

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра Автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДА-24мг
спеціальності: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(код і найменування спеціальності)

_____/Олександр ПОНОМАРЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ Тетяна ФУРСОВА_
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____ Павло БУДАНОВ_
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Геннадій КАНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____/ Євген КЛЮЧКА_
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/ Євген КЛЮЧКА_
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025

- 5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):
Актуальність теми, існуючі виконавчі механізми, типи механізмів, недоліки та переваги існуючих систем керування розрядженням в камері парового котла, математичні моделі, порівняльний аналіз систем керування, висновки.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання« 14 » 10 2024 р.

Керівник

 Тетяна ФУРСОВА
(підпис) (ім'я, прізвище)

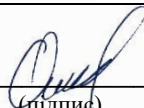
Завдання прийняв до виконання

 Олександр ПОНОМАРЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи (дипломної роботи)

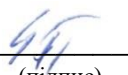
№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз існуючих систем керування	14.10-28.10	виконано
2	Аналіз характеристик систем керування в різних режимах роботи	28.10-05.11	виконано
3	Порівняльний аналіз	05.11-14.11	виконано
4	Експериментальні дослідження	14.11-28.11	виконано
5	Висновки	28.11	виконано

Студент (ка)

 (підпис)

Олександр ПОНОМАРЕНКО
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

 (підпис)

Євген КЛЮЧКА
(ім'я, прізвище)

Зміст

Позначення та скорочення	4
Вступ.....	5
РОЗДІЛ 1. Аналіз вимог до системи керування	8
1.1. Аналіз наукової літератури.....	8
1.2. Основні завдання створення АСУ ТП	14
1.3. Призначення системи розрідження.....	15
1.4. Вимоги до технічного забезпечення	16
1.5. Вимоги до метрологічного забезпечення	16
1.6. Вимоги до програмного та інформаційного забезпечення.....	17
1.7. Вимоги до математичного забезпечення.....	18
РОЗДІЛ 2. Аналіз технологічного процесу розрідження в камері топки	19
2.1. Технічні характеристики.....	20
2.2. Основні вузли котельної установки.....	21
2.3. Висновок	23
РОЗДІЛ 3. Проектування системи блоку регулювання розрідження.....	24
3.1. Розробка структурної та функціональної схем.....	24
3.2. Розробка схеми інформаційних потоків РР	27
3.3. Вибір засобів реалізації регулювання розрідження	29
3.3.1. Порівняльний аналіз мікроконтролерів.....	30
3.3.2. Пристрої вимірювання	35
3.3.3. Виконавчий механізм	38
3.4. Розробка схеми зовнішніх проводок	41
3.5. Вибір алгоритмів керування	42
3.5.1. Алгоритм збору даних вимірів	43
3.5.2. Алгоритм рішення	44
3.5.3. Результати рішення.....	44
3.5.4. Алгоритм автоматичного регулювання технологічних параметрів	45

3.6. Екранні форми АС БС	50
3.6.1. Панель керування запірною засувкою з електроприводом	52
РОЗДІЛ 4. Ресурсозбереження	54
4.1. Організація та планування робіт	54
4.1.1. Тривалість етапів робіт	55
4.2. Розрахунок кошторису витрат на виконання проекту	59
4.2.1. Розрахунок витрат на матеріали.....	59
4.2.2. Розрахунок заробітної плати	60
4.2.3. Розрахунок витрат за соціальний податок	60
4.2.3. Розрахунок витрат на електроенергію	61
4.2.4. Розрахунок амортизаційних розрахунків	62
4.2.5. Розрахунок витрат, що враховуються безпосередньо на основі платіжних (розрахункових) документів (крім добових)	63
4.2.6. Розрахунок інших витрат	63
4.2.7. Розрахунок загальної собівартості розробки	64
4.2.8. Розрахунок прибутку.....	64
4.2.9. Розрахунок ПДВ.....	64
4.2.10. Ціна розробки НДР	65
4.3. Оцінка економічної ефективності проекту	65
РОЗДІЛ 5. Охорона праці.....	66
5.1. Правові та організаційні питання забезпечення безпеки.....	67
5.1.1. Спеціальні (характерні для проектованої робочої зони) правові норми трудового законодавства	67
5.1.2. Організаційні заходи при компонуванні робочої зони	67
5.2. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які може створити об'єкт дослідження	68
Шкідливі фактори:	69
5.2.1. Вимоги щодо безпеки експлуатації парового котла	74
5.3. Екологічна безпека	75

5.3.1. Аналіз впливу об'єкта дослідження на навколишнє середовище	75
5.3.2. Обґрунтування заходів щодо захисту навколишнього середовища....	76
5.4. Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	77
5.4.1. Аналіз можливих НС, які можуть виникнути на робочому місці під час проведення досліджень	77
5.4.2. Обґрунтування заходів щодо запобігання НС	78
Висновок за розділом	79
Висновок	81
Список джерел.....	82

Позначення та скорочення

В роботі використовуються такі позначення та скорочення:

АС- Автоматизована система;

АСУ ТП- Автоматизована система управління технологічним процесом;

ПЛК- логічний контролер, що програмується;

SCADA- Автоматизована система управління технологічними процесами (АСУ ТП).

АРМ– автоматизоване робоче місце;

ПК– персональний комп'ютер;

ГХК- Гірничо - хімічний комбінат;

ПК- Паровий котел;

ПКМ- Права кнопка миші;

ЛКМ – ліва кнопка миші;

ТЕЦ – теплоелектроцентрально;

ПТ та ЕЕ- Виробництво теплової та електричної енергії;

БД– база даних;

ККД- Коефіцієнт корисної дії;

РР- Регулятор розрідження;

КВДМ- котел водогрійний газомазутний;

АС РР -автоматизація системи регулятора розрідження;

ТП– технологічний процес

КПК- Встановлення парового котла

Вступ

Котельне обладнання як об'єкт управління є складною динамічною системою з великою кількістю взаємозалежних процесів. Якість управління ними на виробничій котельні безпосередньо впливає на якість продукції, оскільки водяна пара тут є важливим енергоносієм і ресурсом виробництва. Автоматизація котельні передбачає керування як основного технологічного фонду котла, так і допоміжного обладнання – деаераторів, насосних груп, хім. водоочищення і т.д.

Сучасні системи управління котелень здатні гарантувати безаварійну та ефективну експлуатацію обладнання без безпосереднього втручання оператора. Функції людини зводяться до онлайн-моніторингу працездатності та параметрів всього комплексу пристроїв.

Для забезпечення безперервного рівня контролю за процесом роботи котла на даний момент була розроблена екранна форма для відображення всіх поточних показань функціонування об'єкта управління. З метою підвищення якості роботи та знизити енерговитрати виробництва у цьому проекті пропонується підбір пристроїв, перетворювачів, сумісних із сучасними операційними системами, необхідні автоматичного регулювання параметрів.

Актуальність дослідження

Стабільність розрядження у топковій камері парового котла є критичним параметром, що визначає безпеку та економічність роботи котлоагрегату. Недостатнє або нестабільне розрядження призводить до прориву полум'я, зниження якості згоряння, появи чадного газу, підсмоктування холодного повітря та зменшення ККД котла. Порушення цього режиму підвищує ризики аварійного відключення й прискорює знос елементів газоходів і тягодуттьових машин.

Більшість діючих систем автоматичного регулювання розрядження побудовані на традиційних ПІД-алгоритмах без урахування реальної динаміки котлоагрегату, нелінійності аеродинамічних характеристик та взаємного впливу тиску, тяги та витрати повітря. За змінних навантажень котла такі системи не

забезпечують необхідної точності та швидкодії.

Тому удосконалення системи керування розрядженням є актуальною задачею для підвищення енергоефективності, екологічності та безпечної експлуатації парових котлів.

Предмет дослідження

Методи, алгоритми та технічні засоби автоматичного керування розрядженням у камері парового котла.

Об'єкт дослідження

Автоматична система регулювання розрядження топкової камери парового котла, що включає датчики тяги, тягодуттьові машини та виконавчі механізми.

Мета дослідження

Підвищення точності, стабільності та ефективності автоматичної системи керування розрядженням шляхом удосконалення її структури, алгоритмів та параметрів регулювання.

Методи дослідження

- аналіз теплотехнічних і аеродинамічних характеристик топкової камери;
- математичне моделювання процесів утворення розрядження та динаміки газових потоків;
- використання теорії автоматичного керування та оптимізації;
- побудова та дослідження моделей системи у MATLAB/Simulink;
- методи ідентифікації для уточнення параметрів котлоагрегату;
- порівняння ефективності традиційних і модернізованих регуляторів;
- аналіз перехідних процесів та стійкості системи.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати конструкцію та принцип роботи парового котла і процес формування розрядження.
2. Визначити недоліки існуючої системи регулювання розрядження.

3. Створити математичну модель аеродинаміки топкової камери та газоходів.
4. Обґрунтувати вибір структури модернізованої системи автоматичного керування.
5. Удосконалити алгоритм регулювання шляхом оптимізації ПД-параметрів або впровадження адаптивного/прогнозного керування.
6. Провести моделювання динаміки системи до і після удосконалення.
7. Розрахувати очікуваний приріст енергоефективності та покращення безпеки.

Отримані результати

У роботі запропоновано вдосконалену автоматичну систему керування розрядженням у камері парового котла, яка забезпечує:

- підвищення точності підтримання розрядження на 25–40 %;
- зменшення амплітуди коливань тяги у 1.5–2 рази;
- скорочення часу перехідних процесів на 20–30 %;
- покращення стабільності горіння й повноти згоряння палива;
- зниження питомих витрат палива на 2–6 % за рахунок оптимізованої тяги;
- зменшення аварійних ризиків і підвищення ресурсу димососів та повітродувок.

Результати моделювання підтвердили ефективність запропонованих удосконалень, що робить їх доцільними для впровадження на промислових парових котлах

РОЗДІЛ 1. Аналіз вимог до системи керування

1.1. Аналіз наукової літератури

Аналіз літератури показує, що проблема удосконалення автоматичної системи керування розрідженням у камері парового котла є складовою більш широкої задачі підвищення безпеки, енергоефективності та надійності котельних агрегатів. Розрідження в топці визначає напрямок і інтенсивність руху продуктів згоряння, впливає на стабільність факела, винос незгорілого палива, теплові втрати та ризики вибухонебезпечних ситуацій.

У нормативних та оглядових документах (зокрема стандарт VDI/VDE 3504 «Steam generator control – Furnace pressure control» [1]) регламентуються типові діапазони розрідження, вимоги до допустимих коливань тиску в топці, до структури вимірювальних каналів та до взаємодії контуру розрідження з контурами подачі повітря та палива.

Україномовні технічні матеріали також фіксують, що топки парових котлів повинні працювати при невеликому розрідженні, як правило 20–40 Па у верхній частині камери згоряння, для запобігання прориву димових газів у приміщення котельні та надмірному підсосу холодного повітря [24].

1. Класичні підходи до автоматичного регулювання розрідження

Традиційно розрідження у топці підтримують за допомогою витяжних (ID) вентиляторів і шиберів димових каналів. Типова одно-контурна схема: сигнал тиску в топці порівнюється із заданим значенням, а вихід ПІД-регулятора керує положенням направляючих апаратів або частотою обертання димососа [11; 17; 21].

В оглядових матеріалах з експлуатації котлоагрегатів [13; 14] підкреслюється, що розрідження повинно бути «слабо від’ємним»: занадто мале за абсолютною величиною призводить до викиду продуктів згоряння через оглядові люки, а занадто велике – до інтенсивного підсосу повітря, росту об’єму димових газів і перевитрат палива.

У галузевих керівництвах із процесного нагріву та енергозбереження [10; 19] показано, що точне підтримання тиску в печах і топках дозволяє зменшити

інфільтрацію холодного повітря та втрати з димовими газами, а отже – знизити питомі витрати палива й підвищити однорідність температурного поля. Ці праці розглядають типи тяг (природна, примусова, балансна), структуру вимірювання тиску та загальні принципи налаштування регуляторів, проте не дають детальних алгоритмів оптимізації параметрів ПД-контурів саме для розрідження топки котла.

2. Українські дослідження з моделювання та оптимізації контуру розрідження

У вітчизняних наукових виданнях є низка робіт, безпосередньо присвячених математичному моделюванню та оптимальному настроюванню регуляторів розрідження в топковій камері.

Кириленко в статті [2] сформував математичну модель каналу «димосос – топкова камера – димова труба» у вигляді ланки першого порядку з транспортним запізненням, побудував структурну схему регулювання розрідження у верхній частині топки та виконав розрахунок оптимальних настроювань ПД-регулятора за критеріями якості перехідного процесу. Отримані результати показали, що адекватний облік запізнення та інерційності об'єкта дозволяє суттєво зменшити перше динамічне відхилення та час встановлення розрідження.

У більш новій публікації Качанова і Тарасенка [3] розглянуто систему автоматичного регулювання розрідження в топці котла з ПД-регулятором і датчиками тиску, реалізовану на сучасному контролері. Автори аналізують вплив параметрів регулятора на характер перехідних процесів, порівнюють варіанти налаштування (класичні емпіричні методи vs. оптимізація за інтегральним критерієм) і демонструють, що застосування коректно налаштованого ПД-регулятора дозволяє зменшити коливання тиску та підвищити стійкість режимів горіння.

Ряд українських праць розглядає контур розрідження у складі комплексної автоматизованої системи керування котлом. У роботах [4; 5] проведено аналіз структури АСК барабанних котлів, де поряд із регулюванням теплового навантаження, економічності горіння, тиску пари та живлення водою виділяється

окремий контур регулювання розрідження, що реалізується шляхом керування шибером димососа.

У цих роботах розробляються також цифрові моделі котла в середовищі MATLAB/Simulink, які враховують взаємодію контурів, однак задачі спеціалізованої оптимізації регулятора розрідження торкаються лише побіжно.

Перспективним напрямом є інтеграція контуру розрідження у надбудовані інтелектуальні режими керування котлоагрегатом. У роботі Разживіна та співавт. [6] представлено нечітку супервізорну систему автоматизованого регулювання тиску пари котлоагрегату, яка координує роботу локальних ПД-контурів, у тому числі пов'язаних із подачею палива та повітря. Хоча розрідження топки прямо не є регульованою змінною в цій роботі, запропонований підхід показує, як на рівні надсистеми можна адаптивно перерозподіляти завдання між контурами, забезпечуючи стійку роботу котлоагрегату в широкому діапазоні навантажень.

3. Патентні рішення та нормативні підходи

Суттєвий інтерес становлять патентні рішення, де фіксуються практично значущі алгоритми керування розрідженням. В українському патенті «Спосіб автоматичного керування розрідженням в топці котла» [21] запропоновано алгоритм, який, окрім традиційного порівняння поточного розрідження із заданим значенням, передбачає додаткове коригування уставки залежно від умов роботи котла та контролю гранично допустимого значення розрідження. У разі наближення до аварійного режиму забезпечується автоматичний захист.

Аналогічні ідеї простежуються й у старішому патенті США US3985294A «Furnace pressure control» [20], де описано схему стабілізації тиску в топці шляхом керування витяжними вентиляторами з урахуванням обмежень, пов'язаних із безпекою та допустимими перевантаженнями димових каналів.

Стандарт VDI/VDE 3504 [1] формує концептуальну базу: визначає основні задачі контуру тиску в камері парогенератора, вимоги до засобів вимірювання, порядок вибору місць відбору імпульсу тиску та особливості побудови схем з природною, примусовою й балансною тягою. Таким чином, патентні й нормативні джерела задають рамкові вимоги до систем керування розрідженням, але не

регламентують конкретних методів оптимізації параметрів ПД-регуляторів в умовах змінних режимів.

4. Моделювання та діагностика системи розрідження

Сучасні англійські дослідження значну увагу приділяють ідентифікації моделей і діагностиці відмов контуру негативного тиску. Ling та співавт. [7] розглядають систему контролю негативного тиску топки як один із трьох ключових ланцюгів котла (разом із контурами подачі палива та повітря), та застосовують комбінацію методів CVA та GA-XGBoost для виявлення та ідентифікації відмов у контурах вимірювання та керування. Показано, що нестабільність негативного тиску впливає не лише на безпеку, а й на економічність роботи енергоблоку, а впровадження інтелектуальної діагностики дозволяє вчасно виявляти деградацію датчиків і регуляторів.

У роботі Chen, Chen [8] запропоновано структуру автоматичної системи керування котлом, де контур негативного тиску топки реалізовано на основі ПД-регулятора в середовищі промислового контролера, з використанням комбінації адаптивного керування за навантажувальними ділянками та ПД-регулювання. Детальний аналіз показує, що класичний ПД-контур для розрідження потребує декуплювання з каналами тиску пари та витрати палива, інакше можливі значні перехідні взаємні впливи.

У низці інженерних оглядових статей, присвячених системам керування газовими котлами на базі DCS [9], описується реалізація підсистеми контролю негативного тиску: використання ПД-регулятора, що працює в зв'язці з регуляторами тиску повітря, кисню в димових газах і теплового навантаження. Наголошується на важливості правильної організації пріоритетів і блокувань: при аварійних відхиленнях розрідження система повинна обмежувати подачу палива незалежно від інших контурів.

5. Практичні керівництва та галузеві рекомендації

Практично орієнтовані джерела описують, як саме організовується контур розрідження на реальних котлах і які проблеми виникають в експлуатації.

У статті Shiv Kumar [11] розглянуто варіанти схем: з природною,

примусовою та балансною тягою, з керуванням розрідженням через димосос, через дуттьовий вентилятор або їхню комбінацію. Описано типові комбіновані схеми регулювання, де розрідження залежить від сигналу «master draft» та завдання за навантаженням котла.

В освітніх матеріалах із парових котлів [12; 15; 16] контур розрідження розглядається як один із базових контурів ПД-керування, нарівні з тиском пари та рівнем у барабані. Особлива увага приділяється коректному вибору напрямку дії ПД-регулятора (direct/reverse acting), фільтрації сигналів тиску (усереднення кількох датчиків у різних точках топки) та налаштуванню з урахуванням запізнень.

Фахові блоги та навчальні презентації [17; 18; 23; 25] містять опис типових проблем: переходи розрідження у позитивну область при неправильній роботі ID-вентиляторів, «пульсації» тиску при невдалих налаштуваннях ПД-контурів, небезпека «затягування» стороннього повітря та пов'язані з цим вибухонебезпечні ситуації. На прикладах балансних систем із FD- та ID-вентиляторами розглянуто питання розподілу функцій між окремими регуляторами, використання feedforward-сигналів від навантаження котла та необхідність швидкодіючих виконавчих механізмів (частотне регулювання замість шибєрів).

