

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри автоматики та
телекомунікацій

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 2023 р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Дослідження та модернізація системи автоматичного керування
котельної установки»

Виконав студент 2 курсу, групи СУАм-22
(шифр групи)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Сєдов Данило Олександрович

(Прізвище, ім'я та По-батькові)

(підпис)

Керівник доцент кафедри АТ, к.т.н. Ганна ТЕЛИЧКО
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент доцент кафедри ЕТ, к.т.н., доцент Олександр ШТЕПА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент зав.каф ЕЛІН, к.т.н., доцент Олександр КОЛЛАРОВ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль:

Дар'я ЖУКОВСЬКА

23.12.2023 р.

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2023 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота магістра

Тема: «Дослідження та модернізація системи автоматичного керування котельної установки»

Спецчастина: «Дослідження методів автоматизації котельної установки, підвищення рівня енергоефективності та продуктивності системи»

Виконавець, студент

гр. СУАм-22

Данило СЕДОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Ганна ТЕЛИЧКО

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Валерій ПОЦЕПАЄВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Вікторія ВОРОПАЄВА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

Дар'я ЖУКОВСЬКА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Луцьк – 2023 р.

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації

Кафедра Автоматика та телекомунікації

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування

(шифр і назва)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри АТ

« _____ » 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Сєдову Данилу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження та модернізація системи автоматичного керування котельної установки

керівник проекту (роботи) Теличко Ганна Олександрівна

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.09.2023 року № 478

2. Строк подання студентом проекту (роботи).

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз автоматичної системи котельної установки, як об'єкту керування. 2) Обґрунтування напрямку автоматизації. 3) Розробка функціональної схеми. 4) Заходи з охорони праці.

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

Технічні компоненти автоматизації; схема технологічного процесу; модель автоматичного регулювання температури; схема регулювання температури.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Теличко Г.О., к.т.н., доцент		
2	Поцепаєв В.В., к.т.н., доцент		
3	Воропаєва В.В., к.т.н., доцент		
Нормо-контроль	Жуковська Д.О., асистент	-	23.12.2023 р.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз та характеристика котельної установки	4.11.2023	
2	Аналіз та проектування процесів автоматизації системи	30.11.2023	
3	Розробка проектного рішення	18.12.2023	
4	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві	19.12.2023	

Студент

(підпис)

Данило СЕДОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Ганна ТЕЛИЧКО

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Сєдов Данило Олександрович «Дослідження та модернізація системи автоматичного керування котельної установки» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2023.

Пояснювальна записка: 124 стор., 33 рис., 13 табл., 24 посилання.

Об'єкт розробки – котельна установка.

Предмет розробки – система автоматичного контролю параметрів котла.

Мета роботи – забезпечення та підвищення рівня енергоефективності, технологічності, продуктивності та експлуатаційних характеристик котельної установки.

Методи і засоби розробки – методи теорії систем, методи контролю параметрів, теорії автоматичного керування.

Впровадження системи автоматичного контролю потрібно для більш точної якості параметрів водогрійних котлів та пошуку несправностей в роботі котельної установки. Запропоновано функціональну схему автоматизації котельної установки, що значно економить витрати енергоресурсів. Розроблена SCADA-система для зручного керування процесами.

Ключові слова: СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, КОТЕЛЬНА УСТАНОВКА, ТЕМПЕРАТУРА, SCADA

Перелік публікацій: Автоматизація із застосуванням штучного інтелекту у створенні чат-бота за стандартами Industry 4.0 / Г.О. Теличко, І.В. Блазаренас, Д.О. Сєдов // Науковий вісник ДонНТУ/ – 2022. –№ 1(8)-2(9). – С. 20-29

Дослідження та модернізація системи автоматичного керування котельної установки / Сєдов Д.О., Теличко Г.О.// Всеукраїнський науково-практичний форум «ТАК2023»: телекомунікації, автоматизація, комп'ютерно-інформаційні технології, 5-6 грудня 2023 р.: збірка доповідей. – ДВНЗ «ДонНТУ», м. Луцьк, 2023. – С. 177-179.

ABSTRACT

Siedov Danylo Oleksandrovykh «Research and modernization of the automatic control system of a boiler plant» / Graduation qualifying work for obtaining an educational degree "Master" in specialty 151 «Automation and computer-integrated technologies" - SHEE DonNTU Lutsk, 2023.

The object of development is a boiler plant.

The subject of development is a system for automatic control of boiler parameters.

Purpose - to ensure and increase the level of energy efficiency, manufacturability, productivity and operational characteristic at the boiler plant.

Development methods and tools - methods of system theory, methods of parameter control, theory of automatic control.

The introduction of an automatic control system is required for more accurate quality of parameters of hot water boilers and troubleshooting of the boiler plant. The functional scheme of automation of the boiler plant is proposed, which significantly saves energy consumption. A SCADA system for convenient process control has been developed.

Keywords: AUTOMATIC CONTROL SYSTEM, BOILER PLANT, PARAMETER CONTROL, TEMPERATURE, SCADA

Publisher publication list:

Automation with the use of artificial intelligence in the creation of a chatbot according to Industry 4.0 standards / H.O. Telychko, I.V. Blazarenas, D.O. Sedov // Scientific Bulletin of DonNTU - 2022. - P. 20-29.

Research and modernization of the automatic control system of a boiler plant / Siedov D.O., Telychko H.O. // All-Ukrainian Scientific and Practical Forum "TAK2023": Telecommunications, Automation, Computer and Information Technologies, December 5-6, 2023: collection of reports - SHEI "DonNTU", Lutsk, 2023. – P. 177-179.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	14
1.1 Актуальність дослідження.....	14
1.2 Технологічна схема об'єкта.....	14
1.3 Принцип роботи системи.....	16
1.4 Принцип роботи ТВГ котла.....	20
1.5 Економічність для котельної установки.....	25
Висновки до розділу 1.....	27
2 АНАЛІЗ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ.....	29
2.1 Огляд і розробка функціональної схеми.....	29
2.2 Контур співвідношення газу і повітря.....	30
2.3 Контур розрідження в топці котла.....	31
2.4 Контур температури води на виході.....	32
2.5 Технічні компоненти автоматизації.....	33
2.6 Автоматичне регулювання і аналіз роботи системи.....	48
2.7 Технічні засоби для очистки води.....	54
2.8 Фільтр для пом'якшення води.....	56
2.9 Деаератор.....	58
Висновки до розділу 2.....	60
3 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ.....	61
3.1 Розробка SCADA-системи.....	61
3.2 Економічна ефективність та автоматична система управління.....	65
Висновки до розділу 3.....	80
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84
ДОДАТОК А – Освітлення виробничих процесів.....	87

ВСТУП

Метою дипломної роботи є забезпечення і підвищення рівня енергоефективності, технологічності, продуктивності та експлуатаційних характеристик котельної установки. Виконано за рахунок необхідних технічних параметрів системи автоматизації.

За метою роботи були вирішені наступні завдання:

- 1) Дослідження сучасних систем керування;
- 2) Автоматизація котельної установки;
- 3) Розробка функціональної схеми котла;
- 4) Розробка програмного забезпечення. Автоматичний контроль процесів за допомогою SCADA;
- 5) Розрахунок параметрів, економічної ефективності.

Автоматизація - це процес застосування технологій і систем для автоматичного контролю, керування та виконання різних завдань без прямого втручання людини. Це може стосуватися виробничих процесів, побутових систем, програмного забезпечення тощо.

Автоматизація – це один з напрямків науково-технічного процесу, спрямованого на застосування саморегульованих технічних засобів і систем керування, який звільняє людину від участі у цьому процесі. Існує термін «автоматичний», а є визначення «автоматизований», що пояснює великий рівень участі людини. Автоматизація виробничих процесів призводить до збільшення виробництва. Відбувається зменшення витрат та економія матеріалу, поліпшується якість продукції та її надійність, а також покращуються умови праці та безпека.

Люди більше не взаємодіють з механізмами керування. В автоматизованому процесі людина тільки налагоджує, регулює, контролює та підтримує ці засоби. Обслуговуючий персонал має мати високу технічну кваліфікацію.

Одне з основних автоматизованих місць більшості галузей займає

теплоенергетика. На теплових електростанціях відбувається безперервний процес, в якому тепло та електроенергія завжди повинні відповідати споживанню. На теплоелектростанціях перехідні процеси відбуваються швидко, тому що всі ці станції (майже всі) механізовані.

Автоматизація поділяється на повну, часткову та комплексну. Повна – це коли немає персоналу. Всі їх функції – це частковий нагляд. Часткова – це коли обладнання обмежено автоматизоване. А комплексне – це повний контроль за обладнанням людиною.

Котельна установка - це спеціально обладнане приміщення або майданчик, де розташовані котли для виробництва тепла, пари або гарячої води. Вона використовує для опалення приміщень, нагрівання води для побутових потреб або виробництва пари для промислових цілей.

Перший етап модернізації передбачає ретельний аналіз поточного стану системи керування. Визначення слабких місць, ефективності та витрат енергії є ключовим для визначення необхідних змін. Було досліджено систему автоматизації котельної установки. Вона як раз має автоматичне і дистанційне керування, терморегулювання, технологічний захист, блокування та сигналізацію. В цій установці автоматичне регулювання само забезпечує процеси у парогенераторі. Це процеси живлення водою, горіння, нагріву води та інші.

Переваги автоматизації параметрів:

- 1) Менше працівників.
- 2) Підвищення продуктивності.
- 3) Зміна роботи обслуговуючого персоналу.
- 4) Точність параметрів нагрітої води.
- 5) Надійність обладнання.
- 6) ККД котла.

На даній установці обов'язково присутній пульт дистанційного керування. Через цей пульт персонал може запускати або зупиняти установку котла. Також присутнє перемикання та регулювання механізмами на відстані

через пульт.

За роботою котельні та обладнання виконується тепловий контроль. Він працює в автоматичному режимі за допомогою індикаторних та самоблокуючих пристроїв. Існують 2 варіанти постійного контролю за процесами на парогенераторі. Перший – це підключення обслуговуючим персоналом, а другий – за рахунок електронно-обчислювальної машини. Контролювати і обслуговувати систему легше і зручніше через пульт керування, тому що їм можна користуватися на будь-якій відстані. Також на панелях розміщені прилади терморегуляції.

На котельній установці в заданій послідовності відбуваються технологічні блокування, тобто ряд операцій по пусках і зупинках механізмів. При обслуговуванні котельні, спеціальні замки виключають можливість некоректної роботи. У разі виникнення аварії, ці замки вимикають обладнання.

При аварії або якоїсь ситуації, вмикається звукова та світлова сигналізація, а технічні пристрої інформують персонал про небезпеку та стан на кожному обладнанні.

З вище сказаного можна зробити висновок, що для того, щоб отримати якісну систему, потрібно підвищити рівень технічних засобів автоматизації.

Пояснювальна записка: 124 стор., 33 рис., 13 табл., 24 посилання.

Об'єкт розробки – котельна установка.

Предмет розробки – система автоматичного контролю параметрів котла.

Мета роботи – забезпечення та підвищення рівня енергоефективності, технологічності, продуктивності та експлуатаційних характеристик котельної установки.

Методи і засоби розробки – методи теорії систем, методи контролю параметрів, теорії автоматичного керування.

Впровадження системи автоматичного контролю потрібно для більш точної якості параметрів водогрійних котлів та пошуку несправностей в роботі котельної установки. Запропоновано функціональну схему автоматизації котельної установки, що значно економить витрати енергоресурсів. Розроблена

SCADA-система для зручного керування процесами.

1 АНАЛІЗ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Актуальність

Системи автоматичного керування котельними установками в сучасному світі відіграють важливу роль у забезпеченні ефективності та безперебійності процесу опалення [1, 2]. Модернізація цих систем є актуальною проблемою, оскільки дозволяє покращити їх функціональність, знизити споживання палива, покращити екологічні показники та забезпечити більш точне й надійне керування [2]. У даній доповіді розглянемо основні аспекти модернізації системи автоматичного керування котельної установки.

Сучасні технології автоматичного керування включають в себе використання програмованих логічних контролерів (ПЛК), системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) та інші інтегровані системи, які дозволяють забезпечити автоматизований контроль за процесами в котельному приміщенні. Вони також надають можливості для моніторингу та дистанційного керування.

1.2 Технологічна схема об'єкта

На рис. 1.1 наведено технологічну схему котельної установки:

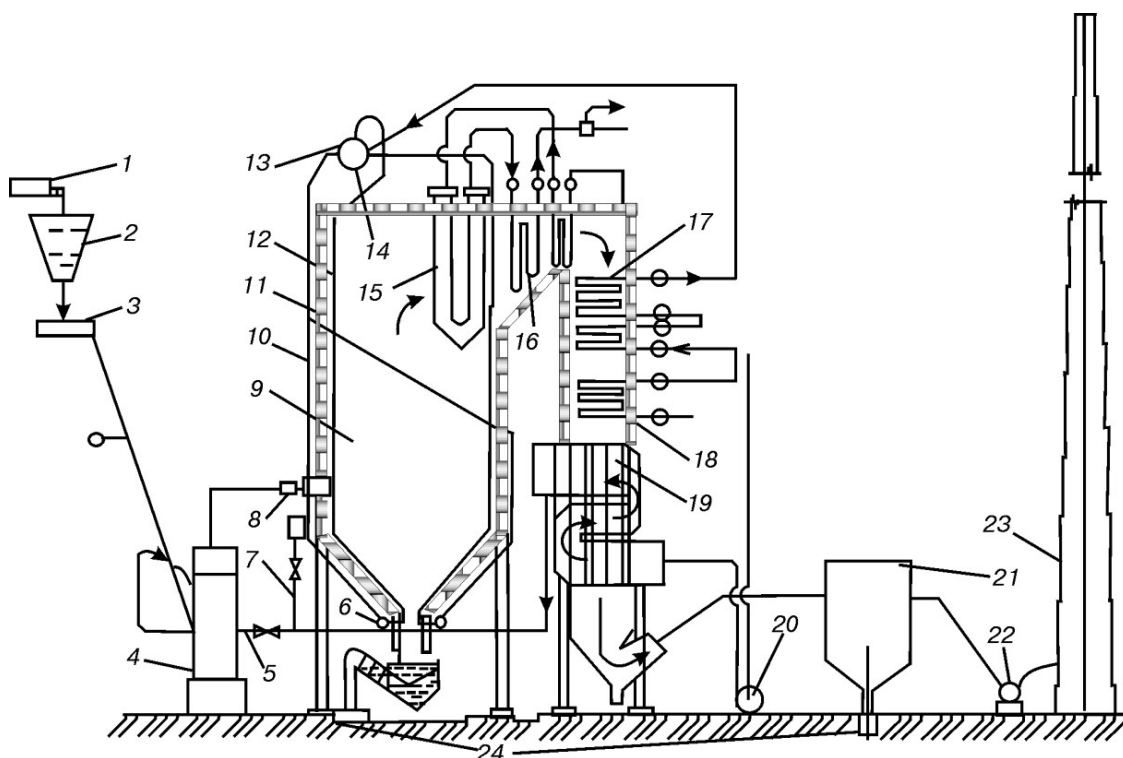


Рисунок 1.1 – Технологічна схема котельної установки

У табл. 1.1 наведено позначення об'єктів керування, які вказані на рис. 1.1.

Таблиця 1.1 – Об'єкти керування

Цифра	Об'єкт керування
1	Конвеєр
2	Бункер
3	Живильник
4	Млин
5	Короб первинного повітря
6	Нижній розподільний колектор
7	Короб вторинного повітря
8	Пальники
9	Топка
10	Опускні труби
11	Обмурівка котла
12	Підйомні труби

Продовження таблиці 1.1

13	Барабан
14	Барабан
15	Ширмові перегрівники
16	Конвективний перегрівник
17	Другий ступінь економайзера
18	Перший ступінь економайзера
19	Повітропідігрівник
20	Вентилятор
21	Очистка газу
22	Димосос
23	Димова труба
24	Виведення золи та шлаку

1.3 Принцип роботи системи

Котельна установка – це комплекс котельного агрегату та допоміжного обладнання. Котельний агрегат складається з пристроїв, механізмів та елементів. Вони об'єднані між собою і створені для виробництва водяної пари або теплової води вже за встановленими параметрами. Допоміжне обладнання включає в себе системи підготовки палива і його подачу, хімічне очищення води, попелове шлаковидалення, вентилятори, димососи, а також обладнання для очищення димових газів [2].

Котельні установки поділяються на парові та водогрійні. Перші виробляють водяну пару, а інші видають гарячу воду. Звичайно, як для першого, так і для другого вказані параметри, яким повинна відповідати система. Для гарячої води обов'язково в першу чергу повинні відповідати параметри температури і тиску. В залежності від того, що буде вироблено [2].

Теплофікаційні водогрійні газові котли (ТВГ) – це котли, які живлять цілі міста та окремі райони за рахунок централізованого теплопостачання. Котли створені зварними секціями. Вони працюють на газу. Нагрів води повинен бути строго не більше 150°C.

Існує декілька видів газових котлів, але саме для нашої системи випускається серія з нижче перерахованих котлів. Саме вони створені для надання теплопродуктивності. Основні 3 види котлів: ТВГ-4, ТВГ-8, ТВГ-10.

Також, у котельних установках існують 3 основні кінцеві стадії, з яких як раз і складається робочий процес. Це:

- 1) Горіння палива;
- 2) Теплопередача;
- 3) Пароутворення.

Теплопередача проходить від димових газів, які дуже гарячі, до води або пари.

Система створена з котла, описаного вище, та допоміжного устаткування [2]. Котел має 2 основних елементи: топка, теплообмінні поверхні. В топка і газоходах, які побудовані поруч, знаходяться теплообмінні поверхні нагріву. Отже, виходячи з вище сказаного, можна сказати, що компоновка котла складається з: властивості палива, парової потужності і обов'язково параметрами пари на виході [2].

Котел має допоміжне устаткування, а саме:

- 1) дуттєві вентилятори і димососи. Воно потрібно для подання повітря в котел, а також евакуацію з нього продуктів згорання до атмосфери;
- 2) Бункери;
- 3) Живильники сирого палива та пилу;
- 4) Вуглерозмельні млини. Млини потрібні, щоб відбувалося постійне подання та підготовка пилоподібного палива. Паливо має бути потрібної якості;
- 5) Попеловловлювальне та попелешлакотранспортувальне обладнання. Це обладнання потрібно для очищення димових газів. Тому що застрягають попіл і шлак;
- 6) Пристрої для очищення. Зовнішні поверхні труб котла забруднюються, тому потрібно проводити чистку;
- 7) Контрольно-вимірювальна апаратура;

8) Водопідготовічі установки. До системи поступає природна вода і вона повинна проходити обробку до заданої якості.

Як вже казав раніше, поверхні нагріву є головними елементами, тому що вони передають тепло. Це тепло передається від теплоносія до робочого середовища, тобто до води або повітря тощо. Існує три поверхні нагріву:

- 1) Нагрівальні;
- 2) Випарні;
- 3) Перегрівальні.

Тепло до поверхонь нагріву передається як конвекцією так і випромінюванням. Так як випромінювання це радіація, то поверхні нагріву поділяються на:

- 1) Радіаційні;
- 2) Конвективні;
- 3) Радіаційні і конвективні. Тобто наполовину радіаційні.

Для підігріву води потрібен економайзер (на рис. 1.1 позначений номером 18). Економайзер – конвективна поверхня і знаходиться в опускній шахті. Зазвичай він знаходиться біля невисоких температур. Випарні поверхні знаходяться біля найвищих температур. Наприклад, у топці (на рис. 1.1 топка позначена номером 9). Це, як раз, радіаційні та напіврадіаційні поверхні. До них можна віднести екрани, котельні пучки тощо. Захист від високих температур забезпечують екранні поверхні (на рис. 1.1 позначено номером 12). Вони знаходяться на стінках топки і газоходів. І вони є поверхнею нагріву котла. Також, існують двосвітні екрани. Це ті екрани, які потрібні для двостороннього опромінення. Як раз такі екрани можуть бути всередині топки [2].

За отриманими даними можна сказати, що перегрівальні поверхні для нагріву поділяються:

- 1) Радіаційні. На стінках топки або її стелі;
- 2) Ширмові (15). Складаються з поверхонь нагріву. На цих поверхнях розміщені ширми з великим кроком труб;

- 3) Конвективні (16). Розміщаються у газоходах. Також можуть бути у перехідному горизонтальному сегменті або на початку конвективної шахти. У напрямку руху газів.

Це опис пароводяного тракту котла. Він складається з послідовно розташованих поверхонь нагріву для робочого тіла. З'єднані вони трубопроводами та додатковими пристроями. Основний пароводяний тракт включає в себе такі елементи:

- 1) Економайзер (18);
- 2) Труби відводу;
- 3) Барабан (14);
- 4) Опускні труби (10);
- 5) Нижній розподільний колектор (6);
- 6) Екрани;
- 7) Стельовий перегрівник;
- 8) 1-ий та 2-ий ступінь конвективного перегрівника (16);
- 9) Проміжний перегрівник (17). Є частиною цього тракту.

Використовується для проміжного перегріву води.

Описане устаткування для підготовки палива до спалювання складає паливний тракт котла. Він включає:

- 1) Конвеєр (1). Для перенесення палива;
- 2) Бункер (2). Для зберігання постійного запасу палива;
- 3) Живильники (3). Для вологого палива та пилу.

Бункери потрібні для постійного забезпечення паливом та безперервної роботи котла. Живильники потрібні для дозування та подачі палива з бункера до млинів (4) для отримання вугільного пилу відповідної якості. Млин також використовується для підсушки палива за допомогою сушильного агента. Часто цим агентом є повітря.

Повітряний тракт системи складається з ряду елементів:

- 1) Забірний повітровод;
- 2) Дуттєвий вентилятор (20);

- 3) Повітропідігрівник (19);
- 4) Коробок (5,7). Для первинного і вторинного повітря відносно.

Усі елементи знаходяться під надлишковим тиском. Забірний повітропровід в цей список не входить. Цей тиск забезпечує дуттєвий вентилятор. Після цього підігріте повітря використовується для сушіння палива. А це надає підвищення ефективності й економічності його згорання. Існують два види повітропідігрівників:

- 1) Рекуперативні. Тепло передається до повітря через теплообмінну відокремлювальну поверхню, за рахунок продуктів згорання;
- 2) Регенеративні. Тепло передається до повітря через одну і ту ж теплообмінну поверхню, за рахунок гарячих газів.

Спочатку відбувається проходження через всі поверхні нагріву та очищення від золи у золовловлювачах (21). Потім продукти згорання виводяться через димову трубу у атмосферу. Ця послідовність складає повний тракт котла. Він може перебувати під тиском дуттєвого вентилятора або у режимі розрідження. У випадку розрідження у газовому тракті, після золовловлювачів, встановлюється димосос (22) [2,4].

1.4 Принцип роботи ТВГ котла

Теплофікаційний водотрубний газовий водогрійний котел ТВГ це секційний теплогенератор із прямоточною системою, де вода циркулює примусово. Він оснащений окремим димососом і вентилятором. Ці котли виробляються з різними тепловими потужностями: 4,65 МВт (ТВГ-4Р), 9,3 МВт (ТВГ-8М) і 11,63 МВт (ТВГ10).

Котел ТВГ-8М складається з кількох екранних секцій, які встановлені у котельній камері. Вони мають труби діаметром 51х2,5 мм і оснащені подовими пальниками. За перегородкою із цегли розташований пучок труб. Він утворює конвективну поверхню. Димові гази входять у пакет цієї

поверхні зверху і виходять знизу. Продукти згоряння проходять через конвективну поверхню. Вона складається з труб діаметром 28x2,5 мм, а її швидкість 8 м/с. Перегородки між газоходами прикріплені до труб. А створені за допомогою плавників.

Вода з теплової мережі надходить до колектора конвективної частини. Вона прокладає шлях через труби в газоході, а потім проходить через труби кожної екранної секції. Ці секції відокремлені для збільшення швидкості. А це дозволяє краще охолоджувати труби. Вода відводиться через патрубок, розташований у верхній частині кожної секції [2].

Були отримані високі швидкості води до 1 м/с. Досягнуто це було завдяки розділенню пучка труб конвективного газоходу. Розподілений на три частини. Екранна секція - на чотири частини. Завдяки цьому опір гідравлічного котла був збільшений до 4 МПа (4 кгс/см²). Це неймовірний результат, тому що він набагато краще, ніж рекомендоване значення. Такий підвищений гідравлічний опір може вплинути на ефективність роботи котла та вимагатиме уваги для забезпечення нормальної роботи системи.

