

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

Підвищення якості регулювання систем автоматичного живлення
барабанних котлів теплових електростанцій
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДЕА-А23мг
спеціальності : 174 Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

(код і найменування спеціальності)

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

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

Рецензент _____/ _____
(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 – 2024 рік

Факультет/ННІ Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра Автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., проф. Геннадій КАНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістерського рівня вищої освіти
студенту _____ Олександр ОГУРЦОВ

(ім'я, прізвище)

1. Тема роботи Підвищення якості регулювання систем автоматичного живлення барабанних котлів теплових електростанцій
затверджена наказом по академії 4801-5/3345 від "12" жовтня 2024 р.

2. Термін здачі закінченої роботи "30" листопада 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи. 1) Дані експериментальної кривої розгону барабанного котла як технологічного об'єкта управління; 2) Дані для структурно-математичної схеми розрахунку перехідного процесу з обуренням із боку регулюючого органу у програмному продукті Simulink; 3) Моделювання в пакеті Simulink перехідної та амплітудо-фазовочастотної характеристики зі збуренням з боку регулюючого органу; 4) Розрахунок одноконтурної цифрової АСР.

4. Зміст роботи (перелік питань, що їх належить розробити). 1) Вступ; 2) Огляд літератури та постановка завдань дослідження; 3) Системи автоматичного регулювання живлення барабанних котлів ТЕС; 4) Визначення параметрів об'єкта регулювання; 5) Аналіз динамічних характеристик АСР рівня із типовим регулятором; 6) Побудова перехідного процесу АСР за допомогою ПІ-регулятора; 7) Вибір технічних засобів автоматизації; 8) Керування ризиками на електростанції; 9) Висновки; 10) Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал) . 1) Структурна схема регулювання живлення барабанного котла; 2) Триімпульсна АСР рівня;

3) Крива розгону котла; 4) Структурно-математична схема розрахунку перехідного процесу з обуренням із боку регулюючого органу у програмному продукті Simulink; 5) Перехідна характеристика САР із ПІ – регулятором

6. Консультант:

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

7. Дата видачі завдання “ 12 ” жовтня 2024 р.

Керівник

(підпис)

Геннадій КАНЮК
(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Олександр ОГУРЦОВ
(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Вступ	жовтень	виконано
2	Огляд літературних джерел та постановка завдань дослідження	Жовтень	Виконано
3	Системи автоматичного регулювання живлення барабанних котлів ТЕС	Жовтень	Виконано
4	Визначення параметрів об'єкта регулювання	Жовтень	Виконано
5	Аналіз динамічних характеристик АСР із типовим регулятором	Листопад	Виконано
6	Побудова перехідного процесу АСР за допомогою ПІ-регулятора	Листопад	Виконано
7	Вибір технічних засобів автоматизації	Листопад	Виконано
8	Керування ризиками на електростанції	Листопад	Виконано
9	Висновки і оформлення кваліфікаційної роботи	Листопад	Виконано

Студент

(підпис)

Олександр ОГУРЦОВ
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Євген КЛЮЧКА
(ім'я, прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
РОЗДІЛ 2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЖИВЛЕННЯ БАРАБАННИХ КОТЛІВ ТЕС	12
2.1. Характеристика Зміївської ТЕС	12
2.2. Опис парового котла ТП-100 блоків 200 МВт Зміївської ТЕС	15
2.3. Загальні відомості про системи автоматичного регулювання барабанних котлів	17
2.4. Система регулювання живлення барабанного котла	20
2.5. Схеми АСР із триімпульсним регулятором	25
2.6. АСУ ТП у парогенераторі	27
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ	32
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСР ІЗ ТИПОВИМ РЕГУЛЯТОРОМ	33
4.1. Вибір типового регулятора АСР та визначення параметрів його налаштування	33
4.2. Аналіз динамічних характеристик АСР із типовим регулятором	35
РОЗДІЛ 5. ПОБУДОВА ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ АСР ЗА ДОПОМОГОЮ ПІ-РЕГУЛЯТОРА	42
5.1. Побудова перехідного процесу за допомогою пакета Simulink	42
5.2. Розрахунок одноконтурної цифрової АСР	44
РОЗДІЛ 6. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	46
РОЗДІЛ 7. КЕРУВАННЯ РИЗИКАМИ НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	53
7.1. Характеристика умов роботи об'єкта та рівень його автоматизації	54
7.2. Засоби запобіжної техніки	55

7.3. Забарвлення приміщень та обладнання. Сигнальні кольори та знаки безпеки	59
7.4. Електробезпека	60
7.5. Організаційні заходи	63
7.6. Виробничі шкідливості	65
7.7. Метеорологічні умови	66
7.8. Освітлення	66
7.9. Шум, вібрація, ультразвук, інфразвук	67
7.10. Санітарне, побутове та медичне обслуговування персоналу електростанції	68
7.11. Пожежна безпека та протипожежні заходи	68
7.12. Екологічна оцінка	70
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ	76

Олександр ОГУРЦОВ

**Підвищення якості регулювання систем автоматичного живлення
барабанних котлів теплових електростанцій**

Кваліфікаційна робота складається з 78 сторінок тексту, 5 аркушів креслень формату А1 та 25 джерел літератури.

Автоматична система регулювання (АСР) живлення призначена для підтримки матеріальної відповідності між витратами живильної води в котлі та навантаження котла по парі. Показником цієї відповідності є рівень води у барабані котла.

У роботі розглядається підвищення якості регулювання системи автоматичного живлення барабанних котлів на прикладі енергоблоків 200 МВт на прикладі Зміївської ТЕС. Необідна якість регулювання, а також виконання умови надійної стійкої роботи АСР забезпечуються обґрунтованим вибором типу регулятора та удосконаленням його налаштувань.

Також розглядаються питання вибору технічних засобів автоматизації та керування ризиками на електростанції.

Ключові слова: автоматична система регулювання, живлення, барабанний котел, енергоблок

Oleksandr OGURTSOV

**Increasing the quality of regulation of automatic power supply systems
for drum boilers of thermal power plants**

The qualification work consists of __78__ pages of text, __5__ sheets of drawings in A1 format and __25__ sources of literature.

The automatic feed control system (ACS) is designed to maintain a material correspondence between the consumption of feed water in the boiler and the boiler's steam load. The water level in the boiler drum is an indicator of this compliance.

The paper examines the improvement of the automatic power supply system for drum boilers using the example of 200 MW power units of the Zmiivskaya TPP. The necessary quality of regulation, as well as the fulfillment of the condition of reliable stable operation of the ACP, are ensured by a well-reasoned choice of the type of regulator and improvement of its settings.

The issue of choosing technical means of automation and risk management at the power plant is also considered.

Keywords: automatic control system, power supply, drum boiler, power unit

ВСТУП

Основу вітчизняної енергетики становлять теплові електричні станції. Для їх управління широко використовуються системи автоматичного регулювання, що забезпечують підвищення економічності та безаварійності їх роботи. Однак ефективність та надійність роботи теплоенергетичного обладнання визначається не тільки обсягом автоматизації, а й значною мірою ефективністю обраних структур систем регулювання.

Зважаючи на необхідність забезпечення стійкого та ефективного функціонування енергетичних систем сучасного світу, розвиток технологій у сфері теплової енергетики стає стратегічним напрямком. Кваліфікаційна магістерська робота спрямована на вивчення та аналіз можливостей автоматизації технологічних процесів парогенераторів теплових електростанцій (ТЕС) у контексті цілей сталого розвитку.