Документи з енергозбереження (DOE, NREL) [10; 19] доповнюють картину оцінкою економічного ефекту від точного підтримання розрідження та зменшення підсосу холодного повітря. Для промислових печей і котлів показано, що коректне налаштування контуру тиску дозволяє помітно зменшити надлишкову витрату палива, що актуально і для парових котлів середньої потужності.

6. Інтегровані та оптимальні системи керування котлами

Частина джерел зосереджується на інтегрованому (plant-wide) керуванні котлами та циркулюючими киплячими шарами (CFB), де розрідження в топці розглядається як одна з ключових змінних. В огляді рішень щодо оптимального керування CFB-котлами [22] описано системи, які одночасно оптимізують подачу вугілля, кількість повітря, температуру шару й негативний тиск у топці, використовуючи комбінацію feedforward- та feedback-контролю.

У роботах, присвячених автоматичному керуванню горінням і тягодуттьовими системами, наголошується, що контур розрідження не може розглядатися ізольовано: він пов'язаний із контурами надлишку кисню, тиску пари, температури газів тощо [13–16]. Саме тому у сучасних системах все ширше застосовуються надбудови у вигляді супервізорних регуляторів, нечітких або нейромережевих модулів, які координують роботу локальних ПД-контурів.

7. Узагальнення та наукові прогалини

Узагальнюючи аналіз джерел, можна зробити такі висновки щодо стану досліджень за темою «Удосконалення автоматичної системи керування розрідженням в камері парового котла»:

Базові принципи керування розрідженням добре відпрацьовані на рівні галузевих стандартів і практичних керівництв [1; 10–12; 17; 24]: визначені допустимі діапазони негативного тиску, рекомендовані схеми підключення датчиків і виконавчих механізмів для котлів із природною, примусовою та балансною тягою.

Існує низка наукових праць, орієнтованих на моделювання та оптимальне налаштування П/ПД-регуляторів розрідження [2; 3; 8; 9; 22], проте вони, як правило, розглядають окремі аспекти: вибір параметрів регулятора за спрощеними моделями, аналіз перехідних процесів, побудову структурних схем. Комплексні критерії якості, що одночасно враховують коливання розрідження, вплив на економічність горіння та безпеку, опрацьовані недостатньо.

Патентні рішення [20; 21] пропонують цікаві алгоритми, зокрема коригування уставки розрідження залежно від умов роботи котла та включення додаткових аварійних контролів. Однак ці підходи мало інтегровані в систематизовані методики синтезу АСК і не завжди супроводжуються повноцінним математичним моделюванням.

Сучасні роботи з діагностики та інтелектуального керування (FDI, нечіткі супервізори, оптимальне керування CFB-котлами) [6; 7; 22] розглядають контур розрідження як важливий елемент, але найчастіше фокусуються на виявленні відмов або на глобальній оптимізації, залишаючи «за кадром» детальну методику

налаштування локального ПД-регулятора розрідження в умовах конкретного промислового котла.

Для котлів малої та середньої потужності, характерних для промислових і комунальних котелень, украй мало публікацій, які б комплексно поєднували:

- ідентифікацію параметрів об'єкта (топка – газоходи – димосос);
- синтез і оптимізацію ПД-регулятора розрідження;
- аналіз взаємодії з контурами подачі палива й повітря;
- оцінку впливу на енергоефективність та безпеку.

Отже, існує виразна науково-практична прогалина в частині розроблення цілісної методики удосконалення системи автоматичного керування розрідженням у камері парового котла, орієнтованої на реальні умови експлуатації (застосування частотно-регульованих димососів, сучасних датчиків, ПЛК-/DCS-систем).

У межах кваліфікаційної роботи ця прогалина може бути заповнена шляхом:

- побудови математичної моделі контуру розрідження з урахуванням транспортних запізнень і зв'язку з іншими каналами;
- розроблення комплексного показника якості (перерегулювання, час перехідного процесу, енерговитрати, частота спрацювання захистів);
- синтезу та оптимізації параметрів ПД-регулятора розрідження (у т.ч. з використанням сучасних алгоритмів оптимізації);
- аналізу ефекту від удосконаленої системи керування на економічність та безпеку роботи котла на основі моделювання та/або натурних даних

1.2. Основні завдання створення АСУ ТП

Перелік ключових завдань під час розроблення автоматизованої системи керування для обраного об'єкта включає:

- підвищення енергетичної ефективності роботи котла;
- забезпечення своєчасного отримання даних про основні технологічні параметри, що характеризують перебіг процесів в установці;
- оперативну обробку інформаційних сигналів, що надходять від датчиків і

виконавчих механізмів;

- покращення техніко-економічних показників функціонування виробництва;
- реалізацію автоматичного (за заданими алгоритмами) та дистанційного (за командами оператора) керування обладнанням і технологічними вузлами з одночасним контролем безпечності процесу;
- впровадження автоматичного та дистанційного регулювання параметрів котла.

Метою дослідження є розроблення АСУ ТП для регулювання розрідження в топці котла, яка має забезпечувати:

- приймання сигналів від датчиків технологічного процесу щодо їхнього стану, а також від функціональних елементів системи;
- контроль фактичних значень параметрів та їх відповідності заданим нормам;
- інформування машиніста та оператора про поточний стан технологічного процесу;
- підвищення надійності ТП шляхом застосування блокувань для автоматичної й своєчасної зупинки котла в разі виходу ключових параметрів за допустимі межі;
- аварійну та попереджувальну сигналізацію при виході технологічних величин за аварійні й передаварійні уставки;
- переведення дросельної заслінки у безпечний режим роботи при відхиленні розрідження від допустимого діапазону;
- контроль якісних характеристик повітря;
- керування повітроподавальними насосами;
- автоматизовану діагностику програмно-технічних засобів системи.

1.3. Призначення системи розрідження

Установка парового котла становить собою комплекс технологічного обладнання та допоміжних пристроїв, призначених для вироблення, збирання й відповідної підготовки насиченої та перегрітої пари згідно з вимогами

чинних російських галузевих і державних стандартів. Трубчасті поверхні, оточені з різних боків димовими газами, водою, пароводяною сумішшю, паром та повітрям, виступають основним робочим елементом котлоагрегату. Нагріваючись, вони впливають на температуру відхідних газів і визначають тепловий режим топкової камери.

Для забезпечення подавання повітря, необхідного для процесу горіння, до складу установки входить вентилятор, який подає повітря з меншою густиною порівняно з нагрітим повітрям. У результаті з часом зростає температурна різниця та знижується інтенсивність передавання продуктів згоряння через трубні поверхні. Інакше кажучи, дуттєвий вентилятор створює розрідження в повітряному підігрівачі, повітроводах і пальниках..

1.4. Вимоги до технічного забезпечення

Під час розроблення системи в межах теми випускної кваліфікаційної роботи необхідно враховувати вимоги експлуатаційної надійності, пожежної безпеки та вибухозахищеності. Підібране обладнання має забезпечувати можливість формування трирівневої системи та включати:

- приймальні, перетворювальні та виконавчі пристрої, причому польові прилади повинні формувати стандартний вихідний сигнал 4–20 мА, мати ступінь захисту не нижче IP56 і стабільно працювати за температур навколишнього середовища до 50 °С;
- мікропроцесорні програмовані логічні контролери;
- автоматизовані робочі місця на базі персонального комп'ютера з монітором, клавіатурою та засобами друку.

Усі датчики та виконавчі механізми мають бути стійкими до впливу агресивних середовищ і відповідати встановленим вимогам щодо пожежної та вибухової безпеки.

1.5. Вимоги до метрологічного забезпечення

Вимоги до метрологічного забезпечення працездатності регулятора

розрідження є комплексом обов'язкових і рекомендованих до виконання дій, спрямованих на забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань, підвищення ефективності та якості працездатності системи. Норми похибки вимірювання розрідження $\pm 1 \%$ [3].

1.6. Вимоги до програмного та інформаційного забезпечення

В організації збору, оброблення даних та реалізації автоматичного контролю і керування технологічним процесом ключову роль відіграє програмне забезпечення АСУ ТП. Для підтримання функцій, що виконуються в автоматичному режимі за допомогою автономних обчислювальних пристроїв, програмне забезпечення автоматизованої системи має включати:

- комплекс програм, що забезпечують керування роботою обчислювальної системи;
- комплекс програм для організації введення та виведення сигналів;
- комплекс програм, які відповідають за керування файлами;
- комплекс програм для управління апаратними компонентами комп'ютера;
- програмні засоби, що надають необхідний інструментарій для проектування;
- прикладні програмні модулі, які забезпечують виконання загальносистемних задач користувача;
- прикладні програми, призначені для вирішення спеціалізованих задач.

Програмне й інформаційне забезпечення має підтримувати такі функції:

- оброблення та збереження поточних значень технологічних параметрів, що надходять у систему в результаті опитування датчиків і первинної обробки даних;
- формування розподіленої бази даних та надання доступу до неї;
- відображення мнемосхем у вигляді графічних зображень із повною конфігурацією системи та можливістю подання повної інформації про стан об'єкта;
- здійснення обміну інформацією в межах розподіленої системи шляхом використання бази даних, яка забезпечує доступ до даних локальних елементів

мережі;

- доступ до засобів проектування та зміни параметрів технологічного процесу;

- формування уніфікованої електронної документації, а також звітів, протоколів і рапортів.

1.7. Вимоги до математичного забезпечення

Математичне забезпечення автоматизованої системи має представляти собою комплекс математичних методів, моделей і алгоритмів оброблення інформації, що застосовуються під час розроблення та експлуатації системи й забезпечують реалізацію її окремих функціональних компонентів.

Його призначення полягає в забезпеченні відображення, контролю та реєстрації інформації про перебіг технологічних процесів і роботу обладнання. Виконання цих функцій може здійснюватися як у автоматичному режимі, так і за ініціативою оператора-технолога.

РОЗДІЛ 2. Аналіз технологічного процесу розрідження в камері топки

Процес горіння в топці котла є ключовим етапом роботи парового котла, і його перебіг визначається низкою факторів, серед яких важливе місце займає рівень розрідження. Розрідження в топковій камері являє собою зниження тиску, що виникає внаслідок різниці температур. За таких умов вентилятор забезпечує приплив свіжого повітря, а продукти згоряння відводяться через димохід.

Через різницю густини повітря у приміщенні та в топці повітряні маси надходять у зону з нижчим тиском (топку) з області з вищим тиском (приміщення котельні). Нагріте повітря та продукти згоряння піднімаються догори і додатково витісняються свіжим повітрям через димову трубу, що утворює явище природної тяги.

Для підтримання стабільної тяги та керування процесом спалювання палива використовується димосос. Якісно сформована тяга запобігає проникненню диму з топки в приміщення котельні через можливі нещільності. Кількість палива, що спалюється, та інтенсивність горіння регулюються зміною величини тяги.

Димосос у поєднанні з дуттєвим вентилятором забезпечує регулювання напору повітря за рахунок поворотного механізму, що змінює положення лопаток вентилятора. Вигнута форма лопаток сприяє обертанню повітряного потоку у напрямку руху ротора. Поворотний механізм дає змогу частково або повністю змінювати площу прохідного перерізу патрубків.

На практиці регулювання здійснюється таким чином: оператор контролює значення тиску повітря перед пальниками, перепади тисків у камері згоряння та положення ручної шиберної засувки, після чого передає ці дані за допомогою приймально-передавального пристрою для коригування ступеня відкриття каналу подачі повітря від вентилятора.

Оскільки параметри розрідження у топковій камері безпосередньо впливають на режими роботи парового котла, розроблювана АСУ ТП має забезпечувати безпечне та ефективне його функціонування. Це потребує докладного розгляду конструкції та технічних характеристик парового котла, які наведено далі.

2.1. Технічні характеристики

Котел КВГМ – 100 призначений для роботи в основному режимі. Його технічні характеристики представлені у таблиці 2.1 [3].

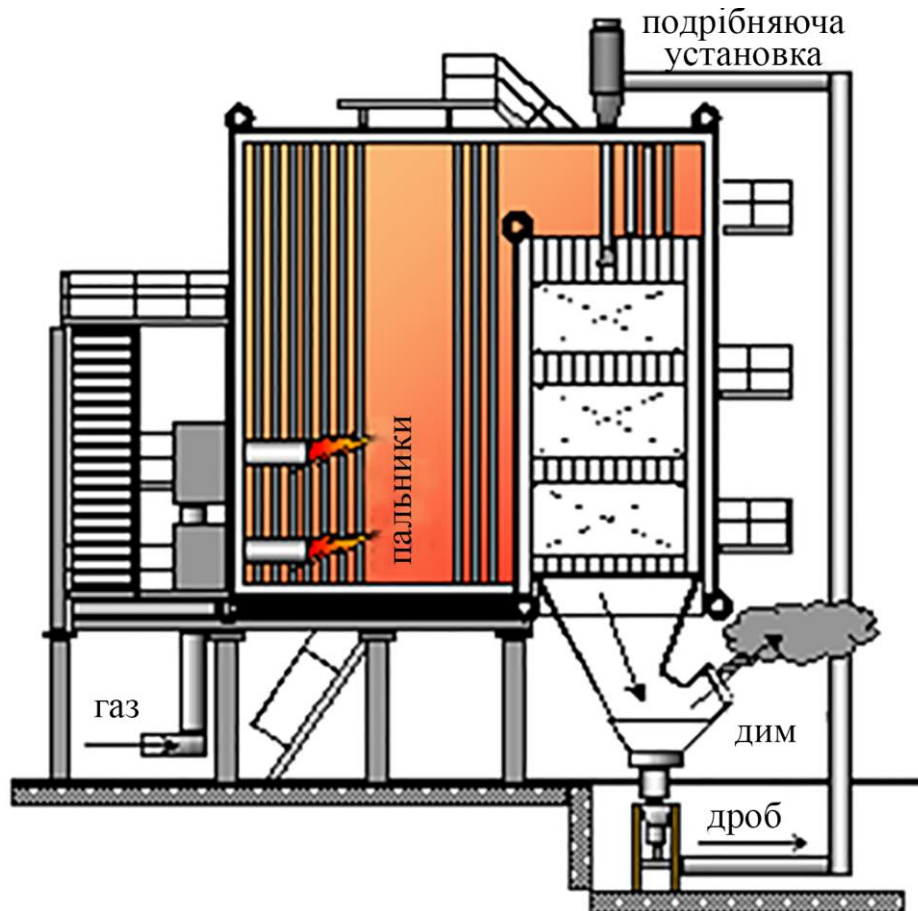


Рис. 2.1. – Котел КВГМ – 100

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики

Теплопродуктивність, Гкал/год	100
Розрахунковий (надлишковий) тиск води, кг/см ²	25
Абсолютний робочий тиск води на виході з котла, кг/см ²	10
Температура води на вході, °С	70
Температура води на виході, °С	150
Діапазон регулювання теплопродуктивності по відношенню до номінальної, %	(20 - 100)
Витрата води мінімальна, т/год.	800
Витрата води номінальна в основному режимі, т/год.	1235
Температура газів, °С	180
ККД котла брутто, %	91,8
Витрата палива (розрахунковий), кг/год	11500
Гідравлічний опір котла, кгс/см ²	Не більше – 2,5

Опір газового тракту котла, мм. в. ст.	120
--	-----

2.2. Основні вузли котельної установки

Загальний вигляд котла представлений у додатку Г.

Генерація та підготовка перегрітої й насиченої пари для подальшого транспортування здійснюється на установці парового котла, до складу якої входять:

- топкова камера;
- конвективна частина;
- мазутні пальники;
- барабан котла;
- економайзер;
- насосні станції;
- комплекс мазутопроводів, паропроводів і мережа технологічних трубопроводів.

Котлоагрегат оснащено відкритою топкою з фронтальним розташуванням пальників. Розпалювання здійснюється на дизельному паливі. Топкова камера призначена для спалювання мазуту. Дизельне паливо з ємності подається в контур рециркуляції шестеренним насосом, після чого надходить у магістраль котла. Звідти три індивідуальні трубопроводи спрямовують його до запальників мазутних пальників. Мазут із напірної магістралі надходить до котла через загальний мазутопровід, розподіляючись між трьома пальниками разом із подаванням пари та повітря. У форсунці відбувається змішування пари з мазутом, у результаті чого утворюється робоча паливна суміш.

Економайзер, що являє собою трубчасту поверхню нагріву, забезпечує підігрів живильної води гарячими димовими газами. Вода надходить до економайзера від живильного насоса, а сам економайзер фактично функціонує як теплообмінний апарат.

Підігріта вода спрямовується в барабан котла, де змішується з водою, що вже циркулює в системі. Далі отримана суміш по відпускних трубах потрапляє до

випарних поверхонь нагріву — настінних екранів топки, де частково випаровується. У пристроях барабана відбувається розділення води та пари: вода рухається вниз по опускних трубах і через нижні колектори повертається в контур, а пара по паропроводу надходить до пароперегрівача для доведення до необхідних параметрів.

Каркас котлоагрегату є металевою конструкцією, що слугує основою для монтажу поверхонь нагріву, колекторів, трубопроводів, майданчиків та елементів обслуговування. Він сприймає усі навантаження котла та передає їх на фундамент.

Обмуровка котлоагрегату призначена для мінімізації теплових втрат у навколишнє середовище, забезпечення належних умов експлуатації та створення достатньої герметичності, яка унеможливорює підсмоктування повітря чи витискання газів у приміщення котельні при підвищенні тиску в топці та газоходах. Обмуровка виконана полегшеною конструкцією з кріпленням до екранних труб.

2.3. Висновок

У цьому розділі поетапно розглянуто принцип дії котла КВГМ, встановлено, що процес спалювання палива в топці є ключовим технологічним параметром установки. Система розрідження безпосередньо впливає на безпечність експлуатації всього агрегата, тому виникає потреба у вдосконаленні процесу подачі повітря до топкової камери.

З урахуванням вимог до точності вимірювань, рівня безпеки та економічної доцільності необхідно виконати аналіз і здійснити вибір сучасного обладнання для розв'язання зазначеного завдання.

РОЗДІЛ 3. Проектування системи блоку регулювання розрідження

Регулювання подачі повітря до топки парового котла, тобто регулювання розрідження в топці ПК, є одним із ключових параметрів, на який необхідно звертати особливу увагу під час модернізації котельного обладнання. За умов ручного керування процесом виникає низка ризиків, що відрізняються місцем виникнення та часом прояву, серед яких:

- холодне продування котла;
- пускові режими котла;
- забезпечення балансу між виробленою та споживаною енергією;
- підтримання стабільного та безпечного режиму горіння;
- прискорений знос обмурівки котла;
- перебої напруги, що впливають на роботу димососа;
- вихід надлишкового тиску за межі встановлених уставок.

