементів котла прийнято 0,5;

Приклад виконаного теплового розрахунку парогенератора БКЗ-75-39ФБ з усіма залежностями, з якими складено математичний опис наведено нижче.

2.2 Тепловий розрахунок парового котла БКЗ-75-39 ФБ при спалюванні суміші гранул з лушпиння соняшника та біогазу

Для перевірки отриманих результатів матмоделювання виконано контрольний варіант розрахунку модернізованого котла БКЗ-75-39ФБ при спалюванні гранул з лушпиння соняшника та біогазу із такими вхідними даними (див. таблицю 2.1).

Таблиця 2.1 – Основні характеристики роботи котла БКЗ-75-39ФБ

Найменування	Розмірність	Значення
Паровидатність	кг/с	16,67
Тиск перегрітої пари на виході	МПа	4
Температура перегрітої пари з котла	°С	440
Температура живильної води перед котлом	°С	104
Температура холодного повітря перед повітропідігрівником	°С	30

Елементарний склад палив взято з сертифікату про випробування і занесено в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика пливних гранул та біогазу

Пеллети з лушпиння соняшника			
Величина	Результат	Величина	Результат
Вологість W^p , %	8,6	Азот N_p , %	0,52
Зольість A^p , %	2,35	Вуглець C_p , %	45,8
Сірка $S_{орк}^p$, %	0,06	Водень H_p , %	5,37
Кисень O^p , %	37,3		
Біогаз			
Метан CH_4 , %	60	Вуглекислий газ CO_2 , %	39
Сірководень H_2S , %	1		

Теплота згорання гранул

$$Q_H^p = 338 \cdot C^p + 1026 \cdot H^p - 108,5 \cdot (O^p - S^p) - 26 \cdot W^p, \quad (2.1)$$

$$Q_H^p = 338 \cdot 45,8 + 1026 \cdot 5,37 - 108,5 \cdot (37,3 - 0,06) - 26 \cdot 8,6 = 16730 \text{ (МДж / кг)}.$$

2.2.1 Об'єми і ентальпії повітря та продуктів згорання

Теоретична кількість повітря для паливних гранул

$$V^0 = 0,089 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p) + 0,266 \cdot H^p - 0,033 \cdot O^p, \quad (2.2)$$

$$V^0 = 0,089 \cdot (45,8 + 0,375 \cdot 0,06) + 0,266 \cdot 5,37 - 0,033 \cdot 37,3 = 4,25 \text{ (м}^3 \text{ / кг)}.$$

Теоретичний об'єм триатомних газів для гранул

$$V_{RO_2} = 0,0187 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p), \quad (2.3)$$

$$V_{RO_2} = 0,0187 \cdot (45,8 + 0,375 \cdot 0,06) = 0,86 \text{ (м}^3 \text{ / кг)}.$$

Теоретичний об'єм двоатомних газів для гранул

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,0080 \cdot N^P, \quad (2.4)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 4,25 + 0,0080 \cdot 0,52 = 3,37 \text{ (м}^3 \text{ / кг)} .$$

Теоретичний об'єм водяної пари для гранул

$$V_{H_2O}^0 = 0,1110 \cdot H^P + 0,01240 \cdot W^P + 0,01610 \cdot V^0 + 1,24 \cdot W_{\phi}, \quad (2.5)$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,1110 \cdot 5,37 + 0,01240 \cdot 8,6 + 0,01610 \cdot 4,25 + 1,24 \cdot 0 = 0,77 \text{ (м}^3 \text{ / кг)}.$$

Теплота згорання біогазу

$$\begin{aligned} Q_H^P = & 108 \cdot H^P + 126 \cdot CO^P + 234 \cdot H_2S^P + 358 \cdot CH_4^P + 591 \cdot C_2H_4^P + \\ & + 638 \cdot C_2H_6^P + 860 \cdot C_3H_6^P + 913 \cdot C_3H_8^P + 1135 \cdot C_4H_8^P + \\ & + 1187 \cdot C_4H_{10}^P + 1461 \cdot C_5H_{12}^P + 1403 \cdot C_6H_6^P \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$Q_H^P = 234 \cdot 1 + 358 \cdot 60 = 21714 \text{ (кДж / м}^3\text{)}.$$

Теоретична кількість повітря для біогазу

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[0,5 \cdot CO^P + 0,5 \cdot H^P + 1,5 \cdot H_2S^P + \sum \left[\left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m H_n \right] - O^P \right] \quad (2.7)$$

$$V^0 = 0,0476 \cdot [0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0 + 1,5 \cdot 1 + 2 \cdot 60] = 5,78 \text{ (м}^3 \text{ / м}^3\text{)}.$$

Теоретичний об'єм триатомних газів від біогазу

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot (CO_2^P + H_2S^P + CO^P + \sum m \cdot (C_m H_n)) \quad (2.8)$$

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot (39 + 1 + 0 + 1 \cdot 60) = 1,00 \text{ (м}^3 \text{ / м}^3\text{)}.$$

Теоретичний об'єм азоту від біогазу

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,01 \cdot N^P \quad (2.9)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 5,78 + 0,01 \cdot 0 = 4,57 \text{ (м}^3\text{/м}^3\text{)}.$$

Теоретичний об'єм водяних парів для біогазу

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot \left(H^p + H_2S^p + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124 \cdot d_r \right) + 0,0161 \cdot V^0 \quad (2.10)$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot (0 + 1 + 2 \cdot 60 + 0,124 \cdot 20) + 0,0161 \cdot 5,78 = 1,33 \text{ (м}^3\text{/м}^3\text{)}.$$

Частка біогазу на витрату гранул приймаємо $m = 0,25 \text{ м}^3\text{/кг}$ гранул.

Теоретична кількість повітря для суміші

$$V^0 = V_{\text{гранул}}^0 + m \cdot V_{\text{біогазу}}^0, \quad (2.11)$$

$$V^0 = 4,25 + 0,25 \cdot 5,78 = 5,70 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теоретичний об'єм триатомних газів від суміші

$$V_{RO_2} = V_{RO_2\text{гранул}} + m \cdot V_{RO_2\text{біогазу}} \quad (2.12)$$

$$V_{RO_2} = 0,86 + 0,25 \cdot 1,00 = 1,10 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теоретичний об'єм двоатомних газів від суміші

$$V_{N_2}^0 = V_{N_2\text{гранул}}^0 + m \cdot V_{N_2\text{біогазу}}^0 \quad (1.13)$$

$$V_{N_2}^0 = 3,37 + 0,25 \cdot 4,57 = 4,51 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теоретичний об'єм водяної пари від суміші

$$V_{H_2O}^0 = V_{H_2O\text{гранул}}^0 + m \cdot V_{H_2O\text{біогазу}}^0 \quad (1.14)$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,77 + 0,25 \cdot 1,33 = 1,10 \text{ (м}^3\text{/кг)}.$$

Теплота згорання суміші

$$Q_H^p = Q_H^p\text{гранул} + m \cdot Q_H^p\text{біогазу} \quad (1.15)$$

$$V_{H_2O}^0 = 16730 + 0,25 \cdot 21714 = 22158 \text{ (КДж / кг)}.$$

Характеристики таких продуктів згорання, розраховані за Нормативним методом [18], наведені в табл. 2.3. Коефіцієнт надлишкового повітря в топці прийнято 1,3.

Таблиця 2.3 – Характеристика продуктів горіння в газоходах парогенератора

Величина	Розмірність	Топка, фєстон	2-й ступінь пароперегрівника	1-й ступінь пароперегрівника	2-й ступінь економайзера	2-й ступінь повітропідгрівника	1-й ступінь економайзера	1-й ступінь повітропідгрівника
1	2	3	4	6	6	7	8	9
Присмоктування повітря, $\Delta\alpha$	–	0,10	0,020	0,030	0,04	0,03	0,040	0,03
α	–	1,5	1,520	1,55	1,590	1,62	1,660	1,69
V_{RO_2} ,	м ³ /кг	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
$V_{R_2} = V_{N_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0$,	м ³ /кг	7,358	7,472	7,643	7,871	8,042	8,270	8,441
$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,016 \times (\alpha - 1) V^0$	м ³ /кг	1,149	1,151	1,154	1,157	1,160	1,164	1,167
$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{H_2O}$,	м ³ /кг	9,614	9,730	9,904	10,136	10,309	10,541	10,715
$\Gamma_{RO_2} = V_{RO_2} / V_{\Gamma}$	–	0,115	0,114	0,112	0,109	0,107	0,105	0,103
$\Gamma_{H_2O} = V_{H_2O} / V_{\Gamma}$	–	0,120	0,118	0,116	0,114	0,113	0,110	0,109
$\Gamma_{\Pi} = \Gamma_{RO_2} + \Gamma_{H_2O}$	–	0,235	0,232	0,228	0,223	0,220	0,215	0,212
$m = 10 \cdot a_{\text{ун}} \cdot A_p / V_{\Gamma}$,	г/м ³	0,244	0,242	0,237	0,232	0,228	0,223	0,219

Розраховані ентальпій продуктів згорання в основних газоходах показані в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Ентальпії димових газів в газоходах, кДж/кг

$t, ^\circ\text{C}$	I_{r}^0	$I_{\text{п}}$	Топка фестон	ПП ст 2	ПП ст 1	Еконо- майзер 2	Пов. під 2	Еконо майзер 1	Пов. під 1
1	2	4	4	5	6	7	8	9	10
100	940	752							1459
200	1903	1516					2843	2903	2949
300	2897	2297				4252	4321	4413	4482
400	3921	3090			5620	5744	5837	5960	6053
500	4972	3899		7000	7117	7272	7389	7545	
600	6044	4731		8505	8646	8836	8978	9167	
700	7148	5581		10050	10217	10440	10608		
800	8287	6441	11507	11636	11830	12087			
900	9445	7302	13096	13242	13461	13753			
1000	10625	8186	14718	14882	15127				
1100	11809	9092	16355	16537					
1200	13000	9999	18000						
1300	14221	11008	19725						
1400	15466	11834	21383						
1500	16701	12763	23082						
1600	17954	13698	24803						
1700	19217	14627	26530						
1800	20489	15556	28268						
1900	21775	16514	30032						
2000	23055	17466	31788						
2100	24334	18464	33566						
2200	25649	19376	35337						

2.2.2 Тепловий баланс котлоагрегату та витрата палива

Тепловий баланс парового котла наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку теплового балансу і витрати палива

Найменування	Познач.	Формула	Розмірн.	Розрахунок
1	2.	3	4	5
Нижча робоча теплота згорання палива	$Q_{н^p}$	За ф-лою (2.1)	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	22158
Наявна теплота палива	$Q_{н}$	$Q_{н^p}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	22158
Температура відхідних газів	$t_{вг}$	Із завдання	$^{\circ}\text{C}$	180
Ентальпія відхідних газів з котла	$I_{вг}$	за I – 9 - таб-лицею	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	2659
Температура повітря в котельній	$t_{хп}$	приймаємо	$^{\circ}\text{C}$	30
Ентальпія холодного повітря перед котлом	$I_{хп}$	$V^0 \cdot (ct)$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	225
Втрати теплоти з відхідними газами з котла	q_2	$(I_{вг} - \alpha_{вг} \cdot I_{хп}^0) \times (1 - q_4) / Q_{н}$	%	$((2659 - 1,69 \cdot 226) / 22158) \times 0,99 \times 100\% = 10,1$
Втрати теплоти від зовнішнього охолодження	q_5	Таблиця 3.5 [26]	%	0,80
Втрати теплоти від механічної неповноти горіння палива	q_4	По таблиці 4.3 [26]	%	1
Втрати теплоти від хімічного недопалу	q_3	Таблиця 3.5 [26]	%	0,50
Сума тепловтрат	Σq	$q_2 + q_3 + q_4 + q_5$	%	$10,1 + 0,5 + 1 + 0,8 = 12,4$
ККД парогенератора	$\eta_{пг}$	$100 - \Sigma q$	%	$100 - 12,4 = 87,6$
Коефіцієнт збереження теплоти	ϕ	$1 - q_5 / (\eta_{пг} + q_5)$	-	$1 - 0,80 / (87,6 + 0,80) = 0,991$

Продовження табл. 2.5

1	2	3	4	5
Паровидатність котла	D	За завданням	т/год	60
Тиск пари в барабані	P _б	За завданням	МПа	4,4
Температура живильної води на вході	t _{жв}	За завданням	°С	104
Ентальпія живильної води на вході	h _{жв}	таблиця 5-6 [18]	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	440
Температура перегрітої пари на виході	t _{пп}	за завданням	°С	440
Ентальпія перегрітої пари на виході	h _{пп}	таблиця 5-6 [18]	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	3307,7
Ентальпія котлової води в барабані	h _{кв}	таблиця 5-6 [18]	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	1115,5
Значення величини безперервної продувки	P	приймається	%	3
Витрата продувальної води	G _{пр}	D · p	кг/с	0,03 · 16,67 = 0,50
Теплова потужність котла	Q _{пп}	D · (h _{пп} – h _{жв}) + + G _{пр} · (h _{кв} – h _{жв})	кВт	16,670 · (3307,7 – – 440) + 0,50 · (1115,5 – – 440) = 48132
Повна витрата гранул	B	Q _{пп} / (η _{пг.} · Q _{наяв.})	кг/с	48132 / (22158 · 0,8760) = = 2,48
Розрахункова витрата гранул	B _p	B · (100 – q _{4.}) / 100	кг/с	2,48 · (100 – 1) / 100 = = 2,46
Розрахункова витрата біогазу	B _{біог}	B _p · 0,25	м ³ /с	2,46 · 0,25 = 0,615 або 2214 м ³ /год

2.2.3 Тепловий розрахунок топки

Розрахунок характеристик топки наведений в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розміри топкової камери котла

Найменування	Позначення	Формула	Розмірність	Розрахунок
Активна площа топкової камери	F_T	За кресленням	m^2	142
Активний об'єм топкової камери	V_T	За кресленням	m^3	454
Теплове навантаження об'єму топкової камери	q_v	$B \cdot Q_{пн} / V_T$	$кВт/м^3$	$2,48 \cdot 22158 / 454 = 121$

Величина теплового навантаження q_v не перевищує допустиме значення, що наведено в табл.3.5 [26].

Оновні конструктивні характеристики топки наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Основні конструктивні характеристики топкової камери

Найменування	Позначення	Розмірність	Стіни топки			Вихідне вікно	Сумарна площа
			Фронт + під	Бокові	Задня		
Сумарна площа всіх стін та бокового вікна	$F_{ст}$	m^2	113	93,6	83,16	22	404
Відстань між осями крайніх труб	b	m	5,6	4,7	5,6	5,6	
Освітлена довжина труб	l	m	15,4	14	11,3	2,9	
Площа, яка зайнята променесприймальною поверхнею	$F_{пр}$	m^2	86,2	66	63,5	16,2	298
Зовн. діаметр екранних труб	d	$мм$	60	60	60		
Крок екранних труб	S	$мм$	150	100	100		
Відстань від осі екранних труб до кладок	E	$мм$	125	100	125		
Відношення.	S/d	-	2,5	1,67	1,67		
Відношення.	e/d	-	2,1	1,67	2,1		
Кутовий коефіцієнт екранів	χ		0,87	0,75	0,87	1,00	
Площа променесприймальної поверхні	$H_{пр}$	m^2	75	49,5	55	16,2	245

Результати розрахунку теплообміну в топці наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати розрахунку теплообміну в топці

Розрахункова величина				Чисельне значення
Найменування	Познач.	Формула	Розмірн.	
1	2	3	4	5
Коефіцієнт теплової ефективності	$\Psi_{\text{ср}}$	$\xi_{\text{ср}} \cdot N_{\text{пр}} / F_{\text{ст}}$		$0,55 \cdot 245 / 404,4 = 0,333$
Ефективна товщина випромінювального шару	S	$3,6 \cdot V_{\text{T}} / F_{\text{ст}}$	м	$3,6 \cdot 454 / 404,40 = 4,041$
Висота топки	H_{T}	За констр. розмір.	м	15,6
Висота розташування пальників.	$X_{\text{пл}}$	За конструктивними розмірами	м	0,154
Температура гарячого повітря перед топкою	$t_{\text{гп}}$	Прийнята	°С	260
Параметр	м	$0,54 - 0,2 \cdot X_{\text{п}}$	м	$0,540 - 0,5 \cdot 0,154 = 0,463$
Ентальпія гарячого повітря.	$I_{\text{гп}}^0$	Табл. 2.3	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	1985
Теплота, що надходить з повітрям	$Q_{\text{пв}}$	$(\alpha_{\text{T}} - \Delta\alpha_{\text{T}}) \cdot I_{\text{гп}}^0 + \Delta\alpha_{\text{пр}} \cdot I_{\text{хп}}^0$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$(1,5 - 0,1) \cdot 1985 + 0,05 \cdot 226 = 2362$
Корисне тепловид. в топці	Q_{T}	$Q_{\text{н}} (1 - q_3 - q_4) /$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$22158 \cdot (1 - 0,5 - 1) / ((100 - 1) + 2362) = 24407$
Адіабатична температура горіння	$v_{\text{а}}$	Із І – 9 таблиці	°С	1577
Температура газів на виході з топки	v_{T}''	Приймаємо	°С	980
Ентальпія газів на виході	I_{T}''	Табл. 2.5	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	14394
Середня сумарна теплоємність газів	$C_{\text{р}}$	$(Q_{\text{T}} - I_{\text{T}}'') / (v_{\text{а}} - v_{\text{T}}'')$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$(24407 - 14394) / (1577 - 980) = 16,8$
Об'ємні частки	$\Gamma_{\text{H}_2\text{O}}$	Таблиця 2.2		0,12
	Γ_{RO_2}	Таблиця 2.2		0,143

Продовження табл. 2.8

1	2	3	4	5
Добуток.	$p r_n s$	$p \cdot r_n \cdot s$	$\frac{M}{\text{МПа}}$	$0,1 \cdot 0,262 \cdot 4,041 = 0,106$
Коефіцієнт послабл. променів продуктами горіння	K_r	за формулою 6-13 [18]	$\frac{1}{(\text{М} \times \text{МПа})}$	4,3
Коефіцієнт послабл. променів частинками золи	$K_{зл} \mu_{зл}$	$10^4 \cdot 0,80 \cdot \mu_{зл} / (T_{г}^{0,66} \times (1 + 1,20 \cdot \mu_{зл} \cdot s.))$	$\frac{1}{(\text{М} \times \text{МПа})}$	$10^4 \cdot 0,80 \cdot 0,00244 / ((980 + 273)^{0,66} \times (1 + 1,20 \cdot 0,00244 \times 4,041)) = 0,7$
Коефіцієнт послабл. променів частинками коксу	$K_{кокс} \mu_{кокс}$	за табл. 6.2 [18]	$\frac{1}{(\text{М} \times \text{МПа})}$	0,25
Коефіцієнт послабл. променів в топці	K	$K_r + K_{зл} \cdot \mu_{зл} + K_{кокс} \mu_{кокс}$	$\frac{1}{(\text{М} \times \text{МПа})}$	$4,3 \cdot 0,262 + 0,7 + 0,25 = 2,07$
Сумарна оптична товщина газ. попоку	$k P S$	$k \cdot P \cdot S$		$2,07 \cdot 0,1 \cdot 4,041 = 0,84$
Міра чорноти неросвітленої частини факела	$a_{фн}$	Із рис. 4.4 [26]		0,56
Коефіцієнт послабл. променів топкою	k_o	$k_{но.} + k_r$	$\frac{1}{\text{МПа}}$	$0,84 + 4,3 = 5,14$
Добуток	$k P S$	$k_o P S$		$5,14 \cdot 0,1 \cdot 4,041 = 2,08$
Міра чорноти топки	a_t	з рис. 4.5 [26]		0,91
Променисте теплосприймання в топці	$Q_{пр}$	$\varphi \cdot (Q_t - I_t^{//})$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$0,991 \cdot (24407 - 14394) = 9922$
Теплова напруга стін топки	q_F	$B \cdot Q_t / F_{ст}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}$	$2,48 \cdot 24407 / 404,4 = 150$
Температура газів на виході з топкової камери	$v''_{тр}$	Ф-ла (4.19) [26]	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{1577 + 273}{0,483 \cdot \left(\frac{5,67 \cdot 0,333 \cdot 404,4 \cdot 0,91 \cdot 1850^3}{10^{11} \cdot 0,991 \cdot 2,48 \cdot 16,77} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 960$
Розбіжність	$\Delta v''_t$	$(v''_t - v''_{тр.}) \cdot 100 / v''_t$	%	$(980 - 960) \cdot 100 / 980 = 2,04$

Оскільки одержана температура на виході з топки $v'' = 960$ °С відрізняється від раніше прийнятої $v'' = 980$ °С менше ніж на 2,5%, то розрахунок топки вважаємо закінченим.

2.2.4 Тепловий розрахунок фестону

Результати розрахунку фестону показано в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Перевірний ловий тепрозрахунок трирядного фестону

Величина				Значення
Найменування	Познач.	Спосіб визначення	Одиниці	
1	2	3	4	6
Повна площа поверхні теплообміну	H	За констр.	м ²	42
Площа екранів біля фестону	H _{доп}	За констр.	м ²	4,2
Діаметр труби	d	За констр.	мм	60
Крок труби:				
поперечний	s ₁	За констр.	мм	300
поздовжній	s ₂	За констр.	мм	250
Відносний крок труби:				
поперечний	s ₁ /d	За констр.	-	300/60=5,0
поздовжній	s ₂ /d	За констр.	-	250/60=4,2
Кількість рядів труби по ходу газів	z ₂	За констр.	шт.	4
Кількість труби в ряді	z ₁	За констр.	шт.	16
Розміри газоходу	A	По висоті	м	3,22
Розмір попереку руху газів	B	По ширині	м	6,6
Площа перерізу для прох. газів	F	$A \cdot B - z_1 \cdot d_1$	м ²	$3,22 \cdot 6,6 - 16 \cdot 0,06 \cdot 3,2 = 18,2$
Ефективна товщина випром. шару	s	$0,9 \cdot [(4s_1 \cdot s_2 / (3,14d^2)) - 1]d$	м	$0,9 \cdot ((4 \cdot 0,3 \cdot 0,25 / (3,14 \cdot 0,06^2)) - 1) \cdot 0,06 = 1,38$
Температура газів до фестона	ϑ _{ф'}	Із розрахунку топки	°С	960

Продовження табл. 2.9

1	2	3	4	5
Ентальпія газів до фестонона	Γ'	Із розрахунку	кДж/кг	14070
Температура газів за фестоном	ϑ_{ϕ}''	Приймаємо	°С	900
Ентальпія газів за фестоном	Γ''	Із I – 9 таблиці	кДж/кг	13096
Кількість теплоти, що віддана фестонону	Q_{Γ}	$\varphi \cdot (I_{\phi}' - I_{\phi}'' + \Delta\alpha_{\text{прс}} \cdot I_{\text{хп}}^0)$	кДж/кг	$0,991 \cdot (14070 - 13096) = 965$
Температура кипіння води при тиску в барабані	$t_{\text{кип}}$	По таблиці [18]	°С	256
Середня температура газів	$\vartheta_{\text{ср}}$	$0,5 (\vartheta' + \vartheta'')$	°С	$0,5 \cdot (960 + 900) = 930$
Середньотемпературний напір	Δt	$\vartheta_{\text{ср}} - t_{\text{кип}}$	°С	$930 - 256 = 674$
Середня швидкість газів	w	$V_{\Gamma} \cdot V_{\text{р}} \cdot (\vartheta_{\text{ср}} + 273) / (F_{\Gamma} \cdot 273)$	м/с	$2,48 \cdot 9,62 \cdot (930 + 273) / (18,2 \cdot 273) = 5,7$
Коефіцієнт тепловіддачі конвекційний	$\alpha_{\text{к}}$	По рис. 6–5 [18]	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	52
Сумарна поглинальна здатність триатомних газів	$\text{pr}_{\text{нS}}$	$p \cdot r_{\text{н}} \cdot S$	мМПа	$0,1 \cdot 0,232 \cdot 1,38 = 0,032$
Коефіцієнт ослабл. газами	k_{Γ}	$\frac{K_{\Gamma}^0 \cdot r_{\text{н}}}{K_{\Gamma}^0 = 12}$	$\frac{1}{\text{мМПа}}$	$12 \cdot 0,232 = 2,78$
Коефіцієнт послабл. променів частинками золи	$K_{\text{зл}} \mu_{\text{зл}}$	$10^4 \cdot 0,8 \cdot \mu_{\text{зл}} / (T_{\text{т}}^{0,66} \times (1 + 1,20 \cdot \mu_{\text{зл}} \cdot S))$	$1 / (\text{м} \times \text{мМПа})$	$10^4 \cdot 0,80 \cdot 0,00244 / ((900 + 273)^{0,66} \times (1 + 1,20 \times 0,00244 \times 1,38)) = 0,3$
Добуток	k_{PS}	$(k_{\Gamma} + K_{\text{зл}} \mu_{\text{зл}}) \cdot P \cdot S$		$(2,78 + 0,3) \cdot 0,1 \cdot 1,38 = 0,42$
Ступінь чорноти	a	$1 - e^{-k_{\text{PS}}}$	-	$1 - e^{-0,42} = 0,4$
Температура забрудн. стінки труби	$t_{\text{ст}}$	$t_{\text{кип}} + \Delta t$	°С	336,1

Продовження табл. 2.9

1	2	3	4	5
Коефіцієнт тепловіддачі випромін.	$\alpha_{\text{пр}}$	$\alpha_{\text{н}} \cdot c_{\text{г}} \cdot a_{\text{..}}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	74
Коефіцієнт тепловіддачі від газів	α_1	$\xi \cdot (\alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{пр}})$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$1 \cdot (52,0 + 74,0) = 126$
Коефіцієнт використ. поверхні нагріву	ξ	Для П-подібних котлоагрегатів	-	1
Коефіцієнт теплопередачі.	k	$\psi \cdot \alpha_1$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$0,65 \cdot 126 = 82$
Теплосприймання фестону	$Q_{\text{ф}}$	$k \cdot H \cdot \Delta t / (B_{\text{р}} \cdot 10^3)$	кДж/кг	$82 \cdot 42 \cdot 674 / (2,48 \cdot 10^3) = 940$
Розбіжність розрахунків теплосприймання	$\Delta Q_{\text{т}}$	$(Q_{\text{т}} - Q_{\text{ф}}) 100 / Q_{\text{т}}$	%	$(965 - 940) \times 100 / 965 = 2,4$

Оскільки розбіжність розрахунків теплосприймання менше, ніж на 2,5%, то розрахунок фестону закінчуємо.