Теплова напруга топкової камери котла в даному випадку складає 4 кВт/м³ або 235 000 ккал/(м³/год). Число подових пальників дорівнює числу панелей екранів, за винятком однієї. Це означає, що кожен екран котла має під собою пальник, але одна з панелей екрану не має прив'язаного до себе пальника.

Під вогневими каналами встановлено металевий лист з отворами. Це потрібно для розподілу повітря. Вентилятор має напір від 0,5 до 1 кПа (50-100 кгс/см²). Це обумовлено тим, що до пальників підводиться природний газ середнього тиску. Цей напір вказує на тиск, який генерується вентилятором для правильного подачі газу до пальників у системі опалення котла.

Тут зазначено, що висока швидкість димових газів та наявність пучка труб, які періодично омиваються поперек, із значним числом рядів, створили ситуацію, коли було необхідно встановити димосос із напором приблизно 1 кПа (100 кгс/см²). Такий димосос допомагає виносити дим та відводити гази з

системи, щоб забезпечити ефективну роботу котла. Напір у 1 кПа означає суттєвий тиск, який створюється для виведення диму та газів з системи котла [2].

На рис. 1.2 наведено котли ТВГ з різних сторін:

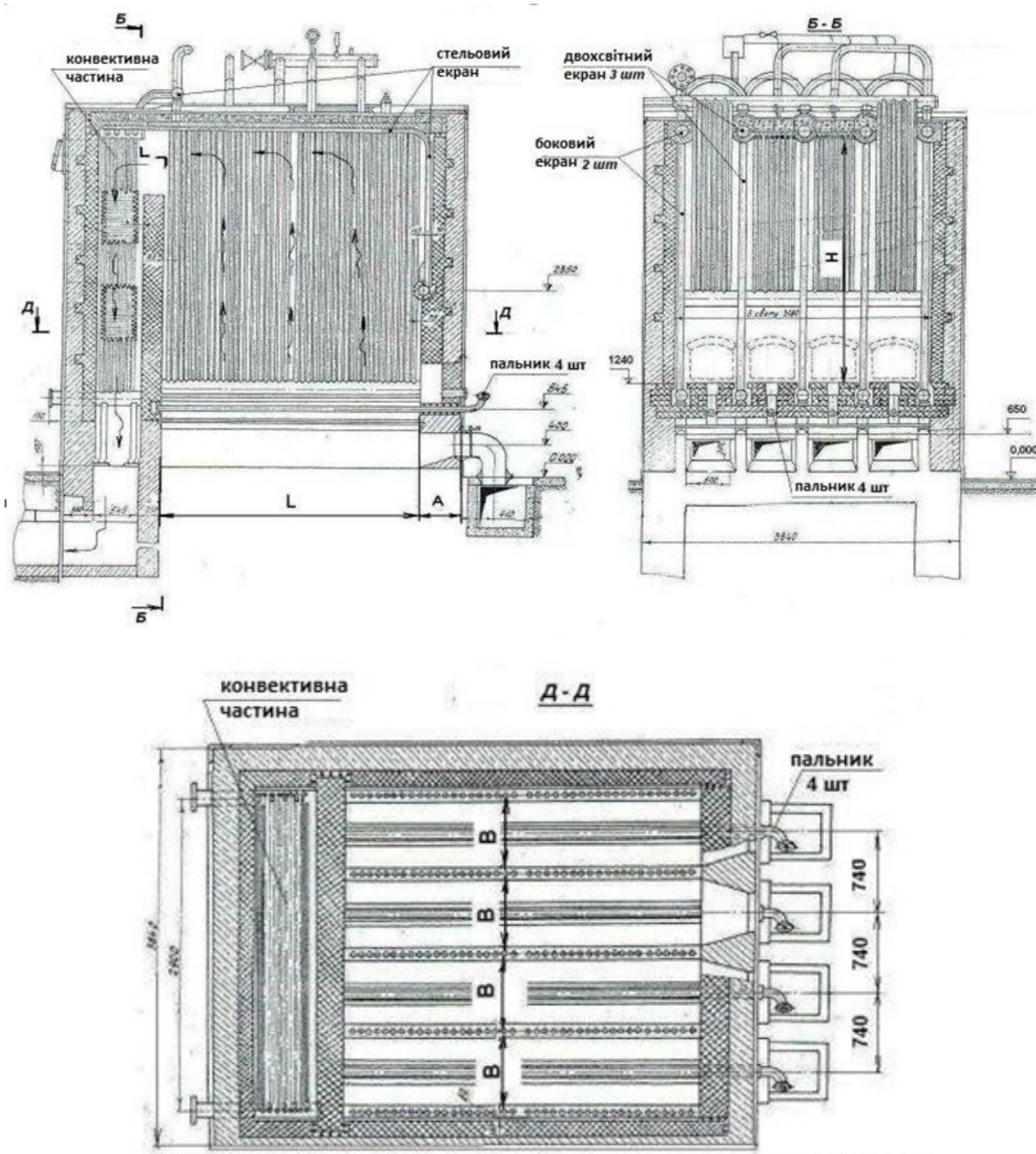


Рисунок 1.2 – котли ТВГ-4М і 8М

Отже, топка поділена на чотири відсіки двома світними екранами, де розміщені чотири подових пальника. Ширина кожного відсіку становить 740 мм. Також, кожен водогрійний котел цього типу має стельовий екран. Кожен

з цих екранів частково переходить у фронтальний екран. Кожен топковий екран, крім стельового, складається з верхнього і нижнього колекторів. В ці колектори уварені по 40 вертикальних труб діаметром 51 мм і товщиною стінки 2,5 мм. Така конструкція топкового екрана дозволяє відводити тепло від горіння та гарячих газів у вертикальних трубах, що складають конвективну частину котла [2].

Отже, верхні колектори кожного топкового екрана мають посередині перегородки. Це потрібно для створення двох ходів руху води. Стельовий екран складається з 32 труб (8×4). Їх діаметр 51 мм, а товщина стінки 2,5 мм. Зварені вони в передній нижній і задній верхній колектори.

У водогрійного котла ТВГ є конвективна частина нагріву. Вона складається з 2 секцій, в які входять верхні та нижні колектори. Ці колектори з'єднані між собою 8 стояками. Їх діаметр 51 мм, а товщина стінки 2,5 мм. Кожний стояк має чотири П-подібних змійовика. Їх діаметр 28 мм, товщина стінки 3 мм. Змійовики у шаховому порядку. А розташовані паралельно фронту котла. В стояках стоять перегородки. Вони забезпечують напрямок руху води по цих самих змійовиках.

Для спалювання газу використовуються подові пальники. Вони розміщені між вертикальними топковими екранами. У кожного пальника два ряди отворів. Їх діаметр 1,5 мм. А розташовані вони у шаховому порядку. Продукти горіння надходять з топки в конвективний газохід. Потрапляють вони туди через отвір, який знаходиться у верхній частині. Знаходиться цей отвір над розділовою стінкою. Його висота 800 мм.

На рис. 1.3 наведено технологічну схему котла ТВГ-8М:

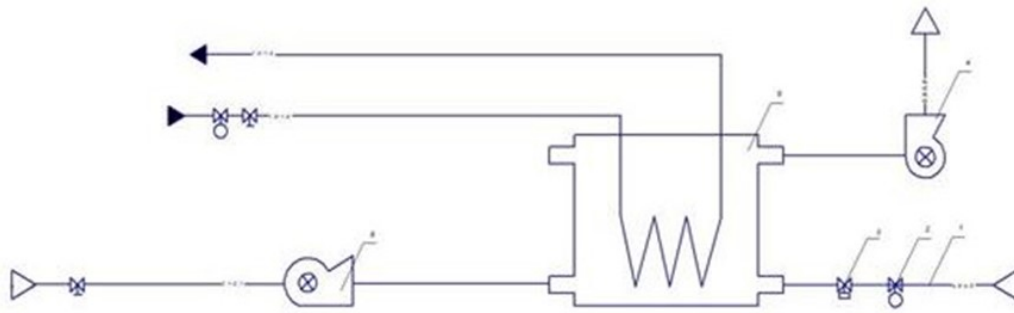


Рисунок 1.3 – Технологічна схема ТВГ-8М

У табл. 1.2 наведено позначення об'єктів керування котлом, які вказані на рис. 1.3.

Таблиця 1.2 – Об'єкти керування

Цифра	Об'єкт керування
1	Газопровід
2	Регулюючий клапан
3	Запобіжний клапан
4	Димосос
5	Котел
6	Повітренагрівач

На рис. 1.3 наведено схему переміщення води в котлі. Вода з тепломережі паралельно протікає в два колектора. Ці колектори знаходяться внизу конвективної частини котла. Після того як вода пройшла ці колектори, вона збирається у верхніх колекторах. Після верхніх колекторів вода рухається по трубах стельово-фронтального екрану. І після цього тече у нижній колектор стельового екрану [1,2].

Також, вода рухається по іншому ряду стельово-фронтальних труб. Після проходження через нижній колектор стельового екрану, вода збирається в верхньому колекторі. Далі пройшовши через лівий бічний односвітний екран і двосвітні екрани, вода потрапляє в тепломережу. Виходить вона з верхнього колектора правого бічного екрану. Топкові екрани організовані у формі секцій

з опускним та підйомним рухом води, які дозволяють воді пройти через відповідні частини системи опалення котла.

1.5 Економічність для котельної установки

Впровадження систем автоматизації може мати значний вплив на підвищення ефективності виробничих процесів. Ось деякі з переваг, які автоматизація може принести:

- 1) Підвищення продуктивності праці. Автоматизація дозволяє виконувати багато рутинних операцій швидше та ефективніше, вивільняючи ресурси для більш складних завдань.
- 2) Зменшення чисельності працівників. Певні завдання, які раніше вимагали великої кількості людей, зараз можуть бути автоматизовані, що може призвести до зменшення потреби в ручній праці.
- 3) Зниження страхових запасів. Автоматизація дозволяє точніше контролювати процеси виробництва, зменшуючи потребу в запасних частинах та матеріалах, оскільки можна більш точно передбачити потреби.
- 4) Зменшення обсягу незавершеного виробництва. Автоматизовані системи можуть допомогти зменшити час, необхідний для виготовлення продукції, та оптимізувати виробничі процеси, що знижує обсяг незавершеного виробництва.

В цілому, впровадження автоматизації дозволяє оптимізувати процеси та ресурси підприємства, що сприяє підвищенню ефективності та зниженню витрат.

Автоматизація керування, безумовно, потребує великих витрат на капітальні і експлуатаційні витрати, а також може вимагати інвестицій у навчання персоналу та управління системами. Перед впровадженням автоматизації виробничих процесів необхідно провести ретельний аналіз

економічної ефективності для обґрунтування доцільності таких великих витрат. Розрахунки економічної ефективності допомагають оцінити витрати та очікувані користи від автоматизації.

Обґрунтування економічної ефективності автоматизації керування вирішує дуже багато завдань:

- 1) Визначення ефективних напрямків автоматизації. Аналіз дозволяє ідентифікувати оптимальні напрямки автоматизації для окремих управлінських операцій та робіт.
- 2) Прогноз економічного вигоди. Передбачення можливих економічних вигод, які можуть бути досягнуті в результаті автоматизації, на конкретному підприємстві.
- 3) Оцінка термінів окупності. Розрахунок часу, необхідного для повернення витрат на систему автоматизації, та порівняння його з встановленими стандартами галузі.
- 4) Прийняття рішення про витрати. Визначення необхідності та доцільності витрат на створення та впровадження автоматизованих систем на кожному окремому об'єкті.
- 5) Вплив на показники підприємства. Аналізується вплив впровадження нових технологій у керування виробництвом на техніко-економічні показники діяльності підприємства.
- 6) Вибір оптимального варіанту АСУП. Вибір найбільш ефективного з економічної точки зору варіанту автоматизованої системи управління в цілому.

Ефективність автоматизації виявляється не лише на самому підприємстві, яке проходить автоматизацію, а й в його оточенні, у виробничій та суспільній сферах. Впровадження систем автоматизації може мати значний вплив на ефективність виробництва, якість продукції, управління ресурсами та зниження витрат. Однак, багато методик оцінки ефективності автоматизації зазвичай фокусуються на економічних вигодах самого підприємства, яке автоматизується [5].

Для оцінки ефективності автоматизації використовується широкий спектр техніко-економічних показників, включаючи методи порівняння та розрахунку припустимих показників. Це допомагає проектувальникам та фахівцям у системі зорієнтуватися на досягнення визначених цілей та параметрів для успішної реалізації проектів з автоматизації [2, 5].

Висновки до розділу 1

Можна зробити такий висновок по першому розділу, що дослідження принципу роботи газового водогрійного котла та його автоматизація – це ключові завдання у теплоенергетичній сфері. Розуміння принципів роботи котла дозволяє вдосконалити його функціонування та оптимізувати процеси опалення, а також підвищити економічність зробивши аналіз та розрахунок вже існуючих процесів.

Автоматизація у теплоенергетиці може включати в себе впровадження систем моніторингу та контролю параметрів котельної, автоматичне регулювання температури, тиску, подачі палива та інших важливих параметрів. Це дозволяє підтримувати оптимальний рівень роботи котла, забезпечуючи ефективне використання палива і зниження витрат енергії.

Розробка автоматизації ґрунтується на детальному аналізі існуючих процесів у котельні, враховуючи їхні особливості та потреби. Це включає аналіз параметрів опалення, ефективність горіння, теплові втрати, розподіл та контроль тиску та температури в системі, а також розрахунки для оптимізації споживання палива та забезпечення безперебійної роботи.

Цей підхід дозволяє покращити роботу котельні, знизити витрати на енергію та паливо, підвищити ефективність процесів та зменшити негативний вплив на довкілля шляхом оптимізації роботи котельної установки.

Мета роботи – забезпечення та підвищення рівня енергоефективності, технологічності, продуктивності та експлуатаційних характеристик котельної

установки.

Впровадження системи автоматичного контролю потрібно для більш точної якості параметрів водогрійних котлів та пошуку несправностей в роботі котельної установки.

2 АНАЛІЗ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ

2.1 Огляд і розробка функціональної схеми

В цьому розділі мова піде про функціональну схему автоматизації. Вона є ключовим документом, що визначає структуру та взаємодію різних систем у складі автоматичного контролю, керування та регулювання технологічного процесу. Вона описує функції, зв'язки та інтерфейси між різними блоками, приладами та засобами автоматизації, що дозволяє зрозуміти і керувати процесом виробництва з точністю та ефективністю [3].

На рис. 2.1 наведено функціональну схему автоматизації котла ТВГ-8М:

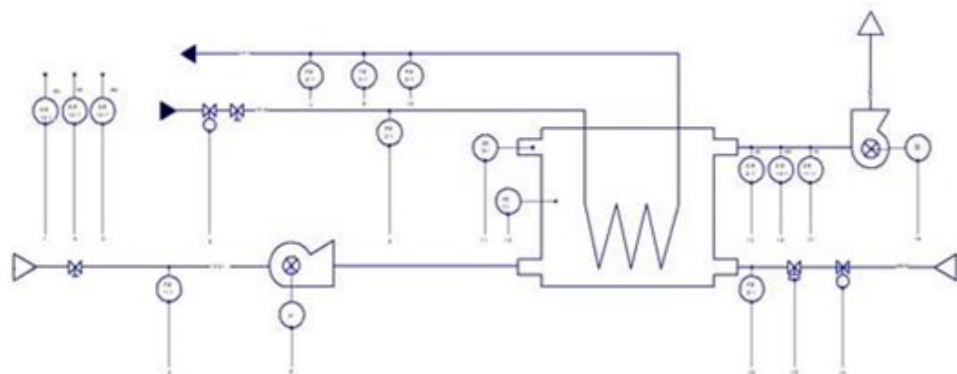


Рисунок 2.1 – Функціональна схема автоматизації

На рис. 2.1 показано функціональну схему, в якій присутні такі об'єкти керування як датчик температури, тиску, полум'я, датчик витрати та концентрації, кнопка, частотний перетворювач та магнітний пускач. Датчики знімають показники та за їх рахунок вже відбувається подальша дія. Частотний перетворювач змінює частоту електричного струму, а магнітний пускач вже керує живленням електродвигунів. Всі компоненти працюють

разом і залежать один від одного.

Ця схема використовує умовні позначення, що дозволяють узагальнити технологічні процеси та пристрої, які забезпечують контроль та регулювання. Умовні позначення спрощують зображення обладнання та приладів, відображаючи їх функції та зв'язки між собою. Літерні позначення вказують на контрольовані параметри та типи обробки, а їх розміщення дозволяє легше розібрати, які пристрої відповідають за конкретні функції. Групи приладів, що працюють разом, об'єднуються в контури контролю і регулювання, що допомагає відслідковувати логіку їх роботи та взаємодії.

Такі умовні позначення і символи на схемі дозволяють швидко і зрозуміло ідентифікувати та розмістити прилади в системі керування чи автоматизації. Окружні позначення з горизонтальним діаметром показують місце розташування приладу на щиті. Вони вказують на центральну чи місцеву установку. Буквені позначення підказують про передачу даних, які здійснюються з приладу чи датчика.

Розриви в безперервних лініях можуть бути помічені числовим кодом. Це вказує на адресу або розташування цього контуру в системі автоматизації. Цей метод адресації дозволяє операторам чи технікам легко визначати, які частини схеми відносяться до певних груп приладів чи контурів, що в подальшому полегшує їх роботу з обслуговування та налагодження системи.

2.2 Контур співвідношення газу і повітря

Контур співвідношення газу і повітря визначає пропорції цих двох складових у суміші. У великій мірі це стосується систем опалення, вентиляції або способів горіння палива в установках.

Контур співвідношення газу і повітря у котлі відіграє важливу роль у підтримці оптимального режиму спалювання газу. Коефіцієнт надлишку повітря визначається як співвідношення фактичної кількості повітря, яка

подається в топку котла, до мінімальної кількості повітря, необхідної для повного спалювання газу.

Це важливий параметр для підтримки оптимального режиму горіння, оскільки він впливає на ефективність спалювання палива. Занадто великий коефіцієнт надлишку повітря може призвести до зниження температури горіння, а, отже, і до зменшення ефективності процесу. З іншого боку, недостатній надлишок повітря може викликати неповне згорання палива, що призводить до утворення викидів, а також збільшення вмісту недопалених вуглеводнів у відпрацьованих газах.

Зміни витрати газу вимагають відповідних змін у витраті повітря для забезпечення оптимального співвідношення газу і повітря під час горіння.

Система регулювання співвідношення повітря і газу функціонує наступним чином: дифманометр і діафрагма вимірюють тиск газу, а давач тиску повітря перед топкою вимірює тиск повітря. Ці дані передаються на програмований логічний контролер (ПЛК), який враховує співвідношення цих значень [1, 2].

Зміна витрати газу вимагає від ПЛК відповідно змінювати витрату повітря. Це досягається за допомогою регулювання вентилятора, який подає повітря в топку. Якщо витрата газу зростає, система автоматично підвищує витрату повітря для забезпечення оптимального співвідношення газу і повітря для ефективного горіння. Те саме стосується й зменшення витрати газу.

Ця система регулювання дозволяє підтримувати оптимальні умови горіння при різних витратах газу, що є ключовим для забезпечення ефективності котла та економії палива [7].

2.3 Контур розрідження в топці котла

Регулювання розрідження в верхній частині топки має велике значення для ефективності горіння та економії палива. Підтримуючи оптимальний рівень

розрідження, можна уникнути присмоктування холодного повітря в топку, що може спричинити зниження температури горіння та неповне згорання палива.

Сигнал від датчика про розрідження в топці передається на програмований логічний контролер (ПЛК). На основі цього сигналу ПЛК регулює частоту обертання двигуна димососа. Збільшення чи зменшення частоти обертання двигуна дозволяє керувати рівнем розрідження в топці, а це в свою чергу впливає на ефективність горіння та уникнення неповного згорання палива [1].

Цей процес дозволяє підтримувати оптимальні умови горіння в топці, що є важливим для ефективної роботи котла та мінімізації викидів димових газів у навколишнє середовище.

2.4 Контур температури води на виході

Дана система, спроектована для підтримки температурного режиму води на виході з котла. Вона має ключовий компонент - датчик температури на виході з котла. Цей сигнал надсилається на програмований логічний контролер. На основі цих вхідних даних ПЛК керує роботою клапана, що регулює витрату газу перед пальником.

Ця система забезпечує контроль температури води на виході з котла шляхом регулювання витрати газу. При підвищенні температури води на виході з котла ПЛК зменшує витрату газу, щоб уникнути перегріву. Навпаки, при зниженні температури ПЛК може збільшувати витрату газу, щоб підтримати необхідний тепловий режим [1].

Така система дозволяє дотримуватися заданих параметрів температурного режиму та забезпечує стабільну роботу котла за рахунок автоматичного контролю за витратою газу відповідно до потреб системи опалення.

2.5 Технічні компоненти автоматизації

Врахування технічних характеристик і технологічних параметрів конкретного типу котла у процесі вибору технічних засобів автоматизації є критично важливим. Ось деякі аспекти:

- 1) Сумісність з котлом;
- 2) Вимоги до точності і швидкості;
- 3) Інтеграція з існуючим обладнанням;
- 4) Можливості налаштування і розширення;
- 5) Економічність та підтримка;
- 6) Безпека і надійність;
- 7) Управління та інтерфейси.

На рис. 2.2 наведено іонний датчик:



Рисунок 2.2 – Іонний датчик

Цей іонодатчик полум'я має на меті надати безпечний контроль наявності полум'я пальника в умовах роботи котла чи іншого обладнання. Датчик використовує контрольні електроди для виявлення наявності полум'я. Основна ідея полягає в тому, що наявність полум'я створює іонізований газовий потік між контрольними електродами, і цей потік інтерпретується як наявність полум'я.

Основні характеристики датчика:

- 1) Регульована чутливість. Можливість налаштування чутливості для виявлення слабких або сильних полум'яних сигналів.
- 2) Напруга живлення. Зазначений діапазон напруги живлення від 10 до 30 В дозволяє використовувати різні джерела живлення з урахуванням потреб датчика.
- 3) Вихід ІНД - відкритий колектор. Це означає, що вихідний сигнал з датчика це "відкритий" (немає навантаження на вихідному колекторі), що часто використовується для керування іншими системами чи датчиками.
- 4) Захист від пилу та вологи (IP65). Це важливий аспект, оскільки датчики, що використовуються в умовах експлуатації, де можливий контакт з вологою чи пилом, повинні мати високий рівень захисту.

На рис. 2.3 наведено газоаналізатор МАГ-6П-В:



Рисунок 2.3 – Газоаналізатор

Газоаналізатор МАГ-6П-В є багатокомпонентним приладом. Його основна функція - аналіз та вимірювання складу газових сумішей у реальному часі.

Основні характеристики датчика та його застосування:

- 1) Мультигазовий аналіз. Здатність аналізувати до чотирьох різних газів одночасно, що дозволяє контролювати концентрацію різних газів у середовищі.
- 2) Цілодобовий моніторинг. Забезпечення безперервного вимірювання протягом доби, що важливо для виявлення змін у концентрації газів з часом.
- 3) Аналіз різних компонентів. Здатність вимірювати концентрацію кількох газів одночасно, що є корисним для контролю сумішей газів у промислових процесах, медицині, охороні довкілля та інших сферах.
- 4) Точність та надійність. Одержані даними від газоаналізатора можуть бути важливими для забезпечення безпеки та ефективності в умовах, де контроль за складом газів є ключовим.
- 5) Застосування в різних галузях. Завдяки здатності аналізувати різні гази, такий газоаналізатор застосовується у промисловості, медицині, наукових дослідженнях та інших областях, де контроль за газами є важливим аспектом [13].

На рис. 2.4 наведено димосос ДН10:

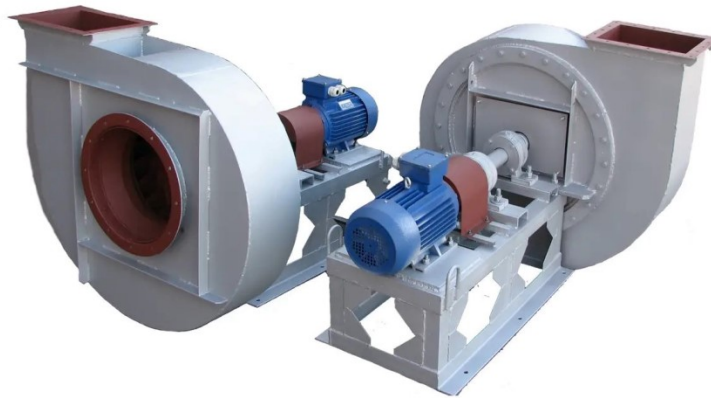


Рисунок 2.4 – Димосос

Димосос ДН 10 представляє собою досить велику витяжну установку, яка використовується для видалення диму або інших відпрацьованих газів з різних промислових чи виробничих об'єктів. Вона може мати різні конфігурації в залежності від потреб споживача та умов експлуатації.