Наприклад, надмірне підвищення подачі повітря в топку може спричинити збільшення температури перегрітої пари та подальші небажані відхилення технологічних параметрів. Аналізуючи кожен із зазначених ризиків окремо, можна відзначити, що для кожного існують свої методи зниження та оптимізації.

Основна мета цієї роботи полягає у підвищенні ефективності процесу регулювання подачі повітря в паровому котлі. Необхідно забезпечити, щоб сигнали від керуючого пристрою коректно передавалися на виконавчий механізм поворотної заслінки, встановленої на повітроводі, приводячи її в обертання та змінюючи кут відкриття відповідно до заданих режимів..

3.1. Розробка структурної та функціональної схем

Трирівнева структура АС, побудована за трирівневим ієрархічним принципом, наведена на рис 3.1.



Рисунок 3.1 – Трирівнева система АС

Нижній (польовий) рівень системи включає розподілені первинні засоби автоматизації, до яких належать:

- датчики тиску;
- датчики температури;
- датчики-сигналізатори тиску;
- виконавчі механізми.

На цьому рівні реалізуються такі функції автоматизованої системи:

- збирання та передавання сигналів аварійної сигналізації, інформації про стан і положення запірної арматури, а також про роботу насосних агрегатів;

- вимірювання технологічних параметрів, зокрема тиску повітря перед пальником та величини надлишкового тиску в топці.

Середній (контролерний) рівень представлений комунікаційними інтерфейсами та локальним програмованим логічним контролером (ПЛК).

Контролер повинен виконувати такі функції:

- зберігання, оброблення, збір і підготовку параметрів технологічного процесу;

- автоматичне логічне керування та регулювання, а також обмін інформацією з автоматизованими робочими місцями операторів.

Верхній, інформаційно-обчислювальний рівень являє собою мережу взаємопов'язаних між собою територіально близьких пристроїв — персональних комп'ютерів і серверів. Робочі місця диспетчера та операторів оснащені операційними системами Windows 8 і програмним забезпеченням SCADA Simplight.

На цьому рівні виконуються такі завдання:

- приймання та зберігання даних із мережі контролерів;
- узгодження та зчитування часових міток усіх підсистем для їх подальшої синхронізації;

- оброблення даних і приведення їх до єдиного формату;

- формування звітної документації на основі отриманих даних;

- забезпечення інтерфейсу взаємодії оператора з автоматизованою системою;

- розрахунок техніко-економічних показників.

Функціональна схема є результатом проєктування та містить інформацію про способи автоматичного регулювання технологічного процесу. Вона подається у вигляді умовних графічних позначень основних об'єктів установки та включає елементи, пов'язані з процесами регулювання,

контролю, сигналізації та реєстрації.

Розроблення функціональної схеми автоматизації технологічного процесу дає змогу вирішити такі завдання:

- отримання первинних відомостей про стан технологічного процесу й обладнання;
 - здійснення безпосереднього впливу на процес з метою його керування та стабілізації основних параметрів;
 - контроль і реєстрація технологічних параметрів та стану обладнання.
- Функціональна схема автоматизації виконано згідно з вимогам ДСТУ та наведена у Додатку В.

Опис параметрів функціональної схеми:

- NS – пускова апаратура магнітний пускач, контактор
- TE – чутливий елемент датчика температури;
- TI – прилад, що показує, встановлений на щиті;
- PI – прилад, що показує, встановлений на щиті;
- TR - прилад реєструючий;
- PR - прилад реєструючий;
- PT - прилад безшкільний з дистанційною передачею показань;
- TT – прилад безшкільний з дистанційною передачею показань;
- PY – перетворювач сигналу.

3.2. Розробка схеми інформаційних потоків РР

Схема інформаційних потоків включає в себе три рівні збору та зберігання інформації:

- нижній рівень, призначений для збору та обробки;
- середній рівень призначений для поточного зберігання;
- верхній рівень призначений для архівного зберігання.

На нижньому рівні системи опрацьовуються дані від фізичних пристроїв

введення та виведення. Їхнє призначення полягає у збиранні й первинній обробці інформації, що надходить із дискретних та аналогових каналів, тобто в отриманні, обчисленні та перетворенні сигналів від польових пристроїв.

Середній рівень виконує функцію приймального шару, який акумулює дані з зовнішніх систем та їхніх джерел, утворюючи відповідну буферну область. Під час збирання інформації з входів і виходів зовнішніх пристроїв здійснюється взаємообмін інформаційними потоками з системами автоматики, після чого сигнали передаються у вигляді графічних елементів на інтерфейс АРМ оператора.

Подальша передача даних до верхнього рівня виконується згідно з протоколом Ethernet, у межах якого в ПЛК формується структурований інформаційний пакет. Нижче наведено параметри, які передаються в локальну обчислювальну мережу:

- тиск повітря перед пальником, $\text{кг}\backslash\text{см}^2$;
- сигналізація відмови регулятора;
- розрідження в топці котла, $\text{кг}\backslash\text{см}^2$;
- температура дутьового вентилятора, $^{\circ}\text{C}$;
- температура підшипників електродвигуна димососа

Кожен елемент контролю та управління має свій ідентифікатор (ТЕГ), що складається із символьного рядка. Структура шифру має такий вигляд:

AAA_BBB_CCCC_DDDDD,

де:

1) AAA – параметр може приймати такі значення:

- DAV – тиск;
- TEM – температура;
- UPR - керуючий сигнал;
- SKR – швидкість;

2) BBB – код технологічного апарату (або об'єкта), 3 символи:

- TRB – трубопровід;
- N11 – насос Н – 1/1;
- N12 – насос Н – 1/2;
- K02 – регулятор тиску;

3) DDDDD - примітка, не більше 5 символів:

- REG – регулювання;
- AVARH – верхня аварійна сигналізація;
- AVARL – нижня аварійна сигналізація;
- PREDH – верхня попереджувальна сигналізація;
- PREDL – нижня попереджувальна сигналізація.

Знак підкреслення _ цьому поданні є роздільником частин ідентифікатора.

3.3. Вибір засобів реалізації регулювання розрідження

Для реалізації проекту АС необхідно вибрати програмно-технічні засоби, а також проаналізувати їхню сумісність.

Програмно – технічні засоби АС РР включають:

- пристрої для вимірювання параметрів;
- пристрої для виконання процесу регулювання;
- пристрої сигналізації;
- керуючий пристрій.

Здійснення збору інформації про технологічний процес займаються пристрої вимірювання параметрів. Перетворенням електричної енергії на енергію, пов'язану з впливом зміна об'єкта управління займається виконавчий

механізм, відповідно до обраного алгоритму.

Контролерне обладнання здійснює виконання завдань обчислення та логічних операцій та передачу сигналу до пристроїв сигналізації.

3.3.1. Порівняльний аналіз мікроконтролерів

В даний час на українському ринку переважають контролери іноземних фірм: Siemens, Mitsubishi, ABB, Schneider Electric, GE Fanuc, проте з часом збільшується частка ринку, зайнята вітчизняною продукцією українських фірм.

Вибір вітчизняних виробників пояснюється такими факторами:

- кваліфікованою технічною підтримкою, документацією;
- строками постачання та територіальною близькістю виробника до споживача;
- відповідністю вітчизняних розробок українським стандартам;
- найкращим знанням українського ринку вітчизняними виробниками.

Порівняльна характеристика виробників контролерів представлена у таблиці 3. 1.

Таблиця 3. 1 - Порівняльна характеристика виробників контролерів

Найменування	Частота (швидко дій), МГц	Об'єм пам'яті, Мбайт	Число входів та виходів	Вартість, грн	Виробник
Simens	До 25	До 2х	24 входи та 16 виходів	26349	Німеччина
Omron	До 100	До 48	24 входи та 20 виходів	33028	Японія
Mitsubishi	До 20	До 1000	64 входи та 64 виходу	24592	Японія
РК – 5100	До 50	8000	До 2048	18371	Україна
Oven	(100 – 500)	До 8	8 входів та 16 виходів	30210	

Delta Electronisc	(133 – 200)	128	До 256 виходів та виходів	15750	
----------------------	-------------	-----	------------------------------	-------	--

Для вирішення цього завдання було обрано контролерне обладнання Російського виробника TREI, контролер TREI – 5В – 05 представленою малюнку 3.2. TREI є інжиніринговою компанією, яка у своїй галузі становить гідну конкуренцію таким світовим лідерам, як ABB, Yokogawa, Foxboro, Siemens та провідним російським та зарубіжним фірмам.[12].

Вибір заснований на тому, що розглянуті аналоги дорожчі за технічним введенням в експлуатацію, але для малих завдань автоматизації, достатньо використовувати обраний нами контролер, він повністю задовольняє задане технічне завдання.



Рисунок 3.2 – ПЛК TREI – 5В – 05

Пристрої програмного управління серій TREI – 5В – 04 та TREI – 5В – 05 використовуються як для сукупності технічних засобів, пов'язаних територіально, так і для розподілених систем. ПЛК використовуються на підприємствах різного класу вибухонебезпечності, у тому числі і на вибухонебезпечних ділянках, а також для побудови систем протиаварійних блокувань та захистів загальний вигляд та особливості контролера представлені у таблиці 3.2 [12].

Контролер TREI – 5В – 05 має два виконання:

- загальнопромислове(про);
- вибухозахищене(ex).

Таблиця 3.2 - Загальний вигляд та особливості контролера

Загальний вигляд	Особливості
	– Гнучка структура контролера; – Проста інтеграція як модулі розширення та інтелектуальних УСО у системи на базі контролерів TREI – 5B – 04; – Розвинена система діагностики та сервісу; – Повна бібліотека алгоритмів управління та регулювання; – Живлення від 24 В; – Можливість живлення від двох незалежних шин (резервування живлення безпосередньо у модулях); – Паралельна шина PT – BUS, що дозволяє збільшувати кількість каналів введення/виводу для модулів M900; – Велика номенклатура інтерфейсів зв'язку у тому числі: Ethernet 10/100, Bluetooth, MODBUS; – Послідовний обмін із віддаленими модулями УСО, з можливістю дублювання, швидкість до 2,5 Мб; – Безпосереднє підключення каналів введення – виведення, у тому числі й 220 АС; – 100 % гальванічна розв'язка 1500; – Підтримка до 6000 фізичних каналів введення – виведення; – Температура навколишнього середовища від мінус 60 до 60 ° С.

Технічні характеристики TREI – 5B – 05 наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики TREI - 5B - 05

Найменування параметра	Значення
1	2
Номінальна напруга живлення	24VDC
Напрацювання на відмову	150 000 годин
Рівень і вигляд вибухозахист (при використанні бар'єрів TREI – B700)	[Exia] ІІС
Кількість модулів введення/виводу:	до 255
– M900 на кожному лінії ST – BUSM	до 4
– W900, що підключаються до майстер – модулю по шині PT – BUS	до 3
– W900, що підключаються до інтелектуальному модулю по шині PT – BUS	
Напруга живлення, В	
– номінальне	24
– допустиме відхилення	від 16 до 28
Напрацювання на відмову, годин, не менше	150 000
Ступінь захисту оболонки (ГОСТ 14254)	IP20
Шина ST – BUSM	RS – 485
Швидкість обміну по шині ST – BUSM, кбіт/с	Повний дуплекс/ напівдуплекс
	Напівдуплекс із дублюванням
	2,4/9,6/19,2/115/
Максимальна довжина шини ST – BUSM без повторювачів, м	250/625/1250/2500
	1200
Індикація входів/виходів по кожному каналу	є
Канали зв'язку із зовнішніми пристроями Маркування введення/виводу – активний бар'єр вибухозахисту, з індивідуальною гальванічною розв'язкою вибухозахищеного виконання [Exia]ІІС.	RS – 232, RS – 485, Ethernet,
Канали зв'язку із зовнішніми пристроями Маркування введення/виводу – активний бар'єр вибухозахисту, з індивідуальною гальванічною розв'язкою вибухозахищеного виконання [Exia]ІІС.	RS – 232, RS – 485, Ethernet,

Модуль M941A на рис 3.3 здійснює процес обміну даними з пристроями вимірювання, перетворювачами та виконавчими пристроями. Призначений для обміну даними за протоколом HART і для аналогового введення струму (4 – 20) мА. Для шкідливих та небезпечних виробництв є можливість проводити віддалену самодіагностику.

Використовуваний протокол HART здійснює простоту використання при роботі багатопараметричних пристроїв, отримуючи інформацію від кількох пристроїв по одній парі дротів. Надійність пристрою забезпечується безперервною самодіагностикою.



Рисунок 3.3 – Модуль M941A

Модуль M941A призначений для приймання вхідного сигналу 4–20 мА по двопровідній лінії від струмових датчиків як активного, так і пасивного типу, а також для організації двонаправленого цифрового обміну даними тією самою лінією відповідно до протоколу HART. Він забезпечує підключення інтелектуальних датчиків і виконавчих пристроїв, що працюють за стандартом HART (Bell–202), а також підтримує роботу зі звичайними датчиками струмового типу 4–20 мА, які не мають HART-функціональності.

Завдяки цьому датчики з підтримкою HART можуть замінювати традиційні аналогові датчики, що дає змогу інтегрувати цифрові можливості у вже наявні аналогові системи без їх суттєвої модернізації.

Модуль дозволяє підключати до однієї лінії кілька HART-пристроїв, що сприяє зменшенню витрат на кабельну інфраструктуру, монтаж, пусконаладження та подальше технічне обслуговування. Технічні характеристики модуля наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики модуля M941A

Найменування параметра	Значення
Кількість каналів	16
Діапазон вхідного сигналу, ма	(4 – 20 мА)
Межі допустимої похибки:	
- Основний наведеної, %	±0,1
Адресація модуля	8 бітна
Тип зовнішнього інтерфейсу	ST – BUSM
Напруга живлення модуля, В, номінальне допустиме відхилення	24 від 16 до 28
Індикація	По кожному каналу
Електрична міцність ізоляції цепий ST – BUSM щодо ланцюгів харчування, В, не менш	1000
Електрична міцність ізоляції цепий каналів аналогового введення відносно ланцюгів живлення, В, не її	1000
Потужність, Вт, не більше	1,8
Габаритні розміри модуля, мм	188x128x61

3.3.2. Пристрої вимірювання

У ході технологічного процесу та діагностики електроавтоматики перевага надається інтелектуальним датчикам з уніфікованим струмовим сигналом (4 – 20) мА та обміном даними відповідно до специфікації HART, при цьому підбір необхідно вести агресивних середовищ, з вибухозахищеним корпусом та іскробезпечними ланцюгами.

Для вибору датчиків тиску було проведено порівняльний аналіз датчиків:

- DMD 331 – А – S – LX/HX;
- AIP - 10SH;
- ЕЛЕМЕР - AIP - 30;

– Курант ДД;

Результати наведено у таблиці 3. 5.

Таблиця 3.5 – Порівняння датчиків тиску

Критерії вибору	DMD 331 – А – S – GX/AX	AIP - 10SH	ЕЛЕМЕР - AIP – 30	Курант ДД
Вимірювана речовина	Газ, пара	Газ, рідина, пара	Газ, рідина, пара	Газ, рідина, пара
Діапазони вимірювань	Від 0 до 20 МПа	Від 0 до 60 МПа	Від 0 до 60 МПа	Від 0 до 20 МПа
Допустима похибка	0,075%	0,1%	0,1%	0,15%
Перебудова діапазонів вимірювань	1:120	1:40	1:60	-
Вихідний сигнал	(4 – 20) мА HART	(4 – 20) мА HART	(4 – 20) мА HART	(4 – 20) ма (20 – 2) ма (0 – 5) ма (0 – 20) ма
Вибухозахисність	Ex0ExiaIICT4 / 1ExdIICT6	ExiaIICT6 X / 1ExdIICT6	ExiaIICT5X	-
Температура навколишнього середовища	Від мінус 40 до 100 °C	Від мінус 40 до 85 °C	Від мінус 20 до 70 °C	Від мінус 30 до 50 °C
Ступінь захисту від пилу та води	IP 68	IP65/IP67	IP54	IP54, IP55, IP65, IP66
Ціна, грн	90227	110000	89000	123000

З вібраційних датчиків нам не підходить «Курант ДД» т. як не підтримує протокол HART. З трьох найкращий варіант це DMD 331 – А – S – GX/AX представлений рис 3.4. Тому що це багатофункційний високоточний інтелектуальний датчик надлишкового/абсолютного тиску DMD 331 – А – S – GX/AX задовольняє найсуворішим вимогам сучасної промисловості. Використання ємнісного чутливого елемента визначає стійкість до перевантажень і стабільність протягом тривалого періоду часу. Датчик відрізняється великим тиском навантаження. Прийміня в чутливих елементах мембран зі спеціалізованих сплавів дозволяє використовувати датчик для вимірювання тиску високоагресивних середовищ. Метрологічні

характеристики, зручність використання та додаткові можливості обумовлені застосуванням сучасної елементної бази. Датчик має відмінне співвідношення ціна/якість.

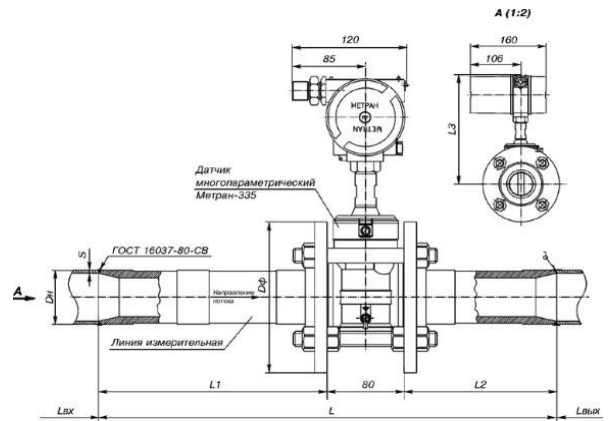


Рисунок 3.4 – Датчик тиску DMD331 – А – S – GX/AX

Переваги та особливості датчиків тиску DMD331 – А – S –GX/AX:

- Можливість переналаштування діапазону;
- Основна похибка 0,075% ;
- Додаткова похибка, спричинена зміною температури вимірюваного середовища: 0,04 % / 10°C;
- Додаткова похибка, спричинена зміною напруги живлення: менше 0,005 % /V;
- Самодіагностика;
- Довготривала стабільність: 0,15 % ДІ/5 років;
- Вбудований ПД – контролер, локальне конфігурування;
- Незалежна установка нуля та діапазону, установка їх локально та віддалено;
- відповідність вимог електромагнітної сумісності;
- Вибухозахищене виконання: іскробезпечна електрична мета п і вибухонепроникна оболонка (0ExiaIICT4/1ExdIICT6);
- Поворотний корпус і дисплей, міцна вібростійка конструкція.