2.2.5 Тепловий розрахунок пароперегрівників

Конструктивні характеристики пароперегрівників наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Конструктивні показники пароперегрівників

Найменування	Познач.	Спосіб визначення	Розмірність	Ступені	
				II-ий	I-ий
1	2	3	4	5	6
Діаметр труб	$d \times \delta$	За констр. розмірами	мм	38×3	38×3
К-сть труб в ряду	Z_1	За констр. розмірами	шт.	40	40
Середні кроки труб: – поперечний – повздовжній	S_1 S_2	За констр. розмірами	мм	90 110	90 150
Розташування труб в пучках		За констр. розмірами		коридорне	коридорне

Продовження табл. 2.10

1	2	3	4	5	6
Характер омивання		За конструктивними розмірами		Повздовжнє	Повздовжнє
Середня довжина змійовика	l	За конструктивними розмірами	м	37,7	28,1
Сумарна довжина труб	$\sum l$	За конструктивними розмірами	м	1511	1124
Повна площа поверхні теплообміну	H	$3,14 \cdot d \cdot L \cdot Z_1$	м ²	$3,14 \cdot 0,038 \times 37,7 \cdot 40 = 180,3$	$3,14 \cdot 0,038 \times 28,1 \cdot 40 = 134,2$
К-сть паралельно включених пароперегрівників	m	За констр. розмірами	шт.	80	80
Площа живого перерізу на прохід пари	f	$\pi \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot n_{\text{п.}} / 4$	м ²	$3,14 \cdot 0,032^2 \times 80 / 4 = 0,064$	$3,14 \cdot 0,032^2 \times 80 / 4 = 0,064$

Результати перевірного теплового розрахунку II-го ступеня пароперегрівника наведені в таблиці 2.11

Таблиця 2.11 – Перевірний розрахунок II-го ступеня пароперегрівника

Найменування	Познач.	Формула	Розмірність	Розрахунок
1	3	2	4	5
Температура пари на вході в II ступінь	$t_{\text{п}}'$	Приймаємо	°С	343
Ентальпія пари на вході в II ступінь	$h_{\text{п}}'$	З таблиць водяної пари	кДж/кг	3068
Температура пари на виході з II ступеня	$t_{\text{п}}''$	Задано	°С	440
Ентальпія пари на виході з ступеня	$h_{\text{п}}''$	З табл. водяної пари	кДж/кг	3307,7
Теплосприймання III	$Q_{\text{п}}$	$D \cdot (h_{\text{п}}'' - h_{\text{п}}') / B_{\text{p}}$	кДж/кг	$16,67 \cdot (3307,7 - 3068) / 2,48 = 1613$
Коефіцієнт розподілу навантаження:				
– за висотою	$\eta_{\text{в}}$	Рисунок 4.1 [26]		1,1
– між стінами	$\eta_{\text{ст}}$			1,1

Продовження табл. 2.11

1	2	3	4	5
Питоме навантаження у вихідному вікні топки	$g_{\text{пр}}$	$g_{\text{пр}}^T \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{ст}}$	кВт/м ²	$150 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 181,5$
Променисте теплосприймання	$Q_{\text{пр}}$	$q_{\text{пр}}^{\text{ср}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{ст}} (1 - x_{\text{ф}}) \cdot F_{\text{г}}' / B_{\text{р}}$	кДж/кг	$150 \cdot 1,1 \cdot 1,1 (1 - 0,74) \cdot 12,93 / 2,48 = 246$
Конвективне теплосприймання	$Q_{\text{к}}$	$Q_{\text{п}} - Q_{\text{пр}}$	кДж/кг	$1613 - 246 = 1367$
Температура газів перед II ступенем	$\vartheta_{\text{пн2}'}$	з розрахунку фестона	°С	900
Ентальпія газів перед II ступенем	$I_{\text{пн2}'}$	те ж	кДж/кг	13096
Ентальпія газів на виході з II ступеню	I_{T}^{II}	$I_{\text{пн2}'} - Q_{\text{к}} / \varphi + \Delta\alpha_{\text{прс}} \times I_{\text{хп}}^0$	кДж/кг	$13096 - 1367 / 0,991 + 0,03 \cdot 226 = 11723$
Температура газів на виході з II ступеня	$\vartheta_{\text{пн2}''}$	з I – 9 таблиці	°С	806
Кутові коефіцієнти: – екрана: – перегрів до екрану – перегрів після екрану	$X_{\text{ЕК}}$ $X_{\text{п}}^{\text{I}}$ $X_{\text{п}}^{\text{II}}$	Дод. 2 [26]		0,72 0,75 0,68
Середня температура газів в ступені	$\vartheta_{\text{ср}}$	$0,5 \cdot (\vartheta_{\text{пн2}'} + \vartheta_{\text{пн2}'})$	°С	$0,5 \cdot (900 + 806) = 852$
Середня температура пари в ступені	$t_{\text{ср}}$	$0,5 \cdot (t_{\text{пн2}'} + t_{\text{пн}})$	°С	$0,5 \cdot (343 + 440) = 391$
Середня швидкість газів в II ступені	$w_{\text{Г}}$	$\frac{B_{\text{р}} \cdot V_{\text{Г}} \cdot (273 + \vartheta_{\text{ср}})}{273 \cdot 0,5 \cdot (F_{\text{Г}}'' + F_{\text{Г}}'')}$	м/с	$2,48 \cdot 9,73 \cdot (273 + 852) / (273 \cdot 0,5 \times (20,94 + 12,92)) = 5,0$
Коефіцієнт тепловіддачі від газів конвекцією	$\alpha_{\text{к}}$	$\alpha_{\text{н}} \cdot c_{\text{с}} \cdot c_{\text{з}} \cdot c_{\text{ф}}$	Вт/(м ² ·К)	$70 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,98 = 69$
Коефіцієнт теплової ефективності	ψ	Із табл. 5.1 [26]	–	0,55
Об'єм пари для середньої температури	$v_{\text{п}}$	за табл. перегрітої пари або H – S діаграмою	м ³ /кг	0,070
Середня швидкість пари в ступені	$w_{\text{п}}$	$D \cdot v_{\text{п}} / F_{\text{п}}$	м/с	$16,67 \cdot 0,070 / 0,045 = 26,0$

Продовження табл. 2.11

1	2	3.	4	5
Коефіцієнт тепловіддачі до пари,	α_2	за рис. 6.2 [26]	Вт/(м ² ·К)	1200
Коефіцієнт тепловіддачі від газів,	α_1	за попереднім завданням	Вт/(м ² ·К)	101
Температура забрудненої стінки пароперегрівника	t_3	$t_{cp} + [(1/\alpha_1 + 1/\alpha_2) \cdot \psi - 1/\alpha_1] \cdot B_p \cdot Q_k \cdot 10^3 / H,$	°С	$391 + [(1/101 + 1/1200) / 0,55 - 1/100] \cdot 2,48 \times 1367 \cdot 10^3 / 134,2 = 480$
Ефективна товщина випромінювального шару	s	$0,9 \cdot \left(\frac{4 \cdot s_1 \cdot s_2}{\pi \cdot d^2} - 1 \right) \cdot d$	м	$0,9 \cdot 0,038 \cdot (4 \cdot 5,0 \times 4,20 / 3,14 - 1) = 0,37$
Сумарна поглинальна здатність газів	$pr_n s$	$p \cdot r_n \cdot s$	м·МПа	$0,10 \cdot 0,229 \cdot 0,37 = 0,0085$
Коефіцієнт ослабл. променів триатомними газами	K_Γ	$K_\Gamma^0 \cdot r_n,$ $K_\Gamma^0 = 15,5$	1/(м·МПа)	$15,5 \cdot 0,228 = 3,42$
Коефіцієнт послабл. променів частинками золи	$K_{зл} \mu_{зл}$	$10^4 \cdot 0,8 \cdot \mu_{зл} / (T_\Gamma^{0,66} \cdot (1 + 1,20 \cdot \mu_{зл} \cdot s))$	1/(м·МПа)	$10^4 \cdot 0,80 \cdot 0,00242 / ((805 + 273)^{0,66} \cdot (1 + 1,20 \cdot 0,00242 \times 0,37)) = 1,1$
Коефіцієнт послабл. променів частинками коксу	$K_{кокс} \mu_{кокс}$	за табл. 6.2 [18]	1/(м·МПа)	0,252
Коефіцієнт послабл. променів в топці	K	$K_\Gamma + K_{зл} \mu_{зл} + K_{кокс} \mu_{кокс}$	1/(м·МПа)	$3,42 + 1,1 + 0,252 = 4,772$
Сумарна оптична товщина газового потоку	Kp_s	$K \cdot p \cdot s,$	–	$4,772 \cdot 0,1 \cdot 0,37 = 0,18$
Міра чорноти випромінювальн середовища	a	Із рис. 4.4 [26]	–	0,142
Коефіцієнт тепловіддачі випромінюван. в пароперегрівнику	$\alpha_{пр}$	$\alpha_n \cdot c_\Gamma \cdot a,$	Вт/(м ² ·К)	$160 \cdot 0,97 \cdot 0,142 = 22$
Коефіцієнт використання поверхні нагріву пароперегрівника	ξ	Для П-подібної компоновки котла	–	1

Продовження табл. 2.11

1	2	3	4	5.
Коефіцієнт тепло- віддачі від газів до стінки II паропере- грівника	α_1	$\xi \cdot (\alpha_{к1} + \alpha_{пр'})$	Вт/(м ² К)	$1,0 \cdot (69,0+22) =$ $= 91,0$
Коефіцієнт теплопередачі II- пароперегрівника	K	$\psi \cdot \alpha_1 / (1 + \alpha_1 /$ $/\alpha_2)$	Вт/(м ² К)	$0,60 \cdot 91 / (1 + 91 /$ $/ 1200) = 52,1$
Різниця темпера- тур: більша - менша -	Δt_6 Δt_m	$\vartheta_{пп2'} - t_{пп}$ $\vartheta_{пп2''} - t_{пп2'}$	°C °C	900 – 440 = 470 805 – 343 = 463
Температурний напір протитечії	$\Delta t_{прт}$	$0,5 \cdot (\Delta t_6 + \Delta t_m)$	°C	$(470 + 463) \cdot 0,5 =$ $= 467$
Площа протите- чійної частини	$H_{пр}$	За розмірами	м ²	57,13
Площа поверх- ності нагріву	H	За констр. розмірам	м	134,2
Коефіцієнт	A	$H_{пр} / H$	–	$57,13 / 134,2 =$ $= 0,52$
Параметр :	τ_m τ_6 P.. R	$\vartheta_{пп2'} - \vartheta_{пп2''}$ $t_{пп} - t_{пп2'}$ $\tau_m / (\vartheta_{пп2'} - t_{пп2'})$ τ_6 / τ_m	°C °C	900 – 805 = 95 440 – 342 = 98 $98 / (900 - 342) =$ $= 0,17$ $98 / 95 = 1,03$
Коефіцієнт пере- ходу до складної схеми	ψ	Із рис. 6.6 [18]	–	0,996
Температурний напір для II паро- перегрівника	Δt	$\psi \cdot \Delta t_{прт}$	°C	$0,996 \cdot 467 = 465$
Теплосприймання II ступеня	Q_T	$H \cdot K \cdot \Delta t \cdot 10^{-3}$ $// B_p$	кДж/кг	$134,2 \cdot 52,1 \times$ $\times 465 \times 10^{-3} / 2,48 =$ $= 1342$
Розбіжність теплосприймання	εQ	$(Q_k - Q_T) \cdot 100 /$ Q_k	%	$(1367 - 1342) \times$ $\times 100 / 1367 = 1,8$

Розбіжність розрахунків з теплосприймання не перевищує 2,5%, тому перерахунок не проводимо.

Результати перевірного теплового розрахунку I-го ступеня конвективного пароперегрівника наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Перевірний розрахунок I ступеня пароперегрівників

Найменування	Величина		Розмірність	Розрахунок
	Познач.	Формула		
1	2	3	4	5
Температура пари на вході в Іступінь	$t_{\text{нп}}$	з табл. для насиченої пари при $P_6 = 4,4$ МПа	°С	256,0
Ентальпія пари на вході в І ступінь	$h_{\text{нп}}$	те ж	кДж/кг	2797,0
Температура перегрітої пари на виході з І ступеня	$t_{\text{нп1}}''$	Із розрахунку II ступ.	°С	343
Ентальпія перегрітої пари на виході	$h_{\text{нп1}}''$	Із розрахунку II ступ.	кДж/кг	3068
Теплосприймання парохолоджувача	$\Delta h_{\text{по}}$	За попереднім завданням	кДж/кг	10
Теплосприймання з боку пари за балансом І ступеню	Q_6	$D \cdot (h_{\text{нп1}}'' + \Delta h_{\text{по1}} - h_{\text{нп}}) / V_p$	кДж/кг	$16,67 \cdot (3068 + 10 - 2797) / 2,48 = 1889$
Температура газів перед І ступенем	$\vartheta_{\text{нп1}}'$	Із розрахунку II ступ.	°С	806
Ентальпія газів перед І ступенем	$I_{\text{нп1}}'$	Те ж	кДж/кг	11723
Ентальпія газів на виході з І ступеню	$I_{\text{нп1}}''$	$I_{\text{нп1}}' - Q_6 / \varphi + \Delta \alpha_{\text{прс}} \cdot I_{\text{хп}}^0$	кДж/кг	$11723 - 1889 / 0,991 + 0,02 \times 226 = 9821$
Температура газів на виході з І ступеня	$\vartheta_{\text{нп1}}''$	з I – ϑ таблиці	°С	675
Середня температура газів	$\vartheta_{\text{ср}}$	$0,50 \cdot (\vartheta_{\text{нп1}}' + \vartheta_{\text{нп1}}'')$	°С	$0,5 \cdot (805 + 675) = 690$
Середня температура пари,	$t_{\text{ср}}$	$0,50 \cdot (t_{\text{нп}} + t_{\text{нп1}}'')$	°С	$0,5 \cdot (256 + 342) = 299,0$
Середня швидкість газів в І ступені	$w_{\text{Г}}$	$\frac{V_p \cdot V_{\text{Г}} \cdot (273 + \vartheta_{\text{ср}})}{273 \cdot 0,50 \cdot (F_{\text{Г}}'' + F_{\text{Г}}'')}$	м/с	$2,48 \cdot 9,904 \times (273 + 690) / (273 \cdot 0,5 \times (18,2 + 18,2)) = 4,8$

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4.	5
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією (поперечне омивання пучка)	α_k	$\alpha_n \cdot c_s \cdot c_z \cdot c_\phi$	Вт/(м ² ·К)	$62 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,020 = 64$
Коефіцієнт теплової ефективності поверхні	ψ	Із таблиці 5.1 [26]	—	0,650
Об'єм пари при середній температурі	v_p	із табл. перегрітої пари або H – S діаграми	м ³ /кг	0,0206
Середня швидкість пари в I ступені	w_p	$D \cdot v_p / F_p$	м/с	$16,67 \cdot 0,056 / 0,064 = 15$
Коефіцієнт тепловіддачі до пари	α_2	Рис. 6.2 [26]	Вт/(м ² К)	1510
Коефіцієнт тепловіддачі від газів,	α_1	Попередньо задано	Вт/(м ² К)	95
Температура забрудненої стінки I пароперегрівника	t_3	$t_{cp} + [(1/\alpha_1 + 1/\alpha_2) / \psi \cdot -1/\alpha_1] \times \times B_p \cdot Q_6 \cdot 10^3 / H$	°С	$391 + [(1/95 + 1/1510) / 0,991 - 1/90] \times \times 2,48 \times 1889 \cdot 10^3 / 180,3 = 505$
Ефективна товщина випромінювального шару	S	$0,9 \cdot \left(\frac{4 \cdot s_1 \cdot s_2}{\pi \cdot d^2} - 1 \right) \cdot d$	м	$0,9 \cdot 0,038 \cdot (4 \cdot 5,0 \times \times 4,20 / 3,14 - 1) = 0,26$
Сумарна поглинальна здатність	$pr_n s$	$p \cdot r_n \cdot s$	м · МПа	$0,1 \cdot 0,226 \times \times 0,260 = 0,0058$
Коефіцієнт ослабл. променів триатомними газами	K_Γ	$K_\Gamma^0 \cdot r_n$, $K_\Gamma^0 = 25,0$	1/(м·МПа)	$25,0 \cdot 0,226 = 5,66$
Коефіцієнт послабл. променів частинками золи	$K_{зл} \mu_{зл}$	$10^4 \cdot 0,8 \cdot \mu_{зл} / (T''_T)^{0,66} \cdot (1 + 1,2 \cdot \mu_{зл} \cdot s)$	1/(м·МПа)	$10^4 \cdot 0,80 \cdot 0,00237 / ((690 + 273)^{0,66} \times (1 + 1,2 \cdot 0,00237 \times \times 0,26)) = 2,5$
Коефіцієнт послабл. променів частинками коксу	$K_{кокс} \mu_{кокс}$	за таблицею 6.2 [26]	1/(м·МПа)	0,25
Коефіцієнт послабл. променів в топці	K	$K_\Gamma + K_{зл} \mu_{зл} + K_{кокс} \mu_{кокс}$	1/(м·МПа)	$5,66 + 2,5 + 0,25 = 8,4$

Продовження табл. 2.12

1	2	3	4	5
Сумарна оптична товщина газового потоку в ступені	KPs	$K \cdot p \cdot s$	–	$8,4 \cdot 0,1 \cdot 0,26 = 0,21$
Міра чорноти випромін. середовища	$a.$	$1 - e^{-KPs}$	–	$1 - e^{-0,21} = 0,19$
Коефіцієнт тепловіддачі випромінюв. в I пароперегрівнику	$\alpha_{пр}$	$\alpha_H \cdot c_T \cdot a.$	$Вт/(м^2 \cdot К)$	$180 \cdot 0,96 \cdot 0,19 = 34$
Те ж, з урахуванням випромінюв. газового об'єму	$\alpha_{пр}'$	$\alpha'_{пр} = \alpha_{пр} \left[1 + A_* \cdot (T' \cdot 10^{-3})^{0,25} \cdot I_*^{0,07} \right]$	$Вт/(м^2 \cdot К)$	$34 \cdot (1 + 0,40 \times ((690 + 273) / 1000)^{0,25} \times (0,93 / 0,6)^{0,07}) = 37,1$
Коефіцієнт використання поверхні нагріву ступеню	ξ	Для П-подібної компоновки	–	1,0
Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки I пароперегрівника	α_1	$\xi \cdot (\alpha_K + \alpha_{пр}')$	$Вт/(м^2 \cdot К)$	$1,0 \cdot (64 + 37,1) = 101,1$
Коефіцієнт теплопередачі	K	$\psi \cdot \alpha_1 / (1 + \alpha_1 / \alpha_2)$	$Вт/(м^2 \cdot К)$	$0,60 \cdot 101,1 / (1 + 101/1500) = 58$
Різниця температур :				
– більша -	Δt_6	$\vartheta_{пп1}' - t_{пп.}$	$^{\circ}C$	$806 - 343 = 463$
– менша -	Δt_m	$\vartheta_{пп1}'' - t_{пп1}'$	$^{\circ}C$	$675 - 256 = 419$
Температурний напір прямотечії	Δt	$(\Delta t_6 - \Delta t_m) / \ln(\Delta t_6 / \Delta t_m)$	$^{\circ}C$	$(463 - 419) / \ln(463 / 419) = 439,1$
Теплосприймання I ступеня	Q_T	$H \cdot K \cdot \Delta t \cdot 10^{-3} / B_p$	$кДж/кг$	$180,3 \cdot 58 \times 439 \times 10^{-3} / 2,48 = 1851$
Розбіжність теплосприймання	εQ	$(Q_K - Q_T) \cdot 100 / Q_K$	%	$(1889 - 1851) \times 100 / 1889 = 2,03$

Розбіжність розрахунків з теплосприймання не перевищує 2,5%, тому перерахунок не проводимо.

2.2.6 Тепловий розрахунок хвостових поверхонь котла

Конструктивні характеристики водяного економайзера заносимо в таблицю 2.13.

Таблиця 2.13 – Конструктивні характеристики ступенів економайзера

Величина			Розмірність	Ступені	
Найменування	Позначення	Формула		I	II
Діаметр труби	$d \times \delta$	За констр. розмірами	мм	32×3	32×3
Кількість змійовиків в каналі	Z_1	те ж	шт.	40	38
Кількість рядів труби	Z_2	--"–	шт.	47	20
Розташування труби у пучку	-	--"–	–	шахове	шахове
Середній крок труби: поперечний - повздовжній -	S_1	--"–	мм	40	50
	S_2		мм	55	55
Відносний крок труби: поперечний - повздовжній -	σ_1	S_1 / d S_2 / d	–	1,25	1,56
	σ_2		–	1,72	1,72
Площа живого перерізу для проходів газів	F_r	$A_r \cdot B_r - Z_1 \times L_{тр} \cdot d$	m^2	$6,55 \cdot 1,7 - 40 \cdot 6,30 \times 0,032 = 9,12$	$6,7 \cdot 2,0 - 38 \cdot 6,50 \times 0,032 = 9,8$
Повна площа поверхні теплообміну	H	$\pi \cdot d \cdot L_{тр} \cdot Z_1 \cdot Z_2$	m^2	$3,14 \times 0,032 \times 6,35 \times 40 \cdot 47 = 1190$	$3,14 \times 0,032 \times 6,55 \cdot 38 \times 20 = 496$
Кількість паралельно підключених змійовиків	$n_{п}$	За конструкт. розмірами	шт.	80	76
Глибина пучків	$L_{п}$	те ж	м	2,85	1,15
Площа живого перерізу для проходу води.	F_v	$3,14 \cdot d_{вн}^2 \cdot n_{п} / 4$	m^2	$3,14 \cdot 0,026^2 \times 80 / 4 = 0,04252$	$3,14 \cdot 0,026^2 \times 76 / 4 = 0,04034$

Результати розрахунків конструктивних характеристик повітропідігрівників наведені в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Конструктивні характеристики повітропідігрівників

Величина			Розмір- ність	Ступені	
Найменування	Познач	Розрахункова фо- рмула, спосіб визначення		I	II
Діаметр труби	$d \times \delta$	За констр. розмірами	мм	40×1,5	40×1,5
Довжина труби	$L_{тр}$	Те ж	м	5,72	2,11
Кількість труб поперек ходу повітря	Z_1	Те ж	шт.	39	47
Кількість ря- дів труб	Z_2	Те ж	шт.	45	52
Розташування труб у пучку	-	Те ж	---	шахове	шахове
Середній крок труб: – поперечний - – повздовжній-	S_1 S_2	За констр. розмірами	мм мм	0,072 0,046	0,061 0,07
Відносний крок труб: – поперечний- – повздовжній	σ_1 σ_2	S_1 / d S_2 / d	---	1,75 1,135	1,52 1,75
Глибина об'єму перед пучком	$L_{об}$	За констр. розмірами	м	0,55	3,1
Глибина пучка	$L_{п}$	За констр. розмірами	м	2,82	1,15
Площа живого перерізу для проходу газів	$F_{г}$	$3,14 \cdot d_{вн}^2 \cdot Z_1 \times$ $\times Z_2 / 4$	m^2	$3,14 \times 0,037^2 \times$ $\times 45 \times 39 / 4 =$ $= 1,84$	$3,14 \times 0,037^2 \times$ $\times 53 \times 47 / 4 =$ $= 2,635$
Площа живого перерізу для проходу повітря	$F_{п}$	$A_{г} \cdot h_{г}^{cp} - Z_1 \times$ $\times L_{тр}^{cp} \cdot d$	m^2	$6,50 \cdot 1,9 -$ $- 38 \cdot 5,9 \times$ $\times 0,040 = 3,68$	$6,75 \cdot 2,35 -$ $- 47 \cdot 2,35 \times$ $\times 0,040 = 3,44$
Повна площа поверхні на- гріву ступеню	H	$\pi \cdot d_{вн} \times$ $\times L_{тр} \cdot Z_1 \times$ $\times Z_2$	m^2	$3,14 \times$ $\times 0,037 \cdot 5,95 \times$ $\times 45 \cdot 38 =$ $= 1228,3$	$3,14 \times$ $\times 0,037 \cdot 2,35 \times$ $\times 52 \cdot 47 =$ $= 653,2$

Результати перевірного розрахунку II ступеня економайзера приведені в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Результати перевірного розрахунку II ступеня економайзера

Величина			Розмір- ність	Розрахунок
Найменування	Познач.	Формула		
1	2	3	4.	5
Температура газів на вході в II ступінь	ϑ'	Із розрахунку I пароперегрівника	°C	676
Ентальпія газів на вході в II ступінь	I'	Те ж	кДж/кг	9821
Температура газів на виході з II ступеня	ϑ''	Попередньо приймаємо	°C	505
Ентальпія газів на виході з II ступеня	I''	з I – ϑ таблиці	кДж/кг	7272
Теплосприймання ступеню з боку газів (за балансом)	Q_6	$\varphi \cdot (I' - I'' + \Delta\alpha_{прс} \cdot I_{хп}^0)$	кДж/кг	$0,991 \cdot (9821 - 7272 + 0,03 \cdot 226) = 2532$
Витрата живильної води	$D_{ек.}$	$D \cdot (1 + p)$	кг/с	$16,67 \cdot (1 + 0,03) = 17,17$
Ентальпія води на виході з II ступеня	h''	$D \cdot (h_{пп} + \Delta h_{по.}) / D_{ек.} - (B_p / D_{ек.}) \times (Q_T^{пп} + Q_\phi + Q_{пп2} + Q_{пп1})$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$16,67 \cdot (3308 + 10) / 17,17 - (2,48 / 17,17) \cdot (9922 + 965 + 1613 + 1889) = 1120$
Температура води на виході з II ступеня	t''	з таблиць води і водяної пари	°C	256
Ентальпія води на вході в II ступінь	h'	$h'' - Q_6 \cdot B_p / D_{ек.}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$1121 - 2532 \cdot 2,48 / 17,17 = 756$
Температура води на вході в II ступінь	t'	Із табл. води і водяної пари	°C	173
Середня температура води в II ступені	$t_{ср}$	$0,5 \cdot (t' + t'')$	°C	$0,5 \cdot (256 + 173) = 214$
Середня температура газів в II ступені	$\vartheta_{ср}$	$0,5 \cdot (\vartheta' + \vartheta'')$	°C	$0,5 \cdot (675 + 500) = 588$
Середня швидкість газів в II ступені	w_Γ	$\frac{B_p \cdot V_\Gamma \cdot (273 + \vartheta_{ср})}{273 \cdot F_\Gamma}$	м/с	$2,48 \cdot 10,14 \cdot (273 + 588) / (273 \cdot 9,45) = 8,4$
Коефіцієнт тепло-віддачі конвекцією (поперечне омив.)	α_k	$\alpha_H \cdot c_s \cdot c_z \cdot c_\phi$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$53 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,97 = 51$

Продовження табл. 2.15

1	2	3	4	5
Коефіцієнт теплової ефективності	ψ	Із табл. 5.1 [26]	—	0,61
Коефіцієнт тепло-віддачі від газів	α_1	Попередньо задаємо	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	75
Температура забрудненої стінки економайзера	t_3	$t_{cp} + [(1/\alpha_1)/\psi - 1/\alpha_1] \cdot B_p \cdot Q_6 \times 10^3 / H$	°C	$214 + [(1/75)/0,61 - 1/70] \cdot 2,48 \times 2532 \times 10^3 / 496 = 348$
Ефективна товщина випромінювального шару газів	S	$0,9 \cdot \left(\frac{4 \cdot s_1 \cdot s_2}{\pi \cdot d^2} - 1 \right) \cdot d$	м	$0,9 \cdot 0,032 \cdot (4 \cdot 3,32 \times 1,715 / 3,14 - 1) = 0,180$
Сумарна поглинальна здатність газів	$pr_n s$	$p \cdot r_n \cdot s$	м · МПа	$0,1 \cdot 0,221 \cdot 0,180 = 0,0045$
Коефіцієнт ослабл. променів триатомними газами	K_T	$K_{T0} \cdot r_n$, $K_{T0} = 30,5$	$\frac{1}{м \cdot МПа}$	$30,5 \cdot 0,221 = 6,7$
Коефіцієнт послабл. променів частинками золи	$K_{зл} \mu_{зл}$	$10^4 \cdot 0,8 \cdot \mu_{зл} / (T_T^{0,66} \cdot (1 + 1,20 \cdot \mu_{зл} \cdot s))$	$1/(м \times МПа)$	$10^4 \cdot 0,80 \cdot 0,00228 / ((588 + 273)^{0,66} \times (1 + 1,20 \cdot 0,00228 \times 0,18)) = 3,11$
Коефіцієнт послабл. променів частинками коксу	$K_{кокс} \mu_{кокс}$	за таблицею 6.2 [26]	$1/(м \times МПа)$	0,255
Коефіцієнт послабл. променів в топці	K	$K_T + K_{зл} \mu_{зл} + K_{кокс} \mu_{кокс}$	$1/(м \times МПа)$	$6,6 + 3,11 + 0,255 = 9,96$
Сумарна оптична товщина газового потоку в ступені	Kps	$K \cdot p \cdot s$	---	$9,96 \cdot 0,1 \cdot 0,18 = 0,18$
Міра чорноти випромінюв. середовища	a	$1 - e^{-Kps}$	---	$1 - e^{-0,18} = 0,16$
Коефіцієнт використання поверхні нагріву	ξ	Для П-подібної компоновки	---	1,0
Коефіцієнт тепло-віддачі випромін.	$\alpha_{пр}$	$\alpha_n \cdot c_T \cdot a$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$70 \cdot 0,94 \times 0,165 = 11,5$
Те ж, з урахуванням ви промін. газового об'єму	$\alpha_{пр}'$	Формула (6.35) [26]	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$11,5 \cdot (1 + 0,4 \times ((588 + 273)/1000)^{0,25} \times (3,0/1,15)^{0,07}) = 12$
Коефіцієнт тепло-віддачі від газів до стінки	α_1	$\xi \cdot (\alpha_k + \alpha_{пр}')$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$1,0 \cdot (51 + 12,0) = 63$

Продовження табл. 2.15

1	2	3	4	5
Коефіцієнт теплопередачі ступеню	K	$\psi \cdot \alpha_1$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$0,55 \cdot 63,0 = 35,1$
Різниця температур: – більша - – менша -	Δt_6 Δt_m	$\vartheta' - t''$ $\vartheta'' - t'$	$^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$	$675 - 256 = 419$ $500 - 173 = 327$
Температурний напір для протитечії	Δt	$(\Delta t_6 - \Delta t_m) / \ln(\Delta t_6 / \Delta t_m)$	$^{\circ}\text{C}$	$(419 - 327) / \ln(419 - 327) = 371$
Теплосприймання II ступеня	Q_T	$H \cdot K \cdot \Delta t \cdot 10^{-3} / B_p$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$496 \cdot 35,1 \times 371 \times 10^{-3} / 2,48 = 2580$
Розбіжність теплосприймання	εQ	$(Q_T - Q_6) \cdot 100 / Q_6$	%	$(2532 - 2580) \cdot 100 / 2532 = 1,9$

Розбіжність розрахунків з теплосприймання не перевищує 2,5%, тому перерахунок не проводимо.