Варіанти виготовлення димососів:

- 1) Пряме з'єднання з електродвигуном. Димосос додатково не потребує складних механізмів передачі потужності, оскільки вона працює від електродвигуна.
- 2) Через підшипниковий вузол. Цей варіант використовується, коли потрібно додаткову підтримку або опору для електродвигуна, щоб забезпечити більшу стабільність і продуктивність роботи димососа [14].

На рис. 2.5 наведено датчик температури ТГП-100ЕК:



Рисунок 2.5 – Датчик температури

Датчики температури, спеціалізовані на вимірюванні температури рідин і газів. Зазвичай використовуються для контролю та регулювання умов нагрівання або охолодження в окремих системах чи установках. Вони можуть бути використані для:

- 1) Моніторингу температури. Датчики дозволяють постійно вимірювати температуру рідин або газів у важливих точках системи.
- 2) Контролю температурних умов. Отримана інформація від датчиків може бути використана для автоматичного регулювання елементів системи, що впливають на нагрівання, зокрема обігрівачів або нагрівальні елементи, для забезпечення оптимальних умов.
- 3) Захисту системи. Контроль температури дозволяє уникнути перегріву чи занадто низьких температур, що може призвести до несправностей чи пошкоджень обладнання.

Манометричного термометра має діапазон вимірювання (-60°C – $+600^{\circ}\text{C}$), вимір тиску використовується для визначення температури. У такому приладі термобалон відчуває зміни тиску, спричинені зміною температури середовища, в якому він знаходиться. Ці зміни тиску перетворюються на відповідний вимір температури за допомогою внутрішнього механізму або шкали манометра, який дозволяє користувачеві оцінити температуру за показами тиску [15].

На рис. 2.6 наведено газовий клапан:

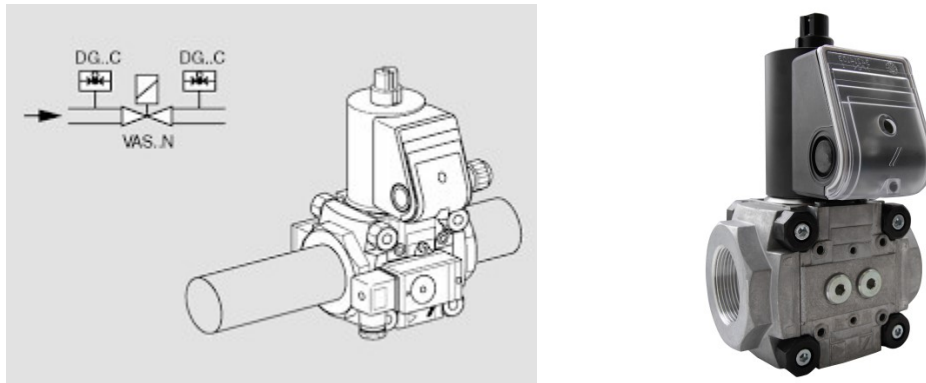


Рисунок 2.6 – Газовий клапан

Клапан Kromschroeder VAS є електромагнітним газовим клапаном, який використовується для керування потоком газу у газових системах. Цей клапан широко застосовується в промислових установках, де потрібно швидко відкриття або закриття газового потоку.

VAS має можливість швидкої реакції на сигнали управління, забезпечуючи безпеку та ефективність роботи системи. Це важливо, особливо в умовах, коли потрібно негайно припинити подачу газу в разі аварії чи небезпеки.

Газовий електромагнітний клапан VAS має специфічний механізм роботи, що дозволяє контролювати потік газу у системі. Під час його роботи, коли клапан знаходиться у закритому стані, електромагнітна котушка не активована, і затвор залишається у позиції, що блокує потік газу. Якщо подається змінна напруга через випрямляч, що має обмежувач напруги, то відбувається відкриття клапана. Це супроводжується запаленням сигнального світлодіода, що показує активування клапана. Електромагнітне поле, створене котушкою, змушує шток піднятися, відкриваючи клапан і дозволяючи газовому потоку пройти.

Після відключення електроживлення, коли сигнал припиняється, клапан залишається відкритим протягом деякого часу, поки пружина не поверне його у попередню позицію. Цей механізм дозволяє контролювати газовий потік і

забезпечує аварійне закриття клапана, якщо виникне відключення електроживлення або якщо необхідно негайно припинити подачу газу.

На рис. 2.7 наведено частотний перетворювач:



Рисунок 2.7 – Частотний перетворювач

Частотний перетворювач Altivar 38 — це пристрій, призначений для керування швидкістю обертання асинхронних двигунів. Він використовується для зміни частоти живлення та напруги, що подається на двигун, що дозволяє регулювати його швидкість і прискорення. Він сприяє ефективному використанню електроенергії та може допомогти зменшити витрати на експлуатацію завдяки точному контролю швидкості обертання двигунів. Altivar 38 використовується в промислових системах автоматизації та управління, де потрібна точна регуляція швидкості руху механізмів або обладнання.

Цей перетворювач може мати різні варіанти управління, включаючи кнопочове керування, аналогові сигнали або цифрове управління через протоколи зв'язку, такі як Modbus чи CANopen. Altivar 38 дозволяє програмувати різні режими роботи та параметри для оптимізації його функціонування відповідно до вимог конкретного процесу чи устаткування.

На рис. 2.8 наведено датчик тиску:



Рисунок 2.8 – Датчик тиску Сапфір-22М

Датчик тиску "Сапфір-22М" використовується для вимірювання тиску рідини, перепаду, газу і інше в різних промислових умовах. Він може працювати в широкому діапазоні тиску та відзначається високою точністю вимірювань.

Цей датчик має вбудований сенсор, який реагує на зміни тиску і перетворює їх на електричний сигнал. Одна з особливостей "Сапфір-22М" - висока стійкість до впливу зовнішніх чинників, таких як вологість, температура, тиск, та інші.

Цей датчик може застосовуватися в різних галузях промисловості, де потрібне точне та надійне вимірювання тиску для контролю процесів [16].

На рис. 2.9 наведено джерело живлення:



Рисунок 2.9 – Джерело живлення змінного струму

Це джерело струму призначене для подачі стабільного або контрольованого змінного струму для живлення електричних пристроїв, обладнання чи систем. Такі джерела живлення можуть мати різні технічні характеристики, включаючи потужність, напругу, частоту, типи інтерфейсів та захисту. Він має 24В вихідної напруги і 48Вт вихідної потужності.

На рис. 2.10 наведено промисловий контролер:



Рисунок 2.10 – Промисловий контролер

Контролер Lagoon-3140 — це промисловий комп'ютер або контрольна система, що застосовується в промислових середовищах для автоматизації та

керування різноманітними процесами або обладнанням.

Зазвичай промислові контролери мають ряд властивостей:

- 1) Надійність. Вони призначені для роботи в умовах високих температур, вологості, вібрацій та інших екстремальних умов.
- 2) Широкі можливості підключення. Можуть мати різні роз'єми та інтерфейси для підключення до різних пристроїв та мереж.
- 3) Висока продуктивність. Здатність обробляти великий потік даних та виконувати складні обчислення в реальному часі.
- 4) Сумісність з промисловими стандартами. Вони часто підтримують різні протоколи зв'язку та інші стандарти, специфічні для промислових систем [17].

На рис. 2.11 наведено вентилятор:



Рисунок 2.11 - Вентилятор

Це комплект KG Elektronik SP-05 LED, що включає вентилятор у вигляді турбіни та блок управління. Він призначений для вентиляції приміщення та нагнітання повітря в топку котла. Також він потрібен для автоматичного управління режимом роботи турбіни і циркуляційного насоса. Блок управління дозволяє користувачеві задавати потрібний режим роботи та контролювати

температуру.

Це комплексна система для оптимізації роботи опалювального пристрою чи котла, яка включає в себе вентилятор для забезпечення достатнього потоку повітря в топку для оптимального горіння, а також блок управління для автоматичного контролю та регулювання режимів роботи пристрою відповідно до установлених параметрів [19].

На рис. 2.12 наведено модуль аналогового вводу:

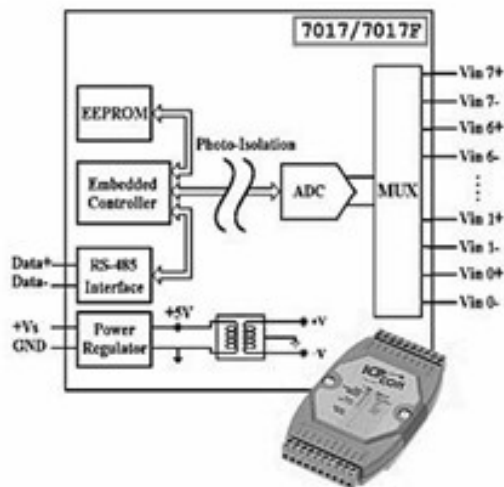


Рисунок 2.12 – Модуль аналогового вводу

Модуль I-7017 - це введено-вивідний модуль, який використовується в системах збору даних та автоматизації для моніторингу великої кількості вхідних сигналів.

Зазвичай він має кілька аналогових входів, призначених для зчитування сигналів різних типів, таких як температура, напруга або струм. Ці дані можуть бути зібрані з датчиків або інших джерел, які вимірюють аналогові значення, і подані на вхід модуля для подальшої обробки або зберігання.

Модуль I-7017 використовується для отримання точних даних з різних джерел, які вимірюють аналогові параметри, і подання цих даних на систему контролю для обробки, аналізу та можливого впливу на роботу інших пристроїв у системі автоматизації [17].

На рис. 2.13 наведено модуль аналогового виводу:

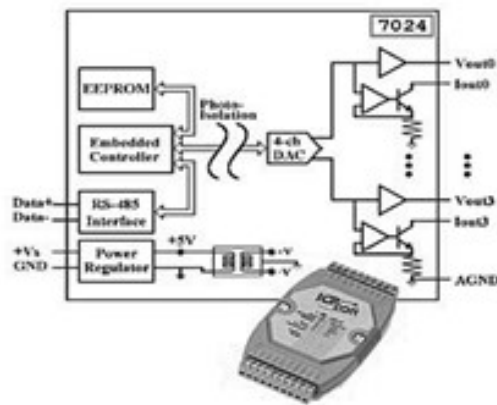


Рисунок 2.13 – Модуль аналогового виводу

Модуль I-7024 - це ще один з цифрових введено-вивідних модулів, який використовується для контролю та управління в системах автоматизації та контролю.

Зазвичай модуль I-7024 має в собі велику кількість цифрових входів. Він може бути призначений для підключення до різних типів сенсорів, вимикачів або інших пристроїв з цифровим сигналом. Його основна функція - збір і передача даних про стан цих зовнішніх пристроїв до системи контролю, де ці дані можуть бути оброблені та використані для прийняття рішень або автоматичного управління.

Цей модуль корисний у системах моніторингу, контролю за обладнанням та сенсорами, а також у сферах автоматизації, де потрібно збирати цифрові дані з багатьох джерел для подальшого аналізу та управління [17].

На рис. 2.14 наведено модуль дискретного вводу / виводу:

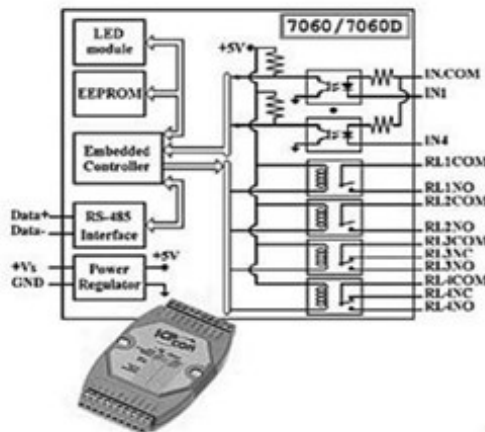


Рисунок 2.14 – Модуль дискретного вводу / виводу

Модуль I-7060 - це цифровий введено-вивідний модуль, який використовується для збору даних з цифрових джерел введення та виведення інформації в системах автоматизації або контролю.

Такі модулі можуть мати різноманітні цифрові входи та виходи для підключення до зовнішніх пристроїв, таких як сенсори, вимикачі, реле, лінії зв'язку тощо. Вони дозволяють контролювати стан зовнішніх пристроїв та передавати відповіді, які отримані з цих пристроїв, у систему.

Цей модуль може використовуватися у різних промислових, автоматизованих або контрольованих системах, де потрібен збір та передача цифрової інформації між зовнішніми пристроями та системою контролю [17].

На рис. 2.15 наведено датчик витрати води:



Рисунок 2.15 – Датчик витрати води

Цей датчик здійснює вимірювання витрати води. Він використовує ротор, який обертається при проходженні води крізь нього. Ротор зв'язаний з датчиком Холла, який генерує імпульси, що відповідають швидкості обертання. Ці імпульси передаються через жовтий провід до реєструючого пристрою, де можуть бути зчитані і використані для вимірювання кількості використаної води. Червоний провід - це живлення для живлення датчика, а чорний - заземлення, для стабільності роботи системи. Жовтий провід, що передає імпульси, є сигнальним проводом, який дозволяє передавати дані про витрату води до системи контролю або реєстрації.

На рис. 2.16 наведено датчик витрати газу:



Рисунок 2.16 – Датчик витрати газу

Під час функціонування цього датчика відбуваються зміни у температурі термодатчиків в залежності від потоку газу через вимірювальну камеру. Температура досягає 160C і вище. Коли потік газу дорівнює 0, вихідна напруга теж дорівнює 0. При потоку газу, термодатчик, який знаходиться першим – охолоджується, а той датчик, який стоїть на протилежній стороні – нагрівається. Завдяки цьому відбувається розбалансування. І тому на виході ми маємо напругу. А величина і знак пропорційні обсягу і напрямку газу. І відбувається все це завдяки проходженню через камеру датчика.

На рис. 2.17 наведено датчик витрати повітря:



Рисунок 2.17 – Датчик витрати повітря

Термодифференціальний масовий витратомір Thermatel моделі TA2 є компактным, але потужним пристроєм. Його задача – вимірювання масової витрати повітря. Він оснащений електронним блоком, який комбінує великі можливості з легкістю в експлуатації. Ця модель відома своїми високими експлуатаційними характеристиками і одночасно демонструє вражаючу економічність використання.

Завдяки своїй компактності та ефективності, він є відмінним вибором для точного вимірювання потоку повітря з мінімальними витратами енергії. Цей прилад може бути корисним у багатьох галузях, де потрібно точно виміряти масові витрати повітря, забезпечуючи надійність та високу ефективність процесу вимірювання.

На рис. 2.18 наведено регулюючий клапан:



Рисунок 2.18 – Регулюючий клапан

Belimo PIQCV є позиційним змішувальним клапаном, який використовується для точного та автоматизованого регулювання потоку рідини або повітря. Цей клапан забезпечує точний контроль температури, тиску або інших параметрів рідини в системах опалення, вентиляції, кондиціонування повітря та інших технологічних процесах.

PIQCV оснащений позиціонером, який регулює положення клапана відкритим або закритим шляхом для точного управління потоком рідини. Цей клапан може використовуватися в системах автоматизації, де потрібен точний контроль та регулювання потоку рідини відповідно до вимог системи [18].

2.6 Автоматичне регулювання і аналіз роботи системи

Система автоматичного регулювання котла має за мету зберігати стабільну температуру гарячої води на виході з котла. Це досягається за допомогою регулювання витрати газу, який постачається до котла через клапан. Змінюючи кількість газу, САР контролює рівень нагрівання води, щоб забезпечити виходження води з необхідною температурою в заданих межах.

На рис. 2.19 наведено схему регулювання температури води на виході з котла:

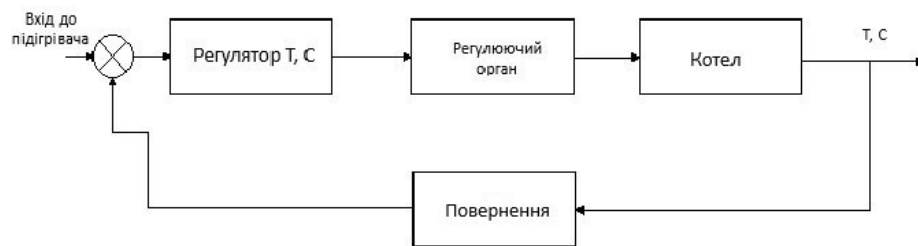


Рисунок 2.19 – Схема регулювання температури води на виході з котла

Виходячи з рис. 2.19 треба розрахувати передаточні функції:

- 1) Давач температури води на виході з котла. Діапазон вимірювання 0,3-1,8 МПа. Вихідний сигнал 4-20 мА.

$$W_1(p) = K_1 = (400+50) / (20-4) = 28 \text{ (C / мА)};$$

- 2) Регулятор температури води.

$$W_2(t) = k_t + k_i * 1/t + k_d t;$$

- 3) Регулюючий орган.

$$W_3(t) = k_3 / (T_3 t + 1)$$

Подається сигнал 0-10В. Мах витрата газу дорівнює 1100 м³/год. За 10 секунд клапан повністю відкривається.

Виходячи з цього, можна зробити наступне.

$$K_4 = F_{г} / U_c = 1100 / 10 * 3600 = 0.031 \text{ (м³/В*с)};$$

$$W_3(t) = 0.031 / (10t+1).$$

Провівши розрахунок можна побудувати розгінну характеристику котла.

Метод експериментального визначення динамічних характеристик об'єктів дозволяє отримати практичні дані щодо динаміки котла. Він полягає у проведенні реальних вимірювань і спостережень, щоб зібрати дані про реакцію котла на зміни в режимі роботи, температурі та інших параметрах. Це надає можливість отримати точні результати про динамічні властивості котла, такі як час реакції, стійкість до змін, амплітуда коливань та інші важливі параметри.

На рис. 2.20 наведено графік перехідного процесу на виході з котла:

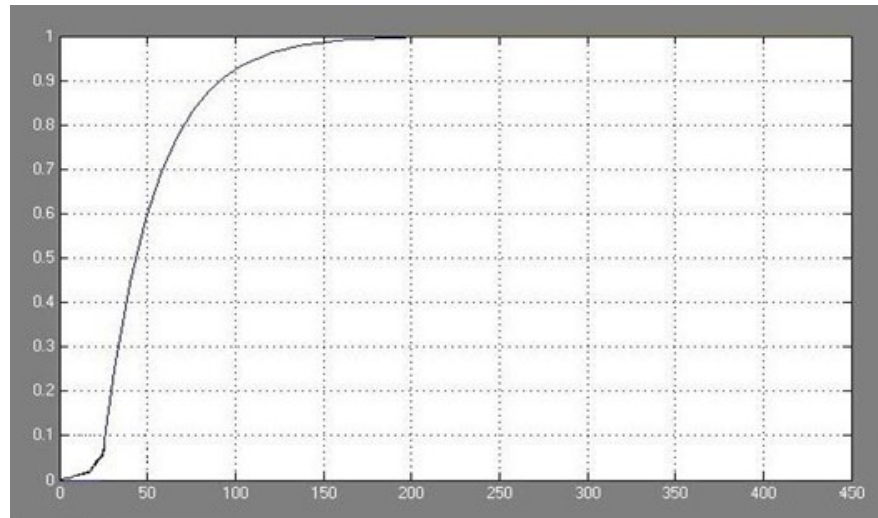


Рисунок 2.20 – Розгінна характеристика водяного котла

На рисунку 2.20 показано, як змінюється температура в залежності від того, яка кількість газу витрачається.

У табл. 2.2 наведено дані розігнаних характеристик, які вказані на рис. 2.20.

Таблиця 2.2 – Дані розігнаних характеристик

T,с	0	20	30	50	60	70	80	100	150
ΔP, МПа	0,000	0,0038	0,0325	0,61	0,064	0,0788	0,085	0,0922	0,0977
T,с	200	230	250	270	300	350	370	400	450
ΔP, МПа	0,0996	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1001	0,1001

Дана крива розгону має властивості перехідної характеристики системи із запізненням. Тому реальний перехідний процес $y(t)$ може бути наближено виражений як ділянка з запізненням та експоненційною функцією:

$$y(t) = kx(1 - e^{t/T}).$$

Якщо ми маємо характеристику, яка стабілізується на певному значенні, то проведенням прямої а через цю точку можна отримати лінію, що показує усталену характеристику. Подальше проведення дотичної прямої b до цієї

усталеної характеристики допоможе з'ясувати динаміку змін цього параметру в часі [2].

На рис. 2.21 наведено розгінну характеристику:

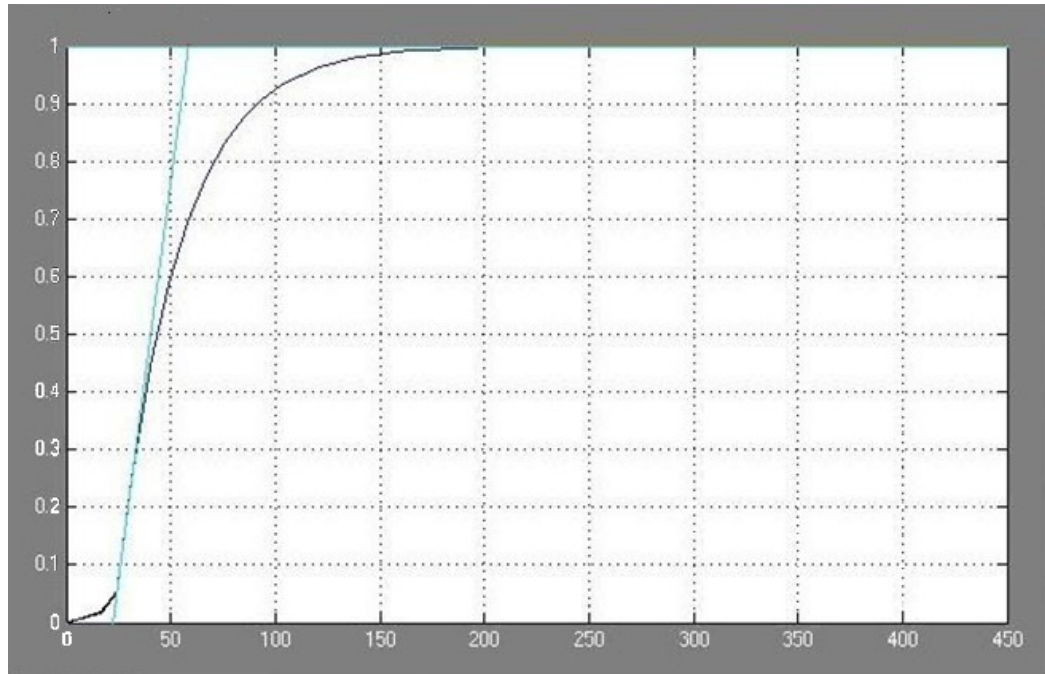


Рисунок 2.21 – Розгінна характеристика котла

Це означає, що під час аналізу характеристик об'єкта було виявлено, що його дії або зміни можна розглядати як комбінацію двох окремих елементів. Перший - це затримка відповіді, що характеризується часом запізнення τ . Другий елемент - це інерційна ланка першого порядку, яка визначається коефіцієнтом підсилення k і сталою часу T [2].

$$k_4 = 0,125 \cdot 10^6 \cdot 3600 / 22 = 20,5 \cdot 10^6 \text{ (Па} \cdot \text{с/м}^3\text{)}$$

Результати дослідження вказують на можливість виразити передавальну функцію котла у вигляді залежності між витратою газу та температурою води:

$$W_4(t) = (k_4 / (T_4 t + 1)) \cdot e^{-\tau t} = ((20,46 \cdot 10^6) / (61 t + 1)) \cdot e^{-20 t}$$

Тепер треба побудувати і промодельовати систему у програмі Matlab.

На рис. 2.22 наведено систему регулювання температури води на виході з котла:

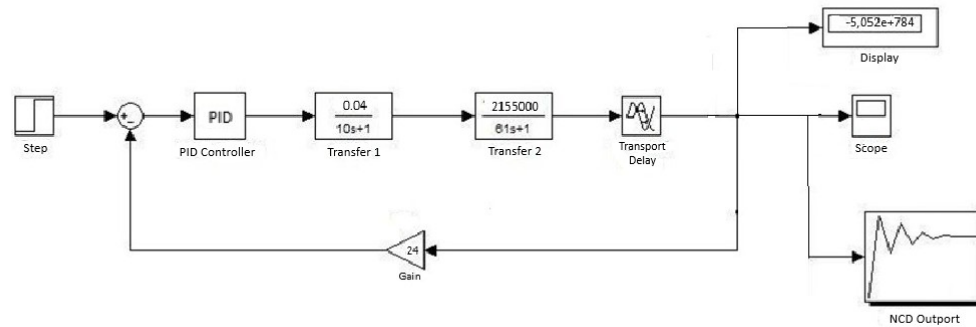


Рисунок 2.22 – Модель автоматичного регулювання температури

Користуючись блоками у Simulink для створення стрибкоподібного сигналу та оптимізації коефіцієнтів ПІД регулятора, виконуємо наступні кроки.