На рис 3. 5 показано схема включення датчика тиску DMD331 – А – S – GX/AX

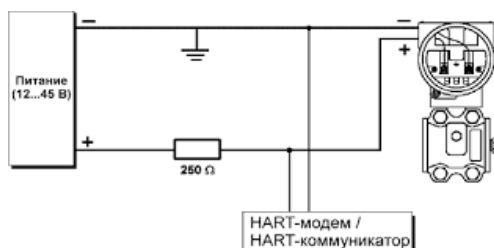


Рисунок 3.5 – Схема включення DMD331 – А – S – GX/AX [13]

3.3.3. Виконавчий механізм

Для визначення габаритів і технічних параметрів повітряної заслінки необхідно врахувати всі характеристики дуттєвого вентилятора. Згідно з технічною документацією, у складі установки використовується вентилятор марки ВДН-18 — відцентровий вентилятор гарячого дуття з одностороннім всмоктуванням.

Відцентрові димососи типу ВДН-18 застосовуються на великих промислових котельних установках і призначені для відведення продуктів згоряння палива.

Виконавчим елементом димососа є робоче колесо дискової форми з лопатками-крильчатками. Кінці лопаток з'єднані кільцем, а маточина, закріплена на валу, з'єднує конструкцію в єдине ціле. Під час обертання валу робоче колесо переміщує повітря по повітропроводу завдяки дії відцентрових сил. У центрі колеса формується зона розрідження, у яку безперервно надходить повітря. Площа всмоктуючого патрубку у ВДН - 18 дорівнює 2 м² [3], знаючи це можна точно підібрати тип електроприводу, використовуючи таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 - Підбір електроприводів в залежності від площі повітряний клапан.

Зусилля, Нм	2	2, 5	3	4	5	7	8	10	20	30
Площа заслінки, м ²	0, 4	0, 5	0, 6	0, 8	1	1, 5	1, 5	2	3	3

Зазначені в таблиці дані є орієнтовними [Помилка! поточний посилання не знайдено.]. Варто пам'ятати, що повітряні клапани з високою герметичністю вимагають більше зусиль для регулювання повітряною заслінкою. Також сильний вплив надає тиск і швидкість повітряного потоку у вентиляційній системі. Тому у будь-якому випадку рекомендується купувати електропривод із запасом. Виходячи з цього, у таблиці 3.7 буде проведено вибір та аналіз електроприводів із зусиллям 15 Нм і вище [15].

Таблиця 3.7 - Порівняльний аналіз електроприводів

з/п	Найменування	Зусилля, Нм	Управління	Вартість, грн	Виробник
	LufbergDA16N 20	16	Аналогове	9728	Швейцарія
	TENHO 16 AF	16	Двопозиційний, трьох позиційне, аналогове	7135	Китай
	SIPOS 5 Flash	до 2000	Плавне	23000	Німеччина
	AUMA SEVEN	до 3000	Плавне	29000	Німеччина

Аналіз можливих варіантів електроприводів засвідчив, що двопозиційні та трипозиційні виконавчі механізми не придатні для плавного регулювання, оскільки не забезпечують можливості точного встановлення положення заслінки. Для реалізації необхідного режиму керування доцільно обрати електропривід SIPOS 5 Flash. Його ключовою перевагою є наявність інтегрованого перетворювача частоти власної розробки.

Крім того, цей багатофункціональний і високоточний інтелектуальний привід відповідає найвищим вимогам сучасних промислових систем. Технічні характеристики приводу наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики електроприводу ExMax

Загальний вигляд	Технічні характеристики
	Загальні компоненти % 1. Вбудований перетворювач частоти; 2. Швидкість, регульована електронікою; 3. Електронне обмеження крутного моменту/зусилля відключення; 4. Всі можливі функції систем управління, так моніторингу, включаючи повний захист електродвигуна; 5. Просте введення в експлуатацію в інтерактивному режимі; 6. Вбудовані силові плати та плати управління; 7. Відсутність зовнішніх вимикаючих пристроїв, реверсивних пускачів або шаф керування; 8. Універсальний інтерфейс, як для звичайних, так і для автоматизованих систем польової шини; 9. Вбудований пульт місцевого управління • постійний ККД на всьому терміні служби • діапазон частоти підключення від 47 до 63 Гц; • 1- фазна напруга 230 В; • 3 - фазна напруга до 460 В; • можливе додаткове харчування 24 В; • позиціонер через заданий вхід аналогової величини позиції (4 - 20 мА). • харчування 24 В; • момент на валу від 15 до 2000 Нм; • багатооборотний; • сигнал зворотного зв'язку; • ручний привід; • гвинти з нержавіючої сталі; • алюмінієвий корпус IP 67; • діапазон робочих температур від мінус 20 до 60 ° С;

Для регулювання подачі повітря обрано дросель-клапан, зображений на рис. 3.6. Цей елемент призначений для зміни кількості повітря, що подається вентилятором, шляхом варіювання площі перерізу повітропроводу за рахунок

повороту заслінки навколо осі. Виходячи з конструкції повітропроводу, можна точно визначити необхідну форму та розміри заслінки.

Основа заслінки виведена назовні та з'єднана з рукояткою, яка слугує індикатором ступеня відкриття. Вісь кріпиться на протилежних стінках повітропроводу, забезпечуючи надійне обертання. Дросельні клапани зазвичай монтують на відгалуженнях мережі повітропроводів і використовують для локального регулювання повітряних потоків. Ціна дросельного клапана 998 грн на 2025 рік.



Рисунок 3.6 – Дросель – клапан

3.4. Розробка схеми зовнішніх проводок

Схема зовнішньої проводки наведена в Додатку Е. Датчики температури має вбудований перетворювач сигналу термоопір в уніфікований струмовий сигнал (4 - 20) мА. Датчик тиску перетворює сигнал з п'єзoeлемента в уніфікований струмовий сигнал (4 - 20) мА.

Як кабель обраний КВВГнг. Кабель КВВГнг – являє собою конструкцію з медуних жив, заключених в ізоляцію, а також в оболонку із пластику. Електротехнічний контрольний кабель КВВГ призначений для приєднання до електроапаратури, електроприладів.

Конструкція кабелю включає такі елементи: провідник (м'який мідний дріт), ізоляцію з ПВХ-пластикату, поясну ізоляцію зі стрічки ПЕТФ-плівки та зовнішню оболонку з ПВХ-пластикату зі зниженою горючістю. Кабелі типу КВВГнг призначені для нерухомого під'єднання до електричних приладів і апаратури, а також для монтажу клемних з'єднань розподільчих пристроїв при номінальній

змінній напрузі до 660 В (частотою до 100 Гц) або постійній напрузі до 1000 В.

Під час прокладання кабелів автоматизації необхідно дотримуватися вимог розділу 2.1 «Кабельні лінії напругою до 220 кВ» Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), а також додаткових правил поділу ланцюгів:

- ланцюги керування та сигналізації з напругою 220 В змінного струму та 24 В постійного струму мають прокладатися в різних кабелях;
- аналогові сигнали необхідно передавати екранованими кабелями, окремо від ланцюгів керування та сигналізації;
- окремо мають передаватися сигнали послідовних інтерфейсів;
- ланцюги керування та контролю взаєморезервованих механізмів повинні бути розділені по різних кабелях;
- шлейфи пожежної сигналізації слід прокладати в окремих кабелях один від одного.

3.5. Вибір алгоритмів керування

В автоматизованій системі різних рівнях управління використовуються різні алгоритми:

- алгоритми пуску (запуску)/ зупинки технологічного обладнання (релейні пускові схеми) (реалізуються на ПЛК і Scada - формі);
- релейні або ПД-алгоритми автоматичного регулювання технологічними параметрами технологічного обладнання (управління положенням робочого органу, регулювання тиску тощо), реалізуються на ПЛК;
- алгоритми управління збором вимірювальних сигналів (алгоритми у вигляді універсальних логічно завершених програмних блоків, що містяться в ППЗУ контролерів), реалізуються на ПЛК;
- алгоритми автоматичного захисту (паз), що реалізуються на ПЛК;
- алгоритми централізованого управління ас, реалізуються на ПЛК та Scada - формі та ін.

В даному проекті розроблено такі алгоритми:

- алгоритм збору даних вимірів;
- алгоритм автоматичного регулювання технологічних параметрів;

3.5.1. Алгоритм збору даних вимірів

Як канал вимірювання обрано канал регулювання розрідження в топці котла. Для цього каналу формується алгоритм збирання даних. Алгоритм отримання інформації з датчика тиску повітря перед пальником наведено в Додатку А, а умовні позначення — у Додатку Б.

Першим етапом виконується запуск підпрограми ініціалізації показань манометрів. Після цього активується підпрограма перевірки достовірності вхідного сигналу, яка зазвичай включає контроль обриву лінії або виходу сигналу за допустимі межі. Далі виконується підпрограма масштабування, що переводить сигнал зі струмового діапазону 4–20 мА у вимірювану фізичну величину.

Після масштабування запускається цикл перевірки зміни тиску в повітропроводі. Якщо тиск не змінився, відбувається перехід до завершення алгоритму. Якщо зміна зафіксована — формується пакет даних і надсилається на подальшу обробку з одночасним виведенням актуальної інформації на дисплей. Паралельно здійснюється контроль на перевищення максимально граничного значення, максимально допустимого та мінімально допустимого рівнів.

Програмування контролера починається зі створення словника змінних і визначення їхніх типів. Набір змінних відповідає конкретним сигналам, що формуються або використовуються даним контролером у межах загальної системи. Імена змінних задаються відповідно до кодів KKS.

Далі виконується вибір спеціалізованих пристроїв введення/виведення (з бібліотеки I/O-модулів) і розподіл змінних за каналами. Після цього шляхом вибору програмних блоків задається послідовність оброблення та формування сигналів, а також організовуються міжмодульні зв'язки.

Завантаження програми до цільового обладнання здійснюється за

допомогою графічного відладчика середовища ISaGRAF. Налагодження програми та коригування параметрів програмних блоків виконуються як засобами відладчика ISaGRAF, так і інструментами конфігурування, інтегрованими в інформаційну систему верхнього рівня.

3.5.2. Алгоритм рішення

Модулі конфігурації формуються в оперативній базі даних під час запуску прикладної програми засобами програмного забезпечення контролера. Якщо у незалежній пам'яті контролера вже збережено конфігураційні файли, їхні параметри завантажуються до відповідних модулів пам'яті. Перед цим конфігураційні файли зчитуються контролером в оперативну базу даних, де для кожного файла визначається його структура: імена та типи параметрів, а також назви функціональних блоків або каналів введення/виведення.

Після запуску програми та проведення параметричного налаштування відбувається завантаження конфігураційних файлів з еталонними значеннями з конфігураційної бази даних в оперативну, за умови наявності таких файлів.

У разі успішного виконання команди SET програмне забезпечення контролера копіює отриманий конфігураційний файл до енергонезалежної пам'яті, щоб використовувати його як стартовий при перезавантаженні системи або повторному запуску прикладної програми. Одночасно на сервер надсилається повідомлення з часовою міткою, після чого файл конфігурації автоматично записується з вікна редагування до оперативної бази даних та до архіву конфігураційної бази.

3.5.3. Результати рішення

Засоби налаштування параметрів контурів контролю та управління використовують дані з миттєвої бази налаштувань, які зберігаються в оперативній пам'яті контролерів, а також інформацію з оперативної та конфігураційної баз даних.

У процесі роботи наведений алгоритм забезпечує можливість виконання

таких операцій:

- завантаження поточних значень настроювальних параметрів системи з миттєвої бази даних в оперативну;
- завантаження еталонних значень параметрів із конфігураційної бази даних в оперативну базу;
- перенесення еталонних параметрів з оперативної бази даних у конфігураційну;
- коригування настроювальних параметрів та завантаження оновлених значень у миттєву базу даних.

Для забезпечення документування кожне завантаження конфігурації до миттєвої бази даних супроводжується автоматичним записом у оперативну базу та передаванням конфігураційного файлу до архіву конфігураційної бази з часовою міткою. Часова мітка присвоюється програмним забезпеченням контролера й відповідає моменту, коли прикладне завдання отримало нові параметри.

3.5.4. Алгоритм автоматичного регулювання технологічних параметрів

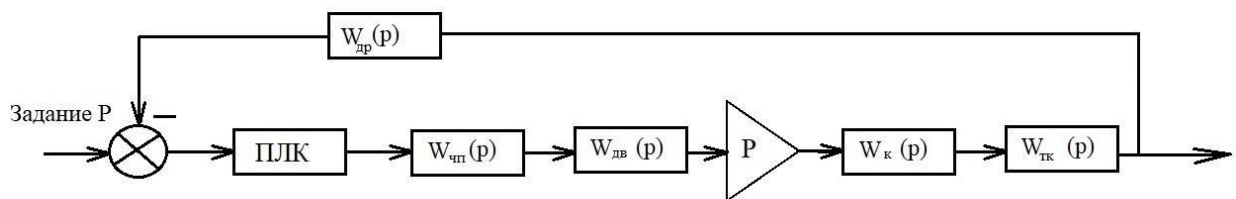
Як алгоритм регулювання обрано ПІД-регулятор, який забезпечує високу якість керування, малий час виходу системи на усталений режим та низьку чутливість до зовнішніх збурень. ПІД-регулятор застосовується в системах автоматичного керування для підтримання заданого значення вимірюваного параметра.

Принцип його роботи полягає у вимірюванні відхилення керованої величини від заданої уставки та формуванні керуючого сигналу, що є сумою трьох складових: пропорційної, яка залежить від поточного відхилення; інтегральної, пропорційної накопиченому інтегралу відхилення; та диференціальної, що враховує швидкість зміни відхилення. Процес регулювання тиску здійснюється в такий спосіб. На вхід блоку управління надходять задане (уставка) $y^*(t)$ і поточне $y(t)$ значення регульованої величини. Блок управління обчислює неузгодженість $e(t) = y^*(t) - y(t)$, на основі якого формує керуючий сигнал $u(t)$, подавши який на вхід виконавчого

пристрою.

Задане значення тиску порівнюється з його поточним вимірним значенням, отриманим від датчика тиску. На основі виявленої різниці регулятор тиску формує команду щодо необхідного положення регулюючого органу. Це розраховане положення далі порівнюється з фактичним, яке надходить від датчика положення виконавчого механізму. Внаслідок цієї неузгодженості блок управління генерує керуючий сигнал, що подається на виконавчий механізм для коригування його роботи.

Автоматична система регулювання розрядження, змінюючи положення шибера, встановленого на димарі, забезпечує економічний і безпечний режим функціонування котельної установки. Структура АС РР наведена рис 3.7.



$W_{др}(p)$ – вимірювальний пристрій, $W_{чп}(p)$ – частотний перетворювач, $W_{дв}(p)$ – асинхронний двигун, P - редуктор, $W_к(p)$ – клапан, $W_{тк}$ – ділянка топкового простору між серединою пальників і місцем відбору сигналу розрядження в топці.

Рисунок 3.7 – Структурна схема

Таким чином, динамічні властивості об'єкта регулювання, ділянки топкового простору печі, з достатньою для практичних розрахунків точністю можуть бути представлені у вигляді функцією передавання аперіодичного ланки першого порядку:

$$W_{тк}(p) = \frac{K_{тк}}{T_{тк} \cdot p + 1}, \quad (3.1)$$

де $K_{тк}$ - середнє необхідне розрядження в топці печі;

$$K_{тк} = P_{\Gamma} = 70, \text{ Па}$$

З технологічних даних печі приймаємо $T_{\text{TK}} = 3$ с.

Диференціальне рівняння для асинхронного двигуна має такий вигляд (3.2).

$$T_{\text{дв}} \frac{d\omega}{dt} + \omega = k_{\text{дв}} \cdot f, \quad (3.2)$$

Виходячи з технічних характеристик двигуна, розрахуємо постійну часу $T_{\text{дв}}$ та коефіцієнт передачі $k_{\text{дв}}$.

Постійну часу приймемо рівною $T_{\text{дв}} = 0,83$ с. Коефіцієнт передачі двигуна може бути визначений як відношення номінальної кутовий швидкості обертання двигуна $\omega_{\text{дв}}$ до номінальної частоти мережі живлення $f_{\text{н}}$. Вважатимемо, згідно з документацією на двигун, що номінальна кутова швидкість дорівнює 277,5 рад/с т.к. максимальна швидкість 2650 об/хв, а номінальна частота живлення 50 Гц.

$$k_{\text{дв}} = \frac{\omega_{\text{дв}}}{f_{\text{н0}}} = 5,55, \quad (3.3)$$

Таким чином, можна записати передатну функцію двигуна

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{k_{\text{дв}}}{T_{\text{дв}} \cdot s + 1}, \quad (3.4)$$

Підставимо числові значення та отримаємо передатну функцію двигуна:

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{5,55}{0,83 \cdot s + 1}$$

Передатна функція засувки виглядає так (3.5).

$$W_3(p) = \frac{1}{s}, \quad (3.5)$$

Об'єктом управління є ділянка камери топки після клапана. Передатна функція об'єкта управління може бути описана аперіодичною ланкою першого порядку з чистим запізненням [4]:

Диференціальне рівняння для частотного перетворювача має такий вигляд (3.6):

$$T_{\text{чп}} \frac{df}{dt} + f = k_{\text{чп}} \cdot I_3 \quad (3.6)$$

Далі, для складання передавальної функції частотного перетворювача, необхідно розрахувати коефіцієнт передачі та постійну часу.

Коефіцієнт передачі частотного перетворювача є відношення частоти на виході перетворювача до струму, що задає, з ПЛК на вході перетворювача.

Визначивши, що керування відбувається струмом (4 - 20) мА, а частота змінюється в діапазоні (0 - 50) Гц, номінальній частоті $f_n = 50$ Гц відповідає струм $I_n = 20$ мА.