Запровадження технологій, спрямованих на сталий розвиток, є ключовим елементом для забезпечення енергетичної безпеки та зниження негативного впливу на довкілля. Оптимізація технологічних процесів парогенераторів ТЕС через впровадження автоматизації дозволяє підвищити їхню продуктивність, зменшити споживання ресурсів, а також знизити рівень викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Можливості використання новітніх розробок для досягнення цілей сталого розвитку та оптимізації енергетичних систем сприятимуть подальшому розвитку сучасних технологій у галузі енергетики, сприяючи покращенню ефективності та стійкості парогенераторів ТЕС, а також сприяючи досягненню мети зменшення впливу на довкілля та створенню більш екологічно чистих енергетичних систем.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Паровий котел (або парогенератор) відноситься до основного обладнання теплових електростанцій (ТЕС) і призначений для виробництва пари. Він функціонує як теплообмінник, де здійснюється перетворення живильної води в пару за рахунок нагрівання її до високих температур і тиску.

Основна робота парового котла полягає у спалюванні палива (наприклад, вугілля, нафти, природного газу тощо) для нагрівання води, яка циркулює всередині котла. Під впливом тепла живильна вода у котлі перетворюється на пару, яка потім використовується для приводу турбін, що, у свою чергу, використовуються для генерації електричної енергії [1-4].

Однак, тепломеханічне обладнання електростанцій України вводилось в експлуатацію у 60-х рр. минулого століття і є фізично та морально застарілим. Наприклад, для Зміївської ТЕС роки введення в експлуатацію - це 1960-1969 рр. [4-6].

Цілі сталого розвитку ООН підкреслюють необхідність енергоефективного виробництва, зниження енерго- та ресурсоспоживання, а також прийняття мір для боротьби зі змінами клімату [7-8]

Автоматизація парових котлів на ТЕС важлива для оптимізації їхньої роботи, забезпечення ефективності та безпеки експлуатації. Основні завдання автоматизації включають контроль параметрів котла, регулювання процесу генерації пари, моніторинг систем безпеки, оптимізацію споживання палива та забезпечення стабільної роботи електростанції.

Для автоматизації парових котлів на ТЕС використовуються різноманітні сучасні системи управління та контролю. Ці системи можуть включати:

1. Системи автоматичного керування (АСУ). Вони дозволяють контролювати рівень тиску, температуру, обсяг пари та інші параметри котла.

АСУ можуть використовувати різні сенсори та пристрої для збору даних і автоматичного регулювання параметрів.

2. Системи моніторингу та діагностики. Ці системи слідкують за станом обладнання, виявляють можливі несправності або проблеми у роботі, що дозволяє оперативно реагувати та уникати аварій.

3. Програмне забезпечення для оптимізації роботи. Використання спеціального софту дозволяє ефективніше управляти процесами, мінімізувати витрати палива, підвищувати ефективність та знижувати вплив на навколишнє середовище.

4. Системи безпеки. Для запобігання аварій або небезпечних ситуацій використовуються системи аварійного відключення, датчики пожежі, системи захисту від перевищення тиску чи температури.

5. Системи звітності та аналізу даних. Ці системи дозволяють збирати дані про роботу котла, аналізувати їх та створювати звіти для покращення ефективності та вирішення проблем.

Автоматизація парових котлів на ТЕС допомагає забезпечити стабільну та ефективну роботу електростанцій, знижує ризик людських помилок та покращує загальну продуктивність у виробництві електроенергії.

Автоматизація теплоенергетичного обладнання розглянута у [9-14]. В джерелах [15-17] присвячені загальним питанням автоматичного керування.

Завдяки автоматизованій системі живлення, барабанні котли ТЕС можуть ефективно працювати при різних навантаженнях, забезпечуючи безперервне виробництво пари для генерації електроенергії.

Система автоматичного живлення барабанних котлів на ТЕС є важливою для забезпечення безперервного живлення котла під час змін у навантаженні електростанції або під час аварійних ситуацій. Ця система включає в себе ряд компонентів і пристроїв, що дозволяють контролювати та підтримувати оптимальний рівень води в паровому барабані котла:

Системи регулювання рівня живильної води містить датчики рівня, які використовуються для вимірювання рівня води в барабані. Ці дані

передаються до системи контролю, яка регулює подачу води в котел або відведення конденсату, забезпечуючи стабільний рівень води для утворення пари.

Мета даної роботи – підвищення якості регулювання системи автоматичного живлення барабанних котлів на прикладі Зміївської ТЕС.

Для досягнення поставленої мети були сформовані та вирішені наступні **завдання**:

1. Огляд систем автоматичного регулювання живлення парових котлів теплоелектростанцій.
2. Визначення параметрів об'єкта регулювання.
3. Аналіз динамічних характеристик АСР із типовим регулятором.
4. Побудова перехідного процесу АСР за допомогою ПІ-регулятора.
5. Вибір технічних засобів автоматизації.
6. Розгляд ризиків виробництва та їх подолання.

Об'єкт дослідження – барабанний котел блока 200 МВт Зміївської ТЕС.

Предмет дослідження – система автоматичного живлення барабанних котлів теплових електростанцій.

Наукова новизна – обґрунтований вибір типу регулятора та удосконалення його налаштувань для забезпечення якості регулювання, а також виконання умов надійної стійкої роботи АСР.

Практичне значення результатів роботи полягає в удосконаленні системи автоматичного живлення котлів теплових електростанцій, що підвищує їх експлуатаційну надійність, якість регулювання та ефективність роботи енергоблока в цілому.

Методи дослідження: аналіз виду передавальної функції об'єкта регулювання, метод аналізу стійкості динамічних систем за критерієм Найквіста, метод трапецій; обробка експериментальних даних, застосування програмного продукту Simulink.

РОЗДІЛ 2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЖИВЛЕННЯ БАРАБАННИХ КОТЛІВ ТЕС

2.1. Характеристика Зміївської ТЕС

Зміївська теплова електрична станція сьогодні входить в п'ятірку найпотужніших українських ТЕС. Вона розташована поблизу м. Харків в економічно розвиненому регіоні України, де на даний час не існує значних альтернативних джерел забезпечення електроенергією. Електростанція є найбільшим енергогенеруючим об'єктом Слобожанщини. З 1995 р. Зміївська ТЕС входить до складу ПАТ "Центренерго" як відокремлений структурний підрозділ.

Встановлена потужність станції 2400 МВт. На станції встановлено 6 блоків по 200 МВт із однокорпусними пиловугільними котлами ТП-100 паропродуктивністю по 640 т/ч і турбоагрегатами К-200 -130 з генератором ТГВ-200 (І черга) і 4 блоки по 300 МВт із двокорпусними пиловугільними котлами ТПП-210 (7,8 блоки) і ТПП-210А (9,10 блоки) паропродуктивністю по 950 т/ч і турбоагрегатами К-300-240 з генератором ТГВ-300 (ІІ черга). Пізніше перемаркіровані в 175 МВт і 275 МВт.

Будівництво ТЕС було розпочате в 1959 році і закінчено в 1970 році. Розташування турбоагрегатів - поперечне. Теплова схема - блокова. Відстань між осями блоків 200 МВт 36 метрів, між осями блоків 300 МВт - 36 метрів. Довжина головного корпусу 456 метрів. Ширина машинного відділення 45 метрів. Ширина бункерно-деаераторного відділення 15 метрів. Ширина котельного відділення 36 метрів.