Результати перевірного розрахунку 2-го ступеня повітропідігрівника приведені в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Перевірний розрахунок II ступеня повітропідігрівників

Величина			Розмірн.	Розрахунок
Найменування	Познач.	Формула		
1	2	3	4	5
Температура повітря на виході з II ступеня	$t_{гп}$	за табл. 3.2	$^{\circ}\text{C}$	260
Ентальпія повітря на виході з II ступеня	$I^0_{гп}$	за табл. 2.1	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	1985
Температура повітря на вході в II ступінь	t'	Попередньо приймаємо	$^{\circ}\text{C}$	150
Ентальпія повітря на вході в II ступінь	$I^0_{п'}$	Із I – 9 таблиці	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	1059
Відношення повітря на виході з II ступеня	$\beta_{п''}$	$\alpha_T - \Delta\alpha_T$	---	$1,4 - 0,05 = 1,35$
Теплосприймання ступеню з боку повітря	Q_6	$(\beta_{п''} + \Delta\alpha/2) \cdot (I^0_{гп} - I^0_{п'})$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$(1,35 + 0,03/2) \times (1985 - 1059) = 1265$
Температура газів на вході в II ступінь	ϑ'	з розрахунку II ступеня економайзера	$^{\circ}\text{C}$	500
Ентальпія газів на вході в II ступінь	I'	з I – 9 таблиці	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	7273

Продовження табл. 2.16

1	2	3	4	5
Середня температура повітря в ступені	t_{cp}	$0,50 \cdot (t' + t_{гп})$	$^{\circ}\text{C}$	$0,50 \cdot (150 + 260) = 205$
Ентальпія повітря при середній температурі	$I^0_{прс}$	з I – 9 таблиці	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	1540
Ентальпія газів на виході з II ступеня	I''	$I' - Q_6/\varphi + \Delta\alpha \cdot I^0_{прс}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$7273 - 1265 / 0,991 + 0,03 \cdot 1540 = 6041$
Температура газів на виході з II ступеня	ϑ''	з I – 9 таблиці	$^{\circ}\text{C}$	413
Середня температура газів в ступені	ϑ_{cp}	$0,5 \cdot (\vartheta' + \vartheta'')$	$^{\circ}\text{C}$	$0,5 \cdot (413 + 500) = 457$
Середня швидкість газів у II ступені	$w_{г}$	$\frac{V_p \cdot V_r \cdot (273 + \vartheta_{cp})}{273 \cdot F_r}$	м/с	$2,48 \cdot 10,3 \cdot (273 + 457) / (273 \cdot 2,63) = 26$
Коефіцієнт тепловіддачі конвекц. (повздовж. омивання)	α_k	$\alpha_n \cdot c_{\varphi} \cdot c_{\phi}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$96 \cdot 1 \cdot 0,95 = 91$
Середня швидкість повітря у II ступені	$w_{п}$	$(V_p \cdot V^0 \cdot (273 + t_{cp}) \times (\beta + \Delta\alpha/2)) / (273 \cdot F_{п})$	м/с	$(2,48 \cdot 5,7 \times (273 + 205) \times (1,35 + 0,03/2)) / (273 \cdot 3,44) = 9,8$
Коефіцієнт тепловіддачі конвекц. (поперечне омивання)	α_2	$\alpha_n \cdot c_z \cdot c_s \cdot c_{\phi}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$65 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,95 = 64$
Коефіцієнт теплової ефективності .	ψ	Для гранул	---	0,55
Коефіцієнт використання поверхні нагріву	ξ	3 П-подібною компоновкою	---	1,0
Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки	α_1	$\xi \cdot \alpha_k$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$1,0 \cdot 91 = 91$
Коефіцієнт теплопередачі ступеню	K	$\psi \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 / (\alpha_1 + \alpha_2)$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$0,55 \cdot 91 \cdot 64 / (91 + 64) = 21$
Різниця температур: – менша – більша	Δt_m Δt_6	$\vartheta' - t_{гп}$ $\vartheta'' - t'$	$^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$	$500 - 260 = 240$ $413 - 140 = 273$
Температурний напір протитечії ступеню	$\Delta t_{прт}$	$0,5 \cdot (\Delta t_6 + \Delta t_m)$	$^{\circ}\text{C}$	$0,5 \cdot (240 + 273) = 257,5$
Параметри:	τ_m	$\vartheta' - \vartheta''$	$^{\circ}\text{C}$	$500 - 413 = 73$
	τ_6	$t_{гп} - t'$	$^{\circ}\text{C}$	$260 - 140 = 120$
	P	$\tau_m / (\vartheta' - t')$		$120 / (500 - 140) = 0,33$
	R	τ_6 / τ_m		$120 / 73 = 1,64$
Коефіцієнт	ψ	Для перехресної течії	---	0,94
Температурний напір	Δt	$\Delta t_{прт} \cdot \psi$	$^{\circ}\text{C}$	$257,5 \cdot 0,94 = 249$

Продовження табл. 2.16

1	2	3	4	5
Теплосприймання II ступеня	Q_T	$H \cdot K \cdot \Delta t \cdot 10^{-3} / B_p$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$653 \cdot 21 \cdot 240 \cdot 10^{-3} / 2,48 = 1299$
Розбіжність тепло-сприймання	εQ	$(Q_6 - Q_T) \cdot 100 / Q_6$	%	$(1265 - 1299) \cdot 100 / 1265 = 2,7$

Розбіжність розрахунків з теплосприймання складає не більше 3,0%, тому перерахунок не проводимо.

Перевірний тепловий розрахунок I ступеня економайзера наведений в таблиці 2.17

Таблиця 2.17 – Перевірний розрахунок I ступеня економайзерів

Найменування	Величина		Розмірн.	Розрахунок
	Познач.	Формула		
1	2	3	4	5
Температура газів на вході в I ступінь	ϑ'	Із розрахунку II ступеня повітропідігрівників	$^{\circ}\text{C}$	413
Ентальпія газів на вході	I'	Із I – 9 таблиці	кДж/кг	6041
Температура води на вході в I ступінь	t'	Згідно із завданням	$^{\circ}\text{C}$	104
Ентальпія води на вході в I ступінь	h'	Із табл. води і водяної пари	кДж/кг	439
Температура води на виході зі ступіні	t''	З таблиці (2.16)	$^{\circ}\text{C}$	173
Ентальпія води на вході в ступінь	h''	з табл. води і водяної пари	кДж/кг	756
Теплосприйняття з боку води	Q_6	$(h'' - h') \cdot D_{\text{ек}} / B_p$	кДж/кг	$(756 - 439) \cdot 17,7 / 2,48 = 2255$
Ентальпія газів на виході з I ступеня	I''	$I' - Q_6 / \varphi + \Delta\alpha_{\text{прс}} \cdot I_{\text{хп}}^0$	кДж/кг	$6041 - 2255 / 0,991 + 0,03 \times 226 = 3772$
Температура газів на виході з I ступеня	ϑ''	Із I – 9 таблиці	$^{\circ}\text{C}$	259
Середня температура води	$t_{\text{ср}}$	$0,5 \cdot (t' + t'')$	$^{\circ}\text{C}$	$0,5 \cdot (104 + 173) = 138$
Середня температура газів	$\vartheta_{\text{ср}}$	$0,5 \cdot (\vartheta' + \vartheta'')$	$^{\circ}\text{C}$	$0,5 \cdot (413 + 259) = 337$

Продовження табл. 2.17

1	2	3	4	5
Середня швидкість газів в ступені	w_{Γ}	$\frac{V_p \cdot V_{\Gamma} \cdot (273 + \vartheta_{cp})}{273 \cdot F_{\Gamma}}$	м/с	$2,48 \cdot 10,5 \cdot (273 + 337) / (273 \cdot 9,12) = 6,75$
Коефіцієнт теплової ефективності	ψ	Для гранул	---	0,6
Коефіцієнт тепловіддачі конвекц. (поперечне омивання)	α_k	$\alpha_n \cdot c_s \cdot c_z \cdot c_{\phi}$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$37 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 1,03 = 38,1$
Коефіцієнт використання поверхні нагріву	ξ	Для П-подібної компоновки	---	1,0
Коефіцієнт тепловіддачі від газів	α_1	$\xi \cdot (\alpha_k + \alpha_{пр'})$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$1,0 \cdot (38,1 + 0) = 38,1$
Коефіцієнт теплопередачі ступеню	K	$\psi \cdot \alpha_1$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$0,6 \cdot 38,1 = 23,1$
Різниця температур: – більша - – менша -	Δt_6 Δt_m	$\vartheta' - t''$ $\vartheta'' - t'$	°С °С	413 – 172 = 241 258 – 104 = 154
Температурний напір протитечі ступеню	Δt	$(\Delta t_6 - \Delta t_m) / \ln(\Delta t_6 / \Delta t_m)$	°С	$(241 - 154) / \ln(241 / 154) = 195$
Теплосприймання I ступеня	Q_{Γ}	$H \cdot K \cdot \Delta t \cdot 10^{-3} / V_p$	кДж/к г	$1190 \cdot 23,1 \cdot 195 \cdot 10^{-3} / 2,48 = 2191$
Розбіжність в теплосприйманні ступеню	εQ	$(Q_{\Gamma} - Q_6) \cdot 100 / Q_6$	%	$(2191 - 2255) \cdot 100 / 2255 = 2,8$

Розбіжність розрахунків з теплосприймання не перевищує 3,0%, тому перерахунок ступеню не проводимо.

Результати перевірного теплового розрахунку I ступеня повітропідігрівників наведені в таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 – Перевірний розрахунок I ступеня повітропідігрівника

Найменування	Величина		Розмірн.	Розрахунок
	Познач.	Формула		
1	2	3	4	5
Температура повітря на виході з I ступеня	t''	З таблиці 6.4	°С	141
Ентальпія повітря на виході з I ступеня	$I_{0п''}$	З таблиці 6.4	кДж/кг	1059
Температура повітря на вході в I ступінь	t''	З таблиці 2.1	°С	30

Продовження табл. 2.18

1	2	3	4	5
Ентальпія повітря на вході в I ступень	$I_{0п}''$	з таблиці 2.15	кДж/кг	226
Відношення на виході з I ступеня	β_I''	$\alpha_T - \Delta\alpha_T + \Delta\alpha_{II..}$	---	$1,4 - 0,05 + 0,03 = 1,380$
Теплосприймання з боку повітря	Q_6	$(\beta \cdot I'' + \Delta\alpha/2) \cdot (I_{0п}'' - I_{0хп})$	кДж/кг	$(1,38 + 0,04/2) \cdot (1059 - 226) = 1164,0$
Температура газів на вході в I ступінь	ϑ'	Із розрахунку I ступеня економайзера	°C	259
Ентальпія газів на вході в I ступінь	I'	з I – ϑ таблиці	кДж/кг	3772
Середня температура повітря	t_{cp}	$0,5 \cdot (t'' + t_{хп})$	°C	$0,5 \cdot (141 + 30) = 85$
Ентальпія повітря при середній температурі	$I_{0прс}$	з I – ϑ таблиці	кДж/кг	647
Ентальпія газів на виході з I ступеня	I''	$I' - Q_6 / \varphi + \Delta\alpha \times I_{0прс}$	кДж/кг	$3772 - 1164 / 0,991 + 0,01 \cdot 647 = 2603$
Температура газів на виході з I ступеня	ϑ''	з I – ϑ таблиці	°C	175
Середня температура газів	ϑ_{cp}	$0,5 \cdot (\vartheta' + \vartheta'')$	°C	$0,5 \cdot (258 + 176) = 217$
Середня швидкість газів у I ступені	$w_{Г}$	$\frac{B_p \cdot V_{Г} \cdot (273 + \vartheta_{cp})}{273 \cdot F_{Г}}$	м/с	$2,480 \cdot 10,7 \cdot (273 + 217) / (273 \cdot 1,84) = 26,0$
Коефіцієнт тепловіддачі конвекц. (повздовжнє омивання)	α_k	$\alpha_H \cdot c_{\varphi} \cdot c_{\phi}$	Вт/(м ² ·К)	$58 \cdot 1,05 \cdot 1 = 61,0$
Середня швидкість повітря у I ступені	$w_{п}$	$\frac{B_p \cdot V^0 \cdot (273 + t_{cp}) \cdot (\beta_{II}'' + \Delta\alpha/2)}{273 \cdot F_{п}}$	м/с	$(2,48 \cdot 5,7 \cdot (273 + 85) \times (1,38 + 0,04/2)) / (273 \times 3,68) = 7,3$
Коефіцієнт тепловіддачі конвекц. (поперечне омивання)	α_2	$\alpha_H \cdot c_z \cdot c_s \cdot c_{\phi}$	Вт/(м ² ·К)	$57 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,07 = 61$

Продовження табл. 2.18

1	2	3	4	5
Коефіцієнт теплової ефективності	ψ	З довідника	---	0,6
Коефіцієнт використання поверхні ступеню	ξ	Для П-подібної компоновки	---	1,0
Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки	α_1	$\xi \cdot \alpha_k$	Вт/(м ² ·К)	$1,0 \cdot 63,5 = 63,5$
Коефіцієнт теплопередачі в ступені	K	$\psi \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 / (\alpha_1 + \alpha_2)$	Вт/(м ² ·К)	$0,6 \cdot 61 \cdot 63,5 / (61 + 63) = 18,5$
Різниця температур: – менша – більша	Δt_m Δt_b	$\vartheta' - t'$ $\vartheta'' - t'$	°C °C	$258 - 140 = 118$ $175 - 30 = 145$
Температурний напір для протитечії	Δt_{prt}	$(\Delta t_b - \Delta t_m) / \ln(\Delta t_b / \Delta t_m)$	°C	$(145 - 118) / \ln(145 / 118) = 128$
Параметри:	τ_m τ_b P R	$\vartheta' - \vartheta''$ $t' - t_{хп}$ $\tau_m / (\vartheta' - t')$ τ_b / τ_m	°C °C	$258 - 175 = 83$ $175 - 30 = 145$ $83 / (258 - 140) = 0,7$ $145 / 83 = 1,75$
Коефіцієнт	ψ	Для перехресної течії	---	0,98
Температурний напір ступеня	Δt	$\Delta t_{prt} \cdot \psi$	°C	$128 \cdot 0,98 = 125$
Теплосприймання I ступеня	Q_T	$H \cdot K \cdot \Delta t \cdot 10^{-3} / B_p$	кДж/кг	$1228 \cdot 18,5 \cdot 125 \cdot 10^{-3} / 2,48 = 1140$
Розбіжність в теплосприйманні	εQ	$(Q_b - Q_T) \cdot 100 / Q_b$	%	$(1164 - 1140) \cdot 100 / 1164 = 2,06$

Розбіжність розрахунків з теплосприймання не перевищує 2,5%, тому перерахунок не проводимо.

Оскільки температура відхідних газів з котла відрізняється від заданої в таблиці 2.1 не більше, ніж на 15 °C, то відповідно з рекомендаціями [2], перевірний розрахунок хвостових поверхонь нагріву парогенератора вважаємо закінченим.

2.2.9 Розрахунок загальної нев'язки теплового балансу

Розрахунок відхилень теплового балансу котла наведений в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Відхил теплового балансу котла

Найменування	Величина		Розмірн.	Розрахунок
	Познач.	Формула		
Температура відхідних газів з котла	$\vartheta_{\text{вг}}$	з розрахунку хвостових поверхонь	°С	176
Ентальпія відхідних газів з котла	$I_{\text{вг}}$	з I – ϑ – таблиці	кДж/кг	2603
Втрати теплоти з відхідними газами з котла	q_2	$(I_{\text{вг.}} - \alpha_{\text{вг.}} \cdot I_{\text{хп}}^0) \times (1 - q_{4.}) / Q_{\text{н}}$	%	$(2603 - 1,69 \times 226) \cdot (1 - 0,01) / 22158 = 9,9$
ККД парогенератора	$\eta_{\text{пг}}$	$100 - \sum q$	%	$100 - (9,9 + 0,5 + 1 + 0,8) = 86,8$
Сприйнята в котлі теплота	ΣQ	$Q_{\text{т}}^{\text{пп}} + Q_{\text{ф}} + Q_{\text{пп2}} + Q_{\text{пп1}} + Q_{\text{ек2}} + Q_{\text{ек1}}$	кДж/кг	$9922 + 695 + 1613 + 1889 + 2580 + 2255 = 19550$
Відхил балансу котла	$\varepsilon(Q)$	$[Q_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пг.}} - \Sigma Q \cdot (1 - q_{4.}/100)] / Q_{\text{н}}$	%	$[22158 \cdot 0,868 - 19550 \cdot (1 - 1/100)] / 22158 = 0,0045$

Оскільки значення відхилу складає менше 0,5 %, то вважаємо, що розрахунок парогенератора виконаний правильно.

2.3 Результати дослідження енергетичної ефективності спалювання різних палив в парогенераторі БКЗ-75-39ФБ

З використанням вищенаведеної математичної моделі проведені числові дослідження показників роботи котлоагрегата БКЗ-75-39ФБ при спалюванні різних видів палива.

Під час виконання такого дослідження використано результати опубліковані в [16]. Проведено порівняння результатів розрахунку котла на мазуті, вугіллі, гранулах з лушпиння соняшника та суміші гранул з біогазом.

Використані палива з такими характеристиками:

- гранули з соняшникового лущиння з вологістю 8,6% та з теплотою згорання 16,70 МДж/кг;
- кам'яне вугілля (марки АС) з вологістю 8,0% та з теплотою згорання 27,3 МДж/кг;
- мазут високосірчистий з теплотою згорання 38,8 МДж/кг;
- біогаз з вмістом метану 60% та теплотою згорання 21,7 МДж/м³.

Параметри пари у всіх розрахунках однакові – 39 атм. та 440°C.

Результати розрахунків представлені в табл. 2.20.

Таблиця 2.20 – Результати моделювання роботи котла БКЗ-75-39ФБ при спалюванні різних палив

Паливо	Паровидатність котла, т/год	Температура гарячого повітря перед топкою, °С	Адіабатна температура в топці, °С	Температура газів на виході з топки, °С	Температура відхідних газів з котла, °С	ККД котла, %
Мазут	75	350	2040	1100	140	92,2
Вугілля марки АС	60	280	1958	1100	120	82,8
Гранули з лущиння соняшника	60	300	1690	970	150	86,6
Сумісне спалювання біогазу 0,25м ³ на 1 кг гранул з соняшникового лущиння	60	260	1577	960	175	86,8

Як видно з результатів в табл. 2.20 додавання 0,25 м³ біогазу на 1 кг гранул незначно змінює показники роботи котлоагрегату. Котел забезпечує 60 т/год пари визначених параметрів. Адіабатна температура в топці зменшується більш, ніж на 100°C в зв'язку із великою кількістю СО₂ у біогазі, крім того на 40°C знижується температура гарячого повітря після повітропідігрівника. В результаті на 25°C підвищується температура відхідних газів, а ККД котла змінюється незначно.

2.4 Висновки до розділу 2

В даному розділі виконано дослідження ефективності спалювання різних палив та їх сумішей в котлоагрегаті БКЗ-75-39ФБ.

Для проведення числових досліджень та співставлення результатів розроблена відповідна математична модель та використані результати досліджень, що наведені в [16].

Виконано моделювання роботи котла на гранулах з лушпиння соняшника з додаванням біогазу в кількості $0,25 \text{ м}^3/\text{кг}$ гранул.

Виявлено, що при додаванні біогазу може бути забезпечена паровидатність котла 60 т/год. При цьому ККД змінюється незначно. Але відбувається суттєве зниження адіабатної температури в топці та температури гарячого повітря на вході в топку.

3 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Технологія виконання монтажних робіт системи забезпечення паливними гранулами парогенераторів ТЕЦ

В даному розділі представлено технологію монтажу системи подавання гранул лущиння соняшника для спалювання в котлах БКЗ-75-39ФБ.

Технологічна схема подачі палива показана на рис. 3.1. Загалом система працює для трьох котлів БКЗ-75-39ФБ.

Як видно із рис 1.1, система складається стрічкових (4 шт) та гвинтових конвеєрів різної конструкції (10 шт.), витратних бункерів для гранул(3 шт.) та бункерів для гранул (3 шт.).

Біопаливо подається стрічковим транспортером (конвеєром) у витратний бункер для паливних гранул, звідки за допомогою гвинтового конвеєра надходить на стрічковий конвеєр за допомогою якого подається у бункер гранул. Із бункера гранул біопаливо за допомогою гвинтового конвеєра подається у топку парогенератора на колосникову решітку.

До монтажних робіт системи паливоподачі входить монтаж бункерів для гранул, подвійних гвинтових конвеєрів, без осьових гвинтових конвеєрів, стрічкових конвеєрів для гранул та гвинтових без осьових конвеєрів подачі біомаси у котел.

В результаті аналізу конструкції даної системи складено перелік основних та допоміжних виробів і матеріалів

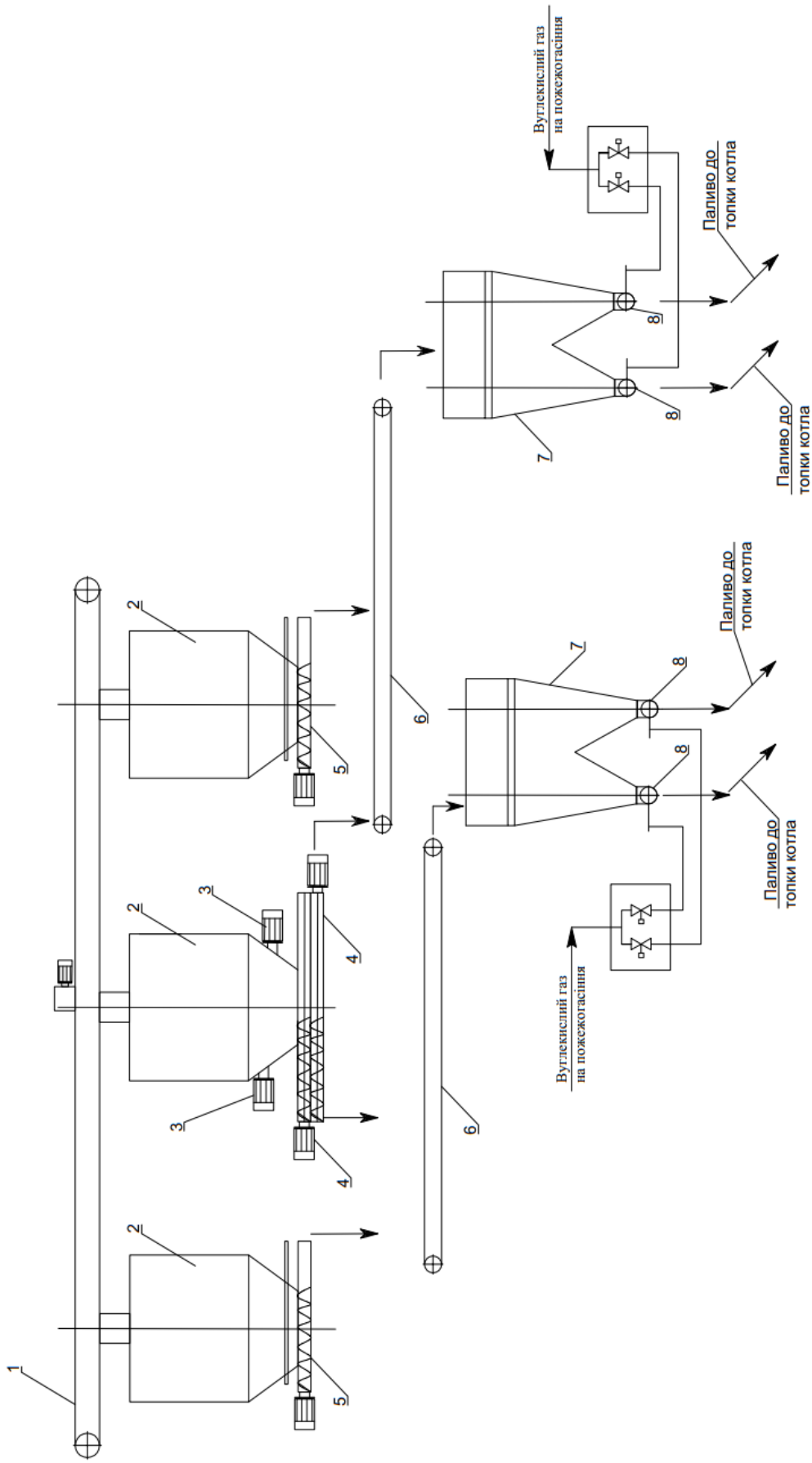


Рисунок 3.1 – Технологічна схема подачі паливних гранул на парогенератори: 1 – конвеєр стрічковий, 2 – бункер витратний для паливних гранул (тріски), 3 – вібраційний пристрій, 4 – конвеєр гвинтовий подвійний, 5 – конвеєр гвинтовий безосьовий, 6 – конвеєр стрічковий для гранул, 7 – бункер для гранул, 8 – конвеєр гвинтовий безосьовий

3.1.1 Розрахунок, комплектування основних та допоміжних матеріалів і виробів, складання відомостей

Основні розрахункові результати представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Відомість витрат використання матеріалів

№ п.п	Найменування використання матеріалу	Один. вимірювання	Кількість	Маса один., кг	Загальна маса, кг
1	2	3	4	5	6
Потреба в матеріалах					
1	Бункери для гранул, місткість $V = 4,5 \text{ м}^3$	шт	3	1050	3150
2	Транспортер (конвеєр) стрічковий КЛ-500, $L = 13200 \text{ мм}$, $B = 500 \text{ мм}$	шт	3	820	2450
3	Конвеєр гвинтовий безосьовий, $L = 2500 \text{ мм}$, $D_{\text{гв}} = 250 \text{ мм}$ з двигуном	шт	6	367	2202
4	Конвеєр гвинтовий безосьовий, $L = 2400 \text{ мм}$, $D_{\text{гв}} = 250 \text{ мм}$ з двигуном	шт	1	359	359
5	Конвеєр гвинтовий безосьовий, $L = 1800 \text{ мм}$, $D_{\text{гв}} = 250 \text{ мм}$ з двигуном	шт	1	311	311
Потреба у допоміжних матеріалах для монтажу					
Для монтажу бункерів для гранул [27]					
6	Болти з шестигранними головками оцинковані, діаметра різьби 12-[14] мм	т	3,15	0,00044	1,386
7	Цвяхи будівельні з плоскою головкою 1,6×50 мм	т	3,15	0,00001	0,0315
8	Канати пенькові просочені	т	3,15	0,0001	0,315
9	Кисень технічний газоподібний	м ³	3,15	1,95	85,3
10	Катанка гарячекатана у мотках, діаметр 6,3-6,5 мм	т	3,15	0,00003	0,0945
11	Швелер №40 з гарячекатаного прокату із сталі вуглецевої звичайної якості, марка Ст0	т	3,15	0,0004	1,26
12	Електроди, діаметр 2 мм, марка Э42	т	3,15	0,0004	1,26
13	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	3,15	0,005	15,7
14	Бруски обрізні із хвойних порід, довжина 4-6,5 м, ширина 75-150 мм, товщина 40-75мм, I гатунок	м ³	3,15	0,00103	1,622

Продовження табл. 3.1

1	2	7	4	5	6
15	Грунтовка ГФ-021 червоно-коричнева	т	3,15	0,00031	0,977
16	Розчинник, марка Р-4	т	3,15	0,00006	0,189
17	Канат подвійного звивання, тип ТК, оцинкований, із дроту марки В, маркувальна група 1770 Н/мм ² , діаметр 5,5 мм	10 м	3,15	0,0187	0,068
18	Пропан-бутан технічний	м ³	3,15	0,59	11
Для монтажу стрічкових транспортерів [28]					
19	Сталь швелерна	т	3	0,0032	9,6
20	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	3	0,002	6
Для монтажу конвеєрів гвинтових безосьових [28]					
24	Сталь швелерна	т	8	0,0048	38,4
25	Болти будівельні з гайками та шайбами	т	8	0,0004	3,2
					175,14

Загальна маса обладнання та основних матеріалів – 8472 кг.