Додавання блоків:

- 1) Step блок. Встановлюємо значення стрибка на входному сигналі для тестування реакції системи на зміни. Визначаємо час початку та величину стрибка.
- 2) PID регулятор. Додаємо цей блок для керування вихідним сигналом, що йде до котла. Визначаємо початкові значення коефіцієнтів P, I та D.
- 3) NCD (Numerical Control Design). Цей блок використовується для оптимізації коефіцієнтів PID регулятора. Потрібно визначити функцію витрати, яку ми хочемо мінімізувати або максимізувати для оптимізації коефіцієнтів [2].

На рис. 2.23 наведено блок NCD Outport:

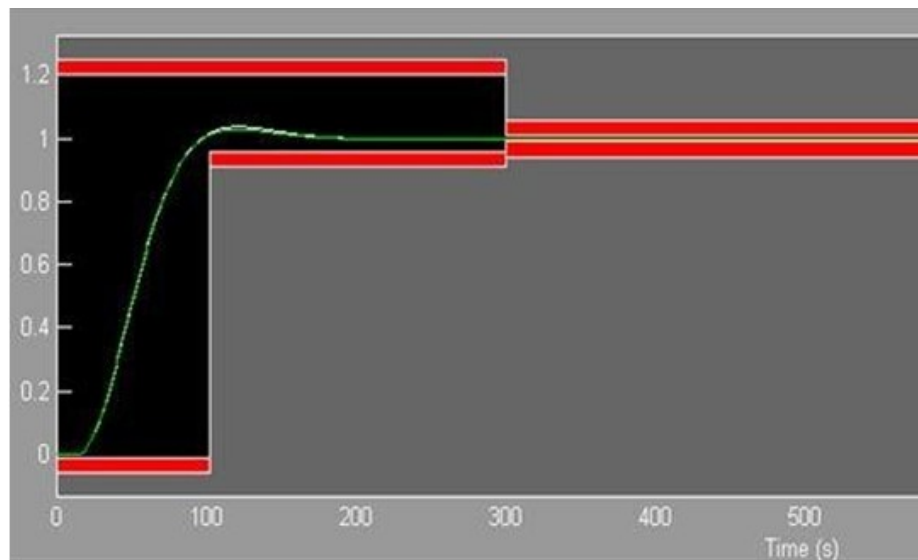


Рисунок 2.23 – NCD Output

На рис. 2.24 наведено оптимізовані значення коефіцієнтів PID Регулятора:

```
kd =
    1.8192e+11
ki =
   -1.5011e+13
kp =
    2.0866e+11
```

Рисунок 2.24 – Значення коефіцієнтів

Тепер можна підставити отримані коефіцієнти у PID регулятор. Оновлюємо значення і запускаємо моделювання.

На рис. 2.25 наведено перехідну характеристику САР температури:

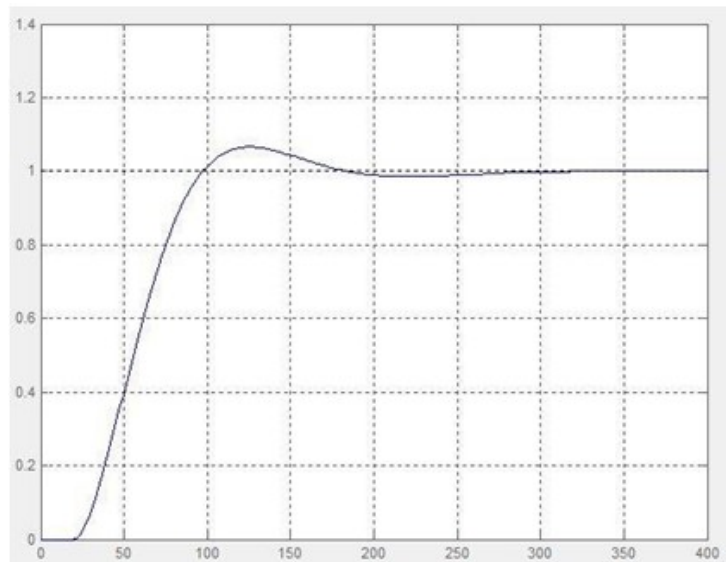


Рисунок 2.25 – Перехідна характеристика САР

Наша система керування має досить гарні показники:

- 1) Час регулювання ($t = 317\text{с}$);
- 2) Запізнення ($\tau = 20\text{с}$);
- 3) Перерегулювання ($\sigma = 13\%$);
- 4) Коливальність ($n=1$);
- 5) Усталена похибка = 0% [2].

2.7 Технічні засоби для очистки води

Вода, її якість та склад - це надзвичайно важливі аспекти для різних сфер, включаючи питну воду, промислове використання та процеси водоочищення. Ось деякі ключові показники якості води:

- 1) Жорсткість. Визначається кількістю розчинених у воді іонів кальцію та магнію. Велика жорсткість може викликати відкладення вапняних відкладень.
- 2) Лугність. Вказує на вміст основних речовин. Кисла або лужна вода може бути непридатною для споживання.

- 3) Сухий залишок. Це сума всіх твердих речовин, які залишаються після випарювання води.
- 4) Прозорість. Визначається кількістю та типом домішок у воді. Чиста вода повинна бути прозорою.
- 5) Наявність масел. Оцінюється наявність органічних речовин, таких як масла, які можуть бути шкідливими для споживання води.
- 6) Корозійно-активні гази. Оцінюються за наявністю водороду, кисню та інших газів, які можуть сприяти корозії металевих труб.

Жорстка вода, що містить велику кількість кальцію та магнію, може призводити до утворення накипу в системі опалення або котлів. Це може викликати такі проблеми:

- 1) Утворення накипу. Кальцій та магній, наявні в воді, виходять з розчину у вигляді відкладень (накипу) на внутрішній поверхні трубопроводів, барабанів і колекторів системи опалення або котла.
- 2) Погіршення теплопередачі. Накип та шлам мають низьку теплопровідність, що призводить до зменшення ефективності теплопередачі. Це може призвести до зниження рівня тепла, яке система може передати до обігріву приміщень або використовувати для гарячої води.
- 3) Зниження робочої ефективності. Накип може також утворювати перешкоди в трубопроводах та системі, що призводить до зниження робочої ефективності котла або системи опалення, а також до перебоїв у роботі.
- 4) Посилене зношення обладнання. Утворення накипу може викликати пошкодження та знос внутрішніх деталей системи, які можуть потребувати частішого обслуговування або заміни.

Для уникнення цих проблем рекомендується використовувати воду з меншою жорсткістю або встановлювати системи очищення та обслуговування, щоб уникнути утворення накипу та забруднення системи опалення чи котла.

2.8 Фільтр для пом'якшення води

Пом'якшення води - це процес видалення речовин, що спричиняють утворення накипу, таких як кальцій та магній, що зазвичай присутні у воді. Катіонітовий метод є одним із широко використовуваних способів пом'якшення води у теплових водогрійних котлах [9].

У катіонітових установках використовуються спеціальні фільтри, які допомагають видаляти домішки з води. Катіонітові фільтри працюють на принципі поглинання деяких іонів, таких як кальцій та магній, які є основними складовими для утворення накипу. Ці іони заміщуються іншими іонами з фільтру, які не сприяють утворенню накипу.

Катіонітові установки можуть використовуватися для обробки води перед її використанням у теплових водогрійних котлах, м'якіший склад води зменшує ризик утворення накипу та сприяє більш ефективному функціонуванню обладнання.

Катіонітовий фільтр має циліндричну форму і має сферичне дно. Функція На-катіонітового фільтра полягає в пом'якшенні води. А пом'якшення води – це видалення з неї кальцію та магнію. Процес завантаження катіоніту відбувається через верхній люк. Вивантаження відбувається через нижній люк.

Зазвичай висота катіонітного шару може досягати 3-4 метрів. Ця висота залежить від початкової жорсткості води. У нижній частині фільтра розміщується дренажний пристрій. Він включає в себе колектор та систему дренажних труб.

Вода потрапляє у верхню частину фільтра. Відбувається це через водорозподільний пристрій. Потім воді потрібно пройти через шар катіоніту. А вже після цього вода потрапляє у деаераційну колонку через дренажний пристрій. Після цього вона подається до бака живильної води. Такий процес допомагає видалити солі жорсткості та підготувати воду для подальшого використання [15].

На рис. 2.26 наведено схему паралельноточного фільтра ФІП 1:

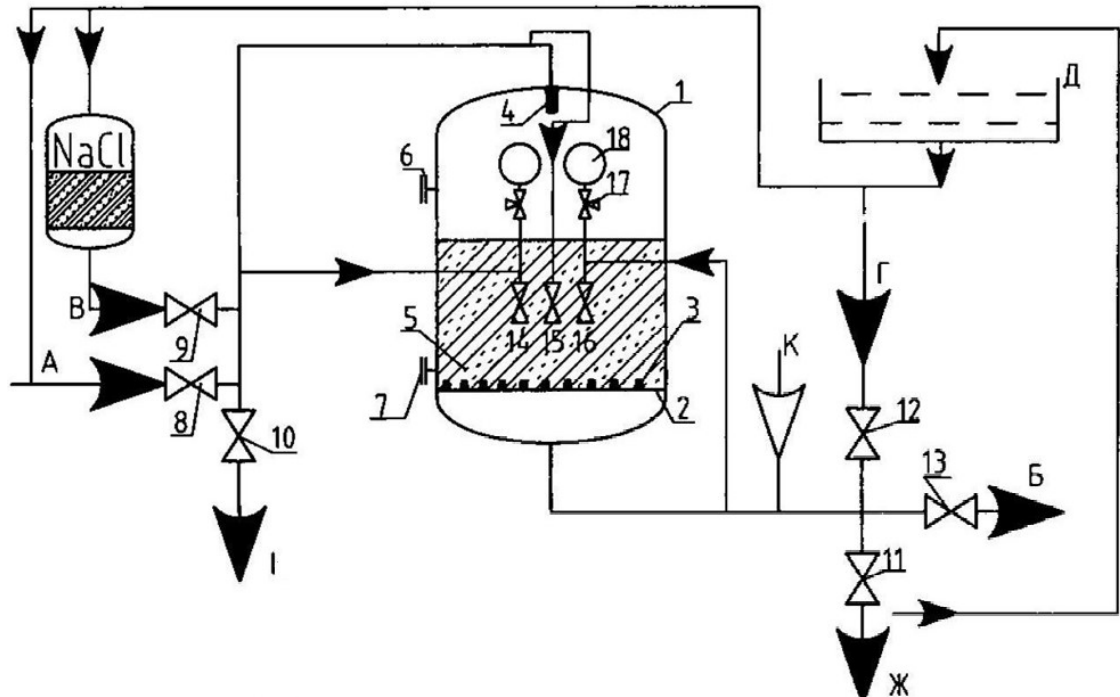


Рисунок 2.26 – Паралельноточний фільтр

У табл. 2.3 наведено позначення вводів та виводів у фільтраційній системі показаної на рис. 2.26

Таблиця 2.3 – Фільтраційний ввід / вивід системи

Буква	Ввід / вивід
А	Підведення вихідної і відмивочної води
Б	Відведення обробленої води
В	Підвод регенераційних розчинів
Г	Підведення розпушують води
Д	Бак відмивочної води
І	Відведення розпушують води
Ж	Відведення регенераційних розчинів, відмив очної води та першого фільтру
К	Підвод стисненого повітря

2.9 Деаератор

Деаерація - це процес видалення розчинених газів з рідини, який в основному використовується для води. Під час цього процесу з води видаляють кисень та інші гази, що можуть бути розчинені в ній. Такий процес здійснюється шляхом нагрівання води та відведення газів за допомогою вакууму або інших методів, забезпечуючи зниження концентрації розчинених газів у воді. Нагрів води відбувається при температурі не менше 55°C. Потім потрапляє у спеціальну колонку, де розбризкується через дірчасті тарілки. Цей процес створює велику площу контакту між водою та газовою фазою, що сприяє швидкому видаленню газів з води.

Для створення вакууму використовуються ежектори, які допомагають відсмоктувати випари з деаератора. Робочий тиск в деаераторі підтримується на рівні приблизно 2 атмосфери, що сприяє більш ефективному видаленню газів з води.

На рис. 2.27 наведено схему деаератора:

Дуже важливе регулювання витрати випару для досягнення певних концентрацій розчинених газів у воді. Збалансована витрата випару в деаераційній системі допомагає досягти певного рівня очищення води від кисню та CO₂. Гідравлічне навантаження, яке також вказано, впливає на ефективність процесу видалення газів і може змінюватися залежно від різних факторів, таких як конструкція системи та потреби в конкретній глибині очищення.

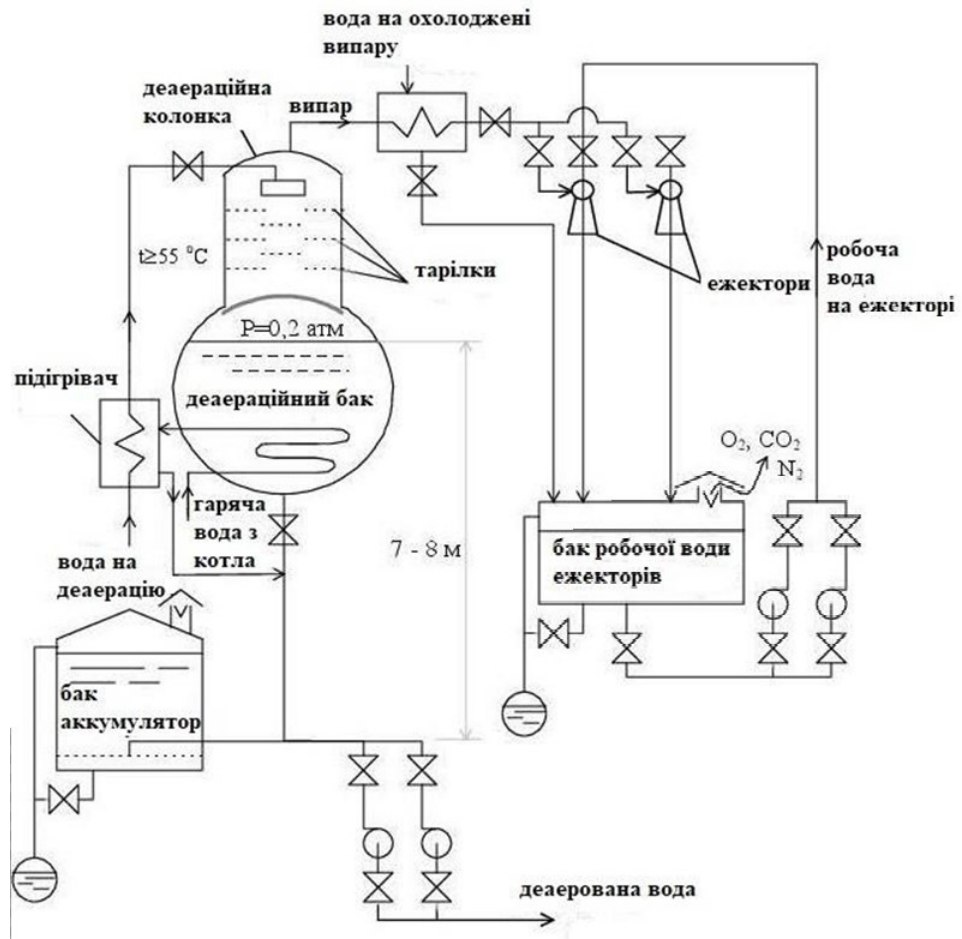


Рисунок 2.27 – Схема деаератора

На рис. 2.28 наведено деаератор:



Рисунок 2.28 - Деаератор

Висновки до розділу 2

Можна зробити такий висновок, що другий розділ націлений на створення схеми, яка автоматизує роботу котельної установки. Вибрані найкращі технічні засоби для автоматизації. І вибрані засоби очищення води. Також були розраховані параметри автоматичного регулювання, щоб оцінити, як система працює. Це дозволяє нам зрозуміти, які аспекти котельні впливають на її функціонування, перш ніж впроваджувати автоматизацію. Комп'ютерне моделювання було використано для порівняльного аналізу та визначення оптимальних рішень.

Такий підхід дозволяє зрозуміти, які конкретні параметри та характеристики котельні впливають на її функціонування.

Щодо розрахунків, то їх можна знайти в ДОДАТКУ Б.

3 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ

3.1 Розробка SCADA-системи

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition - диспетчерський контроль і збір даних) - це система, що використовується в промислових умовах для моніторингу та управління процесами. Вона дозволяє збирати та візуалізувати дані в режимі реального часу з різних пристроїв, таких як датчики, насоси, клапани та інше обладнання. Основна мета полягає в управлінні, аналізі та взаємодії з даними для забезпечення ефективного та безпечного протікання промислових процесів.

Системи SCADA складаються з:

- 1) Людино-машинний інтерфейс (HMI). Цей інтерфейс дозволяє операторам або інженерам візуалізувати дані, зібрані з різних датчиків і пристроїв, у вигляді графіків, діаграм і звітів. Це зручний інтерфейс, який відображає інформацію про стан системи.
- 2) Збір даних. SCADA-системи збирають дані з віддалених пристроїв, використовуючи різні протоколи зв'язку. Ці дані можуть включати температуру, тиск, швидкість потоку та інші параметри, що мають відношення до промислового процесу.
- 3) Контроль і автоматизація. На основі отриманих даних системи SCADA дозволяють користувачам керувати промисловими процесами. Це дозволяє дистанційно керувати, встановлювати параметри, надсилати команди та автоматизувати певні дії на основі заздалегідь визначених умов.
- 4) Сигналізація та сповіщення. Системи SCADA запускають попередження і повідомлення при досягненні певних порогових значень або заздалегідь визначених умов, дозволяючи операторам

вживати негайних заходів у разі виникнення аномалій або критичних ситуацій.

- 5) Реєстрація та аналіз даних. Системи SCADA записують і зберігають дані для історичного аналізу. Ця інформація має вирішальне значення для оцінки продуктивності, аналізу тенденцій і прийняття обґрунтованих рішень щодо вдосконалення процесів.

Історія SCADA налічує кілька десятиліть, коли вона була розроблена для моніторингу та управління інфраструктурою, наприклад, електростанціями, водоочисними спорудами та виробничими підрозділами. З часом вона еволюціонувала з розвитком технологій, стаючи все більш досконалою, безпечною та адаптованою до різних галузей промисловості.

Її універсальність і здатність оптимізувати процеси, підвищувати ефективність і надавати інформацію в режимі реального часу роблять SCADA життєво важливим інструментом у всіх галузях, де точний моніторинг і управління промисловими процесами мають важливе значення.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) система з'явилася у середині 20 століття. Вона виникла з потреби у керуванні та моніторингу виробничих процесів у промисловості. Перші системи SCADA використовувалися для збору даних з датчиків та контролю за промисловими процесами у реальному часі.

Розробка системи SCADA була результатом впровадження комп'ютерів у виробничі процеси. Перші системи SCADA дозволяли операторам віддалено керувати та моніторити обладнання з центрального місця. Вони були спрямовані на покращення ефективності та надійності виробництва, спрощення моніторингу, а також покращення управління.

Системи SCADA створені для збору, візуалізації, аналізу даних з об'єктів у реальному часі, вони дають можливість операторам віддалено керувати обладнанням, отримувати інформацію про стан процесів, управляти системами та моніторити їх роботу. Такі системи широко застосовуються у промислових об'єктах, енергетиці, транспорті, водопостачанні та інших сферах, де важлива

віддалена моніторинг та керування великими системами або об'єктами.

Системи SCADA еволюціонували з часом, що призвело до появи різних версій та ітерацій, розроблених різними компаніями. Деякі популярні версії та платформи SCADA включають:

- 1) Wonderware. Відома своїм зручним інтерфейсом і гнучкістю, Wonderware пропонує різні програмні рішення SCADA, адаптовані для різних галузей промисловості.
- 2) Ignition SCADA. Ця платформа забезпечує модульну веб-систему SCADA, яка добре інтегрується з іншими промисловими системами і дозволяє гнучке розгортання.
- 3) Siemens WinCC. Розроблена компанією Siemens, WinCC - це масштабована SCADA-система, яка використовується в різних галузях промисловості, пропонує потужні можливості візуалізації та надійну функціональність.
- 4) GE Digital iFIX. iFIX - популярна SCADA-платформа, що пропонує моніторинг і управління в режимі реального часу, що дозволяє користувачам оптимізувати процеси в різних галузях промисловості.
- 5) Rockwell Automation FactoryTalk View: Цей програмний пакет SCADA від Rockwell Automation надає ряд рішень для візуалізації, реєстрації даних і моніторингу системи.
- 6) AVEVA SCADA. AVEVA пропонує рішення SCADA для різних галузей, зосереджуючись на управлінні продуктивністю в режимі реального часу, аналітиці та візуалізації даних.

Ці версії та платформи програмного забезпечення SCADA відрізняються за функціями, сумісністю з різним промисловим обладнанням, масштабованістю, заходами безпеки та користувацьким інтерфейсом, задовольняючи специфічні потреби різних галузей та застосувань.

АСУ ТП означає "Автоматизована система управління технологічним процесом". Це комплексний набір обладнання, програмного забезпечення та технічних рішень, які призначені для автоматизації, контролю, інтеграції та

управління різноманітними технологічними процесами в промислових, виробничих та інженерних об'єктах.

Така система дозволяє в реальному часі збирати дані з датчиків та пристроїв, візуалізувати їх на інтерфейсі оператора, здійснювати автоматичний або керований контроль за роботою обладнання, виконувати регулювання параметрів, а також проводити аналізи й оптимізацію роботи технологічного процесу.

АСУ ТП широко використовується в енергетиці, виробництві, промисловості та інших галузях, де потрібне комплексне керування складними технологічними системами. Вона сприяє підвищенню продуктивності, ефективності виробництва, зниженню витрат та покращенню управління технологічними процесами.