Електростанція розташована на території Зміївського району Харківської області в 55 км від міста Харкова й забезпечує електроенергією Харківську, Полтавську й Сумську області. Зміївська ТЕС конденсаційного типу, розташована на березі озера Лиман. Клімат району континентальний із середньорічною температурою +7,2 С.

Пруд-охолоджувач - озеро Лиман. Підкачування води здійснюється з ріки Сіверський Донець трьома насосами Сумського насосного заводу, із загальною продуктивністю 16800 м³/год. Ємність водоймища при рівні 91 м становить 53.1 млн. м.³ Середня глибина водоймища - 4,2 метри.

Станція спалює три види палива:

- а) вугілля марки АШ, Т, ОС, шлам і інше.
- б) мазут марки М-40, М-100.
- в) природний газ Шебелинського родовища.

Як основне паливо використовується вугілля й газ, у якості розтопочного - газ і мазут.

Станція в розпорядженні має два газорозподільних пункти ГРП-1 і ГРП-2. Природний газ Шебелинського газородовища на станцію надходить від двох різних ГРП через ГРП-1 і ГРП-2 у газорозподільні колектора. До ГРП - 1 газ надходить від Комсомольської ПГРС із тиском 5 - 6 ата. До ГРП-2 газ надходить від Червоно-Донецької ПГРС із тиском до 11 ата. Пропускна здатність схеми з боку ГРП-1 до 300 тис. м³/година, з боку ГРП-2 - до 700 тис. м³ /година. Тиск газу до котлів підтримується автоматичними регуляторами, що впливають на клапана ГРП-1 або ГРП-2 (залежно від того, який ГРП перебуває в роботі) за послідовно-слідуючою схемою на рівні 1,0 - 1,3 ата. (залежно від витрати газу) з таким розрахунком, щоб перед котлами тиск був не нижче 0,9-1,0, ата.

Мазутне господарство станції складається із двох мазутогосподарств. Призначення мазутонасосної станції №1 - прийом і вивантаження на ТЕС мазуту й перекачування мазуту на мазутогосподарство №2. Призначення мазутогосподарства №2 - це створення запасів рідкого палива й подача його на котли.

Паливоподача має наступну схему: вугілля, що надходить на станцію із шахт Донецького басейну, розвантажується на вагоноперекидачі. Після вагоноперекидача вугілля по двох нитках надходить на БСУ або на склад. Зі складу по одній нитці краном-перевантажувачем, а по інший бульдозерами

через прийомну бункер-яму вугілля подається на БСУ. Продуктивність транспортерів з вагоноперекидачі на БСУ становить 2 х 900 т./година, продуктивність крана на склад 900 т./година, зі складу 500 т./година.

На кожному блоці першої черги встановлені по два БСУ ємністю по 820 м. куб, на кожному блоці другої черги - по три БСУ ємністю по 305 м. куб.

Електроустаткування - підвищувальні трансформатори, трансформатори власної витрати й резервних трансформаторів розміщуються на світловому дворі уздовж південної стіни машинного залу. ОРУ- 330 кВ розташовано паралельно головному корпусу з боку машинного залу. Автотрансформатори зв'язку 330 /110 кВ розміщуються на території ОРУ330. Там розташовуються компресорна установка, і приміщення для панелей релейного захисту лінії електропередачі й шинних елементів 330 кВ. ОРУ110 кВ розташовується перпендикулярно до ОРУ330 кВ із боку торця головного корпусу електростанції. Опори на ОРУ330 кВ - металеві, на ОРУ110 кВ - залізобетонні.

Видача потужності з електростанції здійснюється на напрузі 110 і 330 кВ. Відкриті розподільні пристрої 110 і 330 кВ виконані із двома збірними системами шин і однією обхідною системою шин. Перші два генератори (№ 1 і № 2) підключені до шин 110 кВ через трансформатори потужністю 240 000 кВт, напругою 110 /15,75 кВ. Генератори № 3 - 6 підключені до шин 330 кВ через блокові трансформатори потужністю по 250 000 кВт напругою 330 / 15,75 кВ, а генератори № 7-10 через трансформатори потужністю 400 тис. кВт напругою 330/20 кВ. Зв'язок між шипами 110 і 330 кВ здійснюється через групу із двох автотрансформаторів потужністю по 200 тис. кВт напругою 110/330 кВ. На власні потреби блоку передбачені трансформатори потужністю 31,5 і 25 000. кВт, напругою, 15,75/6 кВ і 20/6 кВ, включені у відпайки генераторів. Резервування власних потреб 6 кВ здійснюється від резервних трансформаторів потужністю 31,5 тис. кВА, один із яких включений на шини 110 кВ, іншої - у компенсаційну обмотку автотрансформатора 330/110 кВ.

Для кожних двох блоків електростанції передбачені блокові щити керування, з яких здійснюється керування й контроль за роботою котла, турбіни, генератора, трансформатора. Режим роботи електростанції контролюється із центрального щита керування, на який винесене також керування електричним устаткуванням ТЕС і лініями електропередачі 110 і 330 кВ.

Для кожного блоку регулювання тепловими й електричними процесами - автоматизоване. Котлоагрегати обладнані сигналізацією, блокуваннями, автоматичними регуляторами горіння палива, температури, а також захистами, що діють на останов котла при виході параметрів за припустимі межі. Для турбін кожного блоку передбачені блокування, сигналізації й захист від неприпустимого підвищення й зниження рівня в конденсаторі, підігрівачах, деаераторах, а також захисту від осьового зрушення ротора, аварійного зниження вакууму й інше. Для кожного блоку передбачені системи технологічної й аварійної сигналізації.

2.2. Опис парового котла ТП-100 блоків 200 МВт Зміївської ТЕС

Паровий котел типу Еп-640-13,8-570КЖ (ТП-100) – барабанний, з природною циркуляцією, призначений для спалювання АШ, пісного вугілля або природного газу для одержання пари високого тиску, рис. 2.1.

Технологічні параметри парогенератора ТП-100 наведені у таблиці 2.1.

Котельний агрегат має Т-подібне компонування. Основною особливістю такого компонування є двостороннє відведення газів з топки та розміщення конвективних поверхонь нагріву у двох роздільних газоходах. У двох перехідних газоходах розміщено пароперегрівач.