Загальна маса усіх матеріалів, які потрібно використати на встановлення системи, складає 175,14 кг.

Загальна маса допоміжного обладнання та інструменту 549 кг.

Загальна маса (для доставки) 9196 кг.

3.1.2 Визначення складу та об'ємів робіт

Склад виконання монтажних робіт:

1. Доставка деталей до місць монтажу та їх складання.
2. Розмітка місць прокладання стрічкових конвеєрів.
3. Монтаж бункерів для гранул місткістю $V = 4,5 \text{ м}^3$.
4. Монтаж конвеєрів стрічкових КЛ-500, $L = 13200 \text{ мм}$, $B = 500 \text{ мм}$.

5. Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, $L = 2500$ мм, $D_{\text{ГВ}} = 250$ мм з двигуном.
6. Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, $L = 2400$ мм, $D_{\text{ГВ}} = 250$ мм з двигуном.
7. Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, $L = 1800$ мм, $D_{\text{ГВ}} = 250$ мм з двигуном.
8. Випробування конвеєрів стрічкових КЛ-500, $L = 13200$ мм, $B = 500$ мм.
9. Випробування конвеєрів гвинтових безосьових, $D_{\text{ГВ}} = 250$ мм з двигуном.
10. Повернення допоміжного обладнання на склади.

Об'єми виконання робіт

1. Доставляння деталей до місць монтажу та їх складування. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна маса усіх деталей 9196 кг. Приймаємо об'єм $V = 9,196$.
2. Розмітка місць прокладання стрічкових конвеєрів. Одиниці вимірювання 100 м. Довжина всіх конвеєрів складає $L = 39,6$ м. Приймаємо $V = 0,396$.
3. Монтаж бункерів для гранул місткістю $V = 4,5$ м³. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна маса трьох бункерів складає 3150 кг. Отже, приймаємо $V = 3,15$.
4. Монтаж конвеєрів стрічкових КЛ-500, $L = 13200$ мм, $B = 500$ мм. Одиниці вимірювання в штуках. Встановлюється 3 стрічкових конвеєри. Отже, приймаємо $V = 3$.
5. Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, $L = 2500$ мм, $D_{\text{ГВ}} = 250$ мм з двигуном. Одиниці вимірювання – штуки. Кількість гвинтових конвеєрів довжиною 2,5 м складає 6 шт., отже, приймаємо $V = 6$.
6. Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, $L = 2400$ мм, $D_{\text{ГВ}} = 250$ мм з двигуном. Одиниці вимірювання – 1 штука. В системі паливоподавання встановлюється 1 гвинтовий конвеєр довжиною 2,4 м. Отже приймаємо $V = 1$.
7. Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, $L = 1800$ мм, $D_{\text{ГВ}} = 250$ мм з двигуном. Одиниці вимірювання – 1 штука. В системі паливоподавання встановлюється 1 гвинтовий конвеєр довжиною 1,8 м. Отже, приймаємо $V = 1$.
8. Випробування конвеєрів стрічкових КЛ-500, $L = 13200$ мм, $B = 500$ мм. Одиниці вимірювання – 1 м. Довжина всіх трьох стрічкових конвеєрів складає $L = 39,6$ м. Отже приймаємо $V = 39,6$.

9. Випробування конвеєрів гвинтових безосьових, $D_{гв} = 250$ мм з двигуном. Одиниці вимірювання – 1 метр. Загальна довжина усіх гвинтових конвеєрів становить: 19,2 м. Отже, $V = 0,52$.

10. Повернення допоміжного обладнання на склад. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна маса усіх деталей 549 кг. Приймаємо об'єм $V = 0,549$.

3.1.3 Монтаж стрічкових конвеєрів

Стрічковий конвеєр - транспортний пристрій, призначений для безперервної дії, тяговим органом якого є гнучка нескінченна стрічка, що обгинає два або кілька барабанів і підтримується роликми.

Попередній натяг і підтяжка стрічок у міру їх витягування створюється шляхом переміщення підшипникового вала натяжного барабана. Це натяг досягається за допомогою натяжного пристрою, гвинтового або вантажного. Найбільшого поширення набули гвинтові натяжні пристрої, які можуть бути двох типів: з висувним гвинтом і з нерухомим гвинтом.

Стрічкові конвеєри завдовжки до 5 м надходять на монтаж в повністю зібраному вигляді, понад 5 м – складальними одиницями. Стрічковий конвеєр підвозять до місця монтажу автотранспортом в зібраному вигляді або секціями і вмонтовують по заздалегідь розміченій монтажній осі. Секції сполучають на болтах або електрозварюванням. Горизонтальність положення станини перевіряють рівнем. Станину кріплять до перекриття болтами. На станині встановлюють барабани привідної і натяжних станцій, причому осі барабанів або валів мають бути перпендикулярними до довжинної осі конвеєра. За допомогою струн встановлюють верхні і нижні роликові опори, які повинні лежати в паралельній площині. При центруванні редуктора з електродвигуном забезпечують горизонтальність осей валів і співісність валу редуктора з валом електродвигуна. Співісність валів перевіряють лінійкою і щупом, вимірювальними наконечниками, що встановлюються на муфтах за допомогою затискних скоб, а горизонтальність валів – рівнем. Після встановлення складальних одиниць конвеєра і перевірки якості виконаних робіт переходять до укладання стрічки на роликові опори. Стиги стрічок на верхній її гілці сполучають сиром'ятними зшиваннями, на металевих скобах, склеюванням або вулканізацією. Під час випробування конвеєра на холостому ходу перевіряють, як розташована стрічка по ширині барабанів і роликових опор, їх обертання, а також центрування привідної станції. Тривалість випробування 2...4

години. Результати роботи оформляються актом.

3.1.4 Підбір машин, механізмів, пристосувань

Бункери для гранул, конвеєри та допоміжні матеріали і обладнання завозяться централізовано автомашиною DAF CF 65 250. Технічні характеристики автомашини наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики автомобіля "DAFCF 65 250"[29]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Довжина платформи	м	6,8
Вантажопідйомність	кг	9280
Габарити: Довжина Ширина Висота	мм	10700 2550 4000
Витрата пального	л/100 км	18
Маса	кг	9320

Для зварювання використовується зварювальний апарат Tesla Weld MMA 280[30]. Його технічна характеристика:

- максимальна споживана потужність, кВт–3,6;
- сила струму, А – 20 – 280;
- напруга мережі живлення, В – 140 – 240;
- діаметр електрода , мм – 1,6 – 2,0 – 3.0 – 4,0;
- джерело енергії для зварювання – електрична дуга;
- маса – 5,2 кг

Для виконання газозварювальних та різальних робіт використовуємо Комплект газозварника (переносний) ПГС -5, що комплектується вогнеперешкодними клапанами КОК і КОГ для безпеки праці, компактним різакон ДОНМЕТ 132П. Маса поста – 12 кг [31].

Для переміщення обладнання в приміщенні ТЕЦ використовуємо візок гідравлічний ручний спеціальний Модель DFZ з характеристиками, які вказані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Візок гідравлічний ручний спеціальний Модель DFZ [32]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Вантажопідйомність	кг	2000
Довжина вил	мм	1550
Ширина вил	мм	840
Маса	кг	80

Для підйому бункерів для гранул та конвеєрів використовуємо лебідку з електроприводом ЛМ–1,6.ІІ характеристики вказані в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічна характеристика лебідки з електроприв. ЛМ–1,6 [33]

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Тягове зусилля в канаті	т	1,6
Швидкість навивки каната	м/с	0,29
Канатоемність барабана	м	250
Потужність двигуна	кВт	7,5
Габарити:		
Довжина	мм	985
Ширина	мм	990
Висота	мм	700
Маса лебідки без каната	кг	440

Таблиця 3.5– Набір інструментів та пристосувань для монтажників [34]

Найменування	ГОСТ, марка	Кільк., шт.	Заг. маса, кг
Ключ гайковий двохсторонній			
М17х19 мм	ГОСТ2839-80	6	0,9
М19х22 мм		6	1,2
Плоскогубці комбіновані	ГОСТ 5547-75	6	1,6
Викрутки	ГОСТ 5423 - 79	6	0,31
Молоток слюсарний	ГОСТ 2310-77	6	1,8
Зубило слюсарне довжиною 200 мм	ГОСТ 7211-72	6	2,1
Молоток гумовий		6	1,9
Стрічка вимірювальна, 20 м	ГОСТ 7502 - 61	6	0,12
Рівень металевий	ГОСТ 7948-80	2	0,22
Ящик переносний для інструменту		12	3,2
Всього:			11,75

Загальна маса допоміжного обладнання складає 549 кг.

3.1.5 Витрата паливних та енергетичних ресурсів

Витрати електроенергії на роботи електроприладів визначаються за формулою [35]

$$E = P \times \tau \times k, \quad (3.1)$$

де P – потужність приладу чи механізму, кВт;

τ – термін роботи приладу, год;

k – коефіцієнт, що враховує періодичність дії електричного обладнання [35].

Витрати електроенергії на роботу зварювального апарату Tesla Weld MMA 280

$$\tau = 15,07 \cdot 3,15 = 47,47 \text{ год}; P = 3,6 \text{ кВт};$$

$$E_{\text{за}} = 3,6 \cdot 47,47 = 170,89 \text{ (кВт·год)}.$$

Витрати електроенергії на роботу лебідки з електроприводом ЛМ–1,6

$$\tau = 25,76 \cdot 3 + 17,92 \cdot 8 = 220,64 \text{ год}; P = 7,5 \text{ кВт};$$

$$E_{\text{леб}} = 7,5 \cdot 220,64 = 1654,8 \text{ (кВт·год)}.$$

Загальне споживання електроенергії електроінструментом

$$E_{\Sigma} = E_{\text{за}} + E_{\text{леб}}. \quad (3.2)$$

$$E_{\Sigma} = 170,89 + 1654,8 = 1825,69 \text{ (кВт·год)}.$$

Витрата пального для доставки матеріалів та виробів

– відстань 200(км);

– кількість ходок $n=2$;

– витрата пального $Q=18$ (л/100км).

Необхідна кількість пального для доставки труб визначається за формулою

$$Q_{\text{п}} = Q \cdot 4 \cdot n \cdot l; \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{п}} = 0,18 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 200 = 144 \text{ л.}$$

Труби, деталі та конструкції завозяться централізовано автомашиною DAFCF 65 250. Технічні характеристики автомашини наведені в табл. 3.2.

3.1.6 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Трудомісткість виконання робіт із монтажу системи забезпечення паловом парогенераторів визначається на підставі об'ємів робіт, розрахованих у розділі 3.1, п. 3.1.2 даної роботи.

Трудомісткість монтажних робіт [35]

$$Q = V \cdot H_{\text{ч}} / B \quad [\text{люд} \cdot \text{дні}], \quad (3.4)$$

де V – об'єм робіт;

$H_{\text{ч}}$ – норма часу на одиницю виміру, люд/год [27, 28];

B – число годин в зміні, год.

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

Тривалість монтажу [35]

$$T = Q / n \quad [\text{днів}], \quad (3.5)$$

де Q – трудомісткість монтажу, людино·дні

n – кількість працівників, люд.

Кількість робітників (n), необхідних для виконання певної роботи з монтажу обладнання системи забезпечення паливом парогенератора та їх кваліфікація наведена у розділі 3.1.7 даної роботи.

Розрахунки за формулами (3.4) та (3.5) наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6– Визначення трудомісткості виконуваних монтажних робіт

Найменування виконуваних робіт	Одиниця вимірювання	Об'єм і робіт	Норма часу, люд-годин	Трудомісткість робіт, люд.-дні	Виконавці робіт		Тривалість робіт, дні
					Кількість	Склад бригад	
1	2	3	4,	5	6	7	8
Доставляння деталей до місць монтажу та їх складання	т	9,196	4,4	5,06	3	2 робітники 1 водій	1,69
Розмітка місць прокладання стрічкових конвеєрів	100 м	0,396	1,6	0,079	6р-1 3р-1	Монтажник 4,5 розряд	0,04
Монтаж бункерів для гранул, місткістю $V = 4,5 \text{ м}^3$ [27]	т	3,15	86,24	33,957	5р-1 4р-1 3р-3	Монтажники 3,6 розряд	6,79
Монтаж конвеєрів стрічкових КЛ-500, $L = 13200 \text{ мм}$, $B = 500 \text{ мм}$ [28]	шт.	3	121,6	45,6	5р-1 4р-2 3р-2 2р-1	Монтажники 4,2 розряд	7,6
Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, $L = 2500 \text{ мм}$, $D_{\text{ГВ}} = 250 \text{ мм}$ з двигуном	шт.	6	83,2	62,4	5р-1 4р-2 3р-1	Монтажник 3,7 розряд	15,6
Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, $L = 2400 \text{ мм}$, $D_{\text{ГВ}} = 250 \text{ мм}$ з двигуном	шт.	1	83,2	10,4	5р-1 4р-2 3р-1	Монтажник 3,7 розряд	2,6

Продовження табл. 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8
Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, L = 1800 мм, D _{ГВ} = 250 мм з двигуном	шт.	1	83,2	10,4	5р-1 4р-2 3р-1	Монтажник 3,7 розряд	2,6
Випробування конвеєрів стрічкових КЛ-500, L = 13200 мм, В = 500 мм [27]	м	39,6	0,17	0,84	6р.-1 4р.-1 3р.-1	Монтажник 3,7 розряд	0,28
Випробування конвеєрів гвинтових безосьових, D _{ГВ} = 250 мм з двигуном	м	19,2	3,5	8,4	6р-1 4р-1	Монтажник 3,7 розряд	4,2
Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,549	4,4	0,302	2	1 робітників 1 водій	0,14

3.1.7 Визначення складу ланок і підбір монтажного інструменту

Склад бригад і середній розряд робітника для виконання монтажних робіт визначають згідно з нормативними документами [27, 28].

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

2. Розмітка місць прокладання стрічкових конвеєрів. Монтажники : 6 розряду – 1 людина, 3 розряду – 1 людина.

3. Монтаж бункерів для гранул, місткістю $V = 4,5 \text{ м}^3$. Монтажники : 5 розряду – 1 людина, 4 розряду – 1 людина, 3 розряду – 3 людини.

4. Монтаж конвеєрів стрічкових КЛ-500, $L = 13200 \text{ мм}$, $B = 500 \text{ мм}$. Монтажники : 5 розряду – 1 людини, 4 розряду – 2 людини, 3 розряду – 2 людини, 2 розряду – 1 людина.

5. Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, $L = 2500 \text{ мм}$, $D_{\text{ГВ}} = 250 \text{ мм}$ з двигуном. Монтажники : 5 розряду – 1 людини, 4 розряду – 2 людини, 3 розряду – 1 людина.

6. Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, $L = 2400 \text{ мм}$, $D_{\text{ГВ}} = 250 \text{ мм}$ з двигуном. Монтажники : 5 розряду – 1 людини, 4 розряду – 2 людини, 3 розряду – 1 людина.

7. Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, $L = 1800 \text{ мм}$, $D_{\text{ГВ}} = 250 \text{ мм}$ з двигуном. Монтажники : 5 розряду – 1 людини, 4 розряду – 2 людини, 3 розряду – 1 людина.

8. Випробування конвеєрів стрічкових КЛ-500, $L = 13200 \text{ мм}$, $B = 500 \text{ мм}$. Монтажники : 6 розряду – 1 люд., 4 розряду – 1 люд., 3 розряду – 1 люд.

9. Випробування конвеєрів гвинтових безосьових, $D_{\text{ГВ}} = 250 \text{ мм}$ з двигуном. Монтажники : : 6 розряду – 1 людина, 4 розряду – 1 людина.

10. Повернення допоміж. обладнання на склад. Робітник – 1 людина, водій авто – 1 людина.

3.2 Розробка функціональної схеми автоматизації

3.2.1 Характеристика технологічного обладнання

Котельня, що знаходиться в селі Городківка, Крижопільського району Вінницької області виробляє теплову енергію, яка необхідна для технологічних потреб у вигляді водяної пари [36].

Об'єктом автоматизації є реконструйований котел БКЗ-75-39ФБ (рис. 3.2). Паровий котел являє собою систему, що складається з поверхонь нагріву, допоміжних пристроїв, арматури, органів і апаратури системи управління. Одним з головних, або основних пристроїв, що входять в об'єднане поняття «котельна установка», є котел [37].

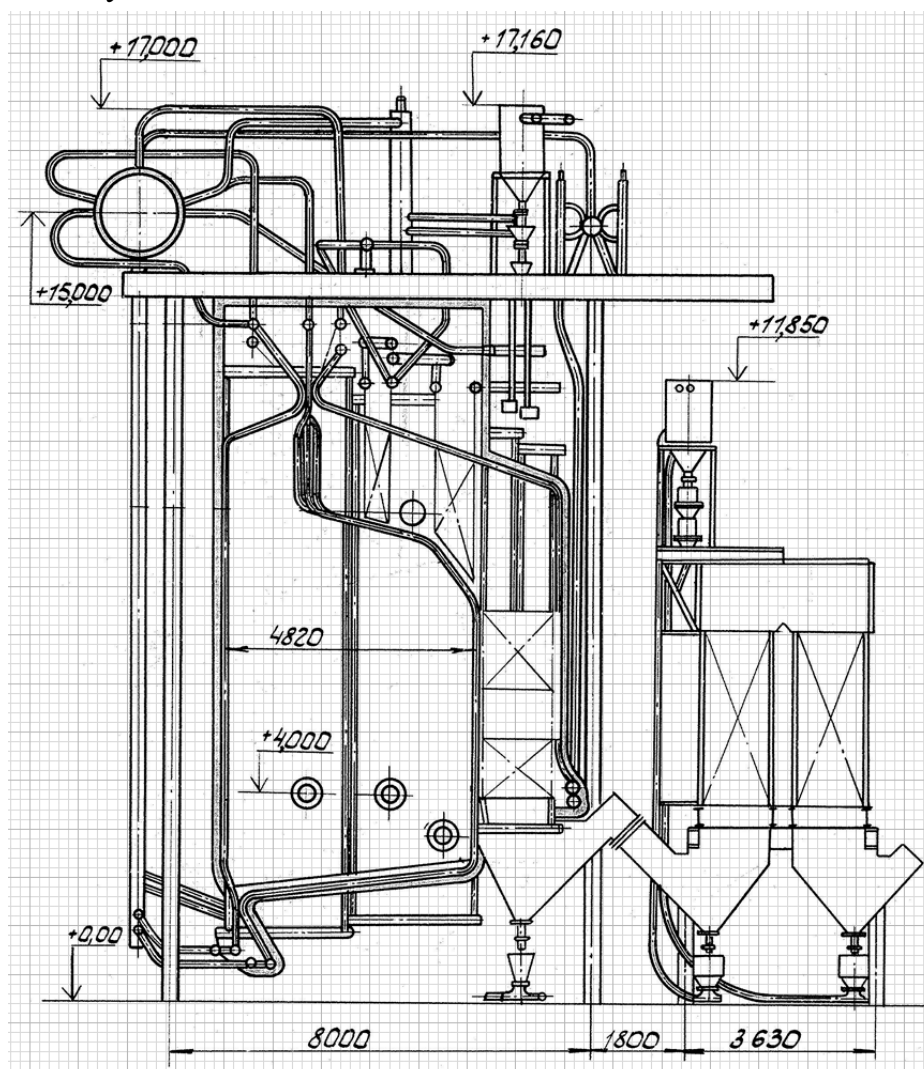


Рисунок 3.2 – Котел паровий БКЗ -75-39ФБ

Котел БКЗ-75-39 ФБ однобарабанний, вертикально-водотрубний з природною циркуляцією призначений для вироблення перегрітої пари надлиш-

ковим тиском 39 кгс/см², температурою пари 440 °С, продуктивність 75 т/год. Компонування котла БКЗ-75-39ФБ виконане за П-подібною схемою. Камера згорання розміщена в першому (підйомному) газоході. У верхньому (поворотному) газоході розташований пароперегрівник, у другому (опускному) газоході розташовані водяний економайзер і підігрівник повітря.

Котел має один барабан, призначений для розділення пароводяної суміші і барботажу, пропускання через рідину пари під тиском, промивання насиченої пари живильною водою. Для прогрівання нижньої твірної півсфери барабана в початковий період розпалювання передбачений колектор парового розігріву. Розігрів і розхолодження забезпечуються підведенням насиченої пари від будь-якого працюючого парового котла. Швидкість розігрівання і розхолодження забезпечується дроселюванням пари в регулюючому вентилі на вступній лінії розігріву. Середній (нульовий) рівень води в барабані знаходиться на 200 мм нижче геометричної осі барабана. Для аварійного відведення води в разі надлишкового живлення барабана передбачений трубопровід аварійного зливу з установкою послідовно двох вентилів з електроприводами.

Підведення котлової води з барабана котла до нижніх камер екранних блоків здійснюється по водоопускних трубах. Водоопускні труби йдуть уздовж топки і обмуровані разом з нею. В кожній камері фронтних і тильових екранних блоків котельна вода підводиться по 4 трубах. До камер бічних середніх блоків котельна вода підводиться по 6 трубах: дві в «чистий» відсік і чотири в «сольовий» відсік від виносних циклонів. До кожної камери бічних крайніх екранних блоків котельна вода підводиться по 2 трубах. Відведення пароводяної суміші від верхніх камер екранних блоків здійснюється відповідною кількістю паровідвідних труб такого ж розміру.

У паровому просторі барабану відбувається об'ємна сепарація пари: відділення краплин води з потоку пари. Під стелею барабана встановлені ґратки, призначені для рівномірного паророзподілу по паровідвідних трубах. З барабана суха насичена пара відводиться по пароперепускним трубах в камери стельового пароперегрівника.

Живильна вода з барабану котла підводиться по трубах з фронтного боку. У середині барабану вся живильна вода надходить в роздатковий короб, звідки частина води надходить безпосередньо в водяний об'єм, а частина води направляєється на промивний лист для барботажного промивання пари.

На котлі є пароперегрівник, призначений для перегрівання сухої насиченої пари до номінальних параметрів з метою отримання максимального

ККД на котлі, турбоагрегаті і всієї паросилової установки в цілому. Конструктивно пароперегрівник розташований у верхній частині котла. За пароперегрівником розташована поворотна камера, що з'єднує горизонтальний газохід з конвективного шахтою. Конвективна шахта – це опускаючий газохід з розташованими в ньому поверхнями нагріву водяного економайзера і повітропідігрівника.

Водяний економайзер призначений для нагрівання живильної води до температури близької до температури насичення пари, підігрівник повітря призначений для підігріву повітря, що подається в топку котла і необхідного для забезпечення процесу горіння палива. Живлення котла водою здійснюється через вузол живлення, що розташований на основній відмітці обслуговування котла. Вузол живлення оснащений двома регуляторами живлення: основним $dy225$ поворотного типу і байпасним $dy100$ шиберного типу.

3.2.2 Обґрунтування вибору регульованих величин, та каналів регульовального впливу

Основними величинами, що регулюються в котлоагрегаті є витрата перегрітої пари $D_{п.п.}$, її тиск $P_{п.п.}$ і її температура $t_{п.п.}$. Витрата пари є змінною величиною, а її тиск і температура підтримуються в діапазоні допустимих відхилень, що обумовлюється вимогами для даного режиму роботи турбіни або іншого споживача теплоти. Розрідження у верхній частині топки регулюється шляхом зміни продуктивності димососів, що відводять димові гази з топки. Оптимальний коефіцієнт надлишку повітря за пароперегрівником регулюється зміною подачі дугтьєвих вентиляторів, що нагнітають повітря в топку. Сольміст котлової води регулюється шляхом зміни витрати води $D_{пр}$, що відводиться з барабана в розширник безперервної продувки.

Перераховані величини змінюються в результаті регульовальних впливів і під дією зовнішніх і внутрішніх збурень, що мають детермінований або випадковий характер.

Отже, котлоагрегат як об'єкт керування є складною динамічною системою з кількома взаємопов'язаними вхідними і вихідними величинами. Однак явно виражена направленість окремих ділянок за основними каналами регульовальних впливів, таких як витрата води на пароохолодник $G_{вно}$ – перегрівання пари $t_{п.п.}$; витрата палива B_p – тиск пари $P_{п.п.}$ тощо, дозволяє здійснювати стабілізацію всіх параметрів, що регулюються за допомогою незалежних одноконтурних систем, що пов'язані лише через об'єкт керування.

При цьому регульовальний вплив тієї чи іншої ділянки є основним методом стабілізації його вихідної величини, але інші впливи є по відношенню до цієї ділянки внутрішніми або зовнішніми збуреннями.

Система регулювання барабанним котлоагрегатом містить автономні АСР процесів горіння, утворення пар, температури перегріву пари, живлення і водного режиму [38].

3.2.3 Система потужності котла

Для підтримання економічного і стабільного режиму котла, потрібно перш за все вибрати параметр, який встав би в основу регулювання подавання палива в топку.

В індивідуальних котельних агрегатах, що працюють кожен на свою турбіну, таким параметром є тиск пари в барабані. Якщо в топці згорає рівно стільки палива, скільки потрібно для утворення пари, і яка покриває його витрати, то тиск в барабані котла буде сталим. Підведення теплоти в топку згорілого палива з врахуванням коефіцієнта корисної дії, має відповідати теплоті з відібраною парою [39].