На рис. 3.1 показано SCADA-систему технологічного процесу:

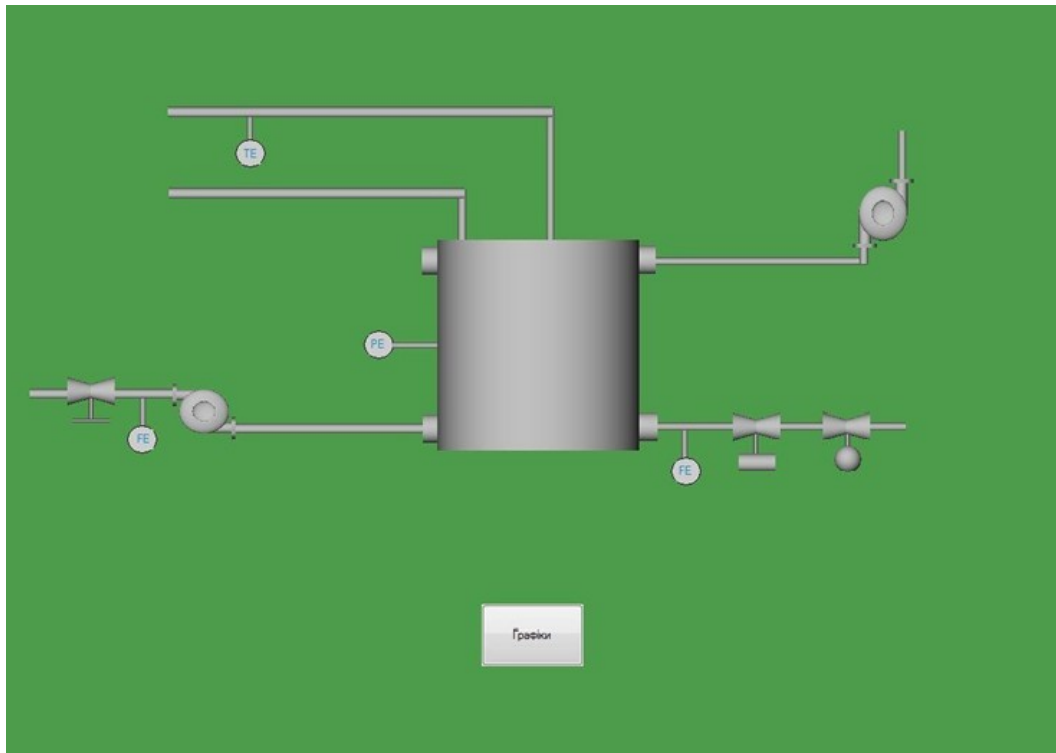


Рисунок 3.1 – Схема технологічного процесу

На рис. 3.2 показано графіки технологічного процесу, отримані при запуску систему, яку показано на рис. 3.1:

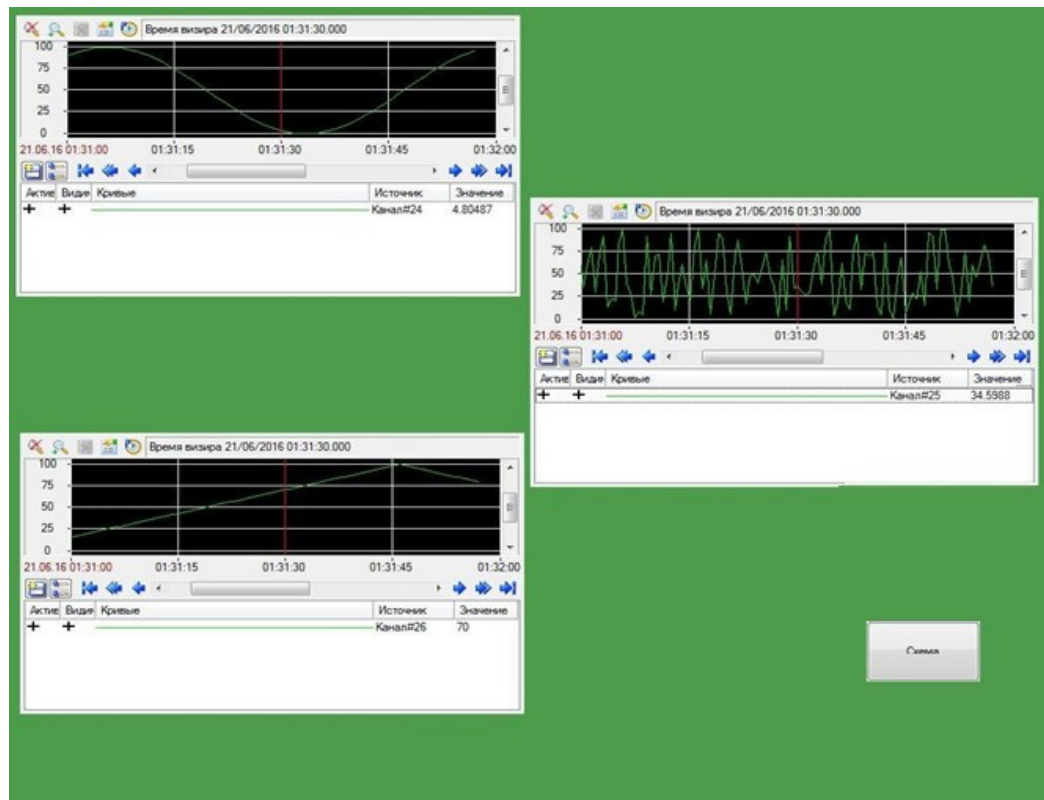


Рисунок 3.2 – Графіки технологічного процесу

На графіках показуються зміни контрольованих параметрів. На них представлені числові дані про різні параметри технологічного процесу. Це зображення зміни температури, тиску та витрат у певний час.

Також на цьому екрані можуть бути розміщені різні графіки, які дозволяють операторам спостерігати за динамікою змін параметрів у вигляді лінійних графіків, стовпчикових діаграм або інших форм візуалізації. Це допомагає операторам аналізувати та контролювати динаміку процесу в реальному часі.

3.2 Економічна ефективність та автоматична система управління

Так, сьогодні автоматизація управління виробничими процесами має за мету оптимізацію виробничих процесів через зменшення витрат та підвищення ефективності. Це досягається шляхом зменшення кількості ручної праці,

використання різноманітних систем автоматизації, що дозволяють замінити людські операції на автоматичні, більш продуктивні та точні. Це також дозволяє знизити обсяг незавершеного виробництва та скоротити час виготовлення продукції, що впливає на загальну продуктивність підприємства.

Автоматизація керування вимагає значних витрат. Ці витрати включають і капітальні і експлуатаційні вкладення, а також витрати на навчання персоналу. Оцінка доцільності впровадження автоматизації часто базується на розрахунках економічної ефективності. Це означає, що аналізується, чи будуть здійснені витрати компенсовані економією, яку надасть автоматизація. Такий аналіз зазвичай включає оцінку витрат на впровадження, очікувані економічні переваги, строк окупності і загальний вплив на фінансові показники підприємства [20].

Аналіз економічної ефективності автоматизації керування допомагає вирішити різні завдання, включаючи:

- 1) Визначення пріоритетних напрямків автоматизації. Аналізуючи окремі завдання, можна встановити, які з них найбільш ефективно автоматизувати для досягнення оптимальних результатів.
- 2) Прогноз економічних переваг. Виявлення можливого річного економічного виграшу, що надається автоматизацією на підприємстві.
- 3) Визначення капітальних вкладень. Розуміння того, скільки потрібно інвестувати в систему автоматизації керування.
- 4) Розрахунок терміну окупності. Визначення того, за який час витрати на автоматизацію повернуться через економічні вигоди.
- 5) Оцінка необхідності і доцільності витрат. Встановлення того, чи варто і скільки коштів витрачати на автоматизацію кожного об'єкту.
- 6) Вплив нової технології на діяльність підприємства: Розуміння того, як автоматизація вплине на економічні показники підприємства.
- 7) Вибір оптимальної системи автоматизації. Визначення найбільш ефективної системи автоматизованого управління в цілому.

- 8) Планування робіт з автоматизації. Визначення порядку проведення робіт з автоматизації керування.
- 9) Порівняння з іншими заходами. Порівняння ефективності автоматизації з іншими новими технічними заходами.

Ефективність автоматизації систем управління проявляється не лише в економічній сфері підприємства, де вона застосовується, але і в інших сферах. Окрім очевидної економічної вигоди, система автоматизації може впливати на ефективність виробництва, забезпечуючи кращий контроль та оптимізацію процесів, зменшення втрат часу і ресурсів. Вона також може впливати на управлінські процедури, сприяючи швидкому прийняттю рішень на основі точних та актуальних даних. Такі системи можуть покращувати якість продукції, знижувати рівень відходів, сприяти безпеці праці, а також впливати на загальний розвиток технологій у даній сфері промисловості. Отже, вплив систем автоматизації управління може виявлятися в багатьох аспектах, включаючи як економічні, так і виробничі аспекти, а також управлінські і технологічні показники на рівні підприємства і його взаємодії з оточуючим середовищем [21].

В оцінці ефективності систем автоматизації управління використовуються різні методики, що базуються на порівнянні різних умов: до та після впровадження системи автоматизації. Ці порівняння дають можливість оцінити вплив автоматизації на ефективність підприємства чи процесу.

Оцінка ефективності проводиться шляхом порівняння ключових показників: витрат, продуктивності, якості, прибутковості тощо в режимі "до" та "після" впровадження системи автоматизації. Це дає можливість оцінити реальний вплив автоматизації на роботу підприємства чи процесу.

Методи порівняння можуть включати різні показники, такі як зменшення витрат, підвищення продуктивності, збільшення якості продукції або послуг, скорочення часу виготовлення, зниження кількості відходів тощо. Оцінка припускає можливий перехід від стану "до автоматизації" до "після автоматизації", що дозволяє визначити саме вплив автоматизації на показники

ефективності [20].

Розробка та впровадження системи автоматизації управління зазвичай потребує значних єдиночасних витрат. Ці витрати можуть включати кілька складових:

- 1) Попередні витрати. Це витрати, пов'язані з попередніми дослідженнями, аналізом, розробкою концепції та проектуванням системи автоматизації.
- 2) Капітальні витрати. Це витрати на обладнання (комп'ютери, пристрої зв'язку, програмне забезпечення), а також можуть включати будівництво або модернізацію приміщень для розміщення обладнання.
- 3) Витрати на підготовку кадрів. Навчання персоналу для роботи з новою системою, переосвіта чи навчання нових навичок для використання технології.
- 4) Зміна оборотних коштів. Це включає витрати, пов'язані зі змінами у виробничому процесі, змінами в складі запасів чи інвентаря для впровадження системи.

Ці витрати враховуються при плануванні та обґрунтуванні впровадження системи автоматизації, оскільки вони можуть мати значний вплив на фінансові показники та результативність управління.

Ефективність автоматизованої системи управління (АСУ) оцінюється через зіставлення отриманих результатів від її функціонування з витратами. Це є необхідним для створення та підтримки цієї системи. Цей підхід дозволяє зрозуміти, наскільки ефективно витрачені ресурси у порівнянні з досягнутими результатами.

Оцінка ефективності включає в себе:

- 1) Аналіз результатів. Це оцінка отриманих результатів від функціонування системи. Це може включати покращення у продуктивності, збільшення якості продукції або послуг, зменшення витрат або підвищення надійності управління.

- 2) Вартість впровадження. Це оцінка всіх витрат на створення та запуск системи, таких як витрати на обладнання, розробку програмного забезпечення, навчання персоналу, інфраструктуру тощо.
- 3) Ефективність витрат. Аналіз того, наскільки ефективно витрачені ресурси. Це включає розгляд витрат на протязі всього циклу використання системи, включаючи витрати на підтримку, модернізацію та обслуговування.

Оцінка ефективності дає можливість зрозуміти, чи були витрати, зроблені на впровадження автоматизованої системи управління, виправданими з точки зору отриманих результатів та користі для підприємства чи організації [23].

Оцінка ефективності системи управління (АСУ) відбувається через порівняння ефективності і витрат. Це дозволяє визначити доцільність створення, функціонування та розвитку АСУ. Також це дозволяє вибрати найбільш вигідний варіант, з точки зору економічності, розробки та впровадження системи.

Порівняння "ефективності-витрат" оцінює рівень досягнутої ефективності системи управління відносно витрат, які були зроблені на розробку, впровадження та підтримку цієї системи. Оцінка включає в себе ряд критеріїв та показників, таких як покращення продуктивності, економія витрат, збільшення якості продукції чи послуг, зменшення часу виробництва та інші.

Цей метод оцінки дозволяє визначити ефективність і доцільність впровадження системи управління, порівняти різні варіанти розробки та вибрати оптимальний, що найбільше відповідає бізнес-потреbam і при цьому забезпечує максимальну користь від витрачених ресурсів.

Оцінюючи економічну ефективність автоматизованих систем управління, можна використовувати різні показники для узагальнення результатів.

Узагальнюючі показники це ті, що об'єднують інформацію з різних аспектів функціонування системи в один показник. Наприклад, рентабельність інвестицій, внутрішня норма доходності, амортизаційні витрати, загальна вартість володіння (ТСО), прибуток до витрат і так далі. Ці показники дають

узагальнену оцінку ефективності відносно різних факторів, які враховуються при функціонуванні АСУ.

Загальні часткові показники, натомість, оцінюють ефективність АСУ з певного погляду або параметра, наприклад, час ефективності втрат робочого часу, ефективність використання обладнання, чи показники якості продукції, отриманої за допомогою автоматизації.

Обидва типи показників корисні для отримання повного уявлення про те, як АСУ впливає на ефективність підприємства з різних точок зору.

Річний економічний ефект, який може бути розрахунковим та фактичним, є одним із ключових показників ефективності систем управління. Цей показник відображає зміни в економічних показниках підприємства через впровадження АСУ протягом року.

Розрахунковий економічний ефект оцінюється на етапі планування і передбачає прогнозовані показники ефективності, що повинні бути досягнуті в результаті впровадження системи. Фактичний економічний ефект визначається після фактичного впровадження АСУ і базується на реальних показниках, які були досягнуті у результаті функціонування системи.

Ці два показники порівнюються для оцінки того, наскільки впровадження АСУ відповідає прогнозам та як воно вплинуло на економічні результати підприємства.

Розрахунковий річний економічний ефект оцінюється як різниця між очікуваною економією, яку прогнозується в результаті впровадження АСУ, та витратами, пов'язаними з розробкою та впровадженням самої системи.

Цей показник є важливим, оскільки він дозволяє оцінити плановані економічні переваги від впровадження АСУ порівняно з витратами, необхідними для реалізації цієї системи. Ця оцінка допомагає здійснити обґрунтований рішення щодо цілком ефективного використання ресурсів та інвестицій в АСУ [21].

Для досягнення цілей з підвищення ефективності треба розглянути кілька можливих заходів:

- 1) Енергоефективні технології. Впровадження сучасних технологій, які споживають менше енергії, або удосконалення існуючих процесів, щоб зменшити споживання природного газу на одиницю продукції.
- 2) Оптимізація процесів. Вивчення технологічних процесів котельні для зменшення втрат продукції, використання більш ефективних методів управління та обслуговування обладнання.
- 3) Моніторинг та управління. Удосконалення системи обліку параметрів енергопостачання для точнішого контролю та управління споживанням енергії.
- 4) Регулярний технічний огляд. Проведення регулярних технічних оглядів для виявлення можливостей оптимізації та підвищення ефективності обладнання.
- 5) Впровадження системи моніторингу та контролю. Застосування сучасних систем моніторингу та управління для постійного відстеження рівня споживання енергії та вчасного реагування на відхилення.

Ці заходи спрямовані на покращення продуктивності, зменшення витрат сировини і підвищення енергоефективності котельні. Вони можуть сприяти зменшенню втрат та оптимізації процесів, що відобразиться на ефективності її роботи.

Впровадження системи автоматизації управління технологічними процесами (АСУ ТП) може суттєво підвищити ефективність роботи котельні. За допомогою цієї системи можна автоматизувати контроль, управління та моніторинг параметрів, що впливають на якість продукції та енергоефективність.

Мікропроцесорна техніка, використана в АСУ ТП, дозволяє:

- 1) Підвищити якість продукції. Автоматизація дозволяє забезпечити більш точний та стабільний контроль параметрів виробництва, уникнути помилок людського фактору та покращити якість продукції.

- 2) Підвищити продуктивність. Автоматизація дозволяє оптимізувати роботу обладнання та процесів, що веде до збільшення виробничої потужності та оптимізації робочих циклів.
- 3) Зменшити трудомісткість процесів. Автоматизація звільняє від ручного керування, дозволяючи працівникам зосередитися на більш складних або важливих завданнях, а не на рутинних процедурах.
- 4) Збільшити термін служби обладнання. Контроль за параметрами роботи обладнання та можливість оперативної реакції на виявлені проблеми можуть позитивно підвищити тривалість його безперебійної роботи.

Ці фактори сприяють загальному підвищенню ефективності роботи котельні, зменшенню витрат та покращенню якості продукції.

Системи автоматизації можуть потребувати кваліфікованого персоналу для ефективного управління ними. Однак, цей недолік можна подолати декількома способами:

- 1) Навчання та підготовка персоналу. Ретельне навчання працівників, які відповідають за експлуатацію системи. Це може включати курси, тренінги або внутрішню підготовку.
- 2) Інтуїтивний інтерфейс. Розробка інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів користувача для спрощення управління системою.
- 3) Документація та підтримка. Забезпечення детальної документації, яка допомагатиме персоналу при роботі з системою, а також наявність технічної підтримки.
- 4) Автоматизовані процеси навчання. Використання системи самонавчання або відеоінструкцій для простішого засвоєння навичок.
- 5) Поступове впровадження. Поступове впровадження нових функцій та систем, що дозволяє персоналу поступово освоювати нові можливості.
- 6) Автоматизовані діагностичні засоби. Наявність систем діагностики та відладки, які спрощують виявлення та виправлення помилок.

Ці заходи можуть сприяти підвищенню рівня навичок персоналу та

спрощенню управління системою автоматизації технологічного процесу.

Використання існуючих технічних рішень у проектуванні системи автоматизації може бути дуже цінним. Це дає кілька переваг:

- 1) Ефективне використання ресурсів. Заощадження часу та ресурсів завдяки використанню вже наявних трубних систем, проводки, приладів і обладнання.
- 2) Мінімізація витрат. Зменшення витрат на нове обладнання або розробку нових систем.
- 3) Скорочення термінів проектування. Використання існуючих рішень може спростити та прискорити процес розробки та впровадження системи.
- 4) Більша надійність. Існуючі рішення можуть бути перевіреними на практиці, що дозволяє передбачити їхню працездатність та надійність.
- 5) Легша інтеграція. Використання зарекомендованих систем і технічних рішень може спростити процес їхньої інтеграції в загальну систему автоматизації.

Проте варто пам'ятати, що при використанні існуючих технічних рішень необхідно враховувати сумісність з новою системою та їхню відповідність потребам проекту. Також важливо оцінити можливості модернізації чи підгонки існуючих рішень під конкретні потреби проекту.

Обрані критерії для вибору керуючого пристрою дуже важливі для успішної і ефективної роботи системи автоматизації. Точність регулювання вихідних параметрів дозволить системі відповідати потребам з мінімальними відхиленнями, що може бути критичним у деяких виробничих процесах.

Надійність та стійкість до збоїв - ключові фактори, оскільки вони забезпечують безперервну роботу системи та запобігають можливим втратам через відмову чи несправність обладнання.

Можливість подальшого розвитку та програмної зміни архітектури - це важливий аспект, оскільки технології постійно змінюються і розвиваються. Здатність розширення або модернізації системи без значних змін є важливою

для збереження конкурентоспроможності та відповідності сучасним стандартам.

Підключення до керуючого обчислювального комплексу для створення верхнього рівня АСУ дозволяє інтегрувати керуючий пристрій у більш широкую систему керування, що може поліпшити координацію та управління великими обсягами даних та процесами.

Врахування цих факторів під час вибору керуючого пристрою сприяє побудові ефективної, гнучкої та високопродуктивної системи автоматизації [22].

Капітальні затрати на автоматизацію включають у себе широкий спектр витрат, пов'язаних з впровадженням автоматизованої системи. Це включає вартість контрольно-вимірювальних і регулюючих засобів автоматизації - обладнання, яке контролює та регулює різні параметри виробництва.

Також у ці витрати входять монтажні та налагоджувальні роботи - встановлення та налаштування обладнання, необхідного для функціонування системи.

Будівельні роботи та інфраструктура також можуть бути частиною цих капітальних витрат, якщо для впровадження автоматизації необхідні будівництво або реконструкція приміщень.

Також до капітальних затрат можна віднести витрати на ліквідацію вивільненої техніки, яка була замінена автоматизованою системою.

Отже, цей спектр включає в себе не лише вартість обладнання, але і різні додаткові витрати, пов'язані з впровадженням автоматизації [22].

Врахування середньої величини попередніх витрат ($K_{пв}$) для розрахунку загальних капітальних затрат у проектах автоматизації дійсно може виявитися досить корисним. Однак, варто пам'ятати, що ця цифра може значно відрізнятися в залежності від конкретного проекту, його масштабів та специфіки.

Розрахунок капітальних затрат на автоматизацію включає в себе багато різних частин, від обладнання до робіт інженерів. Ми будемо зсилатися на

аналіз проектів типових виробників. Тому припустимо $K_{пв} = 30000$ грн.

У табл. 3.1 наведено вартість необхідного обладнання для впровадження системи автоматизації технологічного процесу.

Таблиця 3.1 – Ціна технічних засобів

Цифра	Прилад	Марка	Кількість	Ціна, грн	Загальна ціна, грн
1	Іонодатчик полум'я	ІНД 2	1	3760	3760
2	Газовий аналізатор	МАГ-6П-В	1	65600	65600
3	Димосос	ДН 10	1	51000	51000
4	Датчик температури	ТГП 100ЕК	1	2930	2930
5	Газовий клапан	Kromschroeder VAS	1	14300	14300
6	Частотний перетворювач	Altivar 38	1	4090	4090
7	Датчик тиску	Сапфір 22м	2	1100	2200
8	Джерело живлення	ACE 540A	1	2253	2253
9	Промисловий контролер	Lagoon 3140	1	2670	2670
10	Вентилятор	DP 02 ALU	1	3400	3400
11	Модуль дискретного вводу/виводу	I-7060	1	1354	1354
12	Модуль аналогового виводу	I-7024	1	2150	2150
13	Датчик витрати води	G1/2	1	344	344
14	Датчик витрати газу	AWM5104VN	1	3965	3965
15	Датчик витрати повітря	Thermatel TA2	1	1476	1476
Сума					161492 грн

Користуючись табл. 3.1 розрахуємо.

Загальна вартість пристроїв:

$$B_1 = 161492 \text{ грн}$$

ПЗ SCADA:

$$B_2 = 18000 \text{ грн}$$

Розробка проекту АСУ ТП (50% вартості ПЗ):

$$B_3 = 0,5 * B_2 = 9000 \text{ грн}$$

Монтаж засобів автоматизації (20% їх вартості):

$$B_4 = 0,2 * B_1 = 32298,4 \text{ грн}$$

Монтажні матеріали (10% вартості засобів автоматизації):

$$B_5 = 0,1 * B_1 = 16149,2 \text{ грн}$$

Витрати на налагоджувальні роботи для КВП та АСУТП загалом становлять приблизно 30%. Цей процент залежить від загальної вартості монтажних матеріалів та витрат на встановлення засобів автоматизації:

$$B_6 = (B_4 + B_5) * 0,3 = 14534,28 \text{ грн}$$

Доставка засобів автоматизації (15% їх вартості):

$$B_7 = (B_1 - 4500) * 0,15 = 23548,8 \text{ грн}$$

Витрати на підготовку або перепідготовку персоналу напряду залежать від кількості співробітників, які будуть працювати з впровадженою системою автоматизації. Чим більше працівників потребує навчання або підготовки, тим більше може бути витрат на цей процес.

Звісно, кількість персоналу, яка вже зайнята та має необхідні навички, відіграє важливу роль при впровадженні нової системи автоматизації. Якщо ці працівники підходять для роботи з новою системою, може бути необхідно провести лише деяку додаткову підготовку з оновленими процесами або програмами.

У нашому випадку, якщо ці співробітники вже працюють на котельні і вони підтримуються впровадженням нової системи автоматизації, витрати на підготовку можуть бути обмеженими. Можливо, вони вже мають базові навички, необхідні для роботи з цією новою системою. Усього порібно 8 чоловік. 3 майстри – 3200 грн/міс., 5 слюсарів КВП і А – 2400 грн/міс.

Добре, давайте порахуємо загальні витрати на перепідготовку персоналу. Якщо для експлуатації автоматизованої системи потрібно 2 майстрів та 4 слюсарі КВП і А, то витрати на їх перепідготовку можна порахувати так:

Для 2 майстрів:

2 майстри * 1000 грн/особа = 2000 грн.

Для 4 слюсарів КВП і А:

4 слюсарі * 750 грн/особа = 3000 грн.

Отже, загальні витрати на перепідготовку персоналу складуть 5000 грн.

Для розрахунку загальних одноразових капіталовкладень на розробку і впровадження автоматизованої системи управління (АСУ), потрібно взяти до уваги раніше згадані компоненти витрат, такі як закупівельна вартість контрольно-вимірювальних приладів, налагоджувальні роботи, витрати на перепідготовку персоналу та інші складові витрат на автоматизацію:

$$K_{\text{од}} = K_{\text{пв}} + B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7 + \text{персонал} = 310023,2 \text{ грн}$$

Експлуатаційні капіталовкладення (Кпот) включають в себе різноманітні витрати, які стосуються підтримки і експлуатації системи після її впровадження. Ось деякі з основних складових експлуатаційних витрат:

- 1) Заробітна плата обслуговуючого персоналу: Витрати на заробітну плату працівників, які забезпечують експлуатацію та обслуговування системи.
- 2) Амортизаційні відрахування: Розподіл витрат на придбання системи чи технічних засобів на користь кожного року їх служби.
- 3) Витрати на енергію: Включають витрати на електроенергію, стиснуте повітря та інші енергетичні ресурси, використані для роботи системи.
- 4) Вартість допоміжних матеріалів: Включає витрати на матеріали, що використовуються для обслуговування, ремонту чи догляду за системою.

Збільшення заробітної плати персоналу при впровадженні автоматизованої системи може бути важливим елементом витрат. Це включає збільшення заробітних плат майстрів на 25% та слюсарів КВП і А на 15%. Такі

зміни можуть вплинути на загальні експлуатаційні витрати системи управління та мають бути враховані при розрахунку загальних затрат.

Сумарне підвищення заробітної плати персоналу:

$$\text{ПЗП} = (3200 * 0,25 * 2 * 12) + (2400 * 0,15 * 4 * 12) = 36480 \text{ грн.}$$

Зазвичай введення АСУ включає в себе елементи, які вимагають електроенергію для своєї роботи. Вони можуть включати в себе комп'ютери, сервери, контролери, сенсори, пристрої зв'язку, та інші компоненти, які потребують живлення.