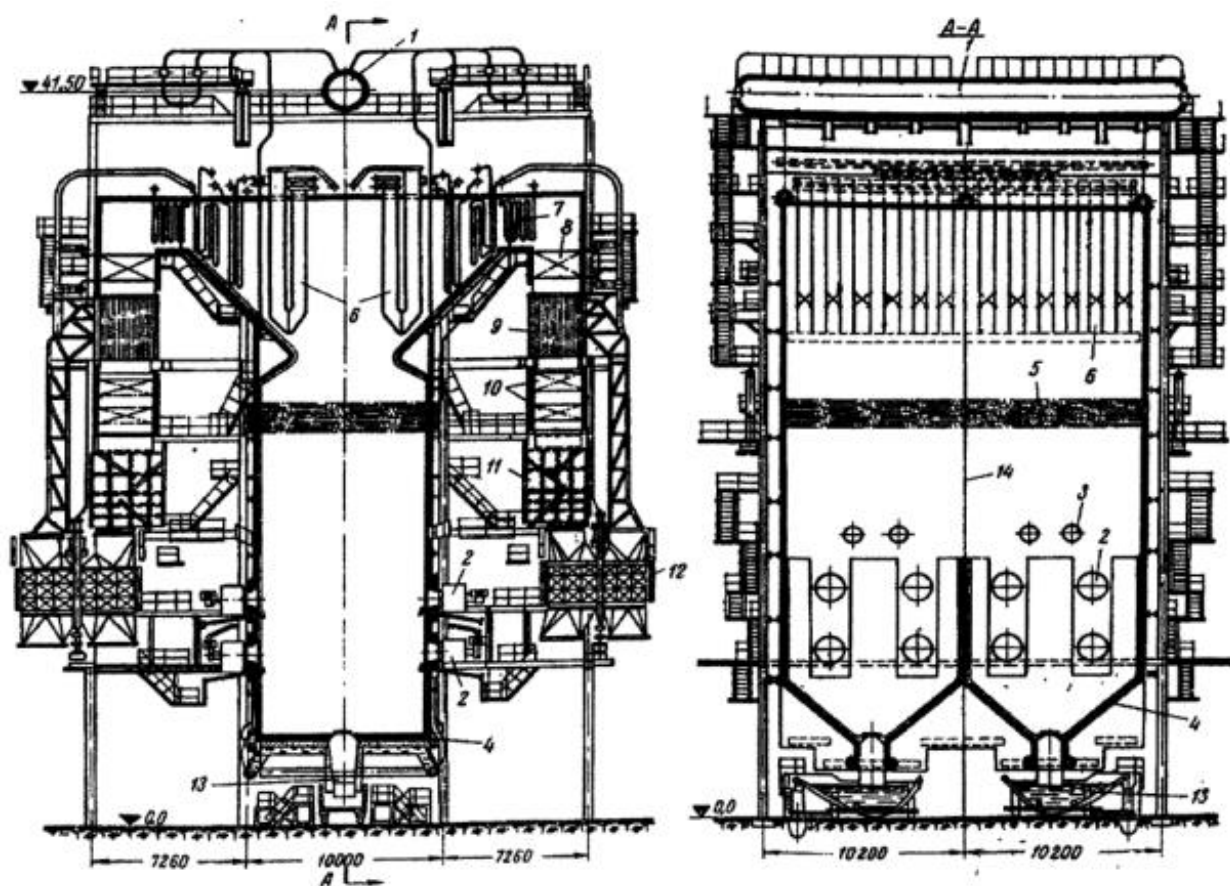


Рис. 2.1. Котел ТП-100 у поперечному та продольному перерізах котла
ТП-100

Таблиця 2.1.

Технологічні параметри котла ТП-100

Номінальна паропроductивність, кг/с	178
Робочий тиск у барабані котла, МПа	15,5
Робочий тиск у парозбірній камері первинного пароперегрівача, МПа	14
Температура перегрітої первинної пари, °С	570
Витрата пари через вторинний пароперегрівач, кг/с	155
Тиск пари перед вторинним пароперегрівачем, МПа	2,4
Температура пари перед вторинним пароперегрівачем, °С	340
Тиск пари за вторинним пароперегрівачем, МПа	2,23
Температура пари за вторинним пароперегрівачем, °С	570
Температура живильної води, °С	235

У конвективних шахтах, розташованих по обидва боки від камери згоряння, розміщуються послідовно (по ходу газів) регулювальний ступінь вторинного пароперегрівача, верхня (перша по ходу газів) частина повітропідігрівача, економайзер і нижня частина повітропідігрівача.

Барабан котла має діаметр 1800 мм та товщину стінки 112 мм (виготовлена зі сталі 16ГНМА). У пароперегрівачі, пара, яка насичена з барабана, спочатку подається до зовнішніх трубок стельових секцій, що веде до зовнішніх блоків першої частини конвективного пароперегрівача. Потім пара проходить шлях через радіаційний пароперегрівач, розташований у верхній частині топки під навісними екранними трубами. Далі пара подається до середніх блоків конвективного пароперегрівача, звідки через середні труби стельових секцій потрапляє в середні (холодні) камери. З внутрішніх (гарячих) камер пара переходить в зовнішні блоки вихідної частини конвективного пароперегрівача, а потім в середні (вихідні) блоки конвективного пароперегрівача, де він через їх змієвики потрапляє в камери перегрітої пари. У пароперегрівачі низького тиску пара при тиску 2,4-2,6 МПа і температурі 340 °С через дві пропускні труби діаметром 426 мм з товщиною стінки 11 мм направляється з турбіни до котла, де кожен потік розділяється і за допомогою клапанів може бути спрямований на додаткову поверхню вторинного пароперегрівача або безпосередньо в конвективні блоки.

2.3. Загальні відомості про системи автоматичного регулювання барабанних котлів

Парові котли (парогенератори) є основним енергетичним обладнанням ТЕС. Котельні агрегати є складними об'єктами автоматичного регулювання з великою кількістю регульованих параметрів і регулюючих впливів. Котли мають значну акумулюючу здатність теплової енергії у воді, парі та металі пароводяного тракту. Принципова технологічна схема барабанного парогенератора показана на рис. 2.2.