Якщо пара, яка надходить в топку, перевищує відведення теплоти з парою, то пароутворення в котлі буде більш інтенсивне і тиск в барабані збільшуватиметься. Але якщо теплота, що відбирається парою, перевищує ту теплоту, що подається з паливом, то тиск в барабані котла буде знижуватись.

Кількість теплоти, яка подається в топку, може змінюватися через зміну хімічного складу і калорійності палива. Але, якщо вважати, що склад палива не змінюється, а це відповідає дійсності, тоді зміна подавання палива може бути викликана тільки такою причиною – зміною кількості відібраної пари. Процес регулювання подавання палива називається регулюванням навантаження котлоагрегату, а регулятор, називається регулятором навантаження.

Регулятор такого теплового навантаження призначений для автоматичного підтримання теплового навантаження котлоагрегату відповідно до завдання, що встановлюється оператором-технологом. Основною регульовальною величиною є сигнал по теплоті, яка формується програмним чином в контролері на основі вхідних сигналів – подачі і тиску перегрітої пари на виході з котла і тиску насиченої пари в барабан котла.

Регулювання тиску пари в барабані [39] (рис. 3.3) здійснюється шляхом зміни подавання твердого палива в топку. Паливо для спалювання подається транспорт-системою в оперативний бункер. Із бункера воно надходить до ко-

лосникового полотна топки котла. Регулювання тиску пари в барабані котлоагрегату проводиться зміною кількості палива, яке подається в топку і режимом роботи тягодуттєвих пристроїв.

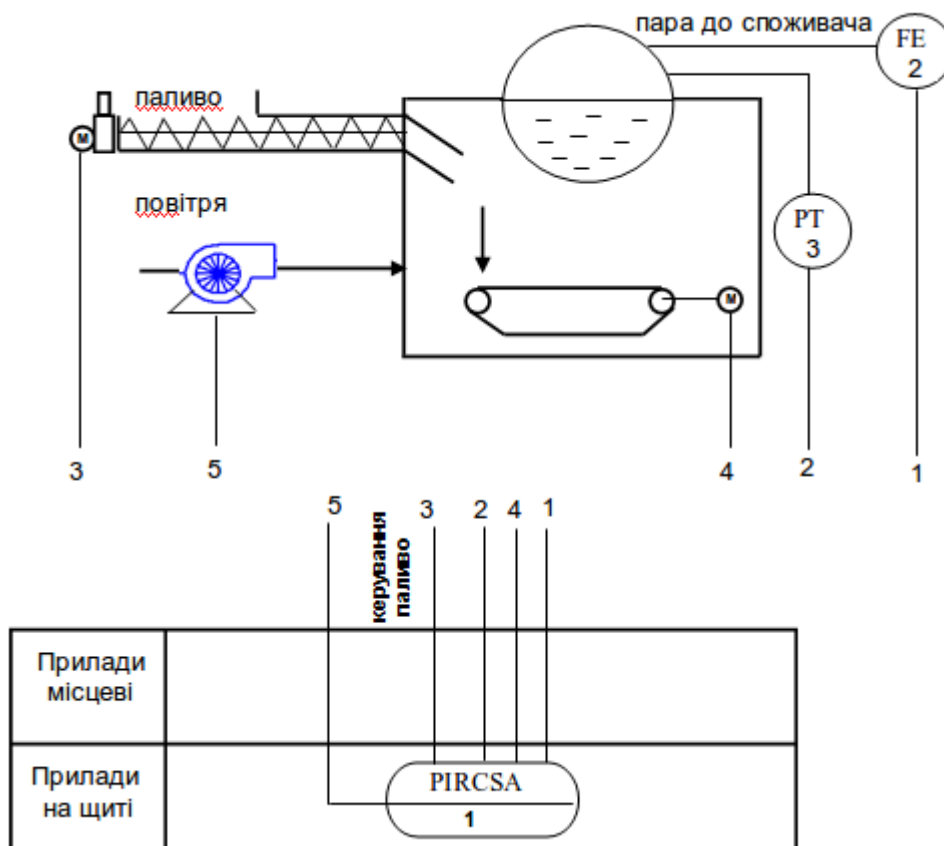


Рисунок 3.3 – АСР потужності котла

3.2.4 АСР розрідження в топці

Продукти згорання мають бути повністю вилучені з топки. Повного відведення продуктів згорання можна досягти забезпеченням певної подачі димососа. Для того, аби топкові гази не виходили з топки назовні, треба підтримувати певне розрідження в топці котла. Збільшення цього розрідження призводить до підвищеного підтягування повітря через нещільності в стінках котла. В котел попадає невідігрите повітря, зростають втрати теплоти з відхідними газами. Оскільки збільшується швидкість димових газів – нераціонально зростає витрата електроенергії на роботу димососа. Це призводить до зниження коефіцієнта корисної дії котла.

Автоматичне регулювання розрідження в топці котла потрібне для підтримки стабільного горіння і надлишкового стиску під колосниковим полотном (для ефективного його охолодження дуттєвим повітрям). За відсутності

розрідження полум'я факела буде прижиматися до колосників, що призведе до обгорання нижньої частини топки, та до появи димових газів в приміщенні, що унеможливує роботу обслуговувального персоналу і є порушенням правил безпеки.

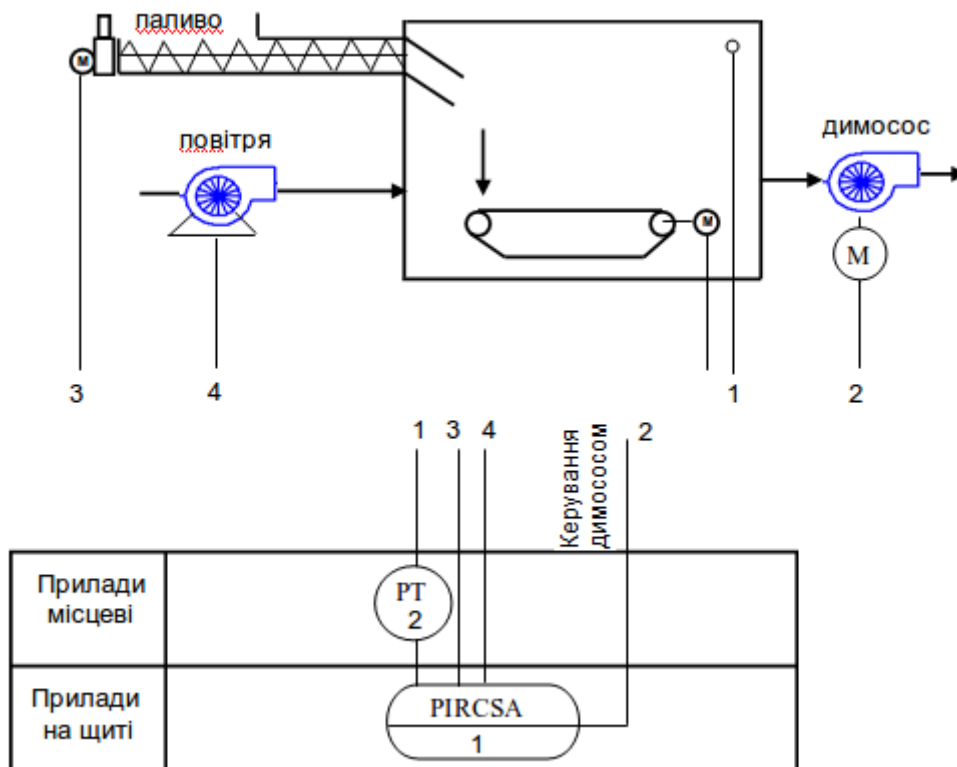


Рисунок 3.4 – АСР розрідження в топці котла

Імпульс розрідження (див. рис. 3.4) збирається у верхній частині топки камери в зв'язку з тим, що в нижній частині топки можуть бути різного роду присмоктування. Підтримуючи розрідження у верхній частині топки можна вважати, що в інших частинах топки розрідження може бути не меншим або навіть більшим.

Регулювання розрідження в топці котла виконується дією на напрямний апарат димососу, це дозволяє змінити його продуктивність (рис. 3.4).

3.2.5 АСР паливо – повітря

При роботі на різних паливах важливо витримувати співвідношення кількість палива – кількість повітря для забезпечення повного згорання палива. В топку подається невеликий надлишок повітря в порівнянні з тим, що потрібно для повного спалювання палива. Цей надлишок визначають коефі-

цієнтом надлишку повітря, який встановлюється під час теплових випробувань котла. Завдання автоматичного регулювання постає в забезпеченні подачі повітря в чіткій відповідності з цим коефіцієнтом.

Неповне згорання палива приводить до коксування палива і відкладання на стінках топки і димоходів, це, в свою чергу, приводить до зниження ККД котла і подальшої зупинки котла для проведення заходів з очищення топки і димової труби.

Чітке підтримання співвідношення палива – повітря, що попадає в топку котла відповідно з режимною картою, забезпечується регулятором на основі спеціального алгоритму, реалізованого програмою. Зміна тиску повітря виконується впливом на напрямний апарат вентилятора, що приводить до зміни його подачі (рис. 3.5).

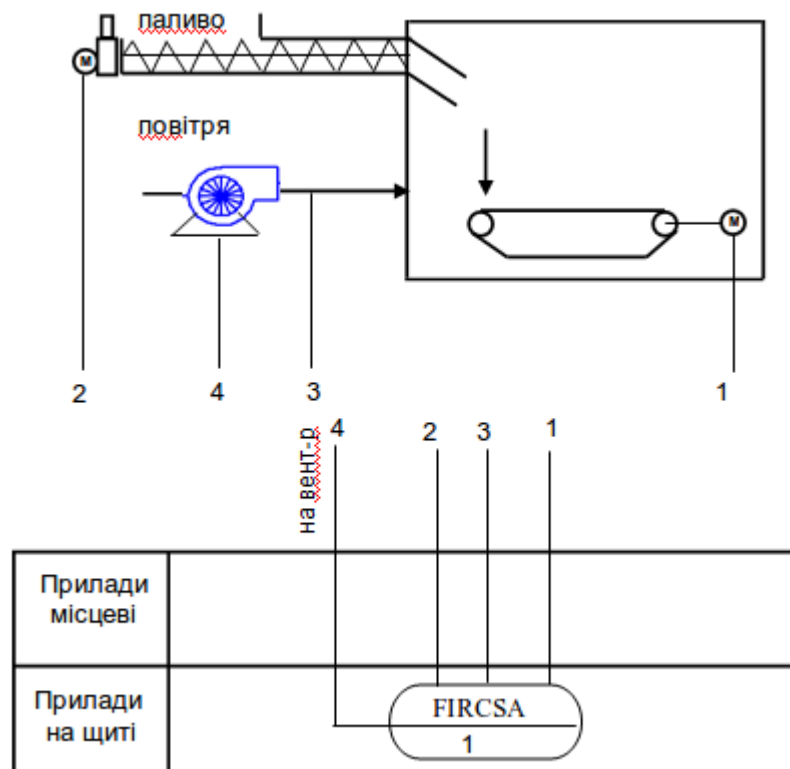


Рисунок 3.5 – АСР паливо-повітря

3.2.6 АСР температури перегрітої пари

Поверхневий пароохолодник – трубчастий теплообмінник, всередині труб протікає охолодна вода – живильна вода, а ззовні теплообмінник омивається потоком пари, що охолоджується (конденсується, якщо регулятор на вході в пароперегрівник). Трубна система складається з U-подібних змійовиків, що вбудовані в камеру.

Відносно економайзера поверхневий пароохолодник включають послідовно. Незалежно від навантаження котлоагрегату через економайзер проходить вся живильна вода, яка забезпечує надійне його охолодження.

Регулятор температури перегрітої пари виконує функцію стабілізації температури перегрітої пари на заданому рівні зміною витрати охолодної води через пароохолодник. Вхідні ланцюги контролера виконані звичайним методом з впливом на клапан витрати охолодної води.

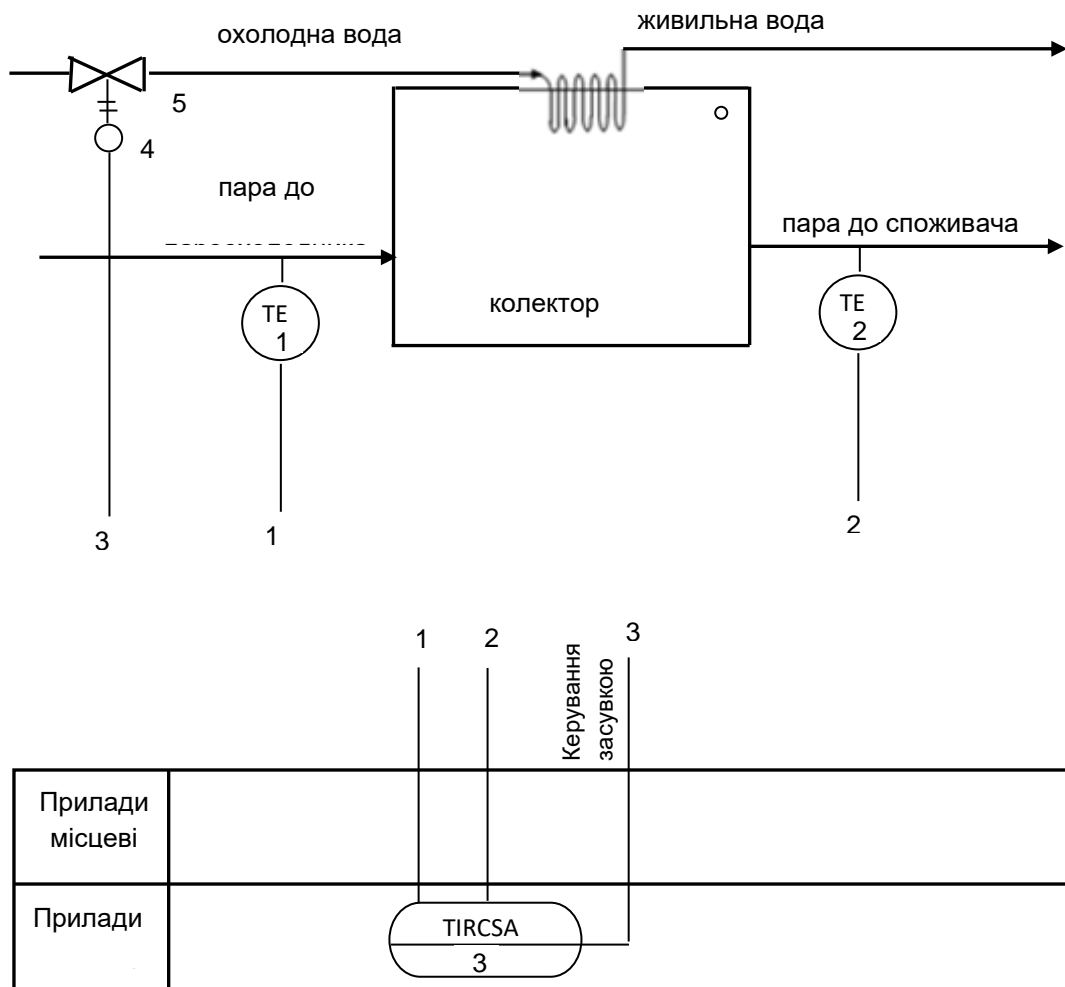


Рисунок 3.6 – АСР температури перегрітої пари

3.2.7 АСР живлення котла

Автоматизована система регулювання живлення барабанного котла призначена для підтримання матеріальної відповідності між витратою живильної води і паровим навантаженням парогенератора. Показником цієї відповідності є рівень води барабану. Керуючим впливом є витрата живильної во-

ди, збурювальним впливом – витрата пари через турбіну, що змінюється зі зміною потужності турбіни.

Вплив на рівень води в парогенераторі: витрата пари при зміні навантаженні споживача; зміна подачі живильної води; зміна температури живильної води; зміна витрати палива.

На коливання рівня в барабані котла впливає не тільки змінність навантаження, але і явище «набухання» води – змінність об'єму, який займає пара в пароводяній суміші, що проходить через циркуляційний контур котлоагрегату. «Набухання» відбувається при різкій зміні тиску в барабані (скидання або наростання навантаження) або за умов коливання тепловиділень в топці, пов'язаних зі змінами подавання палива або повітря. Наприклад, в разі збільшення споживання пари рівень спочатку за рахунок «набухання» підвищуватиметься і тільки через деякий час знизиться.

При збільшенні витрати пари тиск в парогенераторі зменшується, відбувається додаткове скипання води, збільшення рівня. Надалі рівень починає падати, оскільки витрата пари збільшилась, а витрата живильної води залишалася незмінною.

В разі відключення головного живильного насоса в парогенераторі різко зменшиться інтенсивність кипіння, і об'єм бульбашок пари зменшиться, це призводить до зниження рівня. Однак зменшення пароутворення призводить до невеликого зниження тиску і деякого збільшення пароутворення. Надалі рівень підвищується, оскільки витрата живильної води залишається незмінною.

Триімпульсний регулятор рівня встановлюється на котлах, у яких змінність рівня води в барабані обумовлена як змінністю витрати пари з котла, так і змінністю перепаду тисків на регульовальному клапані. Імпульс по витраті води є внутрішнім збуренням в контурі регулювання і впливає на стійкість процесу регулювання. Додатковий імпульс за подачею пари дозволяє підвищити якість регулювання і не допустити значного відхилення рівня води в разі збурення з цього каналу.

Триімпульсна система регулювання (рис. 3.7) [40] містить давач рівня води в барабані 2, давач витрати живильної води на вході в установку 1 і давач витрати пари на виході з установки 3, підключення до інформаційних входів контролера 4, який здійснюватиме вплив на регулюючий живильний клапан (ЖК).

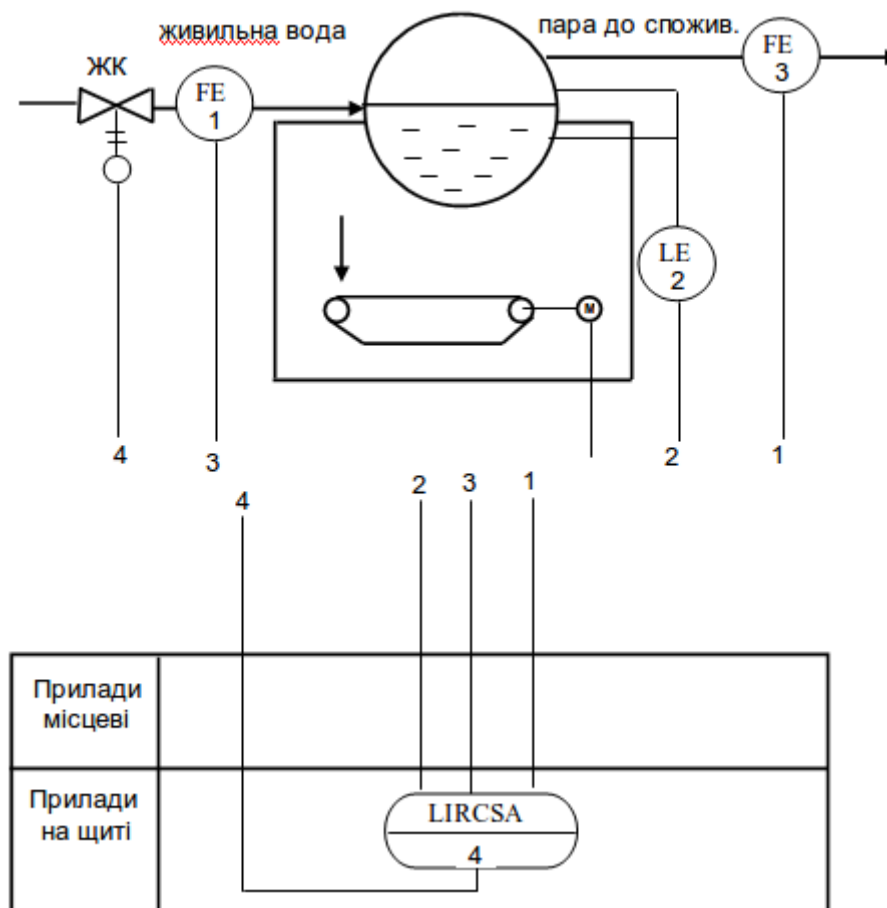


Рисунок 3.7 – SAP рівня в барабані котла

3.2.8 Засоби автоматизації

Контролер CPU340-20 MODBUS ETHERNETCRB

Для реалізації проекту АСУ ТП парового котлоагрегату БКЗ-75-39ФБ необхідно обрати програмно-технічні засоби, проаналізувати їх сумісність. До програмно-технічних засобів котла входять: вимірювальні та виконавчі пристрої, контролерне обладнання, а також системи сигналізації.

Збір інформації про технологічний процес забезпечують вимірювальні пристрої, а виконавчі пристрої перетворюють електричну енергію в механічну чи іншу фізичну величину для впливу на об'єкт управління відповідно до обраного алгоритму управління. Для побудови АС «Блоку сепарації на установці комплексної підготовки газу (УКПГ) » було обрано контролер Schneider – Electric Modicon M340 [41].

Програмований логічний контролер в своєму складі може мати такі види модулів:

- модулі дискретного введення / виведення;

- модулі аналогового введення / виведення;
- процесорний модуль ВМХ 34 10;
- модуль живлення;
- панель керування.

Якщо до контролера необхідно підключити інші пристрої серії Schneider – Electric Modicon М340 або пристрої сторонніх виробників, то це можна зробити за допомогою спеціальних комунікаційних пристроїв або інтерфейс Ethernet.

В ході технологічного процесу і діагностики автоматики перевага віддається інтелектуальним датчикам з уніфікованим струмовим сигналом 4-20 мА і обміном даними відповідно до специфікації HART.

Давач температури [42] ТСП 2-8ц-Pt100-B-3-2000-MЭ-/-50...250 використовується для вимірювання температури поверхні твердих тіл та для вимірювання температури в радіаторах і трубах малого діаметру. Даний давач температури встановлюють на будь – яку поверхню за допомогою гвинта.

Давач температури ТСП-У-1-3-Pt100-B-2-200-10-M20x1,5120-Д-/0...300 застосовується для вимірювання температури рідких, газоподібних і сипучих середовищ. Є одним з найпоширеніших стандартних пристроїв для загальнопромислового застосування. Захисна арматура з рухомим штуцером М20х1,5 (фіксований штуцер – модель 1-3н) і склопластиковою головою. Може поставлятися в комплекті з гільзою Гз-3, Гз-9 або Гз-10. Можлива наявність вбудованого перетворювача з виходом 4-20 мА або RS485 (протокол T-bus або ModBus).

Роторний давач рівня SE2-10F-AA встановлюють в стінці бункеру для контролю верхнього, середнього або нижнього рівня гранул. У вільному режимі (при відсутності контрольованих матеріалів) синхронний двигун обертає лопать давача зі швидкістю близько одного оберту за хвилину. Коли матеріал з'являється навколо лопаті, що запобігає обертанню, двигун зупиняється, викликаючи зміни в стані мікроперемикача. Ці датчики використовуються для вимірювання рівня практично будь-яких сипучих матеріалів.

Давачі тиску Aplisens PC-28G/0...2.5kPa, Aplisens PC-28G/0...1.6kPa, Aplisens PC-28G/0...6kPa, Aplisens PC-28/0...8Mpa, Aplisens PC-28G/2...0kPa

призначені для вимірювання розрідження, а також надлишкового й абсолютного тиску газу, пари та рідини. Мають такі характеристики:

- межі вимірювань тиску: від -0,1 до 100 МПа;
- мінімальна ширина діапазону 2,5 кПа;
- вихідний сигнал: (4 ÷ 20) мА або (0 ÷ 10) В;
- іскробезпечне виконання 0ExiaIICT6X.

Вимірювальним елементом давача тиску є п'єзорезистивна кремнієва монолітна структура, вбудована в приймач тиску, що відділений від вимірюваного середовища розділовою мембраною і заповнений спеціальною манометричною рідиною. За допомогою потенціометрів можливе коректування «нуля» і діапазону вимірювань перетворювача в межах до 10% без взаємодії настроювань. Давач тиску має невелику масу, він монтується безпосередньо на об'єкті. У разі вимірювань тиску пари або інших гарячих середовищ необхідно використовувати сільфонну або імпульсну трубку. Застосування спеціального манометричного вентиля перед перетворювачем полегшує монтаж, допомагає при коригуванні нуля і обнулення або при заміні перетворювача під час роботи об'єкта.

Блок ручного управління БРУ–110 є багатофункціональною ручною контрольною станцією, яка призначена для перемикання керуючих ланцюгів виконавчих приладів і механізмів, відображення режимів роботи, відображення позиції контрольних ланцюгів, а також вимірювання і відображення одного технологічного параметра.

Виконує такі функції:

- вимірювання та відображення технологічного параметра (з сигналізацією відхилень) та сигналу позиції виконавчого механізму;
- ручне або дистанційне перемикання з автоматичного управління на ручний і назад;
- управління імпульсними виконавчими пристроями за допомогою кнопки;
- управління аналоговими виконавчими пристроями за допомогою кнопки;
- індикація режимів керування;
- індикація сигналів регулюючого приладу з імпульсним вихідним сигналом.

Підключення аналогових входів, живлення приладу та сигналів інтерфейсу до здійснюється за допомогою роз'ємів – клем з пружинними з'єднаннями, що встановлені на задній стінці приладу.

Світлосигнальний оповіщувач Дуэт С-03С-220 дублює звуковий сигнал за допомогою світла, щоб сповістити про можливу небезпеку. Цей світлосигнальний оповіщувач використовується для світлового та звукового сповіщення в системі протипожежної сигналізації та в промислових приладах.

Виконавчий механізм МЕО-250/25-0,25 У-99Б постачається із вбудованим блоком живлення. Механізми призначені для переміщення регулюючих органів і приведення в дію запірно-регулюючої арматури в автоматизованих системах управління технологічними процесами відповідно до командних сигналів регулюючих і керуючих пристроїв і не призначені для переміщення відсічних арматур.

Механізми складаються з наступних основних вузлів: редуктора, електропривода, блоку сигналізації положення або блоку кінцевих вимикачів або блоку БД, важеля, ручного приводу.

Редуктор є основним вузлом механізму і служить для зменшення частоти обертання і збільшення крутного моменту, створюваного електродвигуном приводу до необхідного значення на вихідному валу для даного механізму. У корпусі редуктора розміщена черв'ячна передача.

3.2.9 Величини, які підлягають контролю та сигналізації

Для безпечної експлуатації котла в алгоритмі роботи системи управління передбачені попереджувальна сигналізація і захист котла при виході технологічного параметра за допустимі межі, що впливає на безпеку.

Автоматичний технологічний захист парового котла спрацьовує в разі небезпечного відхилення наступних величини:

- ✓ підвищення або зниження тиску газу перед пальниками;
- ✓ зниження тиску повітря перед пальниками;
- ✓ потускніння (зменшення світимості) факела;
- ✓ зниження розрідження в топці;
- ✓ підвищення або зниження рівня води в барабані котла;
- ✓ підвищення тиску в барабані котла;

- ✓ вимкнення димосів, вентиляторів та живильного насоса;
- ✓ підвищення температури перегрітої пари вище допустимої;
- ✓ зниження температури первинної перегретої пари [42];
- ✓ підвищення температури корпусу системи паливоподачі;
- ✓ зупинка живильного насоса

Автоматика твердопаливного котла забезпечує контроль і автоматичне регулювання наступних величин:

- контроль і регулювання рівня води в котлі;
- контроль і регулювання тиску в котлі;
- контроль і регулювання розрідження в топці;
- контроль і регулювання кількості первинного і вторинного повітря;
- контроль і регулювання температури перегрітої пари;
- контроль і регулювання тиску повітря на пальники;
- контроль температури в топці;
- контроль температури відхідних газів перед I і II ступенями економайзера;
- контроль температури відхідних газів перед I і II ступенями повітропідігрівника;
- контроль температури повітря до і після повітропідігрівника
- контроль температури води до і після економайзера;
- контроль витрати палива;
- контроль температури стінки корпусу системи паливоподачі;
- контроль рівня пелет в бункерах;
- контроль витрати пари після головної парової засувки;
- контроль температури води перед пароохолодником;
- контроль витрати води на пароохолодник;
- контроль тиску води після пароохолодника;
- контроль розрідження в газоочистці;
- контроль розрідження перед економайзером;
- контроль розрідження перед підігрівником;
- контроль розрідження перед димососом;
- контроль температури підшипників вентилятора;
- контроль температури підшипників димососа;
- контроль тиску живильної води [43].