Витрати на електроенергію зазвичай залежать від кількості та характеру цих елементів. Рівень споживання електроенергії може бути визначений на основі специфікацій обладнання та їх енергоефективності. Такі затрати на електроенергію також слід враховувати при обчисленні витрат на експлуатацію АСУ.

У табл. 3.2 наведено вартість електроенергії.

Таблиця 3.2 – Вартість електроенергії

Цифра	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Ціна, грн	Вартість, грн
1	Електроенергія (до впровадження)	кВт/год	740000	0,99	732600
2	Електроенергія (після впровадження)	кВт/год	565000	0,99	559350
3	Економія електроенергії	-	-	-	173250

Дивлячись на табл. 3.2 можна зробити такий висновок. Система споживала 740000 кВт за рік. Після впровадження автоматизації система споживає 565000 кВт за рік. А тепер перейдемо до вартості електроенергії. За рік потрібно було сплачувати 732600 грн. Після впровадження вартість становить 559350 грн за рік. Це означає, що економія витрати становить 173250 грн за рік.

У табл. 3.3 наведено вартість газу.

Таблиця 3.3 – Вартість газу

Цифра	Наіменування	Одиниця виміру	Кількість	Ціна, грн	Вартість, грн
1	Витрата до впровадження	М ³	1411200	7,9	11148480
2	Витрата після впровадження	М ³	1407010	7,9	11115379
3	Економія газу	-	-	-	33101

Дивлячись на табл. 3.3 можна зробити такий висновок. Система витратила 1411200 м³ газу за рік. Після впровадження автоматизації система витрачає 1407010 м³ газу за рік. А тепер перейдемо до вартості газу. За рік потрібно було сплачувати 11148480 грн. Після впровадження вартість становить 11115379 грн за рік. Це означає, що економія витрати становить 33101 грн за рік.

Розрахунок економічної ефективності спроектованої АСУ ТП передбачає врахування різних факторів і показників. Основні критерії, які зазвичай використовуються для оцінки ефективності, включають:

- 1) Термін окупності (ТО). Це час, необхідний для повного відшкодування витрат на впровадження системи.
- 2) Чистий дисконтований дохід (ЧДД). Це сума прибутку або економії, отримана за період роботи системи, вирахована з урахуванням витрат на її впровадження та чинників дисконтування.
- 3) Коефіцієнт економічної ефективності (КЕЕ). Цей показник вказує на те, в який раз дохід перевищує витрати на впровадження.

Термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = B/E = 161492 / (173250 + 33101) = 0.78$$

Де В – вартість автоматизації,

Е – сума економії після впровадження.

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$K = E/B = 206351/161492 = 1,28$$

Висновки до розділу 3

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – це система, яка дозволяє контролювати та збирати дані з обладнання та процесів у реальному часі. Система використовується для моніторингу, керування, аналізу та оптимізації технічних процесів у різних сферах, включаючи промисловість, енергетику, транспорт і багато інших.

АСКТП (Автоматизована система керування технологічним процесом) використовується для автоматизації контролю та управління технологічними процесами у промисловості.

Отже, можна зробити висновок, що у третьому розділі розроблена SCADA-система, яка дозволяє використовувати АСКТП. Забезпечує можливість моніторингу та керування технологічними процесами за допомогою цієї системи, а також реалізацію автоматизації контролю в промисловості.

Організаційно-економічний аналіз автоматизації котельні - це вивчення витрат і переваг, пов'язаних із впровадженням автоматичної системи управління технологічним процесом у котельні з точки зору ефективності та прибутковості. Це включає оцінку витрат на придбання обладнання, роботи з впровадження, навчання персоналу та очікувані вигоди у вигляді зменшення витрат на енергію, покращення продуктивності або підвищення надійності обладнання. Висновок щодо доцільності такої системи базується на порівнянні отриманих результатів зі здійсненими витратами, що допомагає зрозуміти, чи є впровадження автоматизації ефективним в економічному аспекті.

Виходячи з вище сказаного, можна зробити такий висновок. Розрахунки, які були зроблені для оцінки економічної вигідності проекту автоматизації, показали дуже короткий період часу, за який запропонована система поверне витрати на своє впровадження. Це займе десь 1,7 років, що відчутно менше від

загальноприйнятих норм 6,5 років. Крім того, коефіцієнт економічної ефективності також суттєво перевищує нормативні показники (0,56 проти 0,14). Це свідчить про те, що автоматизація котельної установки є економічно вигідною і не тільки. Цей проект доцільний, тому що зараз відбувається зростання вартості енергетичних ресурсів. А це дозволить економити кошти вже відразу після впровадження.

ВИСНОВКИ

В цій роботі було проаналізовано систему автоматичного контролю котельної установки. З результатів можна сказати, що система повинна бути оновлена до новітніх технологій. Як і для всіх об'єктів в цій сфері, головне – це нагрів води. Тому, потрібно збільшити точність нагріву, що ми і зробили оновивши датчики. Було проведено економічні розрахунки для покращення показників.

Було розглянуто кілька ключових аспектів, які вплинули на ефективність системи. За допомогою розроблених динамічних характеристик об'єкту, було можливо розрахувати оптимальні настройки для регулятора одноконтурної автоматичної системи регулювання. Також це було зроблено за рахунок математичної моделі системи регулювання тиску.

Це дало можливість не лише підвищити точність роботи системи, а й ефективно оптимізувати витрати електроенергії. Використання розрахунків для налаштування регулятора забезпечило оптимальні умови для функціонування системи, що в свою чергу дозволило знизити витрати електроенергії та підвищити загальну ефективність управління процесами.

Цей успішний аналіз та оптимізація підтверджують важливість належного налаштування технологічних процесів для досягнення оптимальної роботи системи.

Дослідження та обчислення дали можливість визначити необхідні технічні засоби, які максимально відповідають вимогам та потребам системи. Розробка SCADA-системи стала ключовим кроком у створенні зручного інтерфейсу для моніторингу та керування усіма процесами на котельній установці, що дозволило вдосконалити та спростити управління системою.

Організаційно-економічний аналіз, що був проведений для впровадження системи автоматизації на котельній установці, показав, що витрати на цей процес будуть окуплені за дуже короткий період - 5 місяців. Цей аналіз у

великій мірі підтвердив доцільність та ефективність впровадження автоматичної системи управління.

Такий швидкий термін окупності вказує на те, що витрати, які були здійснені для впровадження автоматизації, будуть відшкодовані шляхом зменшення витрат або збільшення прибутковості через ефективнішу роботу системи. Це свідчить про вигідність та переваги впровадження автоматичної системи управління технологічним процесом для підприємства з економічної точки зору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водогрійні котельні для систем децентралізованого та помірноцентралізованого теплопостачання [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» М.Ф. Боженко; КПІ, Електронні текстові дані, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022, 170 с.
2. Ткаченко, С. Й. Котельні установки: навчальний посібник / С. Й. Ткаченко, Д.В. Степанов, Л. А. Боднар, Вінниця: ВНТУ, 2016. - 185 с.
3. Системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» М.Ф.Боженко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 380 с.
4. Котельні установки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/777096/mod_resource/content/1/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf (дата звернення 22.10.2023). – Назва з екрану.
5. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. 73с.
6. Витрати палива [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/vitrati-teploti-na-opalennja-ventiljaciju.php> (дата звернення 12.11.2023). - Назва з екрану.
7. Санітарні норми мікроклімату виробничих процесів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dnaop.com/html/34094/doc-%D0%94%D0%A1%D0%9D_3.3.6.042-99 (дата звернення 30.11.2023). - Назва з екрану.
8. Вимоги безпеки на підприємстві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u158/tu_u_substrat_universalniy.pdf (дата звернення 30.11.2023). - Назва з екрану.

9. Пом'якшення води [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vencon.ua/ua/articles/chto-takoe-umyagchenie-vody-i-na-chto-ono-vliyaet> (дата звернення 14.11.2023). - Назва з екрану.

10. Автоматизація [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F#%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%BE%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%85_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%96%D0%B2 (дата звернення 18.11.2023). - Назва з екрану.

11. Автоматизована система керування котлом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aqteck.com.ua/ua/projects/avtomatyzovana-systema-keruvannja-kotlom-tvg-8m> (дата звернення 28.11.2023). - Назва з екрану.

12. Дослідження автоматичної системи керування водогрійним котлом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2021/2_2021/part_1/20.pdf (дата звернення 20.11.2023). - Назва з екрану.

13. Газоаналізатор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://donbas-spetspribor.com.ua/ua/p292129101-gazoanalizator-mag-ch4.html> (дата звернення 02.12.2023). - Назва з екрану.

14. Димосос [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prom-vent.com.ua/ua/p109183179-dymosos-185-kvt1000.html> (дата звернення 02.12.2023). - Назва з екрану.

15. Термометр [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arsmt.com.ua/postav-products/temperature-and-humidity/thermometers-manometric/tgp-100ek-m1-tpk-100ek-m1-termometry-manometricheskie-pokazyvayushhie-elektrokontaktnye/> (дата звернення 02.12.2023). - Назва з екрану.

16. Датчик тиску [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrspecavtomat.com.ua/uk/products/datchik-sapfir-22mp/> (дата звернення 02.12.2023). - Назва з екрану.

17. ПЛК [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ep3.nuwm.edu.ua/230/1/04-03-84.pdf> (дата звернення 03.12.2023). - Назва з екрану.

18. Комбінований калапан [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gme.in.ua/ua/belimo-piqcv-c220qp-f> (дата звернення 03.12.2023). - Назва з екрану.

19. Блок керування і вентилятор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gaz-voda.com.ua/sp-05-led-dp-02-avtomatika-ventilyator-kg-elektronik-kotel> (дата звернення 04.12.2023). - Назва з екрану.

20. SCADA-система [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=338999> (дата звернення 09.12.2023). - Назва з екрану.

21. Wu, S., Study and Evaluation of Clustering Algorithm for Solubility and Thermodynamic Data of Glyc-erol Derivatives, Thermal Science, 23 (2019), 5, pp. 2867-2875

22. Liu, B., et al., Economic Dispatch of Combined Heat and Power Energy Systems Using Electric Boiler toAccommodate Wind Power, IEEE Access, 8 (2020), 99, pp. 41288-41297

23. Wang, Y., et al., Flexible Operation of Retrofitted Coal-Fired Power Plants to Reduce Wind CurtailmentConsidering Thermal Energy Storage, IEEE Transactions on Power Systems, 35 (2020), 2, pp. 1178-1187

24. Chandrasekharan, S., et al., Operational Control of an Integrated Drum Boiler of a Coal Fired ThermalPower Plant, Energy, 159 (2018), 9, pp. 977-987

ДОДАТОК А – Освітлення виробничих процесів

А.1 Основні положення

Світло – один з суттєвих чинників виробничого середовища, завдяки якому забезпечується зоровий зв'язок працівника з його оточенням. Відомо, що біля 80% всієї інформації про надходить до людини через очі – наш зоровий апарат. Правильно організоване освітлення позитивно впливає на діяльність центральної нервової системи, знижує енерговитрати організму на виконання певної роботи, що сприяє підвищенню працездатності людини, продуктивності праці і якості продукції, зниженню виробничого травматизму тощо. Так збільшення освітленості від 100 до 1000 люкс при напруженій зоровій роботі приводить до підвищення продуктивності праці на 10-20%, зменшення браку на 20%, зниження кількості нещасних випадків на 30%. До 5% травм можуть спричинюватись такою професійною хворобою як робоча міопія (короткозорість).

Слід відмітити особливо важливу роль в життєдіяльності людини природного освітлення, його ультрафіолетової частини спектру. Природне освітлення стимулює біохімічні процеси в організмі, поліпшує обмін речовин, загартовує організм, йому властива протибактерицидна дія тощо. У зв'язку з цим при недостатньому природному освітленні в умовах виробництва санітарно-гігієнічні нормативи вимагають у системі штучного освітлення застосовувати джерела штучного світла з підвищеною складовою ультрафіолетового випромінювання – еритемні джерела світла.

Спроможність зорового сприйняття визначається енергетичними, просторовими, часовими та інформаційними характеристиками сигналів, що надходять до людини. Видимість об'єкту залежить від властивості ока, а також освітлення (або власного світла об'єкту).

Під час здійснення будь-якої трудової діяльності втомлюваність очей, в основному, залежить від напруженості процесів, що супроводжують зорове сприйняття. До таких процесів відносяться адаптація, акомодация, конвергенція.

Адаптація – здатність ока пристосовуватися до різної освітленості звуженням і розширенням зіниці в діапазоні 2 - 8 мм .

Акомодация – пристосування ока до зрозумілого бачення предметів, що знаходяться від нього на різній відстані, за рахунок зміни кривизни кришталика.

Конвергенція – здатність ока при розгляданні близьких предметів займати положення, при якому зорові осі обох очей перетинаються на предметі.

Для створення оптимальних умов зорової роботи слід враховувати не лише кількість та якість освітлення, а й кольорове оточення. Діючи на око, випромінювання, що мають різну довжину хвилі, викликають відчуття того або іншого кольору. Межі колірних смуг наступні:

Колір	Довжина хвилі, нм
Фіолетовий	380-450
Синій	450-480
Зелений	510-550
Жовтий	575-585
Оранжевий	585-620
Червоний	620-780

Для ока людини найбільш відчутним є жовто-зелене випромінювання із довжиною хвилі 555 нм. Спектральний склад світла впливає на продуктивність праці та психічний стан людини. Так, якщо продуктивність людини при природному освітленні прийняти за 100%, то при червоному та оранжевому освітленні (довжина хвилі 600 ...780нм) вона становить лише 76%. При надмірній яскравості джерел світла та оточуючих предметів може відбутись засліплення робітника. Нерівномірність освітлення та неоднакова яскравість

оточуючих предметів призводять до частоті переадаптації очей під час виконання роботи і, як наслідок цього, – до швидкого втомлення органів зору. Тому поверхні, що добре освітлюються, краще фарбувати в кольори з коефіцієнтом відбивання 0,4 – 0,6, і, бажано, щоб вони мали матову або напівматову поверхню.

А.2 Основні світлотехнічні поняття та одиниці

Світлові випромінювання – це електромагнітні випромінювання певної частки оптичного діапазону. За довжиною хвилі оптичні випромінювання знаходяться в діапазоні довжини хвилі від 10 до 340000 нм. У цьому діапазоні видимі випромінювання займають незначну ділянку – діапазон від 380 до 760 нм. Таким чином, при однаковому енергетичному рівні оптичні випромінювання з довжиною хвилі 380-760 нм сприймаються органами зору людини, а за межами цього хвильового діапазону не сприймаються.

Тому, при вирішенні питань світлотехніки такі питання як енергія випромінювання чи потужність недоречні. У зв'язку з цим у світлотехніці введена система світлотехнічних величин і одиниць.

Основними поняттями цієї системи є: світловий потік, сила світла, освітленість, яскравість, фон (характеризується коефіцієнтом відбиття (ρ), пропускання (τ) та поглинання (β)), контраст яскравості і видимість.

Світловий потік F — це потік випромінювання, що оцінюється за його дією на людське око. За одиницю світлового потоку прийнято люмен (лм). Наприклад, лампа розжарювання потужністю 40 Вт створює світловий потік 415-460 лм, а люмінесцентна лампа ЛД 40 такої же потужності – 2340 лм.

Сила світла I — просторова щільність світлового потоку, яка визначається відношенням світлового потоку F (лм) до тілесного кута ω , у якому цей потік поширюється: $I = F/\omega$. За одиницю сили світла прийнято канделу (кд). Тілесний кут — частина простору сфери, обмежена конусом, що

спирається на поверхню сфери з вершиною у її центрі. За одиницю тілесного кута прийнято стерadian (ср). Кут в 1 ср вирізає на поверхні сфери площину, яка є рівною квадрату радіуса сфери. Кандела це сила світла еталонного джерела в перпендикулярному напрямку при температурі затвердіння платини $2046,65^{\circ}\text{K}$ і тиску $P=101325\text{ Па}$.

Освітленість E — поверхнева щільність світлового потоку. При рівномірному розподілі світлового потоку F , перпендикулярного освітлюваній поверхні S , освітленість $E = F/S$. Наприклад, освітленість поверхні у повний місяць – 0,2-0,3 лк, білої ночі 2-3 лк, опівдні (літо) – 68000–99000 лк.

Яскравість поверхні B — поверхнева щільність сили світла, визначається як відношення сили світла I у даному напрямі до проекції поверхні, що світиться, на площину, перпендикулярну до напрямку спостереження. $B = I/S \cos \alpha$, де α — кут між нормаллю до поверхні і напрямом зору. За одиницю яскравості прийнято канделу на квадратний метр (кд/м² або нт). Наприклад, яскравість люмінесцентних ламп – $5 \cdot 10^3 - 10^5$ кд/м², лампи розжарювання – $5,5 \cdot 10^6$ кд/м². Око людини спроможне нормально функціонувати у діапазоні $10^{-6} - 10^4$ кд/м². Осліплююча яскравість залежить від розміру поверхні, яка світиться, яскравості сигналу та рівня адаптації зору і має розбіг $6,4 \cdot 10^{-15}$ – $9 \cdot 10^4$ кд/м². Для ефективного бачення об'єкту фоновая яскравість повинна знаходитися у діапазоні 10-500 кд/м².

Коефіцієнти відбиття ρ , пропускання τ та поглинання β поверхонь вимірюються у відсотках або частках одиниці ($\rho + \tau + \beta = 1$): $\rho = F_{\rho}/F$; $\tau = F_{\tau}/F$; $\beta = F_{\beta}/F$, де F_{ρ} , F_{τ} , F_{β} — відповідно відбитий, поглинений та той, що пройшов через поверхню, світлові потоки; F – світловий потік, що падає на поверхню. Наприклад, коефіцієнт відбиття білої поверхні дорівнюється 0,8 – 0,75, світло синьої – 0,55, коричневої – 0,23, чорної – 0,1 – 0,07.

Фон – поверхня, що безпосередньо прилягає до об'єкта. Він оцінюється коефіцієнтом відбиття. Фон вважають світлим при $\rho > 0,4$, середнім — при $0,4 \geq \rho > 0,2$ та темним при $\rho < 0,2$. Контраст K об'єкта спостереження та фону

визначається різницею між їх яскравостями: $K = (V_o - V_f) / V_f$, де V_o та V_f — відповідно яскравості об'єкта та фону. Контраст вважають великим при $K > 0,5$, середнім при $0,2 < K < 0,5$, малим при $K < 0,2$.

Видимість V характеризує здатність ока сприймати об'єкт. Видимість залежить від освітлення, розміру об'єкта розпізнавання, його яскравості, контрасту між об'єктом і фоном, тривалості експозиції: $V = K / K_{пор}$, де K - контраст між об'єктом і фоном; $K_{пор}$ – пороговий контраст, тобто найменший контраст, що розрізняється оком за даних умов. Для нормального зорового сприйняття V повинна бути рівною 10–15.

Час зберігання зорового відчуття - 0,2-0,3 с. Сприйняття мерехтливого світла має специфічні особливості. Серія світлових імпульсів сприймається як безупинний сигнал, якщо інтервали між імпульсами порівняні з часом інерції зору. Критична частота мерехтіння дорівнює 15-70 Гц. Таким чином, для забезпечення стабільного зображення частота регенерації сигналу повинна бути не нижчою 70 Гц. Наприклад, у сучасних моніторах частота регенерації зображення складає 85 Гц і вище.

А.3 Види виробничого освітлення та основні вимоги до нього

Залежно від джерел світла освітлення може бути природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла, та суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Основним нормативним документом, відповідно до якого здійснюється нормування освітлення в нашій країні є ДБН В.2.5-28-2006.

Для створення сприятливих умов зорової роботи освітлення робочих приміщень повинне задовольняти таким умовам:

- рівень освітленості робочих поверхонь має відповідати гігієнічним нормам для даного виду роботи;

- мають бути забезпечені рівномірність та часова стабільність рівня освітленості у приміщенні, відсутність різких контрастів між освітленістю робочої поверхні та навколишнього простору, відсутність на робочій поверхні різких тіней (особливо рухомих);

- у полі зору предмета не повинно створювати сліпучого блиску;

- штучне світло, що використовується на підприємствах, за своїм спектральним складом має наближатися до природного;

- не створювати небезпечних та шкідливих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпеку ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпечність);

- бути надійним, простим в експлуатації та економічним.

ДБН В.2.5-28-2006 встановлює нормативні значення для природного, штучного та суміщеного освітлення.

А.4 Природне освітлення

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно- або двобічне), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє, здійснюється через отвори (ліхтарі) в дахах і перекриттях; комбіноване – поєднання верхнього та бокового освітлення.

Природне освітлення має важливе фізіолого-гігієнічне значення для людини, має психологічну дію, створюючи відчуття безпосереднього зв'язку з довкіллям, стимулює фізіологічні процеси, підвищує обмін речовин, покращує розвиток організму в цілому. Сонячне випромінювання зігріває та знезаражує повітря, очищуючи його від збудників багатьох хвороб. Однак, природне освітлення має і недоліки: воно непостійне в різні періоди часу, нерівномірно розподіляється в приміщенні, залежить від погодних умов.

На рівень природного освітлення приміщень впливають: світловий клімат, який залежить від географічного розташування місця, площа та

орієнтація світлових отворів; конструкція вікон, чистота скла, геометричні параметри приміщень та відбиваючі властивості поверхонь, зовнішнього та внутрішнього затемнення світла різними об'єктами.

Оскільки природне освітлення не постійне у часі, його кількісна оцінка здійснюється за відносним показником – коефіцієнтом природної освітленості (КПО):

$$\text{КПО} = (\text{Евн}/\text{Езов}) \cdot 100\%,$$

де Евн (лк) – природна освітленість в даній точці площини всередині приміщення, яка створюється світлом неба (безпосереднього або після відбиття); Езов (лк) - зовнішня горизонтальна освітленість, що створюється світлом в той самий час повністю відкритим небосхилом.

Нормування природного освітлення

За системи бічного природного освітлення (через віконні прорізи у стінах) нормується мінімальне значення КПО. Для одностороннього бічної системи - це КПО у точці робочої поверхні (або підлоги), розташованій на відстані 1м від стіни, найбільш віддаленої від світлових прорізів. За системи верхнього природного освітлення (через ліхтарі – світлові прорізи у покритті будівлі) та системи верхнього та бічного природного освітлення нормується середній КПО, обчислений за результати вимірювань у N точках (не менш 5) умовної робочої поверхні (або підлоги). Перша та остання точка приймаються на відстані 1 м від поверхні стін. Середнє значення КПО обчислюється за формулою:

$$\text{КПО}_{\text{ср}} = (\text{КПО}_1 / 2 + \text{КПО}_2 + \text{КПО}_3 + \dots + \text{КПО}_{N-1} + \text{КПО}_N / 2) / (N-1),$$

де КПО_N – коефіцієнт природного освітлення у N-й контрольній точці,

N – кількість контрольних точок у площині характерного перерізу приміщення.

В основі нормування виробничного освітлення покладена залежність необхідного рівня освітлення від зорової напруги.

Нормовані значення КПО для виробничих приміщень, встановлюється залежно від характеристики та розряду зорової роботи (визначаються в

залежності від найменшого розміру об'єкта розпізнання), або призначення приміщення в будівлях управління, конструкторських, проектних, науково-дослідних установах, громадянських і суспільних будівлях, а також від системи освітлення та орієнтації світлових прорізів за сторонами горизонту.

Нормовані значення КПО для будівель, що розташовуються в різних місцях, визначаються за формулою:

$$eN = e_n m N,$$

де eN — нормоване значення КПО; t — коефіцієнт світлового клімату, що враховує забезпеченість природним освітленням в залежності від орієнтації світлових прорізів за сторонами горизонту.

А.5 Штучне освітлення

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальне освітлення передбачає розміщення світильників у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) для здійснювання загальне рівномірного або загального локалізованого освітлення (з урахуванням розташування обладнання та робочих місць). Місцеве освітлення створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосереднього на робочих місцях. Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосувати при роботах високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний, в процесі роботи, напрямок світла. Одне місцеве освітлення у виробничих приміщеннях є забороненим.

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на робоче, чергове, аварійне, евакуаційне, охоронне .

Робоче освітлення створює необхідні умови для нормальної трудової діяльності людини.

Чергове освітлення – знижений рівень освітлення, що передбачається у неробочий час, при цьому використовують частину світильників інших видів

освітлення.