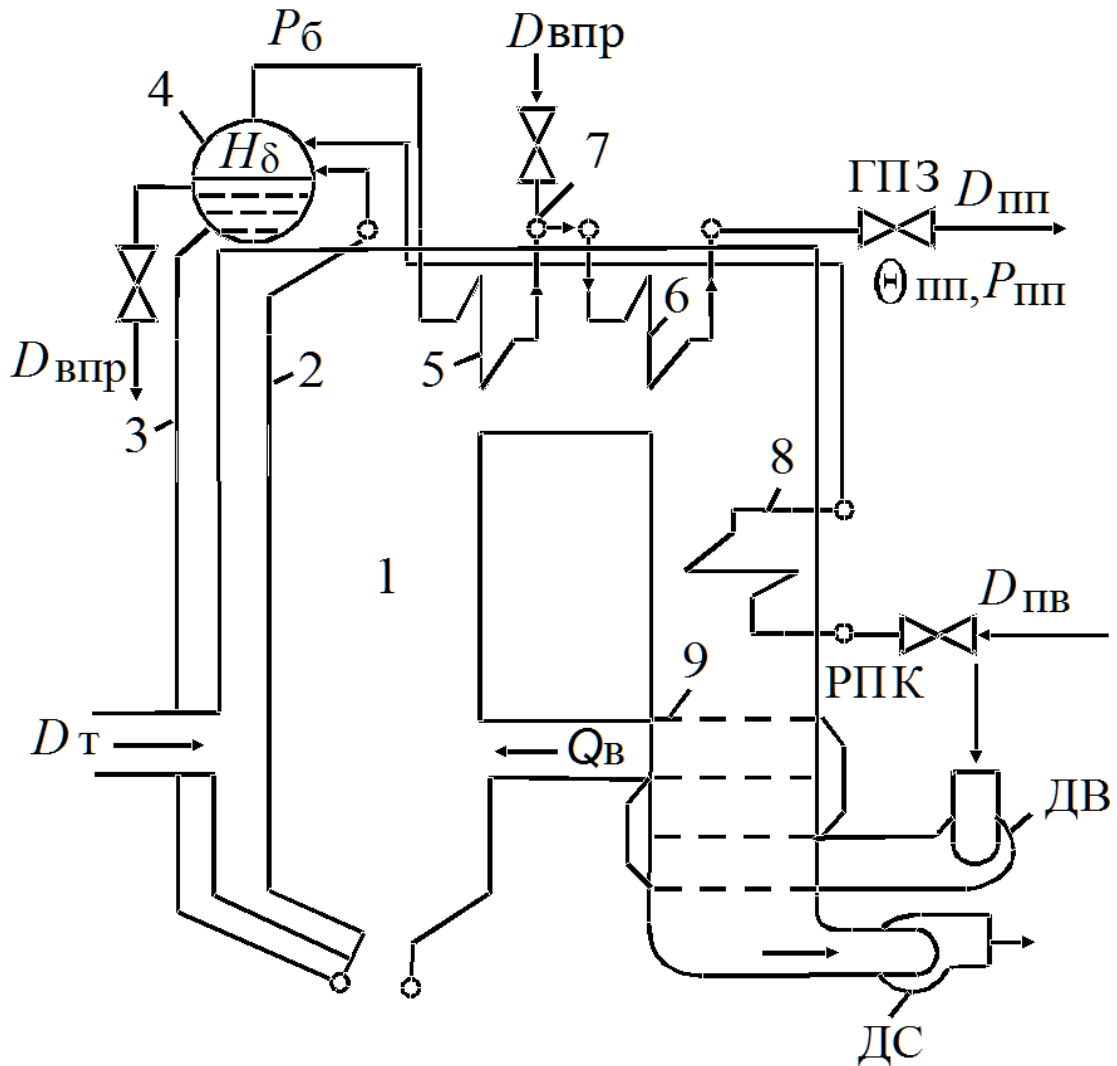


Рис. 2.2. Принципова технологічна схема барабанного парогенератора:
 1 – топка; 2 – циркуляційний контур; 3 – опускні труби; 4 – барабан; 5, 6 –
 пароперегрівач; 7 – пароохолоджувач; 8 – водяний економайзер; 9 –
 повітропідігрівач; ГПЗ - головна парова засувка; ДВ – дутьовий вентилятор;
 ДС – димосос; Двпр - витрата води на упорскування; Q_v – витрата повітря;
 Дпв - витрата поживної води; $D_{пп}$, $Q_{пп}$, $P_{пп}$ - витрата, температура і тиск
 первинної пари

Паровий котел, як об'єкт управління, можна представити, як показано на
 рис. 2.3.

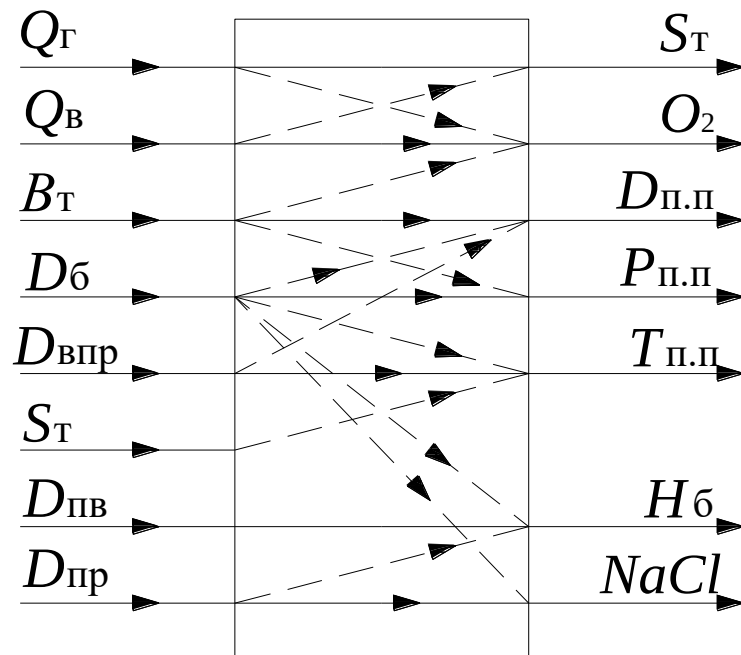


Рис. 2.3. Схема взаємозв'язків між вхідними та вихідними величинами в барабанному котлі:

Q_{Γ} – димові гази; $Q_{\text{в}}$ – витрата повітря; $V_{\text{т}}$ – витрата палива; $D_{\text{б}}$ - витрата пари в барабані; $D_{\text{впр}}$ - витрата упорскування води; $S_{\text{т}}$ - розрядження в топці; $D_{\text{пв}}$ - витрата поживної води; $D_{\text{пр}}$ - витрата води в розширювач безперервного продування; O_2 – надлишок повітря; $D_{\text{пп}}$, $P_{\text{пп}}$, $T_{\text{пп}}$ - витрата, тиск і температура перегрітої пари; $H_{\text{б}}$ - рівень води в барабані; $D_{\text{в.п}}$, $T_{\text{в.п}}$ - витрата і температура пароводяного тракту до першого регульованого упорскування; $T_{\text{пр}}$ - температура пари в проміжній точці тракту

У зв'язку з великим конструктивним розмаїттям топкових пристроїв і систем подачі палива для котлів, що працюють на різних видах палива, істотно розрізняються і схеми регулювання процесу горіння, що забезпечують задане теплове навантаження котельного агрегату. Найбільш поширеними є системи регулювання процесу горіння для котлів з пилеживителями, шахтно-млиновими топками і для котлів, що працюють на рідкому та газоподібному паливі.

До основних завдань регулювання котельних агрегатів, які визначаються вимогами споживачів пари та необхідністю забезпечення надійності та економічності роботи котлів, можна віднести [9]:

- вихід теплового навантаження котельного агрегату на заданий рівень;
- підтримка режимних параметрів тиску та температури пари, витрати поживної води, палива;
- підтримання оптимального співвідношення між витратами палива та повітря, що відповідає максимальній економічності процесу спалювання палива;
- стабілізація розрідження у топці;
- підтримка в барабанних котлах постійного необхідного рівня води в барабані, а також рівня вмісту солі в котловій воді.

Приведення теплового навантаження котла до заданого значення, забезпечення відповідності між витратами повітря і палива, стабілізації розрідження виконуються регулятори палива, повітря і тяги, які в комплексі називаються «регуляторами процесу горіння».

2.4. Система регулювання живлення барабанного котла

Система регулювання живлення барабанного котла забезпечує автоматичне подання необхідної кількості живильної води до барабана котла для підтримання заданого рівня води та забезпечення стабільної роботи котельної установки. Це важливий елемент автоматизованої системи управління котлом, оскільки від рівня води залежить безпека та ефективність роботи котла.

Основні завдання системи регулювання

1. Підтримання постійного рівня води у барабані котла — необхідно запобігати як надмірному заповненню, так і "пересиханню" котла.

2. Компенсація змін витрати пари — під час збільшення споживання пари рівень води в барабані знижується, що вимагає збільшення подачі живильної води.

3. Захист від аварійних ситуацій — забезпечується автоматичне відключення котла у разі критично низького або високого рівня води.

Система регулювання рівня живильної води працює за допомогою контурів автоматичного регулювання, які контролюють подачу води через живильний насос.

Для забезпечення надійності використовуються різні схеми регулювання:

1) Одноконтурна система регулювання. Управління подачею води здійснюється за рівнем води в барабані. Датчик рівня передає сигнал на регулятор, який відкриває або закриває клапан живильної води. Простота схеми, але повільна реакція на зміни тиску пари та рівня води.