3.3 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Дільниця з використанням відновлювальних джерел енергії на теплоелектроцентралі цукрового заводу знаходиться у виробничому корпусі. На цій дільниці виконують операції з перетворення та обробки альтернативних джерел енергії в теплову.

На дільниці можуть виникати небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що відносять до фізичної, хімічної і психологічної груп [45].

До групи фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться:

- рухомі машини і механізми, рухомі частини виробничого обладнання, вироби;
- підвищена температура поверхонь обладнання і матеріалів;
- підвищений рівень шуму і вібрацій на робочому місці;
- підвищене значення напруги в електричній мережі, замикання якої може відбуватись через тіло людини;
- відсутнє або недостатнє природне освітлення;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхні заготовок, інструментів обладнання.

До групи хімічних фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться:

- роздратовуючи (хімічні складові, що входять до складу ЗОР);
- загально токсичні (оксид вуглецю).

Психологічну групу шкідливих і небезпечних виробничих акторів складають:

- фізичні перевантаження;
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці).

3.3.1 Виробнича санітарія

Мікроклімат

Роботи, що виконуються на даній дільниці відносяться до категорії робіт II б – середньої важкості. Вони пов'язані з перенесенням вантажів масою до 10 кг, а також з ходінням працюючих. Ці роботи пов'язані з помірним фізичним навантаженням [46].

Параметри, що характеризують мікроклімат в виробничому приміщенні є: температура, відносна вологість, швидкість руху повітря.

Оптимальні і допустимі норми цих параметрів визначаються в залежності від категорії робіт, періоду року. Числові значення цих норм подано в табл. 4.1. Для нормалізації мікроклімату в виробничому приміщенні необхідно улаштувати вентиляцію і опалення, а також використовувати технологічний процес і обладнання, які б унеможливили б утворення шкідливих речовин і попаданні їх в робочу зону.

Інтенсивність опромінення 100 Вт/м^2 . Опромінення людського тіла не більше 25%.

Таблиця 3.7 – Оптимальні і допустимі норми

Період року	Категорія	Температура, °С			Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/хв	
		Оптимальна	Допустима		Оптимальна	Допустима не більше	Оптимальна не більше	Допустима не більше
			Верхня межа	Нижня межа				
Холод	ІБ	17-19	21	15	40-60	75	0,3	0,4
тепл	ІБ	20-22	27	16	40-60	70	0,4	0,5

На ділянці характерне забруднення повітря приміщень такими отруйними газами й парами, як пари мастил мінеральних, сульфонати, молібденати, граничні і неграничні вуглеводні, альдегіди, бензапірен і ін.

Попадаючи в організм людини шкідливі речовини негативно діють на людину.

Вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони контролюється на найбільш характерних робочих місцях.

Система вентиляції приміщення – комбінована, тобто буде поєднувати в собі механічну і природну, організовану вентиляцію.

Механічна вентиляція буде здійснюватись за рахунок вентилятора з приводом від електродвигуна. При обертанні вентилятора створюється різниця тиску, в результаті чого повітря переміщується з переміщення (витяжна вентиляція) і в приміщення (приточна вентиляція).

Приточна вентиляція забезпечуватиме приток чистого повітря в приміщення, а витяжна вентиляція забезпечуватиме видалення забрудненого повітря назовні.

Природна вентиляція здійснюватиметься за рахунок різниці густин повітря, що виникатиме за рахунок різниці температур повітря, а також за рахунок енергії вітру. Для здійснення природної вентиляції будуть застосовува-

тись кватирки, ліхтарі, дефлектори.

Для компенсації втрат тепла і підтримання температури повітря в межах норми на ділянці передбачається встановлення систем опалення. Система опалення буде комбінованою, тобто поєднуватиме в собі систему водного опалення (температура води понад 100 °С) і повітряну систему(центральну). Використання такої системи дозволить підтримувати належний температурний режим з мінімально можливими витратами.

Виробниче освітлення

Для освітлення приміщення буде використовуватись суміщене освітлення. Природне освітлення буде здійснюватись комбінованим світлом – через вікна в зовнішніх стінах і ліхтар у перекриттях. Штучне освітлення буде комбінованим. Джерелами загального штучного освітлення будуть газорозрядні лампи, а місцевого – лампи розжарення.

Природне та штучне освітлення передбачає норми штучного і природного освітлення. В табл. 3.8 подано норму штучного освітлення, а також коефіцієнт природного освітлення для 2-го поясу світлового клімату в залежності від робіт, що виконуються на ділянці [47]. Оскільки місцевість, на якій розташовано підприємство відносять до 4-го поясу світлового клімату, то нормоване значення коефіцієнту природного освітлення обчислюють за формулою:

$$e^{IV} = e^{III} \cdot C \cdot m, \quad (3.6)$$

де e^{III} – коефіцієнт природного освітлення для III поясу світлового клімату;

C – коефіцієнт сонячності клімату ($C=0,9$);

m – коефіцієнт світлового клімату ($m=0,75$);

тоді

$$e^{IV} = 2,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 1,75 (\%).$$

Штучне освітлення в приміщеннях повинно задовольняти вимогам (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Норми штучного освітлення

Характер зорової роботи	Найменший розмір об'єкту роз-	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкту розрізнення	Характер фону	Штучне, лм	Природне, %
						Комбіноване	Комбіноване
Високої точн.	Більше 0,15 до 0,3	2	в	Середн.	Середн.	750	2,5

Штучне освітлення і освітленість при загальному освітленні повинна дорівнювати 750лк , при комбінованому 3000 лк. Для штучного освітлення використано лампи розжарювання.

Виробничий шум

Шум негативно впливає на організм людини. Він може бути причиною різних паталогічних змін, роздратування, функціональний розлад і навіть механічних пошкоджень. Найбільш уразливими до дії шуму є слуховий апарат людини. Тривала дія шуму може призвести до професійного захворювання слухового апарату. Також можуть ураховатись внутрішні органи – серце, шлунок, мозок.

Джерелом шуму є працююче обладнання, тому для боротьби з шумом потрібно в першу чергу необхідно зменшити рівень шуму, що виробляє обладнання. Для цього потрібно збільшити жорсткість детального обладнання, збалансувати рухомі механізми. Якщо ж цих мір буде недостатньо то необхідно встановити захисні звукоізоляційні щити.

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвук для даного виду трудової діяльності передбачає відповідні значення рівнів звукового тиску, рівня звуку і еквівалентних рівнів звуку (табл. 3.9) [48].

Таблиця 3.9 – Значення рівнів звукового тиску, рівня звуку і еквівалентних рівнів

Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівнів звуку, дБ(А)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	80
107	95	87	82	78	75	73	71	69	

Інтенсивність шуму у виробничому приміщенні залежить не тільки від прямого, але і від відбитого звуку. Для цієї мети внутрішні поверхні примі-

щення облицьовують звуковбирними матеріалами. Для відгородження найбільш гучного устаткування чи ділянок від сусідніх робочих місць можна застосовувати акустичні екрани-перешкоди обмежених розмірів, що зменшують рівень прямого звуку від джерела шуму.

Виробничі вібрації

Вібрація так як і шум негативно впливає на організм людини. Джерелом вібрацій є кожна машина та прилад, як і при боротьбі з шумом, необхідно збалансувати тіла, що обертаються, зменшувати пульсацію робочих рідин та газів. Вібрація, що може виникнути в даному виробничому приміщенні, відноситься до категорії третього типу. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібраціїпараметри, що характеризують вібрацію, є віброшвидкість і віброприскорення. Нормовані значення цих величин подано в табл. 3.10 (для локальної вібрації) та у табл. 3.11 (для загальної вібрації) [48].

Таблиця 3.10 – Нормовані значення віброшвидкості і віброприскорення

Середньо-геометрична частота, Гц	Нормативні значення в напрямках			
	віброприскорення		віброшвидкість	
	м/с ²	дБ	м/с · 10 ⁻²	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	136	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85	150	1,4	109

Таблиця 3.11 – Нормовані значення віброшвидкості і віброприскорення

Середньо геометричні частоти смуг, Гц	Допустимі значення нормуємого параметра		
	По віброприскоренню, м/с ²	По віброшвидкості	
		м/с · 10 ⁻¹	дБ
2,0	0,14	1,3	108
4,0	0,10	0,45	99
8,0	0,11	0,22	93
16,0	0,2	0,20	92
31,5	0,4	0,20	92
63	0,8	0,20	92

Для зменшення вібрації, яка передається на робочі місця, обладнання на ділянці встановлено на віброізолятори. Вентилятори систем вентиляції також встановлюють на віброізолятори і розміщують поза приміщеннями.

3.3.2 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

Всі вимоги до техпроцесу, обладнання, приміщення зводяться до створення виробничих умов, які б були б безпечними для працюючих, не допускали б, або знижували небезпеку контакту людини з небезпечною зоною. Тому обладнання, що використовуватиметься повинно бути оснащене огорожуючи ми запобіжниками, блокуючи ми і сигналізуючи ми пристроями.

Об'єм виробничого приміщення повинен бути таким, щоб на одного працюючого припадало не менше 15 м³, а площа приміщення - не менше 4,5 м².

Для безпеки руху працюючих і зручності транспортування вантажів необхідно передбачити роздільні входи (в'їзди) і виходи (виїзди) для людей і транспорту. Двері і ворота повинні відкриватися назовні, щоб в випадку можливої пожежі не створити перешкоди масовому руху робітників. Крім цього слід передбачити в приміщенні допоміжні евакуаційні виходи.

Допоміжні приміщення повинні уміщуватись з виробничими.

Зовнішні стіни приміщення повинні мати таку товщину, при якій виключалась би можливість конденсації вологи на внутрішній поверхні.

На ділянці слід передбачити побутові приміщення, кімнати відпочинку, що дозволить створити сприятливі виробничі умови.

При виконанні операцій технологічного процесу умови праці повинні бути максимально безпечними для працюючих. Ті операції технологічного процесу, при виконанні яких є небезпека ураження людини, повинні бути повністю автоматизовані. Безпечність технологічного процесу визначає безпеку обладнання, що використовується.

Особливу небезпеку становлять рухомі частини обладнання, а саме: шпинделя, інструмент, рухомі частини зажимних пристроїв, поворотні столи, шпинделя бабки, пасові, ланцюгові, зубчасті передачі, муфти, ротори двигунів. Всі частини обладнання повинні мати захисні кожухи.

Особливу увагу також слід приділяти робочому місцю. Органи керування повинні бути надійними, легкодоступними, зручними в користуванні. Їх розташовують або безпосередньо на обладнанні, або ж виносять на спеціальний пульт. Всі види технологічного обладнання повинні бути зручними

для огляду, змащення, налагодження.

Електробезпека.

Для живлення обладнання дільниці електричним струмом використовують трифазну чотири провідну мережу напругою до 1000 В з заземленою нейтраллю, напругою $U = 380/220$ В. Оскільки на дільниці мають місце такі небезпечні умови, як наявність струмопровідного пилю, наявність струмопровідної підлоги (залізобетонна), а також є можливість одночасного дотику людини до металевих частин конструкції і машин, та приміщення даної дільниці відносять до приміщень з особливою безпекою, тому для захисту працюючих від можливого ураження електричним струмом слід передбачити такі заходи [50]:

1. Забезпечити недоступність струмопровідних елементів, що знаходяться під напругою для випадкового дотику. Застосування подвійної ізоляції.
2. Застосовувати занулення обладнання дільниці, що може опинитись під напругою.
3. Використання малих напруг в лампах місцевого освітлення з сигналізацією

3.3.4 Пожежна безпека

Приміщення має ступінь вогнестійкості - II, допустиме значення поверхів - фактично 1, площа поверху не обмежується, несучі і огорожувальні конструкції виконуються залізобетонні, з використанням металевих і плитних негорючих матеріалів. В покрівлі приміщень будуть застосовують металеві конструкції, приміщення обладнане евакуаційними виходами. Межі вогнестійкості будівлі II ступеня стійкості представлено в таблиці 3.12 [50].

Таблиця 3.12 – Мінімальні межі вогнестійкості (в чисельнику) і максимальні межі розповсюдження вогню (в знаменнику) для будівель II ступеня вогнестійкості

Ступінь вогнестійкості	Стіни				Колони	Проці сходів, марні, балки	Плити, інші несучі конструкції
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішньо несучі			
II	2/0	1/0	(0,25..0,5)/(0..40)	25/0,40	2/0	1/0	0,75/0

Для запобігання виникнення пожежі на ділянці прийнято спеціальні та організаційні заходи з пожежної безпеки.

Спеціальні заходи пожежної безпеки:

- заборони застосування відкритого вогню та паління на робочих місцях;
- встановлення в електромережах струмового захисту (плавкі вставки, автомати);
- прокладенням електропроводки в металевих трубах;
- ремонт систем живлення двигунів у відповідних місцях;
- спорожненням ящиків від промасляного ганчір'я кожної зміни;
- встановленням на території блискавкозахисту II категорії.

Організаційні заходи пожежної безпеки:

- призначення відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, технологічного обладнання, а також за утримання і експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту;
- визначено обов'язки посадових осіб щодо забезпечення пожежної безпеки;
- складено плани евакуації людей у випадку пожежі;
- встановлено на території, у будівлях та приміщеннях відповідні знаки пожежної безпеки, таблички з вказівкою номеру телефону та порядку виклику пожежної охорони.

У приміщенні передбачено такі первинні засоби пожежогасіння:

- вогнегасники хімічні пінні ОХП-10, 2 шт.;
- вогнегасники порошкові ОП-5, 2 шт.;
- ящики з піском (0.5 м³) і лопатою , 2шт.;
- пожежні крани, продуктивністю 3,3л/с, 1 шт.

На території підприємства витримуються протипожежні розриви між будівлями, спорудами та групами автомобілів в зоні їх зберігання.

Для пожежогасіння на території підприємства передбачені пожежні гідранти, продуктивністю 15л/с і пожежні резервуари.

В приміщенні висота від підлоги до низу виступаючих конструкцій повинна бути не менша 2,2 м. Висота від підлоги до низу виступаючих частин конструкцій і обладнання у місцях регулярного проходження людей і на шляхах евакуації - не менше 2 м .

Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщеннях споруд, через евакуаційні виходи. Кількість евакуаційних виходів з будівель слід приймати не менше двох.

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця приміщення до евакуаційного виходу із будівлі для даного приміщення згідно ДБН В.1.1-7: 2016 не обмежується. Ширина виходу із приміщення: через двері 1 м, через роздвіжні ворота – 2.5 м. Кількість людей на 1 метр складає близько 10 чоловік.

3.4 Висновки до розділу 3

В даному розділі розроблено технологію монтажу системи забезпечення паливними гранулами парогенераторів на ТЕЦ цукрового заводу.

Також визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах, механізмах та в матеріальних ресурсах, трудомісткість монтажу. Встановлено, що маса обладнання, основних та допоміжних матеріалів і обладнання для монтажу системи паливостачання складає 9196 кг. Необхідна кількість пального для доставки основного та допоміжного обладнання становить 144 л. Витрата електроенергії на роботу допоміжного обладнання дорівнює 1825,69 кВт·год.

Розроблено календарний графік монтажу системи забезпечення паливними гранулами парогенераторів. Загальна трудомісткість становить 177,438 люд·дні. Тривалість встановлення обладнання дорівнює 41,54 днів.

Розроблена функціональна схема автоматизації парового котла, підібрано апаратурно-технічні засоби для реалізації автоматизованої системи, а саме підібрані ПЛК Schneider - Electric Modicon M340; датчик рівня SE2-10F-AA; датчики тиску Aplisens PC-28G/0...2.5kPa, Aplisens PC-28G/0...1.6kPa, Aplisens PC-28G/0...6kPa, Aplisens PC-28/0...8Mpa, Aplisens PC-28G/2...0kPa; датчики температури ТСП 2-8ц-Pt100-B-3-2000-MЭ-/-50...250 і ТСП-У-1-3-Pt100-B-2-200-10-M20x1,5120-Д-/0...300; виконавчий механізм, світлосигнальний оповіщувач та блок ручного управління.

В підрозділі «Охорона праці» розглянуто санітарні умови в приміщеннях, саме мікроклімат, освітлення, шум та вібрації. Запропоновано технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання, заходи з електробезпеки та пожежної безпеки.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

4.1 Визначення інвестицій на влаштування обладнання

Для розрахунку кошторисної вартості влаштування обладнання дотримувалися вимог стандарту 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.4.1) на основі: ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН, ДБН Д.2.2 - 2000); збірника єдиних середніх кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції загально виробничі витрати розраховані відповідно до усереднених показників додатка 3 до ДСТУ Б Д.1.1 – 1 – 2013.

В локальному кошторисі визначається кошторисна вартість влаштування конструкцій, яка враховує трудовитрати та заробітну плату будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатації будівельних машин та механізмів. Кошторисна вартість влаштування конструкцій визначається як сума прямих та загально виробничих витрат.

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

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

Локальний кошторис на монтажні роботи

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість
Кошторисна трудомісткість
Кошторисна заробітна плата
Середній розряд робіт

321,591 тис. грн.
2,61 тис.люд.-год.
56,319 тис. грн.
3,9 розряд

Складений в поточних цінах станом на "2 04" 2021 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Один. виміру	Кількість одиниць	Вартість одиниці, грн.		Загальна. вартість, грн.			Витрати праці робітників, люд.-год.	
					Всього, з заробітної плати	експлуатації машин в тому числі з заробітної плати	Всього	заробітної плати	експлуатації, машин в тому числі заробітної плати	не зайнятих обслуговуванням машин,	
										тих, що обслуговують машини	
										на один.	всього
1	2	3	4	8	6	7	8	9	10	11	12
1	M24-9-2	Монтаж бункера для гранул, ємкість 4,5 м3	шт	3	<u>17334,79</u> 535,72	<u>500,54</u> 137,78	52004	1607	<u>1502</u> 413	<u>26,6</u> 7,0855	<u>79,8</u> 21,26
2	M3-301-13	Монтаж конвеєра зі стрічкою шириною до 500 мм, довжина конвеєра до 15 м	шт	3	<u>22083,42</u> 2478,21	<u>3793,20</u> 912,73	66250	7435	<u>11380</u> 2738	<u>121,6</u> 43,0274	<u>364,8</u> 129,08
3	M3-341-9	Монтаж конвеєра гвинтового, діаметр гвинта 250 мм, довжина конвеєра до 2400 мм	шт	6	<u>21086,55</u> 3531,86	<u>5055,23</u> 1211,52	126519	21191	<u>30331</u> 7269	<u>171,2</u> 56,8393	<u>1027,2</u> 341,04
4	M3-341-9	Монтаж конвеєра гвинтового, діаметр гвинта 250 мм, довжина конвеєра до 1800 мм	шт	1	<u>19071,55</u> 3531,86	<u>5055,23</u> 1211,52	19072	3532	<u>5055</u> 1212	<u>171,2</u> 56,8393	<u>171,2</u> 56,84
5	M3-341-9	Монтаж конвеєра гвинтового, діаметр гвинта 250 мм, довжина конвеєра до 2500 мм	шт	1	<u>24109,05</u> 3531,86	<u>5055,23</u> 1211,52	24109	3532	<u>5055</u> 1212	<u>171,2</u> 56,8393	<u>171,2</u> 56,84

1	2	3	4	8	6	7	8	9	10	11	12
		Разом прямі витрати по кошторису					287954	37297	<u>53323</u>		<u>1814,2</u>
		Разом будівельні роботи, грн.					287954		12844		605,06
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					197334				
		всього заробітна плата, грн.					50141				
		Загальновиробничі витрати, грн.					33637				
		трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год.					191,13				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					6178				
		Всього будівельні роботи, грн.					321591				

		Всього по кошторису					321591				
		Кошторисна трудоємність, люд.год.					2610				
		Кошторисна заробітна плата, грн.					56319				

Склав _____
 [посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив _____
 [посада, підпис (ініціали, прізвище)]

4.2 Техніко-економічні показники роботи ТЕЦ на гранулах з лушпиння соняшнику

Витрати палива за сезон

$$V_{\text{рік}} = V_p \cdot \tau_{\text{год}} \cdot 3600 \cdot 10^{-3}, \quad (4.1)$$

Розрахункова витрата гранул за сезон

$$V_{\text{річ}}^{\text{гранул}} = 4,05 \cdot 2640 \cdot 3600 = 38491 (\text{т/рік}).$$

Розрахункова витрата вугілля за сезон

$$V_{\text{річ}}^{\text{вугілля}} = 2,01 \cdot 2640 \cdot 3600 = 19103 (\text{т/рік}).$$

Розрахункові витрати на паливо [52]

$$S_{\text{пал}} = V_{\text{річ}} \cdot Ц, \quad (4.2)$$

де Ц – ціна палива.

Витрати на гранули

$$S_{\text{гранули}} = 38491 \cdot 2500 = 96,27 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Витрати на вугілля

$$S_{\text{вугілля}} = 19103 \cdot 5100 = 97,425 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Економія коштів на паливі

$$E_k = 97,425 - 96,27 = 1,155 \text{ (млн. грн.)}$$

Розрахунок оплати праці [53] не змінюються від переходу ТЕЦ з спалювання вугілля на спалювання гранул з лушпиння соняшника.

Амортизаційні відрахування від додаткового обладнання для подавання біомаси (гранул з лушпиння соняшника)

$$S_A = (6...8\%) \cdot B_{\text{оф}} , \quad (4.3)$$

де $B_{\text{оф}}$ – вартість основних виробничих фондів для подавання біомаси на ТЕЦ складаються з вартості обладнання та монтажних робіт. Величина вартості монтажних робіт за даними кошторису 321,5 тис. грн., орієнтовна вартість обладнання 1,61 млн. грн

$$S_A = 0,075 \cdot 1,93 = 0,145 \text{ (млн.грн./рік)}.$$

Витрати на ремонт обладнання

$$S_p = 0,2 \cdot S_A , \quad (4.4)$$

$$S_p = 0,2 \cdot 0,145 = 0,0290 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Витрати електроенергії на подавання біомаси вважаємо незмінними в порівнянні з витратами на подавання вугілля.

Інші витрати [54]

$$S_i = 0,10 \cdot (S_{\text{ам}} + S_p) , \quad (4.5)$$

$$S_i = 0,1 \cdot (0,145 + 0,029) = 0,0174 \text{ (млн.грн/рік)}.$$

Загальні додаткові витрати

$$S_{\text{дод}} = S_{\text{ам}} + S_p + S_i , \quad (4.6)$$

$$S_{\text{дод}} = 0,145 + 0,029 + 0,0174 = 0,191 \text{ (млн грн/рік)}.$$

Простий термін окупності

$$T_{\text{ок}} = \frac{B_{\text{об}}}{E_{\text{к}} - S_{\text{дод}}} , \quad (4.7)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{1,93}{1,155 - 0,191} = 2 \text{ (сезони).}$$

Приймаємо значення номінальної ставки дисконтування 21%. Задаємо, що інфляція складає 6%. Тоді реальна ставка дисконтування [55]

$$r = \frac{n_r - b}{1 + b} , \quad (4.8)$$

$$r = \frac{0,21 - 0,06}{1 + 0,06} = 0,142 = 14,2\%.$$

Чиста приведена вартість проекту переведення ТЕЦ на спалювання біомаси (гранул з лушпиння соняшнику) складає для 15 років роботи

$$NPV = E_{\text{к}} \cdot (1 - (1 + r)^{-t})/r - B_{\text{об}} \quad (4.9)$$

$$NPV = 1,155 \cdot (1 - (1 + 0,142)^{-15})/0,142 - 1,93 = 5,09 \text{ (млн. грн.).}$$

Індекс прибутковості

$$PI = NPV / B_{\text{об}} , \quad (4.10)$$

$$PI = 5,09 / 1,93 = 2,64 \gg 1. \text{ Отже проект доцільний.}$$

Внутрішня норма рентабельності (коли $NPV = 0$) $IRR = 0,598$.

Дисконтований термін окупності інвестицій

$$T_d = - \ln(1 - T_{\text{ок}} \cdot r) / \ln(1 + r) ;$$

$$T_d = - \ln(1 - 2,0 \cdot 0,142) / \ln(1 + 0,142) = 2,52 \text{ (сезонів).}$$

4.3 Висновки до розділу 4

В даному розділі розроблено локальний кошторис на виконання монтажних робіт системи подавання біомаси (гранул соняшникового лушпиння) на ТЕЦ цукрового заводу. Розрахункова кошторисна вартість монтажних робіт 321,5 тис. грн. Кошторисна трудомісткість робіт склала 2,61 тис. люд-год.

Розрахунки техніко-економічних показників переведення ТЕЦ на спалювання біомаси показали, що річна економія на паливі складає 1,55 млн. грн на сезон. Таким чином, розрахунковий простий термін окупності додаткових капіталовкладень становить 2 сезони. Чиста приведена вартість за 15 років роботи складає 5,09 млн. грн. Індекс прибутковості 2,64. Дисконтований термін окупності капіталовкладень 2,52 сезони.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуте питання підвищення ефективності теплоелектроцентрالی цукрового заводу шляхом використання відновлюваних джерел енергії: бурякового жому, гранул з лушпиння соняшнику, біогазу.

Виконано аналіз літературної та патентної інформації щодо використання відновлюваних джерел енергії на ТЕЦ промислових підприємств. Увага приділена різним методам використання біомаси, в тому числі органічних відходів виробництва цукру. А саме, біоконверсії жому в анаеробних умовах, спалюванню жому після сушіння, а також реалізація сушеного та гранульованого бурякового жому і при цьому використання гранул з відходів олієжированих виробництв для покриття енергетичних потреб.

Виявлено, що найбільш економічно доцільним варіантом є реалізація підготовленого жому, а для вироблення енергії – використання гранул з соняшникового лушпиння.

Розроблено математичну модель для теплового розрахунку парогенератора БКЗ-75-39ФБ за умови спалювання в ньому суміші біогазу та гранул з соняшникового лушпиння. Охарактеризовано математичний опис моделі, основні рівняння. За допомогою розробленої математичної моделі та із використанням відомих результатів досліджень виконані співставлення показників роботи котла на різних паливах та їх сумішах.

Виявлено, що при спалюванні 2,46 кг/с гранул та 0,615 м³/с біогазу забезпечується паровидатність 60 т/год з ККД біля 87%. Але відбувається суттєве зниження адіабатної температури в топці та температури гарячого повітря на вході в топку.

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено технологію монтажу системи постачання паливних гранул на ТЕЦ цукрового заводу.

Також визначено склад і об'єми робіт, потребу в машинах, механізмах та в матеріальних ресурсах, трудомісткість монтажу. Вибрано допоміжне обладнання для монтажу системи та визначено затрати паливних та енергетичних ресурсів. Встановлено, що маса обладнання, основних та допоміжних матеріалів і обладнання для монтажу системи паливостачання складає 9196 кг. Необхідна кількість пального для доставки основного та допоміжного обладнання становить 144 л. Витрата електроенергії на роботу допоміжного обла-

днання дорівнює 1825,69 кВт·год. Розроблено календарний графік монтажу системи подачі гранул. Загальна трудомісткість становить 177,438 люд·дні. Тривалість встановлення обладнання дорівнює 42 дні.