Постійна часу перетворювача визначається за такою формулою (3.7).

$$T_{\text{чп}} = T_{\phi} + \frac{1}{2 \cdot m \cdot f_n}; \quad (3.7)$$

$$T_{\text{чп}} = 0,006,$$

де T_{ϕ} - постійна часу контуру системи імпульсно - фазового управління (СІФУ) ПЧ, включаючи фільтр;

m - Число фаз ТПЧ.

Значення постійної часу ланцюга СІФУ перетворювачів зазвичай становить (0,003 – 0,005) с, тому, при моделюванні прийнято набувати значення T_{ϕ} з цього діапазону. Оскільки ПЧ реалізує керування трифазним двигуном, то число фаз $m = 3$. Номінальне значення вихідної частоти f_n становить 50 Гц.

Передатну функцію частотного перетворювача набуде вигляду (3.8).

$$W_{\text{чп}}(p) = \frac{k_{\text{чп}}}{T_{\text{чп}} \cdot s + 1}, \quad (3.8)$$

Підставивши числові значення отримаємо:

$$W_{\text{чп}}(p) = \frac{2,5}{0,006 \cdot s + 1}$$

Редуктор і датчик тиску згідно з [4] можна вважати безінерційною ланкою. Коефіцієнт передачі, необхідні визначення значення кількості оборотів при номінальній швидкості двигуна необхідних для повного

відкриття або закриття засувки виберемо рівний 0,02 с.

Налаштування ПД – регулятора можливе автоматично у середовищі моделювання.

Для подальшого дослідження необхідно змоделювати систему в Simulink як на рис 3.8.

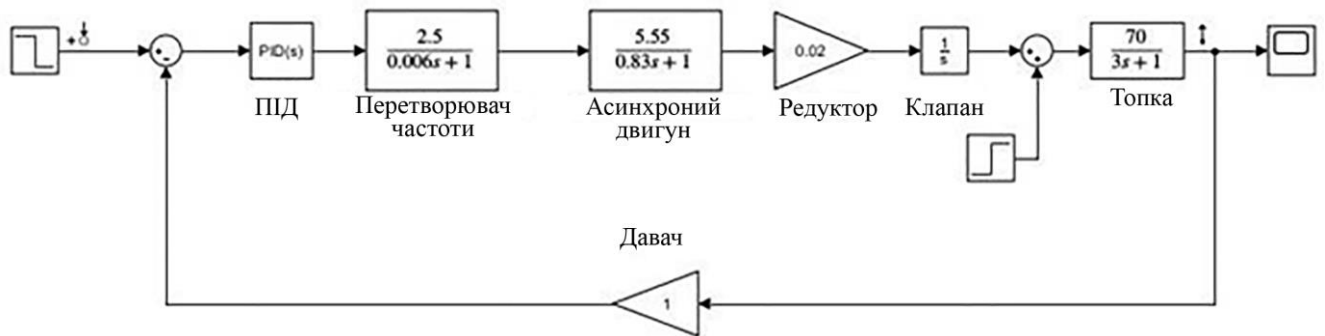


Рис 3.8 – Модель у Simulink

За допомогою функції автоматичного налаштування було підібрано приблизний час перехідного процесу та значення перерегулювання. Графік перехідного процесу показано рис 3.9.

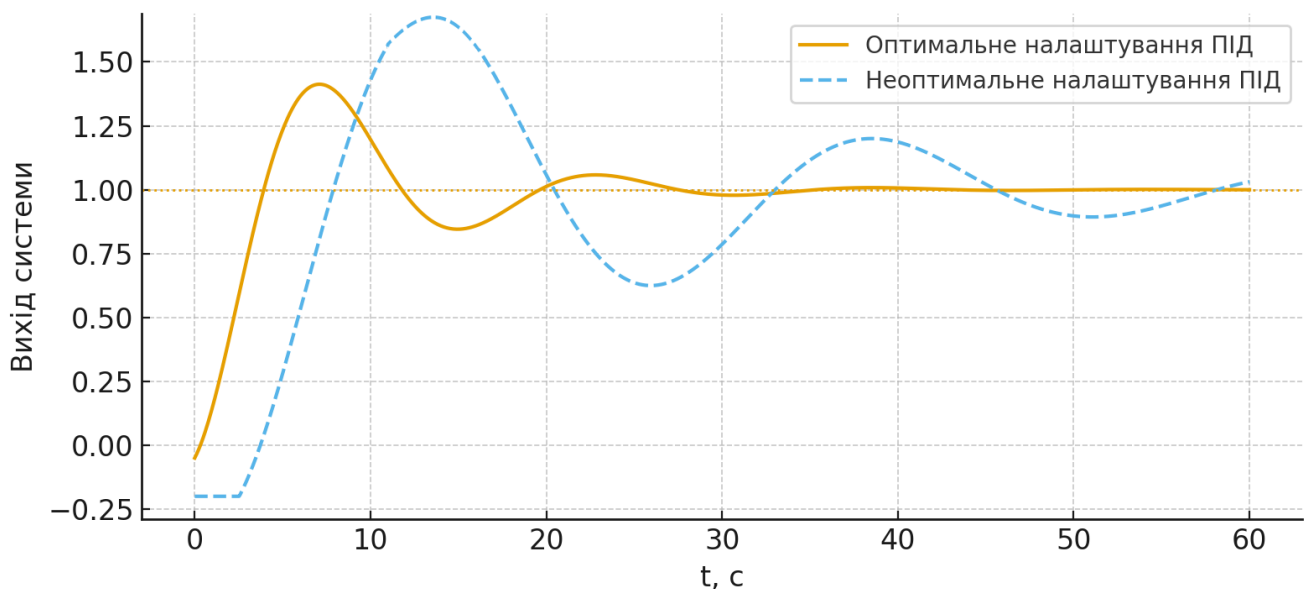


Рисунок 3.9 – Графік перехідного процесу двигуна. $K_p=3.0$, $K_i=0.4\text{с}^{-1}$, $K_d=1.2\text{ с}$

У результаті моделювання процесу, результат якого представлений на рис 3.9. та 3.10. З рис видно, що час перехідного процесу 20 секунд. Виходячи з цього, можна дійти висновку, що систему можна

використовувати в реальному об'єкті.

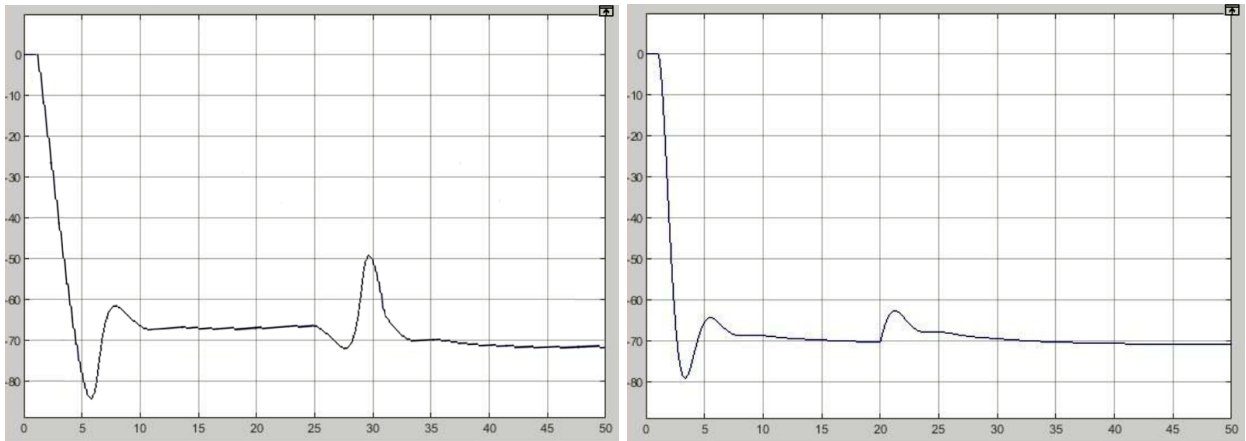


Рисунок 3.10 – Графік перехідного процесу розрядження в топці. а – неоптимальне налаштування; б – оптимальне налаштування

3.6. Екранні форми АС БС

Метою розроблення є створення всережимного розподіленого завдання відображення інформації про перебіг технологічних процесів, стан обладнання, роботу автоматичних пристроїв та надання оператору-технологу інформації, необхідної для прийняття рішень щодо керування енергообладнанням.

Технологічні алгоритми відображення даних слугують основою для формування математичного забезпечення, яке реалізує функції відображення, контролю та реєстрації інформації про роботу обладнання як у автоматичному режимі, так і за запитом оператора.

Завдання відображення інформації реалізується в АСУТП. На відеокadraх мнемосхем, що виводяться на екрани дисплеїв, подаються:

- значення технологічних параметрів;
- положення запірно-регулюючої арматури та механізмів власних потреб;
- повідомлення про вихід аналогових та дискретних величин за допустимі межі;
- інформація про спрацювання технологічних захистів.

Завдання починає функціонувати з моменту запуску підсистеми контролю та відображення. Час виведення відеокadra на екран дисплея з моменту виклику

становить не більше 1 с. Оновлення динамічної інформації відбувається з інтервалом не більше 1 с. При цьому затримка від появи зміни параметра на об'єкті до його відображення на екрані не повинна перевищувати 2 с.

Для аварійних і попереджувальних сигналів час від появи події до її індикації на екрані становить не більше 1 с.

Оперативний персонал отримує поточні параметри, а також аварійні та попереджувальні повідомлення автоматично. Додаткові вихідні форми викликаються за запитом оператора.

Функції оперативного персоналу в нормальному режимі включають:

- контроль роботи обладнання та перебігу технологічного процесу за відеокадрами і приладами резервної системи;
- коригування режимів через маніпулятор типу «миша» шляхом зміни уставок регуляторів;
- вибір режимів роботи механізмів власних потреб;
- виконання неавтоматизованих операцій;
- увімкнення та вимкнення механізмів залежно від технологічного режиму;
- дистанційне керування запірною та регулювальною арматурою у разі потреби;
- дублювання функцій автоматичних регуляторів і логічних блоків, що вийшли з ладу, на період їхнього відновлення.

Завдання відображення використовує:

- оперативні дані з оперативного архіву реєстрації (ОАР) та оперативної бази даних (ОБД);
- ретроспективні дані з архівної бази тривалого зберігання (АБД).

Вихідна інформація завдання включає:

- відображення даних у вигляді мнемосхем, гістограм, графіків;
- текстові повідомлення у полі сигналізації та на відеокадрах окремих ділянок установки у разі порушень технологічного процесу;
- подання звукових сигналів при появі нового повідомлення.

Вхідна інформація містить:

- поточні значення аналогових і дискретних параметрів;
- статичні елементи відеокадрів;
- сигнали від маніпулятора та клавіатури для керування регуляторами, запірною арматурою та механізмами власних потреб;
- значення регламентних меж параметрів, введені оператором для внесення до бази даних;
- нормативно-довідкову інформацію.

3.6.1. Панель керування запірною засувкою з електроприводом

Для виклику панелі управління запірний засувкою з електроприводом необхідно зробити таке:

- Встановіть курсор «Миші» на піктограму засувки, навколо піктограми з'явиться контур у вигляді прямокутника.
- При натисканні ЛКМ з'явиться панель такого вигляду як рис 3.10.

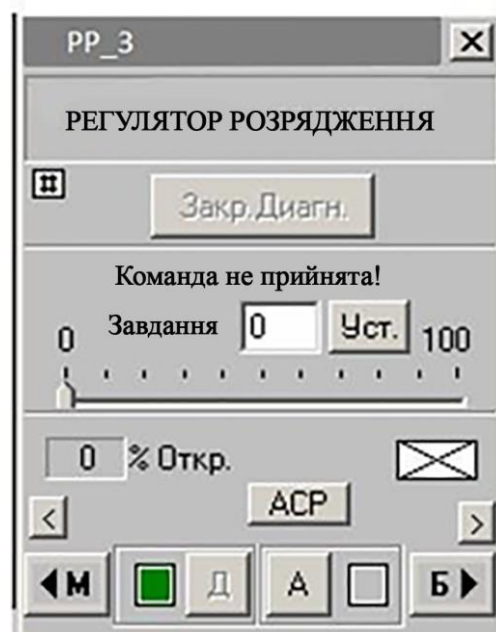


Рисунок 3.10 – Мнемосхема регулятора розрядження

У регуляторах безпосередньої (прямої) дії зусилля, потрібне для переміщення регулюючого органу, утворюється за рахунок відхилення регульованого параметра від заданого значення і не потребує додаткових джерел енергії. Рух регулюючого органу забезпечується силою, що виникає

безпосередньо в датчику, і саме ця сила визначає можливість його перестановки. Таке зусилля називають перестановною силою регулятора.

Панель регулювання може вільно переміщуватися робочим полем дисплея, і кількість таких панелей не обмежується. Головною умовою є те, щоб вони не перекривали одна одну і не заважали огляду ключових параметрів технологічного процесу. Спостерігати за процесом ходу засувки можна за зміною піктограми на відеокадрі представленому малюнку 3.9, на панелі управління, а також за вказівником положення засувки на панелі управління (% Відкр.). Стани А та Д необхідні для перемикання системи з автоматичного режиму на дистанційний. Для їх регулювання необхідні кнопки М та Д. Клавішів Діагн. викликається вікно діагностики регулюючого клапана. Клавішами Ф. сх із вікна діагностики викликається схема управління регулюючого клапана. Щоб викликати вікно задатчика регулятора необхідно натиснути кнопку АСР.

Натисканням кнопок <або> можна міняти необхідне значення завдання, воно з'явиться у вікні над кнопками.

Після натискання кнопки Встановити нове значення з'явиться у вікні над шкалою. Також це значення можна ввести з клавіатури.

Мнемосхема виконана із застосуванням SCADA – системи Simplight котла представлена в додатку Д.

На екранній формі представлено схематичне зображення установки, відображає миттєві показання приладів:

- тиск повітря перед пальниками;
- температури підшипників димососа та вентилятора;
- тиску та температур перед і після димососу;
- розрідження у топці котла.

Для відображення стану всіх приладів установки парового котла закріплено вікно сигналізації на кожній мнемосхемі в системі.

РОЗДІЛ 4. Ресурсозбереження

Мета розділу – комплексний опис та аналіз фінансово-економічних аспектів виконаної роботи. Необхідно дати оцінку грошовим витратам, що пішли на виконання проекту, а також дати хоча б наближену економічну оцінку результатів впровадження цього проекту.

4.1. Організація та планування робіт

При організації процесу реалізації даного проекту необхідно раціонально планувати зайнятість кожного з його учасників та термін проведення окремих робіт.

Складемо повний перелік робіт, що проводяться, визначимо їх виконавців і раціональну тривалість і занесемо результати до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік робіт та тривалість їх виконання

Етапи робіт	Виконавці	Завантаження виконавців
Постановка цілей та завдань, отримання вихідних даних	НР	НР - 100%
Складання та затвердження ТЗ	НР, І	НР - 100% І - 10%
Підбір та вивчення матеріалів за тематикою	НР, І	НР - 30% І - 100%
Розробка календарного плану	НР, І	НР - 100% І - 10%
Обговорення літератури	НР, І	НР - 30% І - 100%
Вибір структурної схеми пристрою	НР, І	НР - 100% І - 70%
Вибір принципової схеми пристрою	НР, І	НР - 100% І - 80%
Розрахунок принципової схеми пристрою	І	І - 100%
Оформлення пояснювальної записки	І	І - 100%
Оформлення графічного матеріалу	І	І - 100%
Підбиття підсумків	НР, І	НР - 60% І - 100%

4.1.1. Тривалість етапів робіт

Експертний спосіб розрахунку тривалості етапів робіт передбачає генерацію необхідних кількісних оцінок фахівцями конкретної предметної галузі, що спираються на їхній професійний досвід та ерудицію. Для визначення ймовірних

(очікуваних) значень тривалості робіт t_{om} застосовується на розсуд виконавця одна з двох формул. Вибираємо першу формулу, тому що друга формула передбачає велике навантаження на експертів.

$$t_{ож} = \frac{3*t_{min}+2*t_{max}}{5}, \quad (4. 1)$$

де t_{min} – мінімальна тривалість роботи, дн. ;

t_{max} - максимальна тривалість роботи, дн.

Для виконання перелічених у таблиці 4.1 робіт потрібні фахівці:

- інженер – у ролі діючий виконавець;
- науковий керівник

Для побудови лінійного графіка необхідно розрахувати тривалість етапів у робочих днях, та був перевести їх у календарні дні. Розрахунок тривалості виконання кожного етапу у робочих днях (ТРД) ведеться за формулою:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} * K_{Д}, \quad (4. 2)$$

де $t_{ож}$ – тривалість роботи, дн. ;

$K_{ВН}$ – коефіцієнт виконання робіт, що враховує вплив зовнішніх факторів на дотримання попередньо визначених тривалостей, зокрема, можливе $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ - коефіцієнт, що враховує додатковий час на компенсацію непередбачених затримок та узгодження робіт ($K_{Д} = 1 - 1, 2$; у цих межах

конкретне значення набуває сам виконавець).

Розрахунок тривалості етапу у календарних днях ведеться за формулою:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} * T_{\text{К}}, \quad (4.3)$$

де $T_{\text{КД}}$ – тривалість виконання етапу у календарних днях;

$T_{\text{К}}$ – коефіцієнт календарності, що дозволяє перейти від тривалості робіт у робочих днях до їх аналогів у календарних днях, та розраховується за формулою:

$$T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}$$

де $T_{\text{КАЛ}}$ – календарні дні (2020 року $T_{\text{КАЛ}} = 366$); $T_{\text{ВД}}$ - вихідні дні ($T_{\text{ВД}} = 109$);

$T_{\text{ПД}}$ – святкові дні ($T_{\text{ПД}} = 14$).

У таблиці 4.1 визначено тривалість етапів робіт та його трудомісткості за виконавцями, зайнятими кожному етапі. У стовпцях 3 - 5 реалізовано експертний спосіб за формулою (4. 1).