2) Двоконтурна система регулювання. Враховує не лише рівень води в барабані, а й витрату пари. Датчики вимірюють витрату пари та рівень води. Сигнали надходять до регулятора, який визначає потрібну витрату води. Система більш динамічна та дозволяє швидше реагувати на зміни режиму роботи котла.

3) Триконтурна система регулювання. Враховує рівень води, витрату пари та витрату живильної води. Датчики встановлюються на трьох ключових точках: рівень у барабані, витрата пари та витрата води, що подається. Регулятор порівнює ці параметри та визначає оптимальну подачу води. Найбільш стабільна система, забезпечує швидке та точне регулювання в умовах змінного режиму роботи котла.

Основні елементи системи регулювання:

- Датчики. Датчик рівня води у барабані (поплавкові, ємнісні, радіолокаційні тощо). Датчик тиску пари. Датчики витрати пари та витрати живильної води.

- Регулятор. Приймає сигнали від датчиків та видає команду на зміну положення клапана подачі води або швидкість роботи насоса. Реалізується за допомогою програмованих логічних контролерів (PLC) або аналогових контролерів.

- Керуючі пристрої. Живильний насос із частотно-регульованим приводом для плавного регулювання подачі води. Регулюючий клапан на лінії подачі води, що змінює пропускну здатність за сигналом від регулятора.

Під час зміни рівня води в барабані існує затримка в роботі системи, оскільки вода має інерцію, і процес випаровування також не миттєвий. Існує феномен "усадження рівня": при різкому збільшенні відбору пари рівень води може спочатку знижуватися, навіть якщо реальна кількість води не змінилася. Це викликано тим, що бульбашки пари в барабані стискаються. Перехідні процеси - під час запуску або зупинки котла рівень води та тиск пари змінюються, що вимагає швидкої адаптації системи регулювання.

Типові схеми регулювання:

- змінний рівень з постійним потоком живлення — витрата води постійна, регулюється лише рівень води.

- змінний рівень зі змінним потоком живлення — враховується зміна витрати пари та води для швидкого відновлення рівня води.

- плаваючий рівень — допускається невелике відхилення рівня води у визначених межах.

Аварійні режими та захист:

Перевищення рівня води — можливий викид води у паропровід, що може призвести до гідроудару.

Зниження рівня води — може призвести до перегріву поверхонь нагріву та їх руйнування.

Зупинка живильного насоса — резервний насос автоматично запускається для продовження подачі води.

Відхилення рівня води в барабані котла пов'язане з наявністю небалансу між припливом поживної води та витратою пари та описується диференціальним рівнянням виду:

$$F(\rho_v - \rho_{\pi}) \frac{dH}{dt} = W - D_{\pi}, \quad (2.1)$$

де F – площа дзеркала випаровування, м^2 ;

ρ_v, ρ_{π} – густина води і насиченої пари, кг/м^3 ;

W і D_{π} – витрати води і пари відповідно, кг/с .

Хоча на рівень у барабані котла впливають багато збурень, але при розрахунку оптимальних параметрів налаштування регулятора зазвичай використовується передавальна функція по каналу обурення витратою поживної води у вигляді інтегруючої ланки із запізненням:

$$W_{HW}(p) = \frac{e^{-p\tau}}{Tp}, \quad (2.2)$$

де τ – постійна часу запізнення, приймається у межах 15-20 с.;

T – постійна часу інтегрування, приймається у межах 100-150 с.

На рис. 2.4 наведено перехідні процеси щодо зміни рівня барабана котла при різних збуреннях. Для обурень витратою поживної води, витратою пари, витратою палива та температурою поживної води властиве явище «набухання рівня», і в цьому випадку крива розгону матиме вигляд, як на рис. 2.4, а в інших випадках - рис. 2.4, б.

Явище «набухання» рівня залежить від параметрів пари та конструктивних особливостей котла і визначається в основному різницею граничних обсягів насиченої пари та киплячої води, з підвищенням тиску пари цей ефект зменшується. Крім того, «набухання» залежить від теплової напруги

топкових екранів: з його збільшенням підвищується парозміст у топкових екранах, тому різкіше позначається зміна навантаження споживачів на «набуханні» рівня. У сучасних котлів з високою тепловою напругою коливання рівня при різких та значних змінах навантаження досягає суттєвих значень.

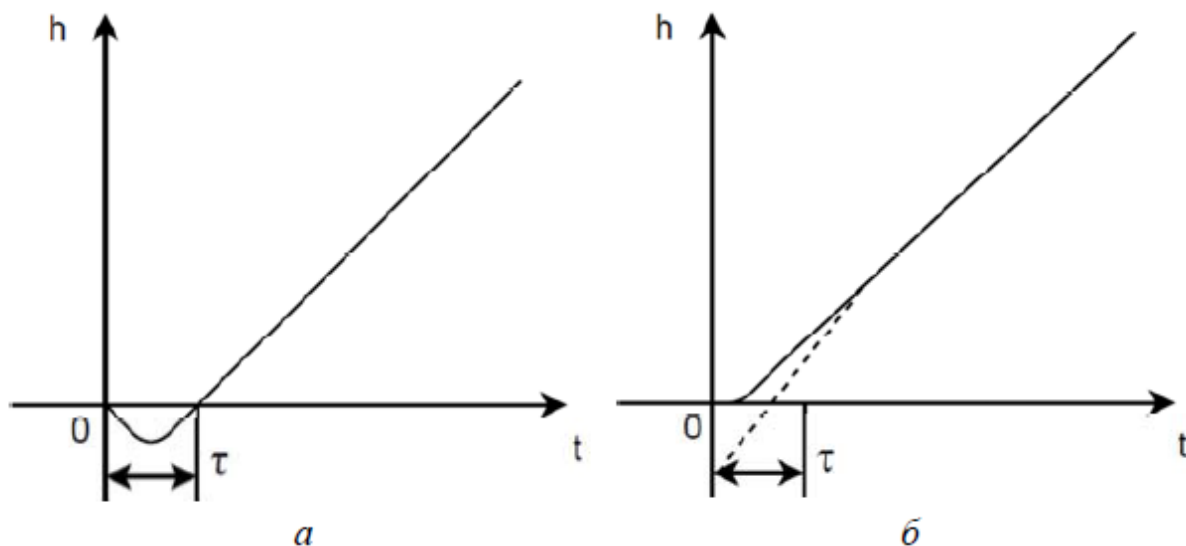


Рис. 2.4. Перехідні процеси за рівнем при різних обуреннях:

а – при некиплячому економайзері, б - при киплячому економайзері

На сучасних барабанних котлах продуктивністю 20 т/год і вище застосовуються лише АСР із триімпульсним регулятором. Це пояснюється надзвичайно жорсткими вимогами до якості регулювання.

Система регулювання повинна бути точною та швидкою у відповіді на зміни рівня води в барабані. Це дозволить уникнути різких коливань рівня води, що може вплинути на ефективність та безпеку котла. Також вона повинна забезпечувати постійний та стабільний рівень живильної води в барабані. Збільшення чи зменшення рівня води може призвести до проблем з роботою котла, включаючи збільшення тиску або відсутність необхідної пари для виробництва електроенергії. Як правило, вбудовані заходи безпеки запобігають можливим аварійним ситуаціям, наприклад, таким як переповнення котла або його виснаження при відсутності живильної води.