Аварійне освітлення вмикається при вимиканні робочого освітлення. Світильники аварійного освітлення живляться від автономного джерела і повинні забезпечувати освітленість не менше 5 % величини робочого освітлення, але не менше 2 лк на робочих поверхнях виробничих приміщень і не менше 1 лк на території підприємства.

Евакуаційне освітлення вмикається для евакуації людей з приміщення під час виникнення небезпеки. Воно встановлюється у виробничих приміщеннях з кількістю працюючих більше 50, а також у приміщеннях громадських та допоміжних будівель промислових підприємств, якщо в них одночасно можуть знаходитися більше 100 чоловік. Евакуаційна освітленість у приміщеннях має бути 0,5 лк, поза приміщенням — 0,2 лк.

Охоронне освітлення передбачається вздовж границь територій, що охороняються, і має забезпечувати освітленість 0,5 лк.

Штучне освітлення передбачається у всіх приміщеннях будівель, а також на відкритих робочих ділянках, місцях проходження людей та руху транспорту. Від якості прийнятої системи освітлення залежить продуктивність та безпека праці, а також здоров'я працівників. Рационально виконане штучне освітлення приміщень при одній і тій же витраті електроенергії може підвищити продуктивність праці на 15-20%.

Штучне освітлення проектується для двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване) та комбіноване (до загального додається місцеве).

Нормування штучного освітлення

Як критерії оцінки штучного робочого освітлення прийняті: освітленість E , показник засліпленості P (для виробничих приміщень) або показник дискомфорту M (для приміщень управління, проектних, конструкторських, науково - дослідницьких установ і приміщень цивільних і суспільних будівель), коефіцієнт пульсації освітленості K_p (при освітленні приміщень газорозрядними лампами).

Для виробничих приміщень нормована освітленість встановлюється

залежно від характеристики та розряду зорових робіт (визначається за найменшим розміром об'єкта розпізнання), підрозряду зорової роботи (визначається за співвідношенням контрасту об'єкта розрізнення з фоном та характеристикою фону і системи освітлення (комбіноване або загальне освітлення)).

Для приміщень управління, конструкторських, проектних, науково - дослідницьких установ і приміщень цивільних і суспільних будівель значення нормованої освітленості встановлюється залежно від призначення приміщення (освітлення таких приміщень здійснюється переважно системою загального рівномірного освітлення).

Норми освітленості встановлені для газорозрядних джерел світла; в разі застосування ламп розжарювання (необхідне спеціальне обґрунтування) потрібне значення освітленості встановлюється коректуванням норм.

Джерела світла

Як джерела світла при штучному освітленні використовуються лампи розжарювання та газорозрядні лампи. Основними характеристиками джерел світла є номінальна напруга, споживана потужність, світловий потік, питома світлова віддача та строк служби.

У лампі розжарювання видиме світло випромінює нагріта до високої температури нитка з тугоплавкого матеріалу. Світловий потік залежить від споживаної потужності і температури нитки. Лампи розжарювання прості у виготовленні, надійні в експлуатації. Їх недоліки: мала світлова віддача (10-15 лм/Вт), невеликий строк служби (близько 1000 год) та несприятливий спектральний склад світла, в якому переважають жовтий та червоний кольори при нестачі синього та фіолетового порівняно з природним світлом, що ускладнює розпізнавання кольору.

Різновидом ламп розжарювання є галогенні лампи, колби яких наповнені парами галогену (йоду або броду). Це підвищує температуру нитки розжарювання і практично виключає її випаровування. Галогенні лампи мають строк служби (2000 - 5000 год) і підвищену світловіддачу (20 лм/Вт).

У газорозрядних лампах балон наповнюється парами ртуті та інертним газом, на внутрішню поверхню балона наносять люмінофор. Газорозрядні лампи бувають низького (люмінесцентні) та високого тиску. Люмінесцентні лампи мають великий строк служби (10000 год), більшу світлову віддачу (50-80 лм/Вт), малу яскравість поверхні, що світиться, кращий спектральний склад світла – ближчий до денного. До недоліків люмінесцентних ламп відносяться: пульсація світлового потоку, нестійка робота при низьких температурах і зниженій напрузі та більш складна схема вмикання. Пульсація світлового потоку негативно впливає на стан зору, а також може викликати стробоскопічний ефект, який полягає у тому, що частини обладнання, що обертаються, здаються нерухомими або такими, що обертаються у протилежному напрямі. Стробоскопічний ефект можна знизити вмиканням сусідніх ламп у різні фази мережі, але повністю усунути його не вдається. Зниження негативної дії пульсуючого світлового потоку здійснюють підвищенням частоти (до 1кГц) струму живлення, що пов'язано з інерційною характеристикою формування зорового образу.

Розрізняють кілька типів люмінесцентних ламп залежно від спектрального складу світла:

ЛД — лампи денні, ЛБ — білі, ЛДК — денного світла правильної кольорової передачі, ЛТБ — тепло-білі, ЛХБ — холодно-білі.

Лампи високого тиску — дугові ртутні (ДРЛ) та натрієві лампи (ДНаТ) мають строк служби більш 10000 год та світловіддачу відповідно 50 і 130 лм/Вт.

Енергозберігаючі світлодіодні лампи — останнє слово світлотехнічної продукції, але через високу вартість вони ще не знайшли широкого використання у народному господарстві.

Джерело світла (лампи) разом з освітлюваною арматурою складає світильник. Він забезпечує кріплення лампи, подачу до неї електричної енергії, запобігання забрудненню, механічному пошкодженню, а також вибухову і пожежну безпеку та електробезпеку. Здатність світильника захищати очі

працюючого від надмірної яскравості джерела характеризується захисним кутом.

А.6 Розрахунки

У табл. А.1 наведено вихідні дані та розрахунки освітленості

Таблиця А.1 – Розрахунки

Вихідні дані:	
Довжина приміщення a , м	8
Ширина приміщення b , м	3
Висота приміщення h , м	6
Висота робочої поверхні h_p , м	1,5
Мінімальний розмір об'єкта, що розпізнається, s_0 , мм	0,4
Характеристика фону	Середній
Контраст об'єкта розпізнавання з фоном	Середній
Коефіцієнт відбиття стелі ρ_{cl}	0,7
Коефіцієнт відбиття стіни ρ_{cn}	0,5
Коефіцієнт відбиття підлоги ρ_n	0,3
N дволампових ($n=2$) світильників типу ШОД (лампи потужністю 40 Вт)	8
Тип ламп	ЛД
коефіцієнт запасу (k_z)	1,5
коефіцієнт нерівномірності (z)	1,1
Розрахунки:	
п.1.1. розряд та підрозряд зорових робіт (табл. 1 ДБН В.2.5.-28-2006)	3 в

п.1.2. система штучного освітлення (загальна, комбінована)	Загальне
п.1.3. нормоване значення освітленості на робочому місці E_n , лк.	250
у т.ч. від загального (для комбінованої системи освітлення)	200
п. 2.1. світловий потік, який випромінює кожна з ламп, F_l , лм (табл. 2)	2340
довжина ламп (для цієї задачі), мм	1200
п.2.2. індекс приміщення i по формулі $i = a \cdot b / (h_c \cdot (a + b)) =$	0,8
Висота підвісу світильника над робочою поверхнею h_c	6
п.2.3. коефіцієнт використання світлового потоку η (табл. 3)	0,35
п.2.4. розрахувати освітленість $E_{\phi} = F_l \cdot N \cdot n \cdot \eta / (S \cdot k_z \cdot z) =$	331 35,4
Площа приміщення $S =$	24
п.3. $((E_n - E_{\phi}) / E_n) \cdot 100\% =$	85,8%
Висновок (задовольняє, чи не задовольняє штучне освітлення вимогам ДБН)	Не задовільняє
п.4. Розрахувати кількість світильників N_p , необхідних для досягнення оптимального значення освітленості (має бути парна кількість) $N_p = S \cdot k_z \cdot z \cdot E_n / (F_l \cdot n \cdot \eta) =$	6
Розрахувати освітленість з оптимальною кількістю світильників $E_p = F_l \cdot N_p \cdot n \cdot \eta / (S \cdot k_z \cdot z) =$	248
Розрахувати відсоток при оптимальній кількості світильників	0,8%

У табл. А.2 наведено дані природного освітлення

Таблиця А.2 – Природне освітлення

Величина природного освітлення $E_{вн}$, лк, на відстані L, м, від вікна					Орієнтація вікон за сторонами горизонту	Зовнішня освітленість, $E_{зов}$, лк
1	2	3	4	5		
1540	1100	780	560	400	Схід	20000

Розрахунки:

для категорії «Зв» зорових робіт система освітлення: природна при боковому.

$$e_n = 1,2$$

$$m_N = 0,85$$

$$eN = e_n m_N = 1,02$$

$$e_{\phi} = (E_{вн} / E_{зов}) 100\%$$

У табл. А.3 наведено показники відстані від розрахункової точки до вікна

Таблиця А.3 – показники відстані

Відстань від розрахункової точки до вікна, м	1	2	3	4	5
КПО (e), %	7,7	5,5	3,9	2,8	2

ДОДАТОК Б

Розрахунки системи автоматизації котельної установки

Б.1 Розрахунок пального і продуктів згорання у котлі ТВГ-8М

Елементарний склад робочої маси пального, %

- Метан $\text{CH}_4=92,8$
- Двоокис вуглецю $\text{CO}_2=0,1$
- Етан $\text{C}_2\text{H}_6=3,9$
- Сірководень $\text{H}_2\text{S}=0$
- Пропан $\text{C}_3\text{H}_8=1,0$
- Кисень $\text{O}_2=0$
- Бутан $\text{C}_4\text{H}_{10}=0,4$
- Окис вуглецю $\text{CO}=0$
- Пентан $\text{C}_5\text{H}_{12}=0,3$
- Водень $\text{H}_2=0$
- Азот $\text{N}_2=1,5$

Теплота згорання нижня сухого газу, МДж/м³

$$Q_{сн}=37300$$

Обсяг повітря, теоретично необхідного для повного згорання палива, м³ / м³

$$V_{ов}=0,0476[0,5\text{CO}+0,5\text{H}_2+1,5\text{H}_2\text{S}+\Sigma(m+n/4)*C_{mn}-\text{O}_2]=0,0476$$

$$[0,5*0+0,5*0+1,5*0+(1+4/4)*92,8+(2+6/4)*3,9+(3+8/4)*1+(4+10/4)*0,4+(5+12/4)*0,3-0]=9,5724$$

Обсяг продуктів згорання, які утворилися вчасно згорання палива з теоретичним об'ємом повітря, м³ / м³

- теоретичний об'єм азоту

$$V_{о\text{N}_2}=0,79 V_{ов}+0,01\text{N}_2=0,79*9,5724+0,01*1,5=7,5772$$

- теоретичний об'єм трьохатомних газів

V

o

$$RO_2 = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \sum m C_m H_n) = 0,01(0,1 + 0 + 0 + 92,8 + 2 \cdot 3,9 + 3 \cdot 1 + 4 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,3) = 1,068$$

- теоретичний об'єм водяної пари

$$V_{o H_2O} = 0,01 (H_2 + H_2S + \sum n/2 C_m H_n + 0,124 d_r \cdot 0,124 d_v V_{o v}) = 0,01 (0 + 0 + 2 \cdot 92,8 + 3 \cdot 3,9 + 4 \cdot 1 + 5 \cdot 0,4 + 6 \cdot 0,3 + 0,124 \cdot 10 + 0,124 \cdot 13 \cdot 9,5724) = 2,2177$$

Надлишок Повітря в кінці топки $\alpha_m = 1,10$.

Для прийнятої конструкції і компоновки поверхонь нагріву використовується присоси повітря в газоходах:

– котельний пучок $\Delta \alpha_{к.п} = 0,1$

– водяний економайзер $\Delta \alpha_{в.э.} = 0,08$

Надлишки повітря в газоходах:

В кінці топки $\alpha_T = 1,1$

Повний обсяг продуктів згоряння при горінні палива з надлишком повітря, з урахуванням присосів, м³ / м³

$$V_{o \Gamma} = V_{o RO_2} + V_{o N_2} + V_{o H_2O} + (\alpha_{cp} - 1) V_{o v}$$

Обсяг водяної пари при горінні палива з надлишком повітря, з урахуванням присосов, м³ / м³

$$V_{H_2O} = V_{o H_2O} + 0,0161 (\alpha_{cp} - 1) V_{o v}$$

Об'ємна частка водяної пари

$$r_{H_2O} = V_{H_2O} / V_{o \Gamma}$$

Об'ємна частка трьохатомних газів

$$r_{RO_2} = V_{o RO_2} / V_{o \Gamma}$$

Чисельні значення величин, підрахованих за наведеними вище формулами, вказані в таблиці Б.1

Таблиця Б.1 – Об'ємні характеристики продуктів згорання

Назва величини і її позначення	Газоходи котла		
	Топка	котельний пучок	Водяний економайзер
Коефіцієнт надлишку повітря, α	1,1	1,2	1,28
Середній коефіцієнт надлишку повітря в газоході, $\alpha_{\text{ср}}$	1,1	1,15	1,24
Обсяг водяної пари в продуктах згорання, $V_{\text{H}_2\text{O}, \text{м}^3 / \text{м}^3}$	2,2331	2,2408	2,7547
Повний обсяг продуктів згорання, $V_{\text{г}, \text{м}^3 / \text{м}^3}$	11,8355	12,324	13,1973
Об'ємна частка водяної пари, $r_{\text{H}_2\text{O}}$	0,1887	0,1818	0,1708
Об'ємна частка трьохатомних газів, r_{RO_2}	0,0902	0,0866	0,0809

Ентальпія повітря (МДж /м³) теоретично необхідного для горіння палива, в межах можливих температур продуктів згорання, МДж /м³

$$I_{\text{о в}} = V_{\text{о в}}(c_v)_{\text{в}} \cdot 10^{-3}$$

де $(c_v)_{\text{в}}$ - питома ентальпія повітря при відповідній температурі, кДж/м³

Ентальпія газоподібних продуктів згорання при горінні з теоретичним об'ємом повітря в інтервалі тих же температур, МДж/м³

$$I_{\text{о г}} = [(c_v)_{\text{RO}_2} \cdot V_{\text{RO}_2} + (c_v)_{\text{N}_2} \cdot V_{\text{о N}_2} + (c_v)_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_{\text{о H}_2\text{O}}] \cdot 10^{-3}$$

Чисельні значення ентальпій, підрахованих за наведеними вище формулами, вказані в таблиці Б.2.

Таблиця Б.2 – Еквальпії повітря і продуктів згоряння в газоходах котла

$v, ^\circ\text{C}$	Ів о , кДж/кг	Іг о , кДж/кг	$\alpha_{\text{т}}=1,1$	$\alpha_{\text{к.п.}}=1,2$	$\alpha_{\text{эк}}=1,28$
			топка	котельний пучок	водяний економайзер
100	1267,424	966,5408			
200	2550,1891	1958,54			
300	3858,424	2978,809			3904,831
400	5190,021	4031,752			5277,357
500	6553,705	5114,213			6687,103
600	7949,476	6214,105		7406,527	8121,979
700	9385,355	7346,704		8754,507	
800	10829,26	8510,854		10135,24	
900	12273,16	9701,861	10929,18	11542,83	
1000	13757,17	10905,06	12280,78		
1100	15281,28	1213,42	13641,54		
1200	16805,4	13329,27	15009,81		
1300	18329,52	15840,63	17673,58		
1400	19893,74	16468,8	18458,17		

Б.2 Визначення теплового балансу котла

Викладені нижче розрахунки, виконані з метою визначення коефіцієнта корисної дії (ККД) котла і витрати палива.

$$Q_{\text{с н}}=37,300$$

Теплота згоряння одиниці об'єму сухого газу, МДж/м³

$$Q_{\text{с н}}=37,300$$

Підігрів палива і повітря поза котельного агрегату не передбачений. Відсутня також форсункових дуття. Тому $Q_{\text{тл}}=0$ $Q_{\text{в.вн.}}=0$ $Q_{\text{ф}}=0$.

Тоді дана теплота, МДж/м³

$$Q_{p.p.} = Q_{c.h.} + Q_{тл.} + Q_{в.вн.} + Q_{ф.} = 37,300$$

Температура холодного повітря, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{х.в.} = 30$$

Ентальпія теоретично необхідного повітря, кДж/м^3

$$I_{о.х.в.} = 382,896$$

Температура відхідних газів, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{ух} = 152$$

Коефіцієнт надлишку повітря у вихідних газах

$$\alpha_{ух} = 1,28$$

Ентальпія продуктів згоряння при цій температурі (таблиця 1.2), МДж/м^3

$$I_{ух} = 1,24499$$

Втрати теплоти з газами, що, %

$$q_2 = [(I_{ух} - \alpha_{ух} \cdot I_{о.х.в.}) / Q_{p.p.}] \cdot 102 = [(1,95854 - 1,28 \cdot 0,289) / 37,3] \cdot 102 = 4,55$$

Втрата теплоти від хімічної неповноти згоряння, %

$$q_3 = 0,5$$

Втрата теплоти від механічного недопалювання, %

$$q_4 = 0$$

Втрата теплоти поверхнями котла і економайзера, %

$$q_5 = 2,8$$

Сумарна втрата теплоти котельним агрегатом, %

$$\Sigma = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 4,25 + 0,5 + 0 + 2,8 = 7,55$$

Коефіцієнт корисної дії котельного агрегату, %

$$\eta_{к.у.} = 100 - \Sigma q_{пот} = 100 - 7,55 = 92,15$$

Витрата палива при номінальній тепловій навантаженні. Теплове навантаження при роботі котла в водогрійному режимі, МВт

$$Q_{к.} = 8$$

Розрахунок палива котла при розрахунковому навантаженні, $\text{м}^3/\text{з}$

$$V = Q_{к.} \cdot 100 / Q_{p.p.} \cdot \eta_{к.у.} = 8 \cdot 100 / 37,3 \cdot 92,15 = 0,1725$$

Розрахунковий витрата палива, $\text{м}^3/\text{з}$

$$V_p = V = 0,287.$$

Б.3 Розрахунок теплообміну в поверхнях нагріву

Розрахунок теплообміну виконаний метою отримання результатів необхідних для подальшого аеродинамічного розрахунку. В основу покладена схема руху води, що нагрівається.

Теплообмін в топці і наступної за нею камері догорання ідентичний і здійснюється передачею теплоти випромінюванням газів. На цій підставі розрахунок теплообміну в цих поверхнях виконаний спільно, за сумарними їх геометричними характеристиками з визначенням температури продуктів згоряння на вході в котельний пучок.

Прийнята як можлива теплова потужність $Q = 8,3$ (8 Гкал/год) може бути реалізована, оскільки теплопередачею забезпечується температура продуктів згоряння в кінці топки, не перевершує допустиму при спалюванні палива.

Кількість теплоти, необхідна для нагрівання води від $t'_{\text{к}} = 70^{\circ}\text{C}$ до $t_{\text{к}} = 150^{\circ}\text{C}$ умовами теплообміну забезпечується. Розбіжність $Q_{\text{б}}$ і $Q_{\text{т}}$ становить 0,56%, що значно менше допустимого нормами.

Розрахунок теплообміну в економайзері виконаний стосовно до умови, що масова швидкість води в ньому буде 730 кг/см^2 і відповідний їй витрата $G_{\text{ек}} = 6,667 \text{ кг/с}$. При цьому температура води з економайзера не буде перевершувати 80°C . Температура вихідних газів встановлена розрахунком ($t_{\text{вих}} = 152^{\circ}\text{C}$) не відрізняється від прийнятої при складанні теплового балансу. Оскільки різниця не велика.

Розрахунок теплообміну в топці.

Надлишок повітря в кінці топки

$$\alpha_{\text{т}} = 1,1$$

Температура повітря подаваного в топку, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{\text{в.т.}} = 30$$

Ентальпія повітря при цій температурі, МДж/м^3

$$I_{\text{в.т.}}^0 = 0,22$$

Присос повітря в топку

$$\Delta\alpha_m = 0,05$$

Тепло, внесене в топку повітрям, МДж/м³

$$Q_a = \alpha_m \cdot I_{x,a}^0 = 0,05 \cdot 0,22 = 0,011$$

Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння, %

$$q_3 = 0,02$$

Корисне тепловиділення в топці, МДж/м³

$$Q_m = Q_p (100 - q_3 - q_5) / 100 + Q_a = 37,3 \cdot (100 - 0,02 - 2,94) / 100 + 0,011 = 36,1$$

Теоретична температура, що відповідає корисному тепловиділенню,

$$\vartheta_a = 2300$$

Температура продуктів згоряння на виході з топки приймається, 0С

$$\vartheta_m^* = 1050$$

Ентальпія продуктів згоряння при цій температурі, МДж/м³

$$I_m^* = 12,961$$

Середня об'ємна теплоємність продуктів згоряння, МДж/м³ К

$$V_c = (Q_m - I_m^*)(\vartheta_a - \vartheta_m^*) \cdot 10^3 = (36,1 - 12,961)(2300 - 1050) \cdot 10^3 = 29,298$$

Товщина випромінюючого газового шару в топці і в камері згоряння, м

$$S_m = 3,6(V_{акт} / F_{ом}) = 3,6(334,3 / 108) = 0,98$$

Тиск газів в топці, МПа

$$p_m = 0,1$$

Об'ємна для водяної пари в продуктах згорання

$$r_{H_2O}^m = 0,1887$$

Об'ємна частка триатомним газів

$$r_{RO_2}^m = 0,0902$$

Сумарна об'ємна частка

$$r_n = 0,2789$$

Сумарне парціальний тиск трьохатомних газів і водяної пари в топці, МПа

$$p_{n.m} = (r_n \cdot p_m) = (0,2789 \cdot 0,1) = 0,02789$$

Коефіцієнт ослаблення променів газами, 1/(м В · МПа)

$$\kappa_z = \left(\frac{7,8 + 16r_{H_2O}}{3,16\sqrt{p_{n.m} \cdot S_m}} - 1 \right) \left(1 - 0,37 \frac{g_n'' + 273}{1000} \right) = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,1887}{3,16\sqrt{0,02789 \cdot 0,98}} - 1 \right) \left(1 - 0,37 \cdot \frac{1050 + 273}{1000} \right) = 9,477$$

Ступінь чорноти газового потоку

$$a_{z.m} = 1 - e^{-K \cdot P \cdot S} = 1 - e^{-9,477 \cdot 0,1 \cdot 0,98} = 0,46$$

Співвідношення вуглецю і водню в складі робочого палива

$$C^p / H^p = 0,12 \sum \frac{m}{n} C_m H_n = 0,12 \cdot \left(\frac{1}{4} 92,8 + \frac{1}{3} 3,9 + \frac{3}{8} 1 + \frac{2}{5} 0,4 + \frac{5}{12} 0,3 \right) = 3,0192$$

Коефіцієнт ослаблення променів сажистий частками, 1/(м В · МПа)

$$\kappa_{c.m} = 0,3 \cdot (2 - \alpha_m) (1,6 T_m^* \cdot 10^{-3} - 0,5) \frac{C^p}{C^u} = 0,3 (2 - 1,1) (1,6 \cdot 1323 \cdot 10^{-3} - 0,5) \cdot 3,0192 = 1,318$$

Ступінь світної частини полум'я

$$a_{c,s} = 1 - e^{-(K \cdot r + K_c) P \cdot S} = 1 - e^{-(9,477 \cdot 0,2789 + 1,318) \cdot 0,1 \cdot 0,98} = 0,276$$

Коефіцієнт усереднення ступеня чорноти факела

$$m = 0,1$$

Ефектна ступінь чорноти факела

$$a_{\phi} = m \cdot a_{c,s} + (1 + m) a_{c,m} = 0,1 \cdot 0,276 + (1 - 0,1) \cdot 0,461 = 0,442$$

Середнє значення коефіцієнта теплової ефективності

$$\Psi = 0,6175$$

Відносне розташування максимуму температур в топці

$$\chi = 0,38$$

Ступінь чорноти топки

$$a_m = a_{\phi} / [a_{\phi} + (1 - a_{\phi}) \Psi] = 0,442 / [0,442 + (1 - 0,442) \cdot 0,6175] = 0,5625$$

Параметр температурного поля

$$M = 0,54 - 0,2 \Psi = 0,54 - 0,2 \cdot 0,6175 = 0,1165$$

Коефіцієнт збереження теплоти

$$\varphi = 1 - q_5 / (\eta + q_5) = 1 - 2,94 / (90,01 + 2,94) = 0,968$$

Ефективна променеловляча поверхня, м²

$$(\Psi F) = 67,041$$

Температура продуктів згоряння на виході з топки, °С

$$g_m'' = \frac{T_a}{M \left(\frac{5,67(\Psi F) \cdot a_m \cdot T_a^3}{10^{11} \cdot \varphi \cdot B_p \cdot V_c} \right)^{0,6} + 1} - 273 = \frac{2300 + 273}{0,1165 \left(\frac{5,67 \cdot 67,041 \cdot 0,5625 \cdot 2573^3}{10^{11} \cdot 0,96 \cdot 0,271 \cdot 29,298} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1824$$