Розроблена функціональна схема автоматизації парового котла БКЗ-75-39ФБ, підбрано апаратурно-технічні засоби для реалізації автоматизованої системи, а саме підбрані програмно-логічний контролер Schneider - Electric Modicon M340; датчик рівня SE2-10F-AA; датчики тиску Aplisens; датчики температури ТСП; виконавчий механізм, світлосигнальний оповіщувач та блок ручного управління.

В підрозділі «Охорона праці» розглянуто санітарні умови в приміщеннях, саме мікроклімат, освітлення, шум та вібрації. Запропоновано технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання, заходи з електробезпеки та пожежної безпеки.

В роботі складений локальний кошторис на роботи із створення системи забезпечення парогенераторів ТЕЦ паливним гранулами. Виявлено, що кошторисна вартість монтажних робіт складає 321,5 тис. грн, при цьому кошторисна трудомісткість робіт склала 2,61 тис. люд –год.

Розрахунки техніко-економічних показників показали, що економія коштів завдяки переходу на гранули з лущиння соняшнику складає 1,55 млн. грн за сезон. Простий термін окупності капіталовкладень біля 2 сезонів, а чиста приведена вартість 5,09 млн. грн.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Степанов Д.В. Ефективність використання відновлюваних енергоресурсів на ТЕЦ цукрового заводу. Тези доповідей МНТК «Енергоефективність в галузях економіки України» 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12142/10088>. (дата звернення 01.06.2021).
2. Кучерява І.М., Сорокіна Н.Л. Відновлювана енергетика в світі та Україні станом на 2019 р. – початок 2020 р. *Гідроенергетика України*. Вишгород, 2020. №1. С. 38-44.
3. Біоенергетична асоціація України. URL: <https://uabio.org/> (дата звернення 01.06.2021).
4. Чайка О.Г, Петрушка І.М. Аналіз відходів цукрового виробництва, їх негативний вплив на довкілля/ *Цукор України*. Київ, 2014. №3. С. 42 – 43.
5. Степанов Д.В. Спалювання твердого палива в газомазутних котлах. Тези доповідей НТК ФБТЕГП ВНТУ 2019. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2019/paper/view/6996/5676> (дата звернення 01.06.2021).
6. Переведення ТЕЦ з газу на вугілля. URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/-naftogaz-privlechet-u-kitaya-kredit-na-3-6-mlrd-doll-dlya-perevoda-27082012082200> (дата звернення 01.06.2021).
7. Майстренко О.Ю., Чернявський М.В., Василенко С.М. Перспективи використання твердого палива в цукровій промисловості України. *Цукор України*. Київ. 2006. №3. С.16-20.
8. Вихрова топка для спалювання твердого палива: Патент № 122913 Україна: МПК F23В 70/00, заявл. 27.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. №2. 4с.
9. Спосіб спалювання твердого і газоподібного палива. Патент № 68531 Україна: МПК F23В 1/14, заявл. 30.09.2011; опубл. 26.03.2012, Бюл. №6. 4с.
10. Топка. Патент № 2006745 РФ: МПК F23С11/02. заявл. 03.04.1992; опубл. 20.0.1994, Бюл. №20. 4с.
11. Гелетуша Г. Развитие биогазовых технологий в Украине и Германии: нормативно-правовое поле, состояние и перспективы. URL: <http://www.uabio.org>. (дата звернення 01.06.2021).
12. Михайлив Н. И. Основные принципы технико-экономической и экологической оценки нетрадиционных и возобновляемых источников энергии *Нові технології та інвестиції США в енергетичний сектор України: III міжнародна конференція «EnerCon - 97» 1997 р. : тези доповідей, м. Київ, 1997. С. 78.*
13. Гелетуша Г.Г. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. *Аналітична записка БАУ*. 2014. 33 с.

14. Ткаченко С.Й. Потенціал біогазової технології на Вінниччині *Вісник ВПШ*. Вінниця, 2020. №5. С. 41 – 48.
15. Штангеев К.О., Шутюк В.В., Василенко С.М. Використання жому цукрових буряків з метою отримання альтернативного палива на цукровому заводі. *Цукор України*. Київ, 2014. №10. С. 23-26.
16. Степанов Д.В., Храпцов В.О., Левадський І.В. Особливості переведення газомазутних парогенераторів на спалювання твердого палива. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. Вінниця, 2019. №2. С. 194 - 198.
17. Степанов Д.В. Особливості переведення газомазутних парогенераторів на спалювання твердого палива. *Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві*. Вінниця, 2019. №2. С. 204-209.
18. Тепловой расчет котлов: нормативный метод. СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.
19. Степанов Д. В. Котельні установки промислових підприємств : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2010. 117 с.
20. Коновалов С.В. Експлуатація котлів. Вінниця: ПП Балюк. 2007. 216 с.
21. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: довідник /за ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. Москва : Энергоатомиздат, 1983. 551с.
22. Степанов Д. В. Енергоефективне використання відходів деревини. *Енергетика та електрифікація*. Київ. 2013. № 5. С. 69-71.
23. Характеристики дерева і деревної щепи. URL: <http://tehnopost.kiev.ua/otoplenie/17-vologst-derevini-drova.html>. (дата звернення 01.06.2021).
24. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. М.: Энергия. 1973. 296 с.
25. Тепловой расчет промышленных парогенераторов /за ред. В.Н. Частухина. К.: Вища школа. 1980. 182 с.
26. Чепурний М.М. Теплові розрахунки парогенераторів: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ. 2006. 155 с.
27. ДБН Д.2.2-9-99. Збірник 9. Металлические конструкции. [Чинний від 2014-01.01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2000. 22 с.
28. ДБН Д.2.3-3-99. Збірник 38. Подъемно-транспортное оборудование. [Чинний від 2002-03-11]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2000. – 213 с.
29. Характеристики вантажних автомобілів DAF CF. URL: <https://autoinform96.com/harakteristiki-gruzovika-daf-cf>. (дата звернення 01.06.2021).
30. Зварювальний інверторний апарат Tesla Weld MMA 280. URL: <https://ua.teslaweld.com/svarochnyy-invertornyy-apparat-tesla-weld-mma-280>. (дата звернення 01.06.2021).

31. Пост газозварника ПГС 5. URL: https://donmet.com.ua/uk/katalog-produkcii?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=1634&category_id=42. (дата звернення 01.06.2021).
32. Тележки гидравлические ручные специальные. URL: <http://rokla.com.ua/main.php?n1=4>. (дата звернення 01.06.2021).
33. Лебідка електрична монтажна ЛМ-1,6. URL: <http://www.universalkranservis.com/ua/lebedki-elektricheskie/product/view/26/81>. (дата звернення 01.06.2021).
34. Каталог будівельних машин і інструментів. URL: <http://powertools.co.nz>. (дата звернення 01.06.2021).
35. Ратушняк Георгій Сергійович : навчальний посібник для студентів спеціальності 7.092108 - «Експлуатація систем теплопостачання та вентиляції» Вінниця: ВДТУ, 2003. 122 с.
36. Автоматизація виробництва. URL: <https://www.exprocentr.ru/ru/articles-of-exhibitions/2016/avtomatizaciya-proizvodstva/> (дата звернення 01.06.2021)
37. ДБН В.2.5.-77: 2014 Котельні [Чинний від 01-01-2015 р.]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. – 61 с.
38. ДСТУ Б.А.2.4-3:2009 - Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.[Чинний від 2009 -01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 42 с.
39. ДСТУ Б А.2.4-16:2008 - Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах: [Чинний від 2008 - 06-27]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 14 с.
40. Липатников Г.А., Гузеев М.С. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики: учебнок пособие. Владивосток. 2007. 136 с.
41. Логический контроллер ModiconM340. URL: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=M340_Catalogue_2017_RU.pdf&p_Doc_Ref=DIA6ED2110104RU. (дата звернення 01.06.2021).
42. ТЕРА-Україна. Датчики температури. URL: https://www.aotera.com.ua/product_list/ru/1-3.html. (дата звернення 01.06.2021).
43. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. Москва : Энергоиздат, 1982. 360с.
44. Лившиц О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок. Москва : Энергия, 1976. 287 с.
45. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. URL: <http://vsegost.com/Catalog/41/41131.shtml>. (дата звернення 01.06.2021).
46. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL : <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>. (дата звернення 01.06.2021)

47. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885. (дата звернення 01.06.2021).
48. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL : <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>. (дата звернення 01.06.2021).
49. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. [Чинний від 2006 -10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2006. – 156 с.
50. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги URL : http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf (дата звернення 01.06.2021).
51. ДСТУ Б Д 1.1.1 – 2013 «Правила визначення вартості будівництва». [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 94 с.
52. Козловський В. О. Техніко – економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах : навчальний посібник. Вінниця : ВДТУ, 2003. 75 с.
53. Михайлив Н. И. Основные принципы технико-экономической и экологической оценки нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. *Нові технології та інвестиції США в енергетичний сектор України: III міжнародна конференція «EnerCon - 97» 1997 р. : тези доповідей.* Київ, 1997. С. 78.
54. Тарифи на електричну енергію (крім населення). URL : <http://kyivenergo.ua/ee-company/tarifi>. (дата звернення 01.06.2021).
55. Дзядикевич Ю.В. Енергетичний менеджмент. Тернопіль: Економічна думка, 2010. 295 с.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

ПОГОДЖЕНО

« _____ » _____ 2021р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

зав. кафедри теплоенергетики
проф., д.т.н. С. Й.Ткаченко
« _____ » _____ 2021р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

тема:

«Використання відновлювальних джерел енергії
на теплоелектроцентралі цукрового заводу»

Керівник к.т.н., доц.

_____ Д. В. Степанов
(підпис)

Розробив студент гр. ТЕ-19м

_____ О. В. Войтко
(підпис)

1 Тематика розробки та галузі застосування

Розробка стосується промислової теплоенергетики і призначена для вирішення проблеми підвищення ефективності та зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище теплоелектроцентралі цукрового заводу шляхом використання відновлюваних енергоресурсів. Підставою для виконання роботи є наказ ректора та виконаний аналіз роботи ТЕЦ цукрового заводу.

2 Мета та призначення розробки

Метою є підвищення ефективності функціонування теплоелектроцентралі цукрового заводу шляхом використання відновлюваних джерел енергії

3 Джерела розробки

Первинним джерелом для розробки є параметри роботи основного та допоміжного обладнання ТЕЦ цукрового заводу, особливості використання бурякового жому, гранул з соняшникового лушпиння, а також нормативні дані по теплових розрахунках парогенераторів, наведені в теплоенергетичних літературних джерелах:

1. Ткаченко С.Й. Потенціал біогазової технології на Вінниччині / С.Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова, О. В. Власенко // Вісник ВПІ. – 2020. – №5. – С. 41 – 48.
2. Степанов Д.В. Ефективність використання відновлюваних енергоресурсів на ТЕЦ цукрового заводу / Д.В. Степанов, О.В. Войтко, Д.Я. Лисюк //Тези доповідей МНТК «Енергоефективність в галузях економіки України» 2021. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12142/10088>.
3. Штангеев К.О., Шутюк В.В., Василенко С.М. Використання жому цукрових буряків з метою отримання альтернативного палива на цукровому заводі // Цукор України. – 2014. – №10. – С. 23-26.
4. Котельні: ДБН В.2.5-77:2014. [Чинні від 01.01.2015] – К.: Мінрегіон України, 2015. – 65 с.

5. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). – Изд. 3-е перераб. и доп. – СПб.: Изд. НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.

4 Основа для виконання

Робота виконується на основі наказу ректора ВНТУ № 64 від 09.03.2021 р. . Основою для розробки є детальний аналіз роботи ТЕЦ Городківського цукрового заводу та можливостей використання відновлюваних джерел енергії для його енергопостачання, що дозволить підвищити енергетичну, економічну та екологічну ефективність роботи ТЕЦ, за рахунок використання органічних відходів. Виходячи з цих даних потрібно оцінити та співставити ефективність роботи парогенератора на різних паливах та їх сумішах.

5 Технічні вимоги

Запроектована система повинна виконувати такі функції:

- забезпечення технологічного споживача паром з відповідними параметрами (витрата, тиск, температура);
- підведення палива та повітря у визначених кількостях та з необхідними параметрами;
- підвищення економічної ефективності роботи ТЕЦ, зменшення техногенного навантаження, оцінка очікуваного техніко – економічного ефекту проектних рішень;
- з використанням розробленої математичної моделі виконується оцінка показників роботи парогенератора на суміші біогазу та гранул з соняшникового лушпиння і проводиться співставлення з результатами роботи котла на інших паливах;
- виконання робіт, що включають розробку робочої документації.

Проектні роботи включають створення технології монтажу системи забезпечення ТЕЦ паливним гранулами з лушпиння соняшника та системи автоматизованого регулювання котла, але не обмежуються даними видами робіт.

Необхідно зменшити споживання непоновлюваних енергоресурсів та техногенне навантаження на навколишнє середовище при роботі парогенераторів ТЕЦ, а також використати органічні відходи гранули з лушпиння соняшника.

Технічні вимоги до парогенераторів виконуються згідно ДНАОП 0.00-1.08-94 «Правила будови і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів».

6 Економічні показники

На підставі техніко-економічних розрахунків, проаналізувавши кілька варіантів, необхідно оцінити доцільність використання бурякового жому на цукровому заводі та обрати найбільш раціональне паливо для парогенераторів БКЗ-75-39ФБ.

7 Заходи з енергозбереження

При розробці проектних рішень в магістерській роботі розглянуто такі заходи з енергозбереження:

- використано реконструйований котел БКЗ-75-39ФБ для спалювання твердого палива, в тому числі органічних відходів – гранул з соняшникового лушпиння;
- виконано теплоізолювання всіх поверхонь з температурою, вищою, ніж навколишнє середовище із забезпеченням відповідного теплового потоку з поверхні ізоляції;
- розроблено ефективну систему подавання гранул з біомаси на тспалювання в котли БКЗ-75-39ФБ;
- передбачено системи автоматизованого керування виробленням, транспортуванням, перетворенням та використанням теплоти;
- проаналізовано енергетичні показники роботи котла на різних паливах та їх сумішах.

8 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Щоб забезпечити можливість швидкого монтажу та можливість ремонту чи заміни деталей та вузлів обладнання системи, вони повинні бути по можливості стандартними та уніфікованими.

Вимоги з надійності

На надійність та довговічність обладнання ТЕЦ впливають якість проекту, якість монтажу та якість обслуговування. Параметри показників надійності та безпечності встановлюють у відповідних державних стандартах, нормах, Правилах.

10 Ергономічні вимоги

– системи контролю та управління повинні розташовуватись в зручних місцях і давати змогу працювати оператору на протязі денної та нічної частини доби.

– номенклатура і величина антропометричних параметрів для пультів управління повинні відповідати вимогам ГОСТ В 21114.

– виконання вимог ергономіки перевіряється при попередніх випробуваннях і уточнюються на стадії приймальних випробувань.

– слід передбачити шумо – і віброізоляцію обладнання.

11 Експлуатація та ремонтні вимоги.

В період експлуатації мають бути встановлені види технічного обслуговування для виробів: сезонне ТО, регламентоване ТО, строки ТО по можливості повинні співпадати з строками обслуговування базового обладнання.

12 Порядок розробки, випробування, приймання обладнання котельні.

Стадії розробки встановлюється відповідно з ГОСТ В 15.203. обов'язковими етапами є:

– розробка та узгодження програм та методики випробувань;

- розроблення та затвердження з замовником функціональних та принципових схем, конструктивних компоновок та робочих креслень;
- узагальнення результатів виконаних робіт, вироблення рекомендацій і інструкцій.

Ремонтна документація розробляється за окремим завданням замовника.

Порядок приймання, розробки, здійснюється у відповідності із вимогами Держстандарту. Оцінка виконаної розробки і прийняття рішення по виконаній розробці виконує приймальна комісія яку формує представник замовника, розробника і виробника. Головою комісії призначається представник замовника.

Місце і строки випробувань визначають заздалегідь і попередньо узгоджуючи.

Перелік документів, що представляються на випробування визначається у програмі випробувань.

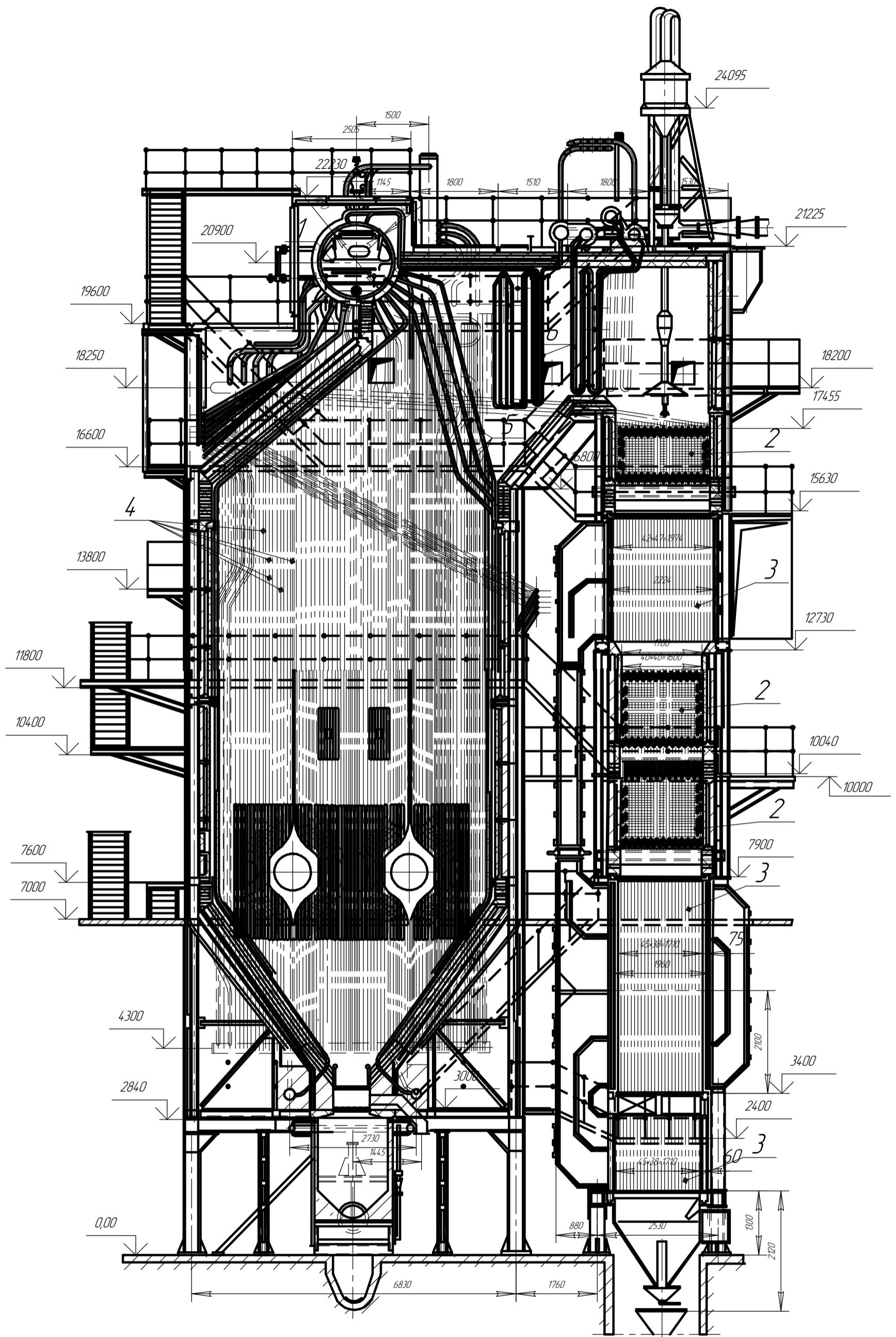
Перелік матеріалів і документів, що передається замовнику: комплект технічної і експлуатаційної документації, креслення загальних виглядів, вузлів, рекомендації та інструкції з експлуатації розроблених систем.

13 Стадії і етапи розробки

- аналітичний огляд літературної та патентної інформації;
- дослідження ефективності використання відновлюваних джерел енергії на ТЕЦ цукрового заводу;
- дослідження показників парогенератора БКЗ-75-39ФБ при спалюванні різних палив;
- технологія виконання монтажних робіт системи подавання біомаси на ТЕЦ цукрового заводу;
- розробка функціональної схеми автоматизації парогенератора БКЗ-75-39ФБ;
- розробка кошторису та техніко-економічних показників;
- розробка заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ТЕЦ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

№ п/п	Назва показника	Значення
1	Обсяг переробленого буряку за сезон, тис. т	676,3
2	Розрахункова витрата умовного палива за сезон, тис. т.у.п.	29,0
3	Обсяг бурякового жому, тис. т	561,3
<i>Анаеробна ферментація жому</i>		
4	Обсяг біогазу, який можна отримати з відходів, млн. м ³	44,1
5	Те ж, тис. т.у.п.	34,5
<i>Спалювання жому</i>		
6	Витрата умовного палива для сушіння жому, кг у.п./т	275
7	Витрата умовного палива на сушіння за сезон, тис. т.у.п.	154,4
8	Виділення енергії при спалюванні жому, тис. т.у.п.	229,9
<i>Спалювання гранул з лушпиння соняшника, реалізація жому</i>		
9	Витрата гранул з лушпиння соняшнику за сезон, тис. т	50,8
10	Реалізація гранульованого жому за сезон, тис. т	123,5



Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

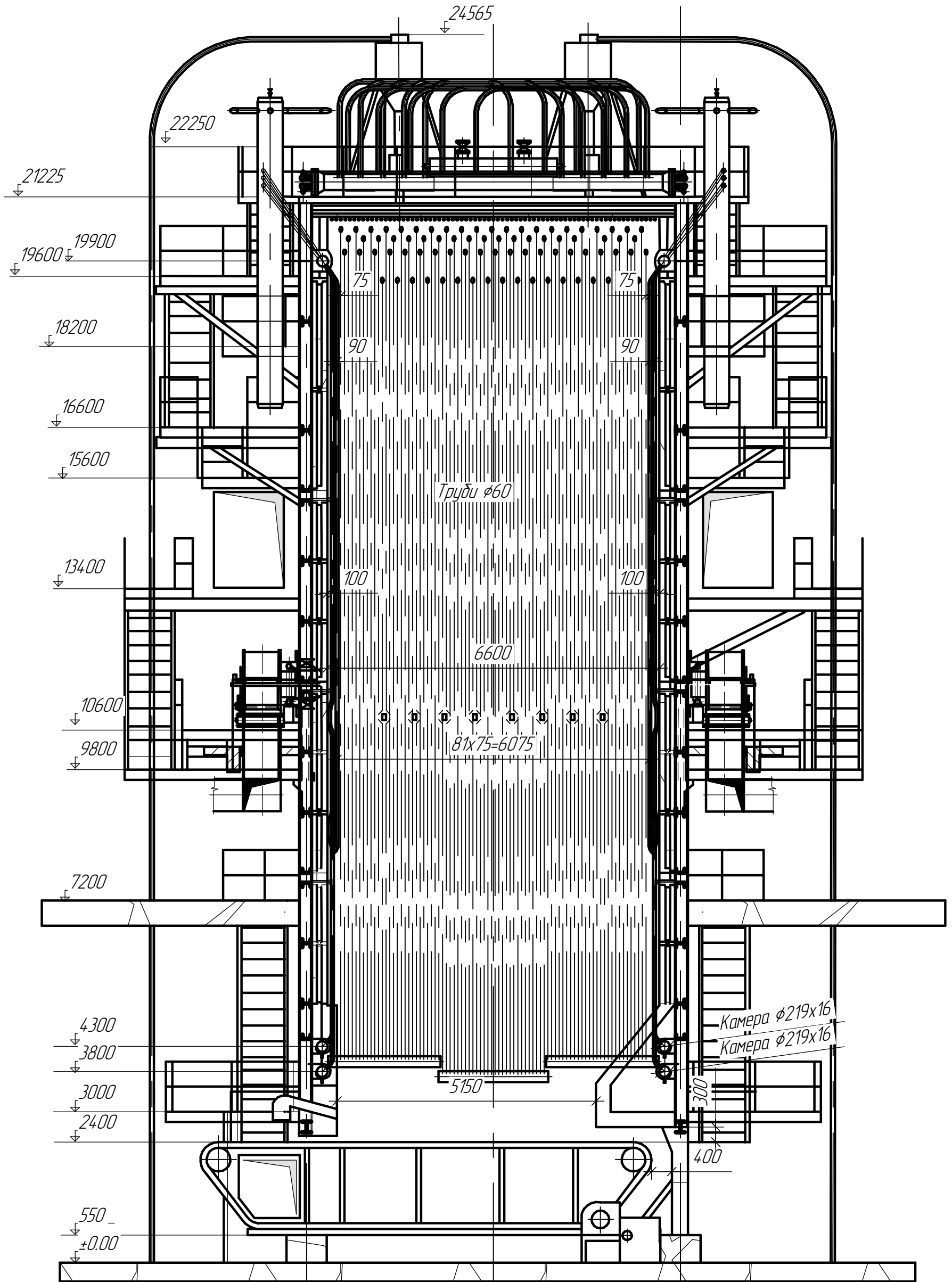
№	Наименование	К-сть
1	Барaban	1
2	Екoнoмизер	3
3	Пoдтpолидгpивник	3
4	Екpaннi тpуди	400
5	Фeстoннi тpуди	80
6	Пaрoпepегpивник	104

Изм.	Коллц.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Розробив	Войтко О.В.				
Перевірів	Степанов Д.В.				
Т.контр	Степанов Д.В.				
Опoнeнт	Дyдaр І.Н.				
Н.контр	Степанов Д.В.				
Утвeрд.	Ткаченко С.И.				

08-11.МКР.001.02.00.000 AP

с. Городківка

Використання відновлювальних джерел енергії на теплоелектроцентралі цукрового заводу	Стадія	Лист	Листов
Повздовжній розріз котла БКЗ-75-39-ФБ			1
	ВНТУ гр. ТЕ-19МЗ		



Согласовано

Взам. инв. №

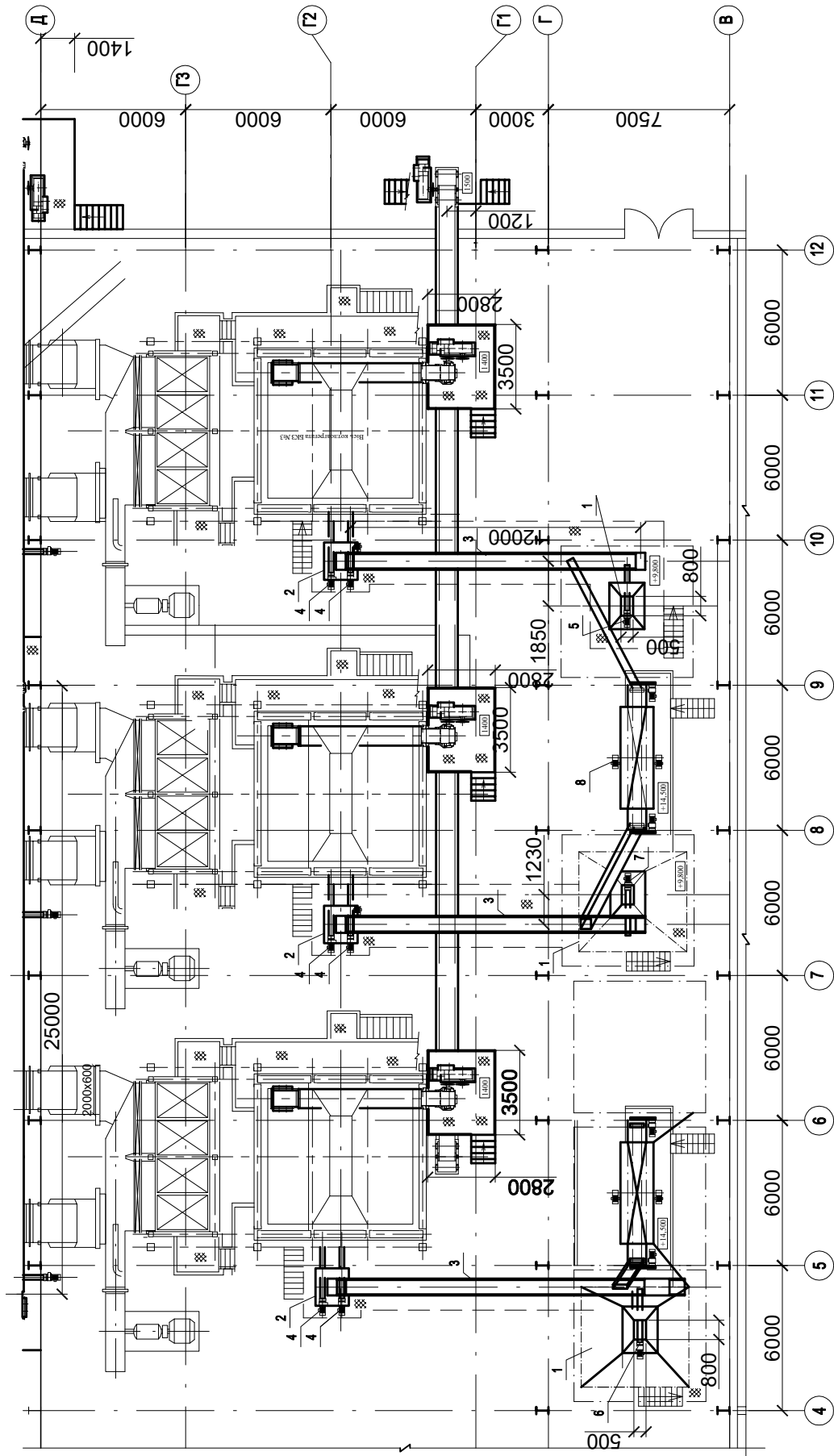
Подп. и дата

Инв. № подл.