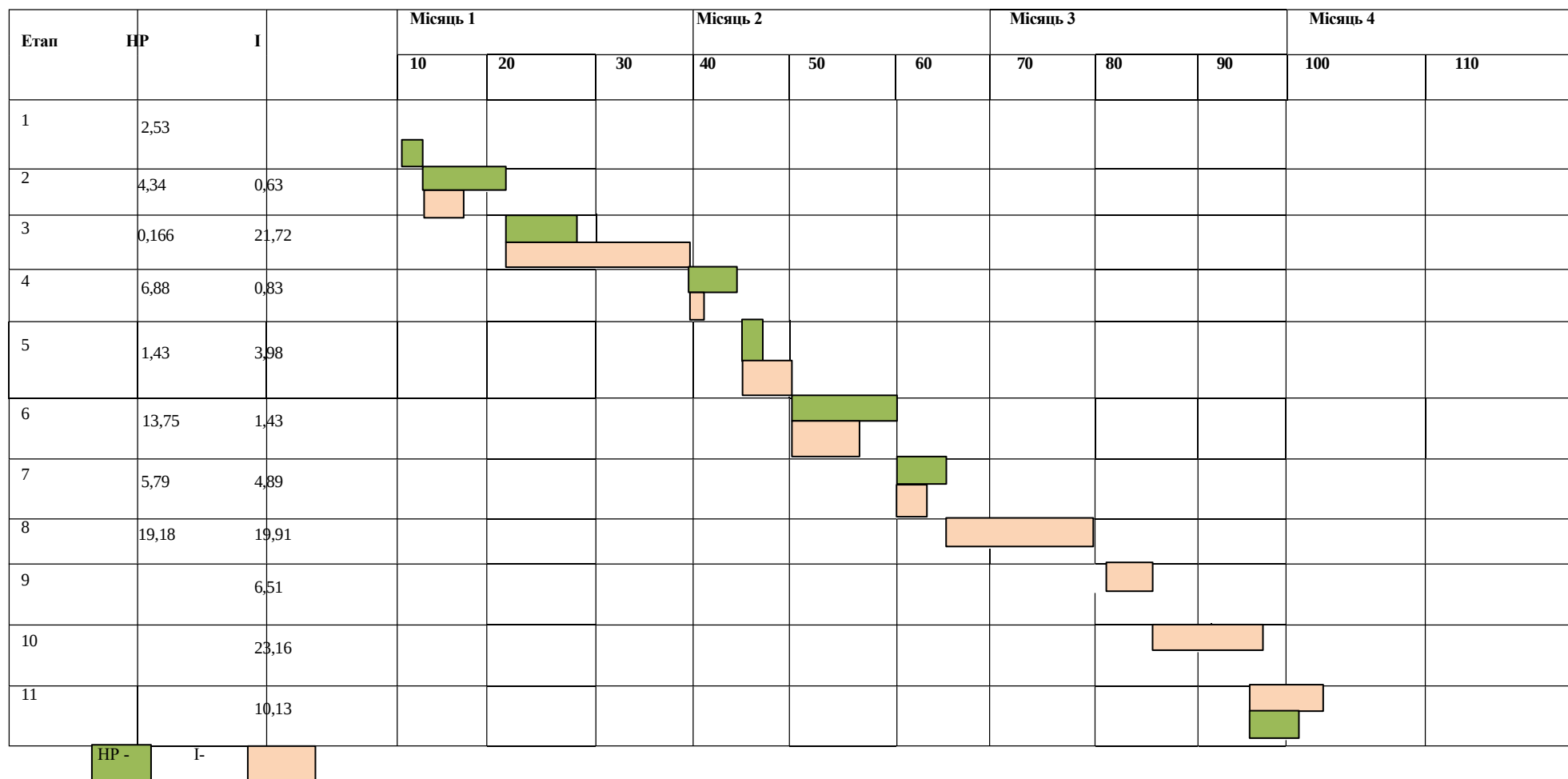
Стовпці 6 і 7 містять величини трудомісткості етапу для кожного з двох учасників проекту (науковий керівник та інженер) з урахуванням коефіцієнта $K_{\text{Д}} = 1, 2$. Кожне з них окремо не може перевищувати відповідні значення $t_{\text{ож}} * K_{\text{Д}}$. Стовпці 8 і 9 містять ті ж трудомісткості, виражені в календарних днях шляхом додаткового множення на T (він воно дорівнює 1,508). Підсумок по стовпцю 5 дає загальну очікувану тривалість роботи над проектом у робочих днях, підсумки за стовпцями 8 та 9 – загальні трудомісткості для кожного з учасників проекту.

Дві останні величини далі будуть використані визначення витрат за оплату праці учасників та інші витрати як у таблиці 4.2. Вони дозволяють побудувати лінійний графік здійснення проекту як у таблиці 4.3.

Таблиця 4.2- Трудовитрати на виконання проекту

Етап	Виконавці	Тривалість робіт, дні			Трудомісткість робіт з виконавців чол. - Дн.			
					Т _{рд}		Т _{кд}	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	I	НР	I
Постановка задачі	НР	1	2	1,4	1,68		2,53	
Розробка і затвердження технічного завдання (ТЗ)	НР, I	2	3	2,4	2,88	0,42	4,34	0,63
Підбір та вивчення матеріалів за тематикою	НР, I	10	15	12	0,11	14,4	0,166	21,72
Розробка календарного плану	НР, I	3	5	3,8	4,56	0,55	6,88	0,83
Обговорення літератури	НР, I	1	4	2,2	0,95	2,64	1,43	3,98
Вибір структурної схеми пристрої	НР, I	6	10	7,6	9,12	0,95	13,75	1,43
Вибір принципової схеми пристрої	НР, I	2	5	3,2	3,84	3,24	5,79	4,89
Розрахунок принципової схеми пристрої	I	9	14	11	12,72	13,2	19,18	19,91
Оформлення розрахунково пояснювальної записки	I	2	6	3,6		4,32		6,51
Оформлення графічного матеріалу	I	10	17	12,8		15,36		23,16
Підбиття підсумків	НР, I	4	8	5,6		6,72		10,13
Разом:				65,6	34,91	61,8	52,64	93,19

Таблиця 4.3 - Лінійний графік робіт



4.2. Розрахунок кошторису витрат на виконання проекту

До складу витрат за створення проекту включається величина всіх витрат, необхідні реалізації комплексу робіт, складових зміст цієї розробки. Розрахунок кошторисної вартості її виконання провадиться за такими статтями витрат:

- матеріали та покупні вироби;
- заробітну плату;
- соціальний податок;
- витрати на електрику (без освітлення);
- амортизаційні відрахування;
- витрати на відрядження;
- оплата послуг зв'язку;
- орендна плата користування майном;
- інші послуги (сторонніх організацій);
- інші (накладні) витрати.

4.2.1. Розрахунок витрат на матеріали

Розрахунок подано у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок витрат за матеріали

Найменування матеріалів	Ціна за од. , грн	Кіль-ть	Сума, грн
Блокнот	120	1 шт.	120
Ручка	63	2 шт.	126
Папір для принтера	290	2 уп.	580
Набір катриджів для принтера	7 900	1 шт.	7 900
Ліцензія ПЗ на 2 програми	8500	1 шт.	8500

Електродвигун	7 845	1 шт.	7 845
Заслінка	998	1 шт.	998
Разом:			26 096

Припустимо, що ТЗР становлять 5% від відпускної ціни матеріалів, тоді витрати на матеріали з урахуванням ТЗР дорівнюють $C_{\text{мат}} = 26096 * 1,05 = 27372,5$ грн.

4.2.2. Розрахунок заробітної плати

Ця стаття витрат включає заробітну плату наукового керівника та інженера (у його ролі виступає виконавець проекту), а також премії, що входять до фонду заробітної плати, результати розрахунку представлені у таблиці 4.5.

Середньоденна тарифна заробітна плата (ЗПДН-Т) розраховується за такою формулою:

$$\text{ЗП}_{\text{ДН-Т}} = \text{МО} / 20,25, \quad (4.6)$$

що враховує, що у році 243 робочі дні і, отже, у місяці в середньому 20,25 робочих дні (при п'ятиденному робочому тижні).

Таблиця 4.5 – Витрати зарплатню

Виконавець	Оклад, грн/міс.	Середньоденна ставка, грн. / Роб. день	Витрати часу, роб. дні	Коефіцієнт	Фонд з/плати, грн.
НР	33 664	1662,42	32	1,699	88786,5
I	15 470	763,65	65	1,62	80412,3
Разом:					169198,8

4.2.3. Розрахунок витрат за соціальний податок

Витрати на єдиний соціальний податок (ЄСП), що включає в себе відрахування до пенсійного фонду, на соціальне та медичне страхування, становлять 30% від повної заробітної плати за проектом, тобто $C_{\text{соц.}} = C_{\text{ЗП}} *$

0,3 Виходить, що $C_{\text{соц.}} = 169198,8 * 0,3 = 50759,64$ грн.

4.2.3. Розрахунок витрат на електроенергію

Даний вид витрат включає витрати на електроенергію, витрачену в ході виконання проекту на роботу використовуваного обладнання, що розраховуються за формулою:

$$C_{\text{ел.о.}} = P_{\text{об}} * t_{\text{об}} * C_e, \quad (4.7)$$

де $P_{\text{об}}$ - потужність, споживана обладнанням, кВт;

C_e - тариф на 1 кВт*годину;

$t_{\text{об}}$ - час роботи обладнання, годину. Для ТПУ $C_e = 6,59$ грн/кВт * год (з ПДВ).

Час роботи устаткування обчислюється з урахуванням підсумкових даних таблиці 4. 6 для інженера (ТРД) з розрахунку, що тривалість робочого дня дорівнює 8 годин.

$$t_o = T_{\text{РД}} * K_t, \quad (4.8)$$

де $K_t \leq 1$ – коефіцієнт використання обладнання за часом, що дорівнює відношенню часу його роботи в процесі виконання проекту до $T_{\text{РД}}$, визначається виконавцем самостійно. У ряді випадків можливе визначення $t_{\text{об}}$ шляхом прямого обліку, особливо при обмеженому використанні відповідного обладнання.

Потужність, що споживається обладнанням, визначається за такою формулою:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} * K_c, \quad (4.9)$$

де $P_{\text{ном.}}$ - Номінальна потужність обладнання, кВт;

$K_c \leq 1$ – коефіцієнт завантаження, що залежить від середнього ступеня використання номінальної потужності. Для технологічного обладнання малої потужності $K_c = 1$.

Таблиця 4. 6 - Витрати на електроенергію технологічну

Найменування обладнання	Час роботи обладнання $t_{\text{об}}$, годин	Споживана потужність $P_{\text{об}}$,	Витрати $C_{\text{об}}$,
----------------------------	--	---	------------------------------

		кВт	грн.
Персональний комп'ютер	496 * 0,5	0,1	163,43
Струменевий принтер	10	0,015	1,77
Освітлення	8*200	0,06	632,64
Разом:			797,84

4.2.4. Розрахунок амортизаційних розрахунків

У статті «Амортизаційні відрахування» розраховується амортизація устаткування, що використовується за час виконання проекту. Будемо використовувати формулу:

$$C_{AM} = \frac{H_A * Ц_{ОБ} * t_{РФ} * n}{F_D}, \quad (4.10)$$

де H_A – річна норма амортизації одиниці устаткування;

$Ц_{ОБ}$ – балансова вартість одиниці устаткування з урахуванням ТЗР. При неможливості отримати відповідні дані з бухгалтерії вона може бути замінена чинною ціною, що міститься в ціниках, прейскурантах і т. д.;

F_D – дійсний річний фонд часу роботи відповідного обладнання, що береться зі спеціальних довідників або фактичного режиму його використання у поточному календарному році. При цьому другий варіант дозволяє отримати більш об'єктивну оцінку C_{AM} ;

$t_{РФ}$ – фактичний час роботи обладнання під час виконання проекту, враховується виконавцем проекту;

n – кількість задіяних однотипних одиниць устаткування.

Вартість ПК 25 400 грн , час використання 496 години, тоді для нього

$$C_{AM}(ПК) = \frac{0,4 \cdot 25400 \cdot 496 \cdot 1}{2928} = 1\,721 \text{ грн}$$

Вартість принтера 12 090 грн. , його $F_d = 366$ годин. ; $N_A = 0,5$; $t_{PF} = 10$

год. , тоді його $C_{AM}(Пр) = \frac{0,5 \cdot 12090 \cdot 10 \cdot 1}{366} = 165 \text{ грн.}$

Разом нараховано амортизації 1886 грн.

4.2.5. Розрахунок витрат, що враховуються безпосередньо на основі платіжних (розрахункових) документів (крім добових)

Сюди відносяться:

- орендна плата користування майном;
- оплата послуг зв'язку;
- послуги сторонніх організацій;
- норма оплати добових - 100 грн. /доб;
- оплата проїзду в обидві сторони - 3000 грн;
- оплата стільникового оператора - 800 грн;
- оренда спеціальних приладів – 10 000 грн;
- поштові витрати - 300 грн;
- консалтингові послуги - 2500 грн;

Разом за цим пунктом $C_{HP} = (60 - 1) \cdot 100 + 8000 + 3000 + 10000 + 300 + 800 + 2500 = 30500 \text{ грн.}$

4.2.6. Розрахунок інших витрат

У статті «Інші витрати» відображені витрати на виконання проекту, які не враховані у попередніх статтях, їх слід прийняти рівними 10% від суми всіх попередніх витрат, тобто.

$$C_{IH} = (C_{MAT} + C_{ЗП} + C_{СОЦ} + C_{ЕЛ.О.} + C_{AM} + C_{HP}) \cdot 0,1.$$

$$C_{ін} = (27372,5 + 169198,8 + 50759,64 + 797,84 + 1886 + 30500) * 0,1$$

$$= 280514,78 * 0,1 = 28\,051,48 \text{ грн.}$$

4.2.7. Розрахунок загальної собівартості розробки

Провівши розрахунок за всіма статтями кошторису витрат за розробку, можна визначити загальну собівартість проекту результати занесені до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 - Кошторис витрат на розробку проекту

Стаття витрат	Умовне позначення	сума, грн.
Матеріали та покупні вироби	$C_{мат}$	23372,5
Основна заробітна плата	$C_{зп}$	169198,8
Відрахування до соціальних фондів	$C_{соц}$	50759,64
Витрати електроенергію	$C_{ел.о.}$	797,84
Амортизаційні відрахування	$C_{ам}$	1886
Безпосередньо враховуються витрати	$C_{нп}$	30500
Інші витрати	$C_{ін.}$	28051,5
Разом:		304566,28

Таким чином, витрати на розробку склали 304566,28 грн.

4.2.8. Розрахунок прибутку

Прибуток приймемо у розмірі 20% повної собівартості проекту. У разі прибуток становить 60913,26 грн. (20%) від витрат на розробку проекту.

4.2.9. Розрахунок ПДВ

ПДВ складає 20% від суми витрат на розробку та прибутки. У разі це $(60913,26 + 304566,28) * 0,2 = 73095,91$ грн.

4.2.10. Ціна розробки НДР

Ціна дорівнює сумі повної собівартості, прибутку та ПДВ, у нашому випадку $C_{\text{НІР(КР)}} = 73095,91 + 60913,26 + 304566,28 = 438575,4$ грн.

4.3. Оцінка економічної ефективності проекту

Для оцінювання ефективності необхідно виконати дослідження на реальному об'єкті управління. За наявними вихідними даними щодо роботи діючої установки можна стверджувати, що впровадження автоматичної повітряної заслінки дозволить підвищити ККД котла приблизно на 3 %. Крім того, очікується зменшення експлуатаційних витрат завдяки скороченню однієї штатної одиниці денного персоналу та двох змін обслуговуючого персоналу.

РОЗДІЛ 5. Охорона праці

У роботі об'єктом дослідження є автоматизована система регулювання розрядження в топці парового котла на чинному підприємстві.

Мікроклімат на виробництві влітку:

- температура повітря – 18 °С;
- температура поверхонь 16 ° С;
- Взимку: температура повітря – 28 °С;
- температура поверхонь 24 °С.

Розроблення системи автоматичного регулювання розрядження було виконано з огляду на те, що під час ручного керування виникає низка ризиків, які відрізняються за місцем появи та часом прояву. До основних ризиків належать:

- пожежа на об'єкті;
- пускові режими котла;
- порушення балансу між виробленою та споживаною енергією;
- необхідність підтримання стабільного та безпечного режиму горіння;
- прискорений знос обмурівки котла;
- перебої напруги, що впливають на роботу димососа;
- загроза вибуху.

Запропонована система може використовуватися в комплексах контролю, керування та збору даних на різних промислових підприємствах. Її впровадження забезпечує підвищення продуктивності, збільшення точності та надійності вимірювань, а також зниження кількості аварійних ситуацій..

5.1. Правові та організаційні питання забезпечення безпеки

5.1.1. Спеціальні (характерні для проектованої робочої зони) правові норми трудового законодавства

Захист праці працівників у підземних умовах відповідають вимогам Трудового кодексу.

Для працівників максимально допустима тривалість щоденної роботи (зміни) не може перевищувати:

при 36 – годинному робочому тижні – 8 годин;

при 30 – годинному робочому тижні та менше – 6 годин.

Захист праці жінок на роботах, що становлять небезпеку для їхнього здоров'я відповідно до вимог. Відповідно до цих вимог є норми гранично допустимих навантажень, які наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – гранично допустимі навантаження для жінок

Характер роботи	Гранично допустима маса вантажу
Підйом і переміщення ваг при чергуванні з іншою роботою	10 кг
Підйом і переміщення ваг постійно в перебігу зміни	7 кг
Динамічна робота протягом кожної години робочої зміни З робочої поверхні: З підлоги:	875 кгм 1750 кгм

Невід'ємною частиною підготовки до роботи та перевірки знань персоналу є медичний огляд, виробниче навчання та система інструктажів, яка включає вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі.

5.1.2. Організаційні заходи при компонуванні робочої зони

Ергономічним вимогам робоче місце оператора відповідає відповідності наступних характеристик:

- добре освітлено;
- щит керування на відстані 1400мм;
- ширина стільниці – 600 мм.
- ширина стільниці для записів – 300х400 мм;
- площа для забезпечення виконання креслярсько-графічних робіт - 450х650 мм;
- висота робочої поверхні – 600 м;
- зручне розташування ПК та його пристроїв.

5.2. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які може створити об'єкт дослідження

Умови праці суттєво впливають на здоров'я, працездатність і ставлення людини до виконуваних обов'язків. Виробничий фактор вважається небезпечним, якщо його вплив може спричинити травмування працівника. Шкідливим вважають фактор, що здатен викликати професійні чи загальні захворювання.