Типова АСР живлення, рис. 2.5, містить вимірювальні перетворювачі рівня H , витрати пари $D_{\text{п}}$, витрати поживної води $G_{\text{пв}}$; регулюючий прилад, що формує ПІ-закон регулювання; комутуючу та керуючу апаратуру; виконавчий механізм; регулюючий орган.

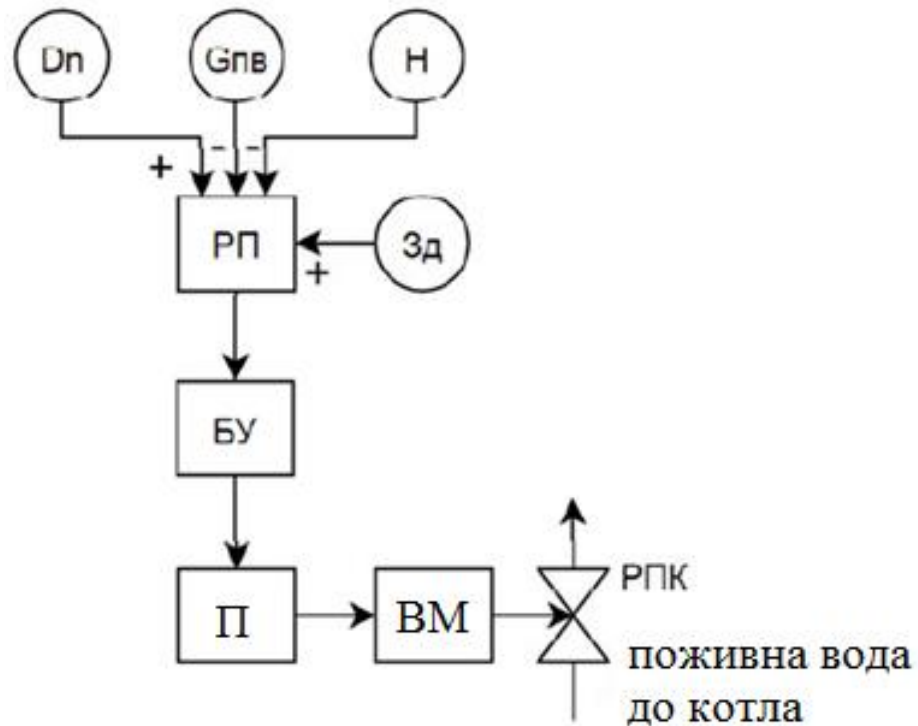


Рис. 2.5. Структурна схема регулювання живлення барабанного котла:

БУ – блок управління; П – підсилювач; ВМ – виконавчий механізм; РПК - регулюючий поживний клапан; $D_{\text{п}}$ - витрата пари, $G_{\text{пв}}$ – витрата поживної води; H – рівень у барабані котла; Зд – задатчик

Автоматизація барабанних котлоагрегатів (рис. 2.6) передбачає автоматичне керування живильною водою в умовах нормальної експлуатації, а також у режимах пуску та зупинки котельного агрегату.

2.5. Схеми АСР із триімпульсним регулятором

В якості прикладу схеми АСР рівня у барабані котла розглянемо схему з триімпульсним регулятором, яка використовується на електростанціях при роботі енергоблоків на номінальних режимах, рис. 2.7.

Триімпульсний регулятор - це тип регулятора, який використовує три сигнали (сигнали "ввімкнено", "вимкнено" і "плавне управління") для керування клапанами або насосами для підтримки необхідного рівня води у барабані котла.

Ось загальна схема системи автоматичного регулювання рівня у барабані котла з триімпульсним регулятором:

1. Датчики рівня води. Вони монтується у барабані котла для вимірювання рівня води. Інформація з датчиків передається до системи керування.

2. Триімпульсний регулятор. Це пристрій, який отримує дані від датчиків рівня води. За допомогою триімпульсного регулятора встановлюються параметри "ввімкнено", "вимкнено" і "плавне управління" для відповідного регулювання подачі води в котел.

3. Клапани або насоси. Клапани або насоси, що керують подачею води в котел, активуються триімпульсним регулятором відповідно до отриманих сигналів ("ввімкнено", "вимкнено" або "плавне управління").

4. Система керування. Це центральна система, яка отримує дані від датчиків та триімпульсного регулятора і контролює роботу клапанів або насосів для підтримки стабільного рівня води у барабані котла.

5. Автоматичні пристрої безпеки. Додаткові системи безпеки можуть бути включені для запобігання переповненню котла чи його виснаженню води, що може виникнути при несправності основної системи регулювання.

Триімпульсний регулятор дозволяє більш точно керувати рівнем води у барабані котла, дозволяючи швидше реагувати на зміни і забезпечуючи більш точне управління подачею води.

Схема характеризується наявністю сигналу по витраті пари, позначеному на схемі як сигнал контрольованого зовнішнього збурення $\lambda_{\text{зовніш}}$, з коефіцієнтом α_λ на вході регулятора. Це дозволяє компенсувати не тільки обурення $\lambda_{\text{оп}}$, контрольовані сигналом z , але і обурення, що ведуть до зміни витрати пари $\lambda_{\text{зовніш}}$, такі як зміна положення регулюючого клапана турбіни, топкові обурення та ін.

Ця схема часто розглядається як схема з внутрішнім швидкодіючим контуром підтримки балансу витрат поживної води та гострої пари. Цей контур є еквівалентним П-регулятором для еквівалентного об'єкта $W_{\text{ин}}(s)$ з коефіцієнтом кекв $p = 1/\alpha_z$, але його регулюючим впливом є не витрата поживної води, а зміна балансу контрольованих витрат води та пари $(\lambda_{\text{зовніш}} - z)$.

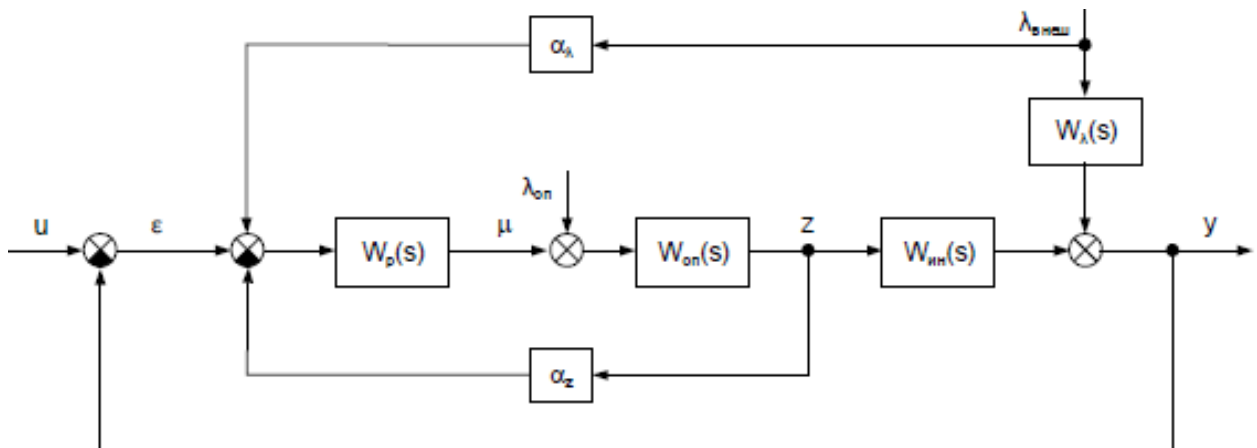


Рис. 2.7. Триімпульсна АСР рівня

2.6. АСУ ТП у парогенераторі

Автоматизована система управління технологічним процесом (АСУ ТП) у барабанному парогенераторі забезпечує контроль, регулювання та управління технологічними параметрами роботи котла. Основна мета АСУ ТП — підвищити ефективність, безпеку та надійність роботи парогенератора при мінімальних витратах енергії та матеріальних ресурсів.