Ентальпія продуктів згорання при цій температурі, МДж/м³

$$I_m'' = 26814,91$$

Теплота, передана поверхням нагріву в топці і в камері догорання, МДж/м³

$$Q_a = \varphi(Q_m - I_m'') = 0,96(36,1 - 26,814) = 8,98$$

Температура води на вході в радіаційні поверхні топки, °С

$$t_m' = 70$$

Ентальпія води при цій температурі, кДж/кг

$$i_m'' = 293$$

Ентальпія води на виході з радіаційних поверхонь нагріву, кДж/кг

$$i_m''' = i_m'' + Q_a \cdot B_p / G = 293 + 150234 \cdot 0,271 / 33,88 = 449,24$$

Температура води на виході з радіаційних поверхонь нагріву, °С

$$i_m''' = i_m'' + Q_a \cdot B_p / G = 293 + 150234 \cdot 0,271 / 33,88 = 449,24$$

Розрахунок теплообміну в котельному пучку

Температура води на вході в котельний пучок, °С

$$t_{к.п}' = t_m'' = 107$$

Ентальпія води при цій температурі, кДж/кг

$$i'_{к.п} = i''_{п} = 449,24$$

Температура води на виході з котельного пучка, °С

$$t''_{к.п} = t''_к = 130$$

Ентальпія води при цій температурі, кДж/кг

$$i''_{к.п} = i''_к = 546,8$$

Середня температура води в котельному пучку, °С

$$t_{к.п} = 0,5(t'_{к.п} + t''_{к.п}) = 0,5(107 + 130) = 119$$

Кількість теплоти в котельному пучку, МДж/м³

$$Q_{к.п.б.} = G(i''_{к.п} - i'_{к.п}) / B_p = 33,98 \cdot (546,8 - 449,24) / 0,172 = 10,66$$

Температура газів на вході в котельний пучок, °С

$$g'_{к.п} = 1050$$

Ентальпія газів при цій температурі, МДж/м³

$$I'_{к.п} = 13,687$$

Присос повітря в газоході котельного пучка

$$\Delta\alpha_{к.п} = 0,1$$

Ентальпія газів на виході з котельного пучка, МДж/м³

$$I''_{к.п} = I'_{к.п} - (Q_{к.п.б.} / \varphi) + \Delta\alpha_{к.п} \cdot I^0_{х.п} = 13,687 - (10,66 / 0,98) + 0,1 \cdot 0,382 = 2,33$$

Температура продуктів згоряння відповідна цій ентальпії, °С

$$g_{к.п}'' = 205$$

Температурний напір на вході газів, °С

$$\Delta t_{к.п}' = g_{к.п}' - t_{к.п} = 1050 - 119 = 931$$

Температурний напір на виході газів, °С

$$\Delta t_{к.п}'' = g_{к.п}'' - t_{к.п} = 205 - 119 = 86$$

Температурний напір в котельному пучку при протитоку, °С

$$\Delta t_{к.п} = (\Delta t_{к.п}' - \Delta t_{к.п}'') / \ln(\Delta t_{к.п}' / \Delta t_{к.п}'') = (931 - 86) / \ln(931 / 86) = 354$$

Середня температура потоків газів, °С

$$g_{к.п} = 0,5(g_{к.п}' + g_{к.п}'') = 0,5(1050 + 205) = 627,5$$

Середня швидкість газів в пучку, м/с

$$W_{к.п} = \frac{V_z \cdot B_p}{F_{к.п}} \cdot \frac{g_{к.п} + 273}{273} = \frac{11,2 \div 0,172}{0,81} \cdot \frac{627 + 273}{273} = 7,86$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м²/К)

$$\alpha_{к.п} = 63,21$$

Тиск продуктів згоряння, МПа

$$p_{кп} = 0,1$$

Об'ємна для водяної пари в продуктах згорання

$$r_{H_2O}^{кп} = 0,1818$$

Об'ємна частка триатомним газів

$$r_{RO_2}^{KH} = 0,0866$$

Сумарне парціальний тиск трьохатомних газів і водяної пари в топці, МПа

$$p_{KH} = r_n \cdot p_{KH} = 0,2684 \cdot 0,1 = 0,02684$$

Оптична товщина випромінюючого газового об'єму в міжтрубному просторі пучка, м

$$S_{KH} = 0,9 \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{S_1 \cdot S_2}{d^2} - 1 \right) d = 0,9 \cdot \left(\frac{4}{3,14} \cdot \frac{1,12 \cdot 0,9}{0,06^2} - 1 \right) \cdot 0,06 = 0,201$$

Коефіцієнт ослаблення променів газами, 1/(м В· МПа)

$$K_z = \left(\frac{7,8 + 16r_{H_2O}}{3,16\sqrt{p_{n.m} \cdot S_m}} - 1 \right) \left(1 - 0,37 \frac{g_m^* + 273}{1000} \right) = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,1887}{3,16\sqrt{0,02684 \cdot 0,201}} - 1 \right) \left(1 - 0,37 \cdot \frac{627 + 273}{1000} \right) = 30,92$$

Ступінь чорноти газового потоку

$$a_z = 1 - e^{-K \cdot P \cdot S} = 1 - e^{-30,92 \cdot 0,02684 \cdot 0,201} = 0,19$$

Температура забруднень на стінках труб котельного пучка, °С

$$t_{z,KH} = 0,5(t'_{KH} + t''_{KH}) = 0,5(107 + 130) + 60 = 179$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням монограммний, Вт/(м² К)

$$\alpha_{z,n} = 96$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням в котельному пучку, Вт/(м² К)

$$\alpha_{z,KH} = \alpha_{z,n} \cdot a_z = 96 \cdot 0,19 = 18,24$$

Коефіцієнт теплової ефективності

$$\Psi_{\lambda, H} = 0,65$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² К)

$$\kappa_{\lambda H} = \Psi(\alpha_{\kappa} + \alpha_{\lambda}) = 0,65(63,21 + 18,24) = 53,4$$

Кількість теплоти, передане в пучку теплопередачею, МДж м³

$$Q_{\kappa, \lambda, H} = (\kappa \cdot \Delta t \cdot H) / B_p = (53,4 \cdot 354,74 \cdot 96,5) / 0,172 = 10,6$$

Нетотожність з теплотою балансу, %

$$\Delta_{\lambda H} = \frac{Q_{\kappa, \lambda, \delta} - Q_{\kappa, \lambda, H}}{Q_{\kappa, \lambda, \delta}} 100 = \frac{10,66 - 10,6}{10,66} 100 = 0,56$$

Розрахунок теплообміну в економайзері

Кількість теплоти, яка передається в економайзері, МДж/ м³

$$Q_{\lambda, \kappa, \delta} = Q_{\kappa} / B_p - Q_{\lambda} - Q_{\kappa, \lambda, \delta} = 9,65 / 0,172 - 15,023 - 10,66 = 1,122$$

Витрата води через економайзер, кг/с

$$G_{\lambda \kappa} = 6,667$$

Температура води на вході в економайзер, °С

$$t'_{\lambda \kappa} = t'_{\kappa} = 70$$

Ентальпія води при цій температурі, кДж/кг

$$i'_{\lambda \kappa} = i'_{\kappa} = 293$$

Ентальпія води на виході з економайзера, кДж/кг

$$t_{\text{ЭК}}'' = t_{\text{ЭК}}' + B \cdot Q_{\text{к.п.б.}} / G_{\text{ЭК}} = 293 + 0,172 \cdot 1,122 / 6,667$$

Температура води при цій ентальпії, °C

$$t_{\text{ЭК}}'' = 76$$

Температура газів на вході в економайзер, °C

$$g_{\text{ЭК}}' = g_{\text{ЭП}}'' = 205$$

Ентальпія газів при цій температурі, МДж/ м³

$$I_{\text{ЭК}}' = I_{\text{ЭП}}'' = 2,33$$

присосів повітря в газохід економайзера

$$\Delta \alpha_{\text{ЭК}} = 0,08$$

Ентальпія газів на виході з економайзера, МДж/ м³

$$I_{\text{ЭК}}'' = I_{\text{ЭК}}' - (Q_{\text{э.к.б.}} / \varphi) + \Delta \alpha_{\text{ЭК}} \cdot I_{\text{х.в}}^0 = 2,33 - (1,122 / 0,98) + 0,08 \cdot 0,382 = 1,24$$

Температура газів на виході з економайзера, °C

$$g_{\text{ЭК}}'' = 152$$

Середня температура газів, °C

$$g_{\text{ЭК}} = 0,5(g_{\text{ЭК}}'' + g_{\text{ЭК}}') = 0,5(152 + 205) = 178,5$$

Температурний напір при вході газів при протитоку, °C

$$\Delta t_{\text{прт}}' = g_{\text{ЭК}}' - t_{\text{ЭК}}'' = 205 - 76 = 129$$

Температурний напір на виході газів при протитоку, °C

$$\Delta t_{\text{прт}}'' = g_{\text{ЭК}}'' - t_{\text{ЭК}}' = 152 - 70 = 82$$

Температурний напір при протитоку, °С

$$\Delta t_{\text{прт}} = \frac{\Delta t'_{\text{прт}} - \Delta t''_{\text{прт}}}{\ln \frac{\Delta t'_{\text{прт}}}{\Delta t''_{\text{прт}}}} = \frac{129 - 80}{\ln \frac{129}{82}} = 103$$

Температурний напір при вході газів при прямоток, °С

$$\Delta t'_{\text{прт}} = g'_{\text{зк}} - t'_{\text{зк}} = 205 - 70 = 135$$

Температурний напір на виході газів при прямоток, °С

$$\Delta t''_{\text{прт}} = g''_{\text{зк}} - t''_{\text{зк}} = 152 - 76 = 76$$

Температурний напір при прямоток

$$\Delta t_{\text{прт}} = \frac{\Delta t'_{\text{прт}} - \Delta t''_{\text{прт}}}{\ln \frac{\Delta t'_{\text{прт}}}{\Delta t''_{\text{прт}}}} = \frac{135 - 76}{\ln \frac{135}{76}} = 103$$

Швидкість газів в економайзері, м/с

$$W_{\text{зк}} = \frac{V_{\text{г}} \cdot B_{\text{р}}}{F_{\text{зк}}} \cdot \frac{g_{\text{зк}} + 273}{273} = \frac{11 \cdot 0,172}{0,36} \cdot \frac{178,5 + 273}{273} = 8,7$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м² В · К)

$$\alpha_{\text{к.зк}} = 60$$

Коефіцієнт теплової ефективності

$$\Psi = 0,8$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² В · К)

$$\kappa_{\text{зк}} = \Psi \alpha_{\text{к.зк}} = 0,8 \cdot 60 = 48$$

Кількість теплоти, яке може бути передане в економайзер по умовами теплопередачі, МДж/кг

$$Q_{\text{эк.т}} = (\kappa \cdot \Delta t \cdot H) / B_p = (48 \cdot 103,6 \cdot 141,6) / 0,172 = 4,08$$

Ентальпія води після змішування потоків води, кДж/кг

$$i_{\text{см}} = [i_{\text{эк}}'' \cdot G_{\text{эк}} + i_{\text{эк}}' (G_{\text{к}} \cdot G_{\text{эк}})] / G_{\text{к}} = [319,1 \cdot 6,667 + 293 \cdot (33,88 \cdot 6,667)] / 33,88 = 304,209$$

Температура води після змішування, °С

$$t_{\text{см}} = 73$$

Б.4 Аеродинамічний розрахунок тракту продуктів згорання

Аеродинамічний розрахунок газового тракту виконаний з метою перевірки можливості використання тягодуттєвих установок меншої потужності, щодо установок, що працюють в даний час [20].

Подача повітря для горіння газу в котлі забезпечується дуттєвих вентилятором типу Ц-13-50 № 5 продуктивністю 13000 м³/год і регулюється осьовим напрямним апаратом, встановленим перед всмоктуючим дифузоровим вентилятора. Направляючий апарат з'єднаний важелем з осьовим виконавчим механізмом типу М30 регулятора співвідношень «газ-повітря» типу Р-25.3. Продукти горіння надходять з топки в конвективну частину і далі по борів видаляються димососом типу Д 18 в димову трубу [20].

Розрахунок виконаний за нормативним методом В«Аеродинамічний розрахунок котельних установок В». У ньому використані динамічні напори, підраховані для повітря, а в кінці сумарний результат перерахований на газ. В основу покладені дані теплового розрахунку, викладені в розділі 4 цієї пояснювальної записки [20].

Витрата палива при розрахунковому навантаженні котла, кг/с

$$B = 0,172$$

Обсяг продуктів згоряння на виході з економайзера при надлишку повітря у вихідних газах, нм³/кг

$$V_r = 13,197$$

Середня температура газів в економайзері, °С

$$\vartheta_{\text{ЭК}} = 178,5$$

Температура продуктів згоряння на виході з економайзера, °С

$$\vartheta_{\text{ЭК}}^* = 152$$

Середня швидкість газів в економайзері, м/с

$$W_{\text{ЭК}} = 8,7$$

Температура газів на виході з котельного пучка, °С

$$\vartheta_{\text{КП}}^* = 205$$

Середня температура газів в котельному пучку, °С

$$\vartheta_{\text{КП}} = 627,5$$

Середня швидкість газів в котельному пучку, м/с

$$W_{\text{КП}} = 7,86$$

Розрядження в топці приймається, Па

$$h_m = 15$$

Барометричний тиск для даної місцевості, Па

$$h_{\text{бар}} = 100 \times 10^3$$

Розрядження перед котельним пучком, Па

$$h_{\text{КП}} = 15$$

Середнє живий перетин котельного пучка, м²

$$F_{\text{КП}} = 0,69$$

Розрахунок опору котельного пучка

Число рядів по ходу газу в двох ходах котельного пучка

$$z = 36$$

Відносний поперечний крок

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{d} = \frac{100}{51} = 1,96$$

Відносний поздовжній крок

$$\sigma_2 = \frac{S_2}{d} = \frac{110}{51} = 2,16$$

Відношення

$$\Psi = \frac{S_1 - d}{S_2 - d} = \frac{100 - 51}{110 - 51} = 0,83$$

Коефіцієнт опору одного ряду труб коридорного пучка

$$\zeta_{\text{кп}} = 12,64$$

Динамічний тиск у котельному пучку, Па

$$h_{\text{д}} = 11$$

Опір котельного пучка, Па

$$h'_{\text{кп}} = \zeta_{\text{кп}} \times h_{\text{д}} = 12,64 \times 11 = 139$$

Поправочний коефіцієнт на опір в камері догорання

$$K = 1,05$$

Опір котельного пучка з урахуванням поправочного коефіцієнта, Па

$$\Delta h_{\text{кп}} = K \times \Delta h'_{\text{кп}} = 1,05 \times 139 = 146$$

Розрахунок опору ділянки від котельного пучка до економайзера

Вхідний перетин дифузора, м²

$$F_1 = 0,88 \times 0,54 = 0,48$$

Вихідний перетин дифузора, м²

$$F_2 = 2,00 \times 0,4 = 0,8$$

Середній перетин, м²

$$F = 0,5(F_1 + F_2) = 0,5(0,48 + 0,8) = 0,64$$

Відношення

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{0,48}{0,8} = 0,6$$

Кут розкриття дифузора

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{F_1 - F_2}{2l} = \frac{0,8 - 0,48}{2 \times 11} = 0,15, \quad \alpha = 17^\circ$$

Коефіцієнт повноти удару

$$\varphi_P = 0,45$$

Коефіцієнт опору виходу

$$\zeta_{\text{вих}} = 0,2$$

Коефіцієнт опору дифузора

$$\zeta_{\text{диф}} = \varphi_P \times \zeta_{\text{вих}} = 0,45 \times 0,2 = 0,09$$

Середня швидкість газів на ділянці, м / с

$$\Psi = \frac{B \times V_r}{F} \times \frac{273 + \theta_{\text{кл}}}{273} = \frac{0,172 \times 13,197}{0,64} \times \frac{273 + 205}{273} = 6,21$$

Динамічний тиск на розраховується ділянці, Па

$$h_{\text{уч}} = 10$$

Опір ділянки, Па

$$h_{\text{уч}} = \zeta_{\text{диф}} \times h_{\text{уч}} = 0,09 \times 10 = 1$$

Розрахунок поворотів від входу до виходу газів з економайзера

Площа вихідного і вхідного перетину, м²

$$F_1 = F_2 = 2,0 \times 0,45 = 0,9$$

Відношення перерізів

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{0,9}{0,9} = 1$$

Твірна коефіцієнта, що враховує вплив стінок, на вихідний коефіцієнт опору повороту

$$K_{\Delta} \times \zeta_0 = 1,4$$

Поправочний коефіцієнт до опору поворотів, що залежить від кута повороту $B = 1$. Поправочний коефіцієнт до опору поворотів, що залежить від форми перетину $C = 1$.

Коефіцієнт опору поворотів

$$K_{\Delta} \times \zeta_0 = 1,4$$

Динамічний тиск газів на ділянці, Па

$$\zeta_{II} = 4K_{\Delta}\zeta_0 BC = 4 \times 0,9 \times 1 \times 1 = 3,43$$

Опір поворотів, кПа

$$h_{пов} = \zeta_{II} \times h_{\partial} = 3,43 \times 23 = 79$$

Опір в економайзері

Діаметр труби зовнішній, м

$$d = 0,076$$

Крок ребра, м

$$S_{p\partial} = 0,025$$

Висота ребра, м

$$h_{p\partial} = 0,035$$

Середня товщина ребра, м

$$\delta = 0,005$$

Сторона ребра, м

$$a_{p\partial} = 0,146$$

Поверхня одного ребра, м²

$$\frac{H}{n} = 2(a_{p\partial}^2 - \frac{\pi d^2}{4}) = 2 \times (0,146^2 - \frac{3,14 \times 0,076^2}{4}) = 0,034$$

Число рядів труб, що омиваються трубами

$$z = 12$$

Довжина неріберної частини труби, м

$$l = \frac{\pi d^2 (S_{p\delta} - \delta)}{H / n} + \frac{2(a_{p\delta}^2 - 0,785d^2) + 4a_{p\delta}\delta}{H / n} \times \sqrt{a_{p\delta}^2 - 0,785d^2} = \frac{3,14 \times 0,0786^2 (0,025 - 0,005)}{0,034} + \frac{2(0,146^2 - 0,785 \times 0,076^2) + 4 \times 0,146 \times 0,005}{0,034} \times \sqrt{0,146^2 - 0,785 \times 0,076^2} = 0,15$$

Крок між трубами поперечний, м

$$S_1 = 0,15$$

Крок між трубами поздовжній, м

$$S_2 = 0,15$$

Еквівалентний діаметр стисненого поперечного пучка, м

$$d_3 = \frac{2[S_{p\delta}(S_1 - d) - 2\delta h_{p\delta}]}{2h_{p\delta} + S_{p\delta}} = \frac{2[0,025(0,15 - 0,076) - 2 \times 0,005 \times 0,035]}{2 \times 0,035 + 0,025} = 0,03$$

Відношення

$$\Psi = \frac{S_1 - d}{S_2 - d} = \frac{15 - 0,03}{15 - 0,03} = 1$$

Динамічний тиск в економайзері, Па

$$\Delta h_p = 6$$

Поправка на еквівалентний діаметр

$$C_3 = 1$$

Поправка на довжину неріберної частини

$$C_l = 1$$

Поправка на форму коридорного пучка

$$C_\Psi = 0,9$$

Поправка на число рядків

$$C_z = 1$$

Опір економайзера, Па

$$\Delta h_{\Sigma K} = C_3 C_l C_\Psi C_z \Delta h_p z = 1 \times 1 \times 0,9 \times 1 \times 6 \times 12 = 65$$

Опір ділянки від економайзера до коліна вхідного кишені димососа

Ця ділянка має ту ж конфігурацію і розміри, що і дифузор на виході з котельного пучка. Тому їх опори приймаються рівними.

$$\Delta h_{\text{диф}} = \Delta h_{\text{уч}} = 1 \text{ Па}$$

Опір повороту перед входом в димосос

Ширина ділянки, м

$$b = 1,1$$

Радіус повороту ділянки, м

$$r = 0,1$$

Відношення

$$\frac{r}{b} = \frac{0,1}{1,1} = 0,1$$

Твір на коефіцієнта, що враховує вплив шорсткості стінок, на вихідний коефіцієнт опору повороту

$$K_{\Delta} \times \zeta_0 = 0,72$$

Поправочний коефіцієнт до опору поворотів, що залежить від кута повороту $B = 1$. Поправочний коефіцієнт до опору поворотів, що залежить від форми повороту $C = 1$ [20].

Коефіцієнт опору повороту

$$\zeta_{BX} = K_{\Delta} \zeta_0 BC = 0,82 \times 1 \times 1 = 0,72$$

Динамічний тиск газів на ділянці, Па

$$h_0 = 25$$

Опір ділянки, Па

$$\Delta h_{BX} = \zeta_{BX} \times h_0 = 0,72 \times 25 = 18$$

Розрахунок самотяги труби

Відстань від осі пальників до стелі, м

$$H_m = 3,4$$

Ділянка труби, на якій розвивається Самотяга, м

$$H_c = H_{mp} - H_m = 30 - 3,4 = 26,6$$

Самотяга труби, Па

$$\Delta H_{mp} = h'_c H_c = 0,045 \times 26,6 = 1,2$$

Самотяга газового тракту, Па

$$H_r = \Delta H_{mp} + h_m + h_{кт} = 1,2 + 15 + 15 = 31,2$$

Перепад повних тисків в газовому тракті, Па

$$\Delta H_n = H - H_r = -31,2 = 310 - 31,2 = 278,8$$

Вибір типу димососа та електродвигуна, що забезпечує заданий натиск і продуктивність

Повний опір газового тракту, Па

$$H = \Delta h_{кт} + \Delta h_{зч} + \Delta h_{ноа} + \Delta h_{ек} + \Delta h_{диф} + \Delta h_{вх} = 146 + 1 + 79 + 65 + 1 + 18 = 310$$

Присос повітря на ділянці тракту від економайзера до димососа приймається.

Витрата газів у димососів, м³/ч

$$V_d = B(V_r + \Delta \alpha V^0) \cdot \frac{g''_{ЭК} + 273}{273} \times 3600 = 0,172(13,197 + 0,01 \times 9,57) \times \frac{152 + 273}{273} \times 3600 = 12800$$

Коефіцієнт запасу димососа по продуктивності $\beta_1 = 1,1$.

Коефіцієнт запасу димососа по тиску $\beta_2 = 1,2$.

Кількість однакових паралельно працюючих димососів у одного котла $z = 1$.

Необхідна розрахункова продуктивність димососа, м³/ч

$$Q = \beta_1 \frac{V_d}{z} \times \frac{760}{h_{бар} - \frac{\beta_2 \times \Delta H_n}{13,6}} = 1,1 \frac{12800}{1} \cdot \frac{760}{750 - \frac{1,2 \cdot 27,9}{13,6}} = 14300$$

Коефіцієнт перерахунку тиску до заводської характеристики

$$K_p = \frac{0,132}{\rho_z} \cdot \frac{273 + g''_{ЭК}}{273 + t} \cdot \frac{760}{h_{бар} - \frac{\beta_2 \cdot \Delta H_n}{13,6}} = \frac{0,132}{1,32} \cdot \frac{273 + 152}{273 + 178,5} \cdot \frac{760}{750 - \frac{1,2 \cdot 27,9}{13,6}} = 0,096$$

Необхідний повний розрахунковий тиск, Па

$$H_p = \beta_2 \cdot \Delta H_n = 1,2 \cdot 310 = 372$$

Каталожний тиск

$$H_p^{np} = K_p \cdot H_p = 0,096 \cdot 372 = 35,7$$

Споживана потужність димососа, кВт

$$W = \frac{1}{K_p} \cdot \frac{Q_p \cdot H_p^{np}}{3670 \cdot \eta_3} = \frac{1}{0,096} \cdot \frac{14300 \cdot 35,7}{3670 \cdot 90,01} = 16,1$$

Розрахункова потужність двигуна, кВт

$$W_{дв} = 1,05 \cdot W = 1,05 \cdot 16,1 = 17$$

Робота котла забезпечується димососом типу ДН-10. Привід димососа здійснюється електричним двигуном змінного типу А 101-8М, номінальна напруга його становить 220/380 В, потужність - 75 кВт, швидкість обертання - 750 об/хв. [20].