На основі аналізу характеру виконуваних робіт необхідно визначити джерела безпеки — тобто елементи виробничих систем, обладнання та фактори виробничого середовища, які формують потенційні ризики для працюючих. Дані представлені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Можливі небезпечні та шкідливі фактори

Чинники	Етапи робіт	
	Виготовлення	Експлуатація

1. Відсутність чи недоліки необхідного штучного освітлення	+	+
2. Перевищення рівня шуму		+
3. Вібрації	+	+
4. Підвищена температура та вологість робочого об'єкта	+	+
5. Електричний струм	+	+
6. Статична електрика	+	+
7. Пожежонебезпека	+	+
8. Вибухонебезпека		+
9. Робота з високим тиском	+	+
10. Робота на висоті	+	+

Шкідливі фактори:

Недостатність або недоліки штучного освітлення можуть становити суттєвий небезпечний і шкідливий виробничий фактор. Джерелом освітлення зазвичай є комплект стандартних люмінесцентних ламп. Низький рівень освітленості негативно впливає на роботу зорового апарату, знижує зорову працездатність, позначається на психоемоційному стані працівника та спричиняє втому центральної нервової системи через додаткові зусилля, необхідні для розпізнавання чітких або нечітких сигналів.

Щоб запобігти можливим ризикам, необхідно виконати розрахунок потрібної кількості світильників відповідно до чинних норм. Усі установки, що забезпечують освітлення, повинні відповідати нормативним вимогам щодо інтенсивності, рівномірності та безпеки експлуатації.

Нормований показник штучного висвітлення у приміщеннях з ПЕОМ дорівнює 300 лк.

Організація праці протягом зміни повинна забезпечувати:

- тривалість робочої зміни трохи більше 8 год;
- щорічні перевірки освітленості робочих місць.

Вібрація

Джерелом вібрації в даній виробничій зоні є насоси мережної води. Змінний персонал, який працює в умовах постійного впливу вібрацій, наражається на ризик розвитку вібраційної хвороби.

Режим праці оператора має відповідати нормативним вимогам щодо локальної вібрації, зокрема обмеженню рівня вібраційного навантаження, який не повинен перевищувати допустимих значень (приблизно на рівні понад 1 дБ).

Організація робочого процесу впродовж зміни повинна передбачати:

- тривалість робочої зміни трохи більше 8 годин;
- надання двох регламентованих перерв;
- обідню перерву тривалістю не менше ніж 40 хвилин.

Виробничий шум

Джерелами шуму на об'єкті є паропроводи та трубопроводи безперервної подачі. Персонал, який працює на майданчику парового котла, піддається ризику зниження слухової чутливості, погіршення концентрації та загального зростання втоми під дією підвищеного рівня шуму. Режим праці оператора має відповідати нормативним вимогам щодо допустимих рівнів постійного виробничого шуму за напружених умов роботи — трохи вище 80 дБ.

Для зниження впливу шумового навантаження організація праці повинна передбачати:

- забезпечення працівників індивідуальними засобами захисту слуху (берушами, захисними навушниками тощо);
- регулярний контроль рівнів шуму та вібрації в робочій зоні;
- широке застосування засобів колективного та індивідуального шумозахисту.

Підвищена температура та вологість

Камера топки є основним джерелом підвищеної температури на робочому майданчику, а також джерелом утворення конденсату. Температура газів у цій зоні може досягати 180 °С. Тривале перебування персоналу в таких умовах негативно впливає на самопочуття, спричиняє швидке підвищення температури тіла та зростання загальної втоми.

Для покращення мікрокліматичних умов організація праці повинна забезпечувати:

- наявність кулерів з охолодженою питною водою;
- регулярний контроль параметрів мікроклімату;
- скорочення тривалості перебування працівників у зоні підвищених температур;
- регулювання роботи припливної вентиляції;
- забезпечення персоналу відповідним спецодягом.

Статична електрика

Під час монтажу, ремонту та налагодження мікроелектронної апаратури можливе виникнення електростатичних зарядів на платах та приладах унаслідок їх взаємного переміщення. Електризація матеріалів може ускладнювати виконання технологічних операцій, а також створює додаткову пожежну небезпеку через можливість іскроутворення під час розрядів, особливо за наявності в приміщеннях або резервуарах горючих паро- чи газоповітряних сумішей.

Заходи для усунення статичної електризації включають:

- заземлення металевих елементів виробничого обладнання;
- підвищення поверхневої та об'ємної провідності діелектричних матеріалів.

Небезпечні фактори:

Роботи на висоті

Обслуговування повітроводів проводиться на висоті понад 3 м. До висотних відносяться роботи на відстані менше 2 м від неогороджених перепадів по висоті 1,3 м до 5. Небезпека таких робіт обумовлена тим, що

можливе падіння з висоти як наслідок недотримання ТБ.

Заходи щодо запобігання виробничим травмам:

- робота з наряду – допуску;
- регулярне проведення знань з техніки безпеки;
- позапланові інструктажі.

Робота під високим тиском

Паропроводи, мазутопроводи та водопроводи належать до небезпечних виробничих об'єктів через високий робочий тиск, який може досягати 25 кг/см². Згідно з вимогами правил безпеки [30], небезпечними вважаються паропроводи, що транспортують водяну пару з робочим тиском понад 0,07 МПа (0,7 кгс/см²), а також трубопроводи гарячої води з температурою вище 115 °С.

Порушення правил техніки безпеки під час експлуатації таких трубопроводів може призвести до опіків, важких травм і навіть становити загрозу життю.

Основні заходи щодо запобігання виробничим травмам включають:

- виконання робіт за нарядом-допуском;
- регулярне проведення перевірки знань з техніки безпеки;
- позапланові інструктажі за необхідності;
- щозмінний огляд зварних швів та стану трубопроводів.

Електричний струм

Електроустановки, що використовуються на об'єкті, працюють під напругою до 1000 В і становлять потенційну небезпеку ураження електричним струмом. Електротравма може спричинити серйозні порушення роботи нервової системи, зокрема безладні м'язові скорочення, а у разі повторних впливів — розвиток невропатії. Гостре ураження струмом може викликати асистолію. При проходженні струму через ділянку голови можливі втрата свідомості та летальні наслідки.

Система керування регулюванням розрідження парового котла за способом захисту від ураження електричним струмом відповідає вимогам, що встановлені для виробів першого класу захисту. Вимоги до ізоляції струмопровідних частин та організації захисного заземлення також виконані.

Безпека працівників забезпечується такими заходами:

- – надійна ізоляція струмопровідних елементів;
- – виконання захисного заземлення;
- – використання захисних оболонок, що унеможливають випадковий дотик до струмоведучих, рухомих або нагрітих частин обладнання;
- – наявність блокувань, які запобігають помилковим діям операторів;
- – застосування безпечної наднизької напруги, за якої номінальне значення не перевищує 42 В між провідниками або між провідником і землею, а напруга холостого ходу — не більше 50 В.

Забезпечення електробезпеки обслуговуючого персоналу передбачено відповідно до вимог відповідно до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Гранична напруга дотику та струму

Рід струму	U , В	I , мА
	Не більше	
Змінний, 50 Гц	2, 0	0, 3
Змінний, 400 Гц	3, 0	0, 4
Постійний	8, 0	1, 0

Пожежонебезпечність та Вибухонебезпечність

Ці два небезпечні чинники є найважливішими з виробництва, джерелом їх виникнення є мазутні пальники та інші джерела займання. Пожежа і вибух це неконтрольовані процеси, що завдають небезпечної шкоди для життя людини.

Для зниження НС організація праці має забезпечувати:

- автоматичні пристрої пожежогасіння;

- автоматичний контроль і регулювання за показниками вибухонебезпечності;
- всі види інструктажів для працівників та керівників.

5.2.1. Вимоги щодо безпеки експлуатації парового котла

Тепловий фактор на об'єкті має значні величини, тому до виконання вимірювань і оброблення результатів допускаються лише кваліфіковані фахівці — працівники з середньою спеціальною або вищою технічною освітою.

Під час роботи з трубопроводами, що перебувають під тиском, необхідно неухильно дотримуватися вимог щодо улаштування та безпечної експлуатації судин і трубопроводів, які працюють під тиском.

Система автоматичного контролю та керування технологічними процесами забезпечує:

- необхідний рівень дистанційного контролю, керування та автоматизації, що дозволяє усунути потребу постійної присутності персоналу біля обладнання;
- автоматичний аварійний захист технологічних агрегатів при відхиленні параметрів від номінальних значень, що забезпечує своєчасне попередження про можливе виникнення аварійних режимів.

Технологічні процеси, які містять блоки I категорії вибухонебезпечності, обладнуються автоматизованими системами керування на базі електронних засобів контролю, що забезпечують:

- безперервний контроль параметрів процесу та підтримання необхідних режимів;
- реєстрацію спрацювань і контроль працездатності елементів протиаварійного захисту (ПАЗ);
- постійний моніторинг стану повітряного середовища в межах об'єкта;
- своєчасне спрацювання засобів керування та ПАЗ, які запобігають розвитку небезпечної ситуації.

Усі засоби контролю й вимірювання підлягають періодичній

метрологічній перевірці у встановлені строки — не рідше одного разу на рік — відповідно до методик, затверджених службою технічного регулювання та метрології.

Для контролю рівня загазованості в приміщеннях та на відкритих установках, де існує небезпека накопичення вибухонебезпечних парів у повітрі робочої зони, передбачено систему газового моніторингу. Зокрема, газоаналізатор ГАММА-100 використовується для визначення вмісту кисню в азоті.

Система контролю загазованості забезпечує подачу:

- попереджувальної сигналізації при досягненні першого порога нижньої концентраційної межі займання;
- аварійної сигналізації при досягненні другого порога.

На зовнішніх стінах приміщень встановлюються кнопкові пости для тестування системи оповіщення про загазованість. Газові детектори інтегровані в систему

керування технологічним процесом і забезпечують:

- автоматичне увімкнення аварійної вентиляції при досягненні першого порога загазованості;
- аварійну зупинку установок при досягненні другого порога.

Освітленість у лабораторному приміщенні має становити 200 лк, згідно з вимогами нормативного документа.

5.3. Екологічна безпека

5.3.1. Аналіз впливу об'єкта дослідження на навколишнє середовище

Як рідке паливо застосовують мазут. До складу золи мазуту входять пентаоксид ванадію (V_2O_5), а також Ni_2O_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO та інші оксиди. Зольність мазуту вбирається у 0,3 %. При повному його згорянні вміст твердих частинок у димових газах становить близько $0,1 \text{ г/м}^3$ проте це значення різко зростає в період очищення поверхонь нагріву котлів від зовнішніх відкладень.

У мазуті, що спалюється в котельнях та на ТЕЦ, міститься багато сірчистих сполук. Після його згоряння утворюється діоксид сірки, що є причиною випадання про кислотних дощів. Запобігти шкідливому впливу кислоти на здоров'я людей, життя тварин і рослинний світ, особливо при наднормативній її концентрації, можна при впровадженні ефективних технологічних схем знесереження мазутів. При переробці високосірчистої нафти лише (5 – 15) % сірки перетворюється на дистиляційні продукти; решта сірки залишається в мазуті, спалювання якого у великих кількостях на установках НПЗ і великих ТЕЦ, розташованих поблизу них, пов'язане з великою концентрацією сірчистих сполук у димових газах, що відходять. Топкові мазути в залежності від вмісту в них сірки поділяються на малосірчисті - вміст сірки $S_r < 0,5\%$, сірчисті $S_r = (0,5 - 2,0)\%$ і високосірчисті $S_r > 2,0\%$.

При горінні сірка, присутня в органічному паливі, перетворюється на діоксид сірки (ПДКм. р. = $0,5 \text{ мг/м}^3$), кількість якого визначається сірчистістю палива, що використовується.

5.3.2. Обґрунтування заходів щодо захисту навколишнього середовища

Зменшення обсягів шкідливих викидів в атмосферу насамперед може бути досягнуте шляхом скорочення кількості палива, що спалюється, та підвищення його якості. Головним стратегічним напрямом у цій сфері є всебічне підвищення коефіцієнта корисної дії електростанцій, що водночас знижує питомі витрати палива. Для прискорення цього процесу необхідно не лише вдосконалювати чинне обладнання, але й активізувати демонтаж і модернізацію застарілого енергетичного устаткування, частка якого в енергосистемах країни невпинно зростає.

Одним із сучасних найефективніших шляхів підвищення ККД паливовикористання на електростанціях є розвиток парогазових установок (ПГУ). Нині ККД теплових електростанцій становить близько 40%, і подальше його зростання є важливим природоохоронним завданням.

Підвищення якості палива також має суттєве екологічне значення. Перевагу слід надавати видам палива з низьким вмістом небажаних домішок — золи, сірки та азоту, які при згорянні формують токсичні сполуки. Використання малозольних і малосірчистих палив сприяє зменшенню забруднення атмосферного повітря.

Під час спалювання мазуту в атмосферу додатково надходять частинки сажі, що несуть кислоти та канцерогенні речовини й завдають суттєвої шкоди довкіллю. Тому навіть за порівняно невеликої кількості зольних викидів на мазутних електростанціях необхідне застосування спеціальних золоуловлювальних установок. За кордоном для цього використовують електрофільтри, інерційні сухі апарати, мокрі скрубери та тканинні фільтри, ефективність яких становить 80–99 %. Для вітчизняних мазутних котлів розроблено спеціальні високотемпературні (350–400 °C) золоуловлювачі — батарейні циклони, електрофільтри та інші апарати.

Частина відходів може бути повторно використана безпосередньо на підприємстві:

- для засипки територій (відходи обмурівок, промислове сміття, тирса, шлам нейтралізації, зола);
- для спалювання разом із мазутом або вугіллям у котлоагрегатах (відпрацьовані масла, промаслене ганчір'я, непридатна макулатура);
- для спалювання у спеціальних печах (деревні відходи, макулатура, промаслені матеріали, шини).

Водночас спалювання відпрацьованих масел, що підлягають регенерації, як спосіб їх утилізації у вигляді отримання теплової енергії не можна вважати перспективним, оскільки цей метод не відповідає сучасним вимогам ресурсоефективності та екологічної безпеки.

5.4. Безпека у надзвичайних ситуаціях

5.4.1. Аналіз можливих НС, які можуть виникнути на робочому місці під час проведення досліджень

Надзвичайна ситуація – це сукупність таких обставин, що супроводжуються руйнуваннями будівель, споруд, матеріальних цінностей, поразки та загибеллю людей.

До основних надзвичайних ситуацій, що виникають на виробництві, належать виробничі аварії.

Виробничою аварією є будь-яка зміна у нормальній роботі обладнання, що створює загрозу безперебійній роботі за заданим графіком парового котла та створює небезпеку для обслуговуючого персоналу.

5.4.2. Обґрунтування заходів щодо запобігання НС

Для забезпечення безпечного ведення технологічного процесу передбачено комплекс організаційних та технічних заходів, серед яких:

- поділ технологічної схеми на окремі технологічні блоки для локалізації можливих небезпечних ситуацій;
- установка світлозвукової сигналізації першого та другого порогів тиску в операторній;
- облаштування мазутопроводів датчиками тиску для безперервного дистанційного контролю гранично допустимих значень;
- ведення технологічного процесу в герметичних апаратах;
- автоматизація основних виробничих операцій;
- регулювання тиску в мазутопроводах за допомогою регулюючих клапанів та захист від перевищення тиску запобіжними клапанами;
- застосування системи блокування та автоматичної зупинки котла при зниженні тиску в мазутопроводах нижче допустимого рівня;
- розміщення обладнання та споруд з урахуванням протипожежних розривів згідно з чинними нормами;
- дотримання вимог щодо вогнестійкості будівельних конструкцій та обладнання;
- максимально широке використання блокового та блоково-комплектного обладнання заводського виготовлення, яке характеризується підвищеною надійністю;

- організація контролю та управління технологічним процесом з операторної;
- застосування систем сигналізації та блокувань при відхиленні параметрів від регламентованих значень;
- монтаж технологічного обладнання на металевих постаментах та бетонних основах;
- використання насосного та іншого обладнання з електродвигунами у вибухозахищеному виконанні відповідно до вимог ПУЕ;
- впровадження максимально автоматизованого обладнання, що не потребує постійної присутності персоналу;
- встановлення електроприводних засувки на всмоктуванні та нагнітанні насосних агрегатів для забезпечення автоматичного вводу резервного насоса в роботу;
- застосування системи подачі робочої пари для продування обладнання перед пуском та після зупинки з обов'язковим контролем ефективності шляхом проведення аналізів;
- облаштування резервуарів вентиляційними патрубками з вогнеперешкоджувачами для продування та випуску повітря під час гідровипробувань, а також патрубками для пропарювання та продування.

Висновок за розділом

У роботі було проаналізовано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, притаманні об'єкту.

До шкідливих факторів віднесено:

- недостатнє або некоректне штучне освітлення;
- виробничу вібрацію;
- підвищений рівень шуму;
- високі температури робочого середовища;
- статичну електрику.

До небезпечних факторів належать:

- виконання робіт на висоті;

- робота з обладнанням під високим тиском;
- ризики ураження електричним струмом;
- пожежонебезпечність;
- вибухонебезпечність технологічних процесів.

На основі аналізу цих факторів запропоновано заходи зі зниження їх впливу:

Заходи щодо мінімізації шкідливих виробничих факторів:

- Встановлення або модернізація засобів колективного захисту працівників від впливу небезпечних і шкідливих факторів.
- Запровадження систем автоматичного контролю рівнів небезпечних та шкідливих виробничих факторів на робочих місцях.
- Використання та вдосконалення технічних засобів, що забезпечують захист працівників від ураження електричним струмом.
- Проведення навчання, інструктажів та перевірки знань з охорони праці.
- Підготовка персоналу, відповідального за експлуатацію небезпечних виробничих об'єктів.

Заходи щодо зниження екологічної небезпеки:

- Механізація процесів вторинної переробки промислових відходів.
- Механізація технологічних операцій, пов'язаних із викидом продуктів згоряння мазуту; встановлення ефективних золоуловлювальних систем.

Окрім того, здійснено аналіз можливих надзвичайних ситуацій на об'єкті та визначено комплекс заходів, спрямованих на запобігання виробничим аваріям і мінімізацію їхніх наслідків.

Висновок

У результаті проведеного дослідження виконано удосконалення автоматичної системи керування розрідженням у камері парового котла. Проаналізовано технологічні особливості процесу горіння, роботу димососів та дуттьових вентиляторів, а також вплив розрідження на безпеку та ефективність теплотехнічного обладнання. Встановлено, що ручне регулювання розрідження супроводжується значними ризиками — від порушення режимів горіння до можливості аварійних ситуацій, зокрема вибухів або займання.

Розроблена автоматизована система забезпечує стабільний контроль і точне регулювання параметрів, використовуючи сучасні засоби вимірювання, інтелектуальні виконавчі механізми та ПД-регулювання. Запровадження автоматичної заслінки, оптимізованих алгоритмів керування та відображення технологічної інформації дозволяє значно підвищити енергоефективність роботи котла (орієнтовно на 3 %), зменшити експлуатаційні витрати, мінімізувати вплив людського фактору та підвищити загальний рівень безпеки.