					08-11.МКР.001.02.00.000 АР				
					с. Городківка				
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Використання відновлювальних джерел енергії на теплоелектроцентралі цукрового заводу	Стадія	Лист	Листов
Розроб.		Вайтко О.В.							1
Проб.		Степанов Д.В.							
Т. Контр.		Степанов Д.В.							
Опонент		Дудар І.Н.				Поперечний розріз котла БКЗ-75-39 ФБ	ВНТУ, гр. ТЕ-19МЗ		
Н. Контр.		Степанов Д.В.							
Утв.		Ткаченко С.Й.							

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КОТЛА БКЗ-75-39ФБ НА РІЗНИХ ПАЛИВАХ

Паливо	Паровидатність котла, т/год	Температура гарячого повітря перед топкою, °С	Адіабатна температура в топці, °С	Температура газів на виході з топки, °С	Температура відхідних газів з котла, °С	ККД котла, %
Мазут	75	350	2040	1100	140	92,2
Вугілля марки АС	60	280	1958	1100	120	82,8
Гранули з лушпиння соняшника	60	300	1690	970	150	86,6
Сумісне спалювання гранул з соняшникового лушпиння та біогазу (0,25м³ на 1 кг)	60	260	1577	960	175	86,8



08-11.МКР.001.05.00.000 АР

с. Городківка

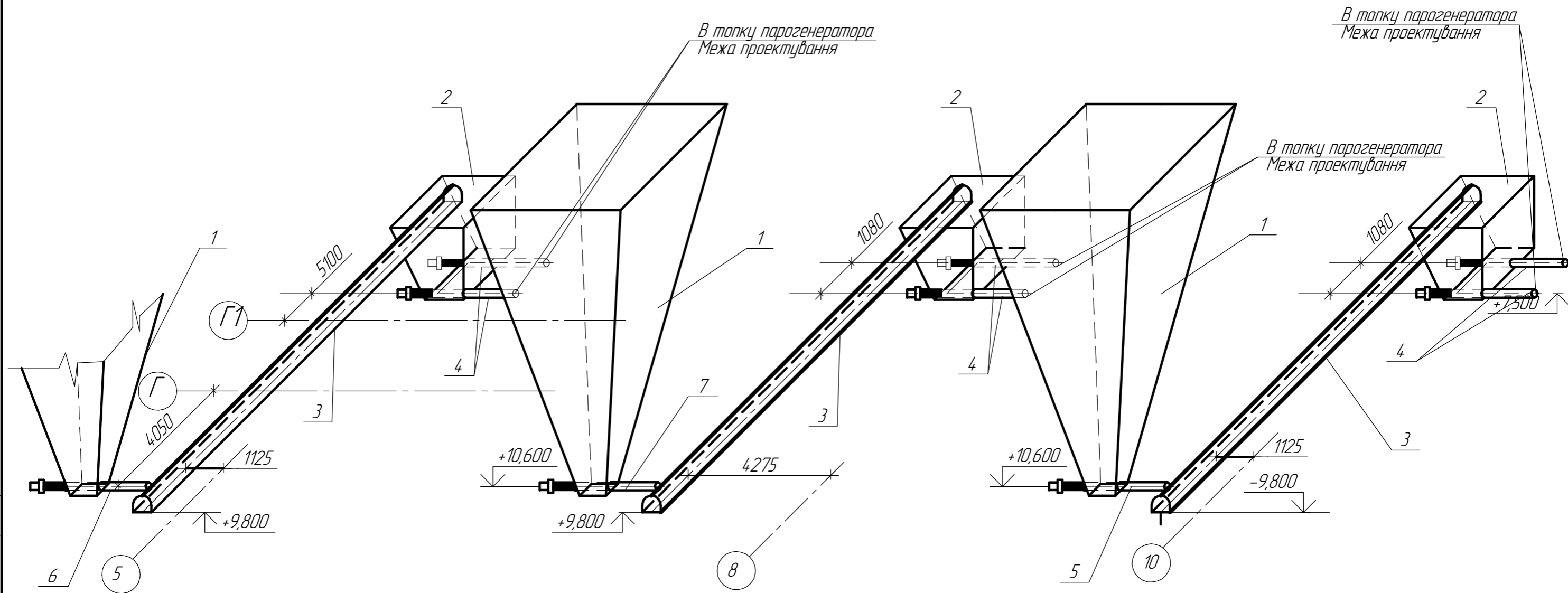
Изм.	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Розроб.		Войтко О.В.			
Перев.		Степанов Д.В.			
Т.контр.		Степанов Д.В.			
Опонецг.		Дудар І.Н.			
Н.контр.		Степанов Д.В.			
Завершив		Ткаченко С.Й.			

Листов	Лист	Листов
РП		

Використання відновлювальних джерел енергії на теплоелектроцентралі цукрового заводу

Фрагмент плану

ВНТУ, гр. ТЕ-19мз



Согласовано

Взам. инв. №

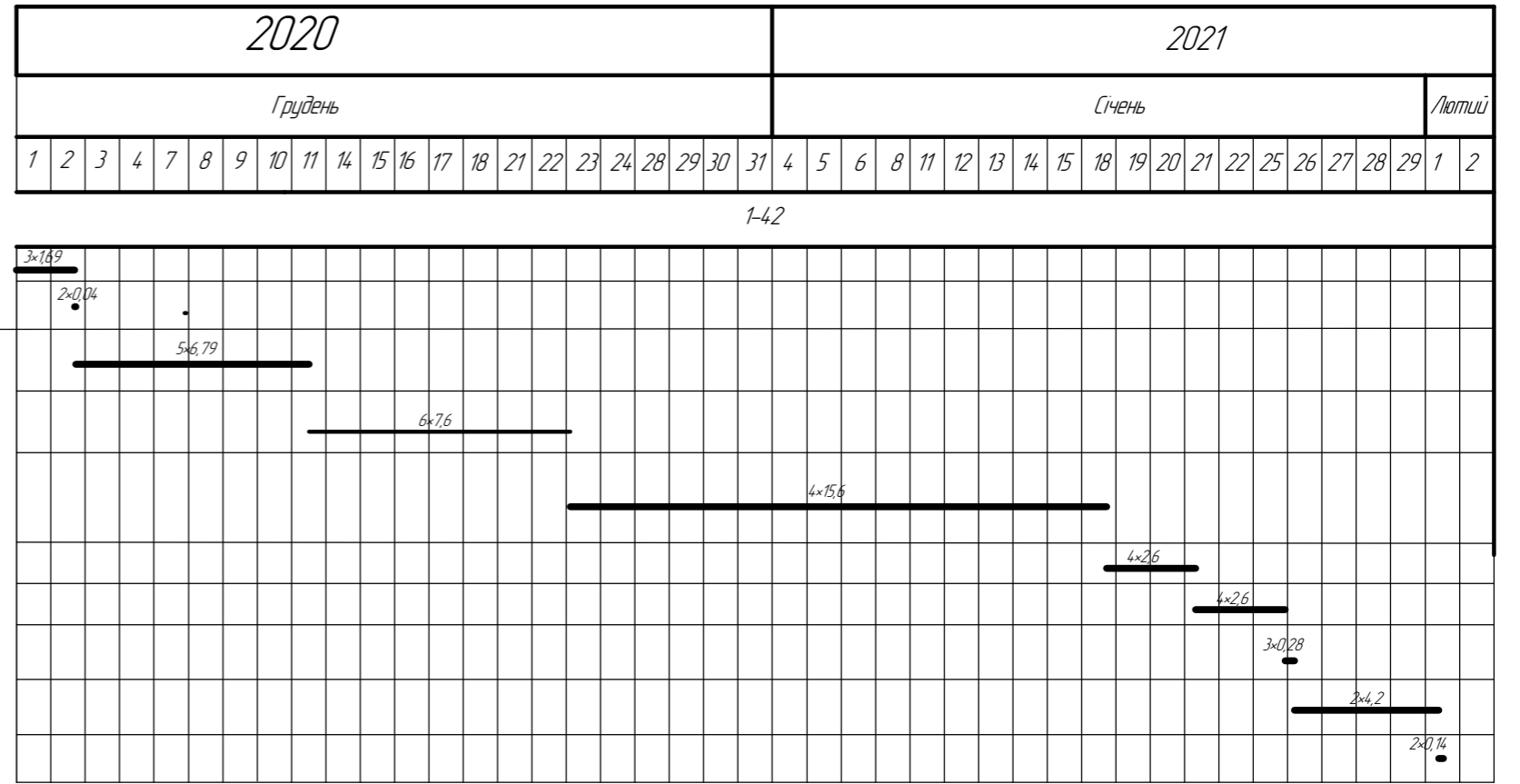
Подп. и дата

Инв. № подл.

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	Обладнання		
1	Витратний бункер для паливних гранул	3	існуючий
2	Бункер для паливних гранул, V = 4.5 м ³	3	шт
3	Конвеєр стрічковий КЛ-500, L = 13200 мм, В = 500 мм	3	шт
4	Конвеєр гвинтовий безосьовий, L = 2500 мм, D _{гв} = 250 мм	6	шт
5	Конвеєр гвинтовий безосьовий, L = 2400 мм, D _{гв} = 250 мм	1	шт
6	Конвеєр гвинтовий безосьовий, L = 1800 мм, D _{гв} = 250 мм	1	шт
7	Конвеєр гвинтовий безосьовий, L = 2400 мм, D _{гв} = 250 мм	1	існуючий

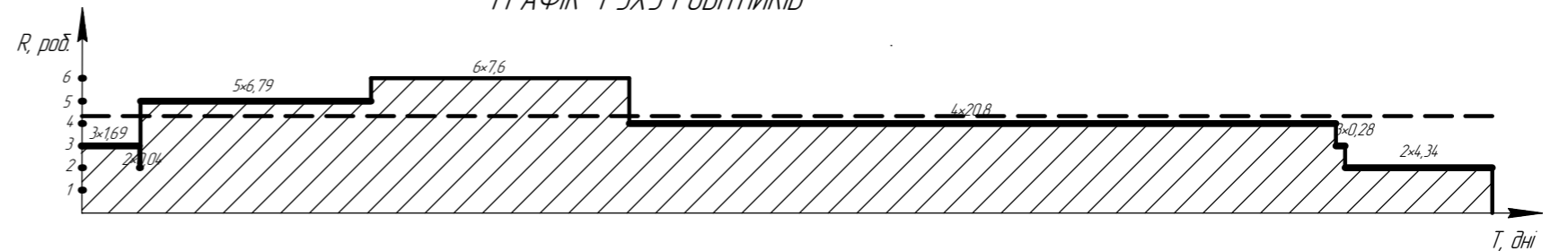
						08-11.МКР.001.06.00.000 Г5			
						с. Городківка			
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Використання відновлювальних джерел енергії на теплоелектроцентралі цукрового заводу	Стадія	Лист	Листов
Виконав	Войтко О.В.								3
Перевірив	Степанов Д.В.								
Т. Контр.	Степанов Д.В.								
Опонент	Дудар І.Н.					Схема монтажна аксонометрична	ВНТУ, ТЕ-19м3		
Н. Контр	Степанов Д.В.						Формат А3		
Затвердив	Ткаченко С.И.								

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН МОНТАЖУ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАЛИВНИМИ ГРАНУЛАМИ ПАРОГЕНЕРАТОРІВ



№п/п	Найменування робіт	Одін. вим.	Об'єм	Норма часу год/год	Продуктивність	Склад бригади	К-сть членів	Трудо-літність
1	Доставка деталей до місць монтажу та їх складування	т	9,196	4,4	5,06	2 робітники 1 радіо	3	1,69
2	Розмітка місць прокладання стрічкових конвеєрів	100 м	0,396	16	0,079	Монтажник 4,5 розряд	6р-1 3р-1	0,04
3	Монтаж бункерів для гранул, місткістю V = 4,5 м³	т	3,15	86,24	33,957	Монтажник 4,2 розряд	5р-1 4р-1 3р-3	6,79
4	Монтаж конвеєрів стрічкових КЛ-500, L = 13200 мм, В = 500 мм	шт.	3	121,6	4,56	Монтажник 4,5 розряд	5р-1 4р-2 3р-1	7,6
5	Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, L = 2500 мм, Dгв = 250 мм з двигуном	шт.	6	83,2	6,24	Монтажник 4 розряд	5р-1 4р-2 3р-1	15,6
6	Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, L = 2400 мм, Dгв = 250 мм з двигуном	шт.	1	83,2	10,4	Монтажник 4 розряд	5р-1 4р-2 3р-1	2,6
7	Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, L = 1800 мм, Dгв = 250 мм з двигуном	шт.	1	83,2	10,4	Монтажник 4 розряд	5р-1 4р-2 3р-1	2,6
8	Випробування конвеєрів стрічкових КЛ-500, L = 13200 мм, В = 500 мм	м	39,6	0,17	0,84	Монтажник 4 розряд	6р-1 4р-1 3р-1	0,28
9	Монтаж конвеєрів гвинтових безосьових, Dгв = 250 мм з двигуном	м	19,2	3,5	8,4	Монтажник 4 розряд	6р-1 4р-1	4,2
10	Повернення допоміжного обладнання на склад	т	0,549	4,4	0,302	Робітник, радіо	2	0,14

ГРАФІК РУХУ РОБІТНИКІВ



ГРАФІК РОБОТИ МАШИН ТА МЕХАНІЗМІВ

DAF CF 65 250	16р																																			0,14		
Tesla Weld MMA 280		1,2																																				
ПГС-5			1,5																																			
ЛМ-16				4,5																																		
Візок ручний DFZ					4,5																																	

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ГРАФІКУ РУХУ РОБІТНИКІВ

№	Позначення	Формула	Результат	Од.виміру
1	Q _{зоз.}	Q _i	177,438	люди*дні
2	T _{зоз.}	-	4,154	дні
3	R _{max}	-	6	люди
4	R _{сер.}	Q _{зоз.} /T _{зоз.}	4,27	люди
5	T _{вст.}	-	4,154	дні
6	± ₁	R _{сер.} /R _{max}	0,71	-
7	± ₂	T _{вст.} /T _{зоз.}	1	-

08-11.МКР.001.07.00.000 КП

с. Городківка

Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Розроб.		Войтко О.В.			
Перевірів		Степанов Д.В.			
Т. Контр.		Степанов Д.В.			
Опонент		Дудар І.Н.			
Н. Контр.		Степанов Д.В.			
Утв.		Ткаченко С.І.			

Використання відновлювальних джерел енергії на теплоелектроцентралі цукрового заводу

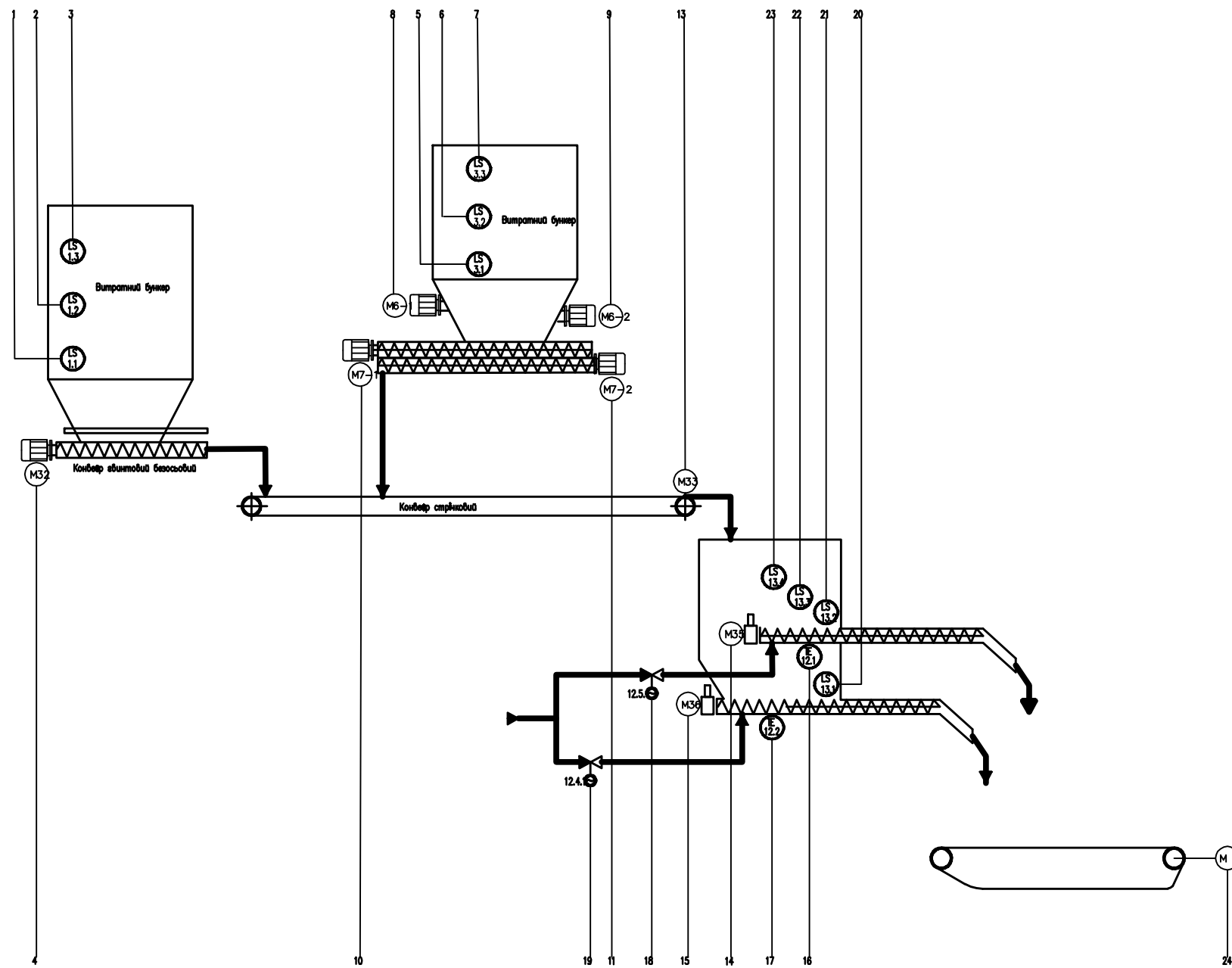
Календарний план монтажу
ВНТУ, ТЕ-19мз

Согласовано

Взам. инв. №

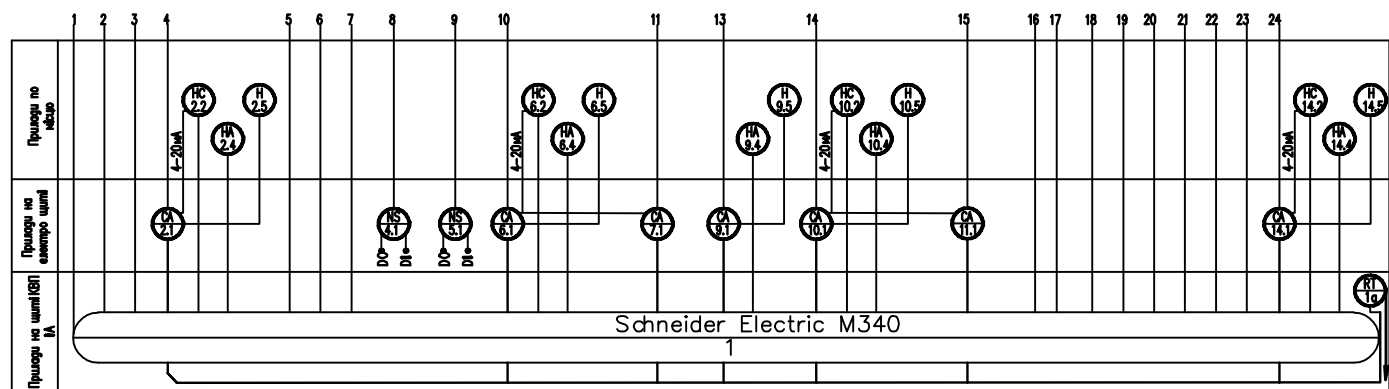
Подп. и дата

Инв. № подл.



Позиція	Найменування	К-сть	Примітки
1.1-1.4 3.1-3.4 13.1-13.4	Датчик ротаційний ШЕ2-10Г-АС	10 шт.	220V AC
12.1;12.2	Датчик температури ТСП 2-Фн-РХ100-В-3-2000-МВ-/-90...250/	2 шт.	
2.4.1-12.5.1	Електромагнітний клапан	2 шт.	220V AC
RT	Перетворювач інтерфейсу ІОВ-715	1 шт.	МодBUS
HC	Блок ручного управління БРУ-110	4 шт.	
H	Аварійна кнопка СТОП Р1ЕВ400Е40-К	7 шт.	
HA	Світлопоказувач аварійний Дуга О-030-220	7 шт.	220V AC
NS	Навісний тумблер	3 шт.	
CA	Частотний перетворювач	7 шт.	

Позначка	Найменування
—	Пелети
—	Вуглекислий газ



Зм.	Кільк.	Арк.	№Арк.	Підпис	Дата
Виконав				Вадим О.В.	
Перевірив				Степанов Д.В.	
Т. Контр.				Степанов Д.В.	
Опонент				Дудар І.Н.	
Н. Контр.				Степанов Д.В.	
Затверджує				Ткаченко С.І.	

08-11МКР.00108.00.000 А2

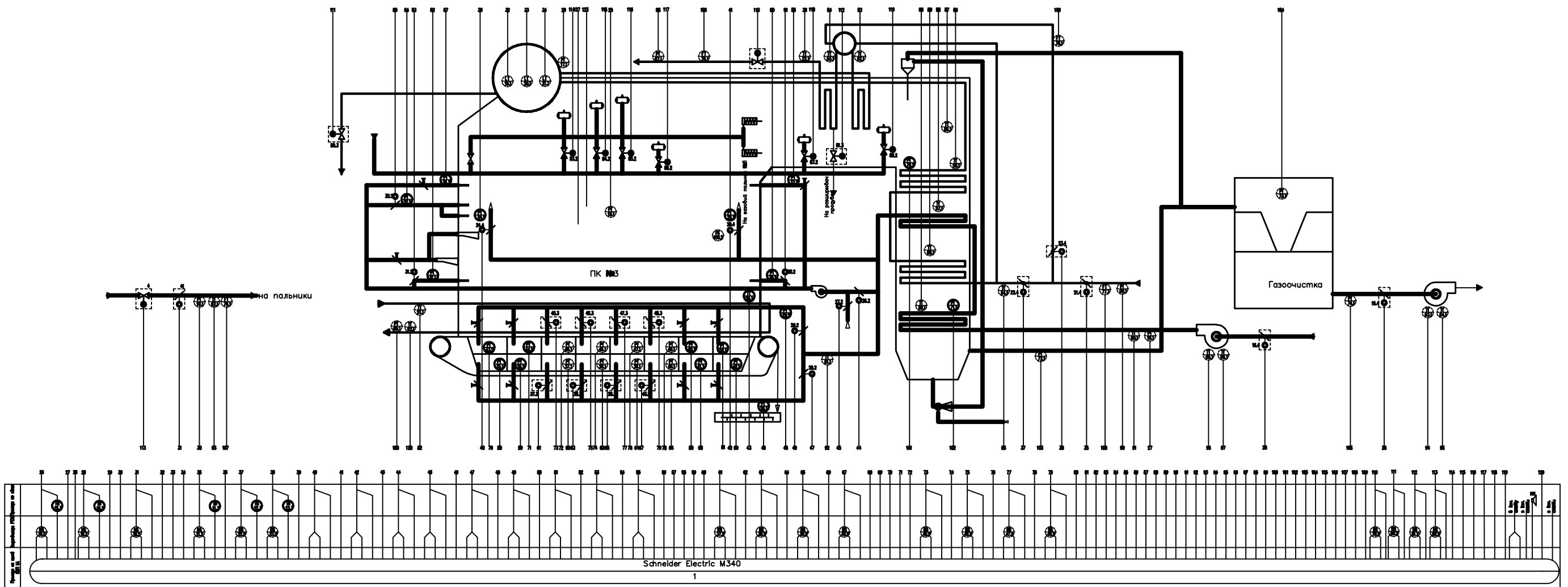
Використання відновлювальних джерел енергії на теплоелектроцентралі цукрового заводу

Лист	Маса	Масштаб
Лист 1		Листов 2

Схема функціональна автоматизації парового котла БКЗ-75-39 ФБ

ТЕ-19 мз, ВНТУ

Лист № 1
 Підпис / Дата
 Сервіс № 1
 Лист № 1



Господарство
 Заводський № 11
 Листок / Формат
 № 11 аркуша

Зм.	Кільк.	Арк.	№ арк.	Підпис	Дата
Виконав				Войтко О.В.	
Перевірив				Степанов Д.В.	
Т. Контр.				Степанов Д.В.	
ОпONENT				Дудар І.Н.	
Н. Контр.				Степанов Д.В.	
Затверджує				Ткаченко С.І.	

08-11МКР.00109.00.000 А2

Використання відновлювальних джерел енергії на теплоелектроцентралі цукрового заводу

Лист	Маса	Масив
Лист 2		Листов 2

Схема функціональна автоматизації парового котла БКЗ-75-39 ФБ

ТЕ-19 мз, ВНТУ

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Найменування величини	ТЕЦ на кам'яному вугіллі	ТЕЦ на гранулах з лушпиння соняшника
Наявна теплота палива, МДж/кг	27,3	16,7
Витрата палива за сезон, тис. т	19,1	38,5
Витрати на паливо, млн. грн./рік	97,4	96,3
Додаткові капіталовкладення, млн. грн.		1,61
Додаткові експлуатаційні витрати, млн. грн./рік		0,191
Економічний ефект, млн. грн		1,155
Орієнтовний простий термін окупності капіталовкладень		≈ 2 сезони
Чиста приведена вартість проекту NPV, млн. грн		5,09
Дисконтований термін окупності додаткових капіталовкладень		2,52 сезони