Окрему увагу приділено питанням промислової безпеки, охорони праці та екології. Проведений аналіз небезпечних і шкідливих факторів дав змогу сформулювати комплекс заходів, спрямованих на захист персоналу та зниження екологічного навантаження.

Удосконалена система автоматичного регулювання розрідження є ефективним технічним рішенням, яке забезпечує надійність, точність і безпечність роботи парового котла, підвищує рівень автоматизації виробництва та відповідає сучасним вимогам експлуатації енерготехнологічного обладнання.

Список джерел

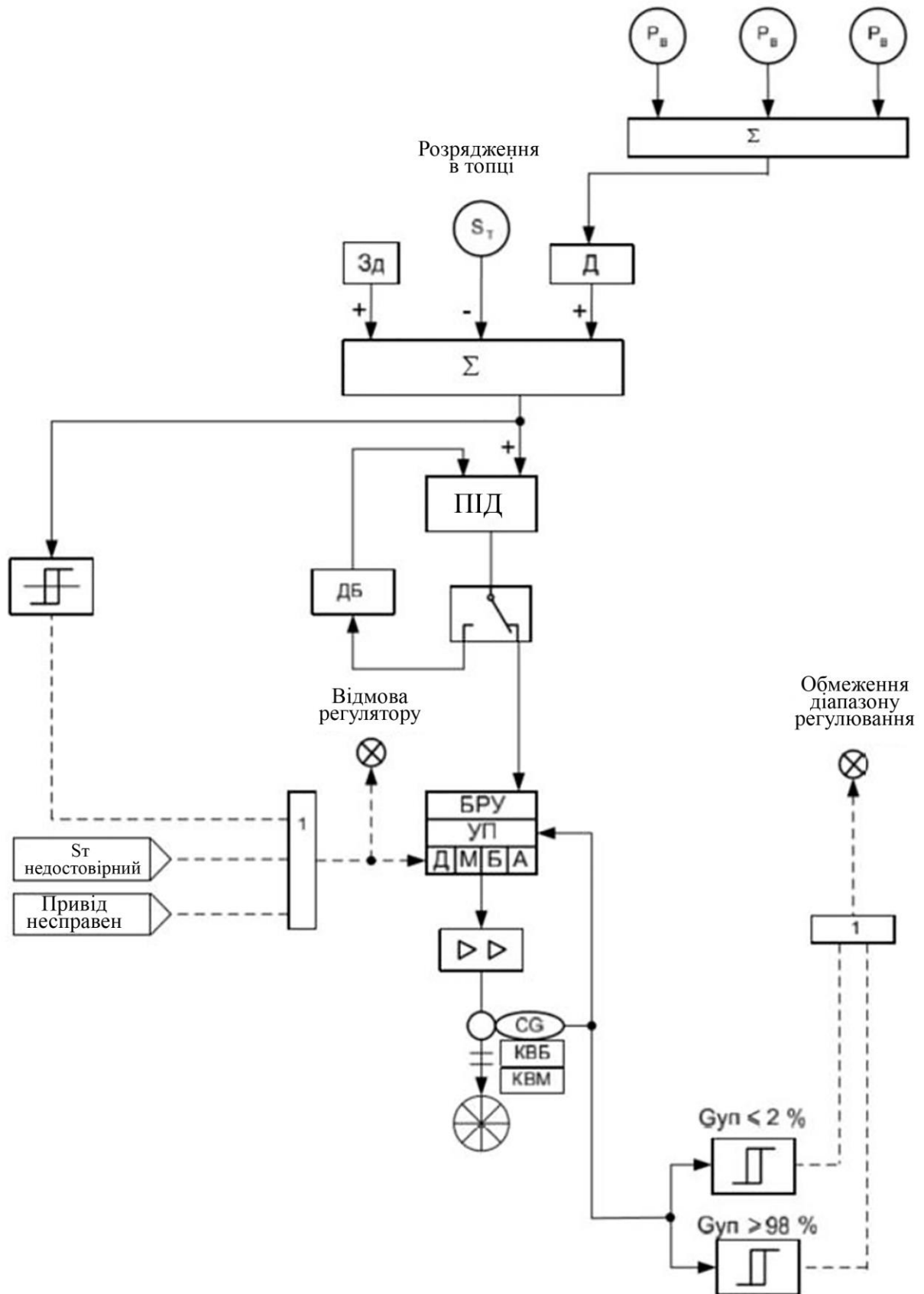
1. VDI/VDE 3504. Steam generator control – Furnace pressure control. – Düsseldorf: VDI/VDE, 2003. – 17 p.
2. Кириленко М. В. Розрахунок оптимальних настроювань регулятора розрідження в топковій камері // Вчені записки ТНУ ім. В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2018. – № 6(1). – С. 157–162.
3. Качанов П., Тарасенко М. Система автоматичного регулювання розрідження в топці котла // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2025. – № 2(80). – С. 66–69.
4. Світій І. М. Щодо автоматичного керування виробництвом пари на промислових котлоагрегатах // Вчені записки ТНУ ім. В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2024. – № 3. – С. 120–127.
5. До питання автоматизації котлоагрегату ДКВр... // Вчені записки ТНУ ім. В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2024. – № 3. – С. 28–35.
6. Разживін О. В., Олійник І. О., Потоцький С. В., Бобов Г. Р. Нечітка супервізорна система автоматизованого регулювання тиску пару котлоагрегату // Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. – 2024. – № 1. – С. 58–66.
7. Ling D., Zhang X., Wang Y., et al. Fault Detection and Identification of Furnace Negative Pressure System with CVA and GA-XGBoost // Energies. – 2022. – Vol. 15, No. 17. – 6355.
8. Chen X., Chen Z. Design of Automatic Control System for Boiler // Proc. Int. Conf. on Education Management, Computer and Automation. – 2016. – P. 40–45.
9. Automatic Control System of Gas Boiler Based on DCS [Електронний ресурс] // EEWorld. – 2011. – Режим доступу: сайт EEWorld.
10. Furnace Pressure Controllers. Energy Tips – Process Heating Tip Sheet 6. – U.S. Department of Energy, Industrial Technologies Program. – 2004. – 2 p.
11. Kumar S. Furnace Draft Control Systems [Електронний ресурс] // InstrumentationTools. – 2022. – Режим доступу: сайт InstrumentationTools.

12. Steam Pressure Control – Power Plant Training Resources [Електронний ресурс] // InstrumentationTools. – 2022. – Режим доступу: сайт InstrumentationTools.
13. Fossil Consulting Services. The Importance of Operating with Proper Furnace Draft [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: сайт FossilConsulting.
14. An Overview of the Various Controls in Steam Boiler [Електронний ресурс] // Rakhoh Boilers. – 2023. – Режим доступу: сайт Rakhoh.
15. Understanding and Fine Tuning PID Loops in Boiler Control Systems [Електронний ресурс] // ACHR News. – 2024. – Режим доступу: сайт ACHR News.
16. PID Loops in Boiler Control Systems. Part 3: Boiler Control Applications and Common PID Loops [Електронний ресурс] // Pyroscope Blog. – 2023. – Режим доступу: сайт ThePyroscope.
17. Furnace Pressure Control Guide [Електронний ресурс]. – Технічний документ, 2010-ті рр. – 15 р.
18. Furnace Pressure Control [Електронний ресурс] // Slideshare Presentation. – 2016. – Режим доступу: Slideshare.
19. Reduce Air Infiltration in Furnaces. Energy Efficiency & Renewable Energy. – NREL, 2012. – 8 р.
20. Furnace pressure control. US Patent US3985294A. – 1976.
21. Спосіб автоматичного керування розрідженням в топці котла. Патент України на винахід. – 2019.
22. Application of Optimal Control System for CFB Boiler [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: сайт dhbboiler.com.
23. Furnace pressure control and bed pressure control [Електронний ресурс] // ResearchGate Figure (CFB boiler study). – 2023.
24. Яке розрідження у топці котла [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу: український технічний веб-ресурс.
25. Furnace pressure control in a coal fired power station [Електронний

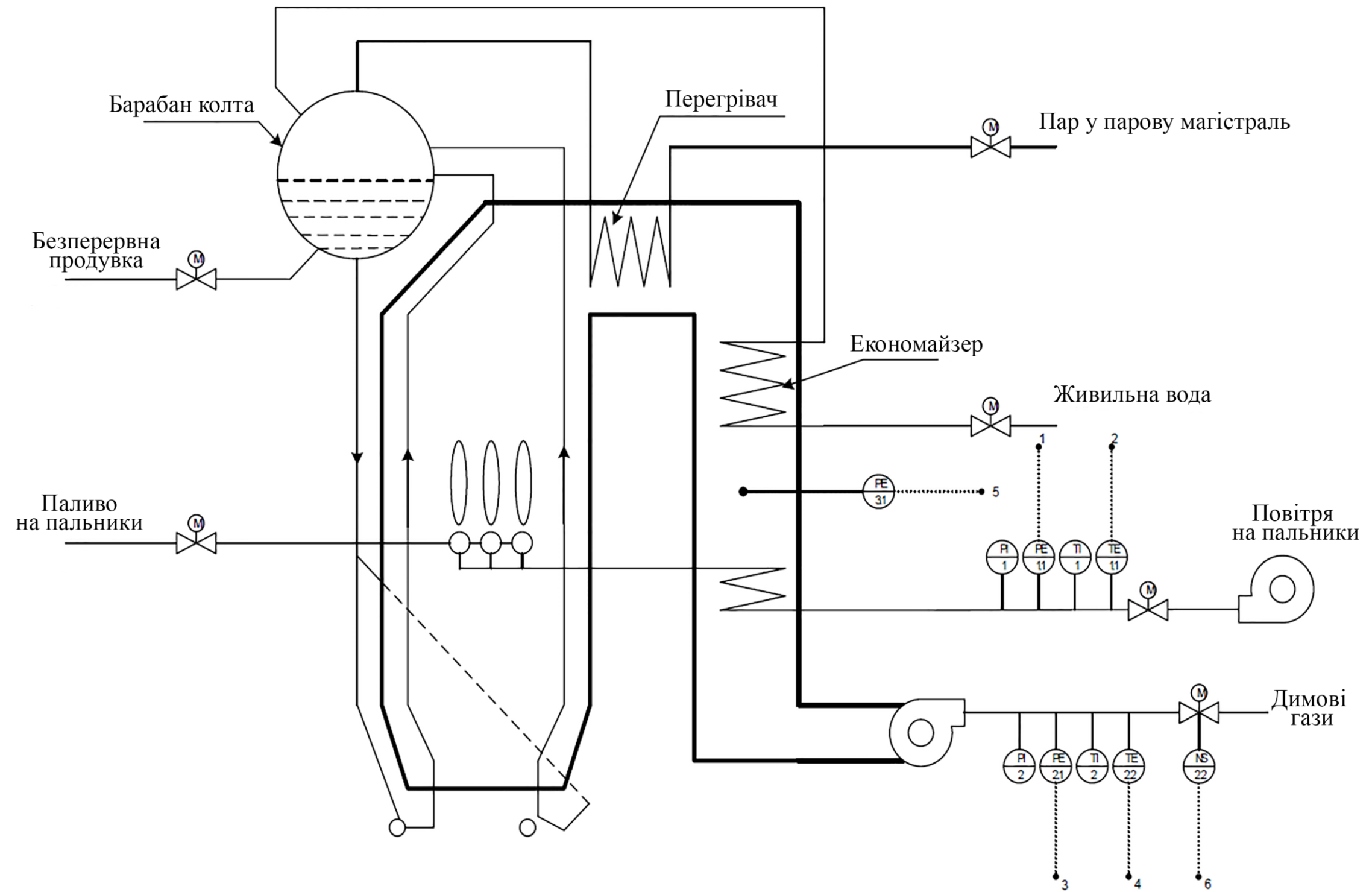
ресурс] // Eng-Tips Forum. – 2008. – Режим доступа: форум Eng-Tips

Додаток А

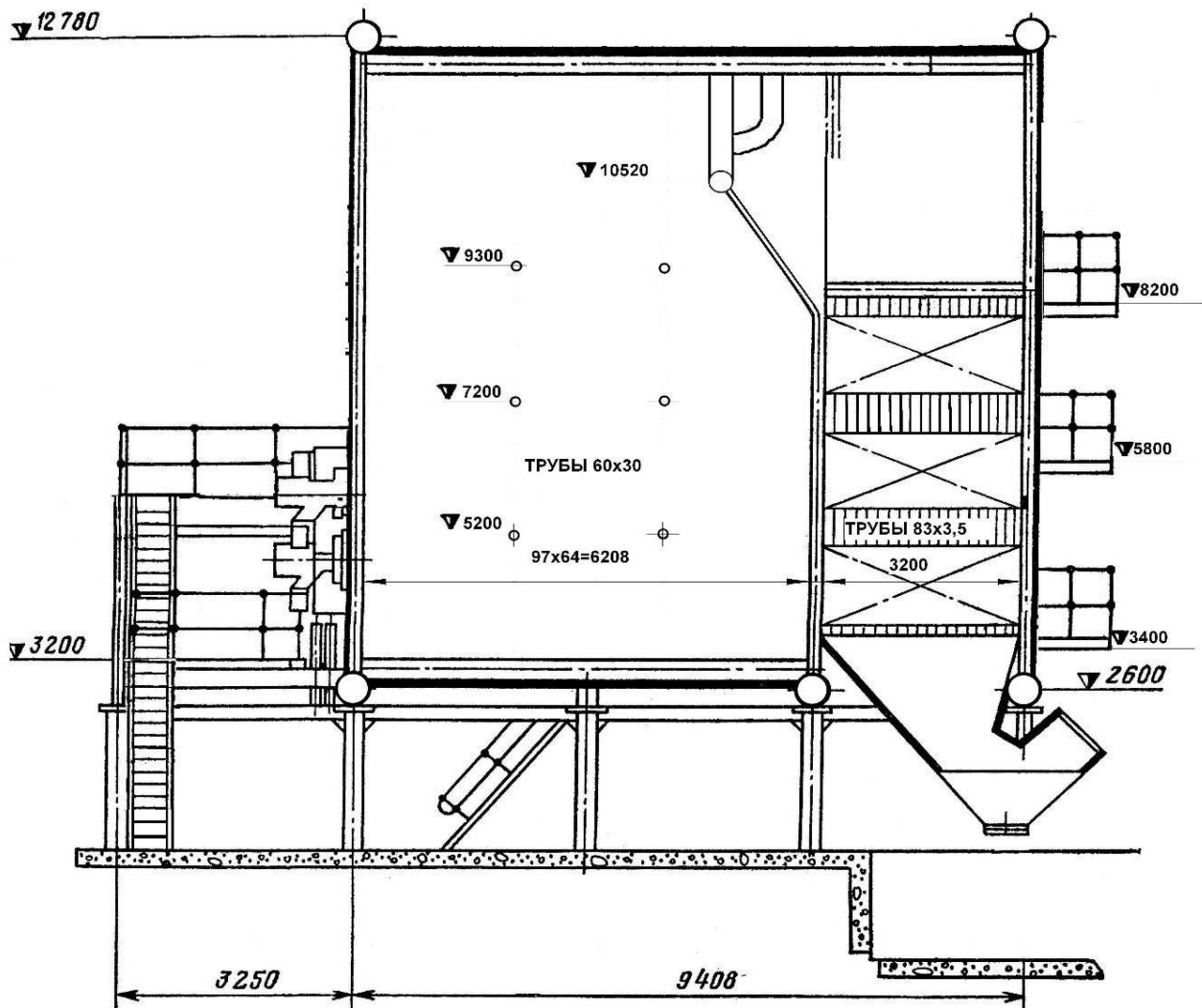
Алгоритм збору даних



Додаток
Функціональна схема керування котлом



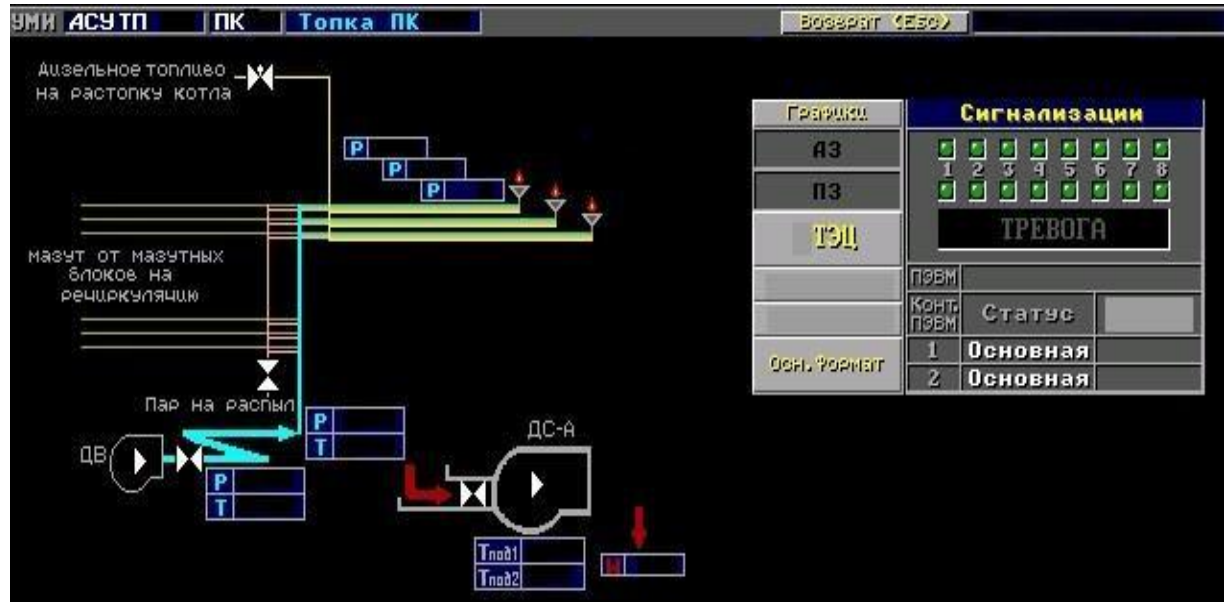
Додаток Г
(Обов'язкове)
Загальний
ВИГЛЯД КОТЛА



Додаток

Д(Обов'язкове)

Мнемосхема



Додаток Е (Обов'язкове) Схема зовнішніх проводок