Основні завдання АСУ ТП барабанного парогенератора:

- контроль технологічних параметрів — автоматичне вимірювання та моніторинг рівня води, тиску та температури пари, витрати палива, повітря та живильної води.

- регулювання технологічних процесів — підтримка стабільного рівня води в барабані, тиску та температури пари на заданих рівнях.

- управління режимами роботи — автоматичний пуск, зупинка та перехід між режимами роботи парогенератора.

- попередження аварій та захист — своєчасне виявлення та запобігання аварійним ситуаціям, таким як перегрів котла, недостатній рівень води або перевищення тиску пари.

- збір, обробка та архівування даних — реєстрація параметрів роботи та створення звітів для аналізу роботи котла.

- інтеграція з верхнім рівнем управління — передача інформації до системи диспетчерського контролю (SCADA) для моніторингу та контролю.

Структура АСУ ТП барабанного парогенератора

АСУ ТП побудована за ієрархічним принципом і включає три основні рівні:

1. Нижній рівень (рівень датчиків та виконавчих механізмів). Це датчики рівня води (ємнісні, поплавкові або радіолокаційні); датчики тиску (манометри або електронні тензOMETричні датчики); датчики температури пари та води (термопари або термометри опору); витратоміри води, пари, палива та повітря; виконавчі механізми (електричні або пневматичні клапани, частотно-регульовані приводи живильних насосів, регулятори подачі палива та повітря).

2. Середній рівень (рівень контролерів та локальних систем управління). Програмовані логічні контролери (PLC) — приймають сигнали від датчиків, обробляють їх за допомогою заданих алгоритмів і формують команди для виконавчих механізмів.

Локальні панелі оператора — надають оператору інформацію про стан котла та дозволяють ручне управління.

Промислові комп'ютери та модулі вводу/виводу (I/O модули) — забезпечують передачу даних між датчиками, контролерами та системами SCADA.

3. Верхній рівень (SCADA-системи та диспетчерський контроль).

SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition) — забезпечують візуалізацію роботи парогенератора у вигляді графіків та мнемосхем, дозволяють дистанційно керувати процесами та архівувати дані.

Системи дистанційного контролю та діагностики — для діагностики несправностей і прогнозування відмов устаткування.

Функції АСУ ТП барабанного парогенератора

1. Контур контролю рівня води у барабані. Призначення: забезпечення безперервного контролю та підтримання рівня води у заданих межах. Складові елементи: датчики рівня, контролери, регулятори, клапани та частотно-регульовані приводи насосів.

Типи регулювання:

Одноконтурне регулювання — підтримання рівня води за сигналом датчика рівня; двоконтурне регулювання — враховується не тільки рівень води, але й витрата пари; триконтурне регулювання — контролюються рівень води, витрата пари та витрата води.

2. Контур контролю тиску та температури пари. Призначення: забезпечення стабільного тиску та температури пари, необхідної для споживачів. Складові елементи: датчики тиску, температури, клапани з електроприводом, контролери.

Типи регулювання:

Регулювання тиску за допомогою зміни витрати пари або управління подачею палива; регулювання температури за допомогою охолодження перегрітої пари водою (спрей-охолодження).

3. Контур регулювання подачі палива та повітря. Призначення: забезпечення оптимального горіння палива з мінімальними втратами та

викидами шкідливих речовин. Складові елементи: витратоміри палива, повітря, клапани повітря та палива, контролери.

Типи регулювання: регулювання подачі палива залежно від тиску пари; регулювання кількості повітря для забезпечення оптимального коефіцієнта надлишку повітря.

Захисні функції АСУ ТП

1) Захист від перегріву поверхонь нагріву — відключення пальників та подачі палива при надмірному зниженні рівня води у барабані.

2) Захист від підвищеного тиску пари — відкриття запобіжних клапанів у разі перевищення допустимого тиску.

3) Захист від вибуху — контроль концентрації газів у топці та відключення пальників у разі небезпечних умов.

4) Аварійне відключення — автоматичне вимкнення котла у разі несправності або виходу технологічних параметрів за межі допустимих значень.

Переваги впровадження АСУ ТП у барабанному парогенераторі

1. Зниження споживання палива та енергоресурсів.

2. Оптимізація технологічного процесу — автоматичне керування та зменшення впливу людського фактору.

3. Підвищення надійності та безпеки роботи — автоматичне реагування на аварійні ситуації.

4. Зменшення експлуатаційних витрат — зменшення витрат на ремонт та обслуговування.

5. Архівування даних — зберігання історичних даних для подальшого аналізу та прийняття управлінських рішень.

Отже, автоматизована система управління технологічним процесом (АСУ ТП) барабанного парогенератора є необхідною умовою для сучасного виробництва пари. Завдяки автоматизації зростає надійність роботи котлів, зменшуються експлуатаційні витрати та підвищується енергоефективність

процесу. АСУ ТП дозволяє швидко реагувати на зміни навантаження, контролювати аварійні ситуації та підвищити безпеку роботи персоналу.

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

У таблиці 3.1. представлені дані експериментальної кривої розгону технологічного об'єкта управління, отримані на блоці 200 МВт Зміївської ТЕС.

За цими даними будуємо криву, наведену на рис. 3.1.

Крива розгону барабанного котла на тепловій електростанції - це графік, який показує залежність параметрів котла, наприклад, тиску пари або температури, від часу протягом процесу пуску котла та набору робочих параметрів.

Процес розгону барабанного котла починається з моменту, коли котел увімкнений, і закінчується, коли він досягає потрібного тиску та температури, необхідних для початку ефективної генерації пари для виробництва електроенергії.

На початку пуску тиск та температура можуть бути низькими, але з часом вони зростають, поки не досягнуть рівня, придатного для ефективної роботи котла і генерації необхідного обсягу пари.

Крива розгону може бути різною для кожного котла в залежності від його конструкції, потужності, типу палива та специфічних параметрів експлуатації. Ця крива може бути складною та динамічною, і для кожного типу котла можуть бути розроблені власні алгоритми регулювання для досягнення оптимальної продуктивності та ефективності під час процесу пуску.

Таблиця 3.1.

Дані експериментальної кривої технологічного об'єкта управління

P, кПа	80,0	80,1	80,1	80,2	80,3	80,8	81,1	81,5	83,0	84,0	87,9	90,0
t, с	0	20	40	60	100	160	200	250	400	500	1000	3000

P, кПа												
	80	80,3477904	80,68348499	81,00750444	81,62212801	82,46620234	82,9811261	83,57557446	85,07354092	85,87267565	88,29651937	89,95056761
t+t _{запад} , с	125	145	165	185	225	285	325	375	525	625	1125	3125

За допомогою дотичної до експериментальної кривої в точці перегину визначаємо $T_{об}$ і τ : $T_{об}=600$ с, $T_o = 125$ с

По формулі:

$$H = H_{уст} \left[1 - \exp\left(\frac{-t}{T_{об}}\right) \right] \quad (3.1)$$

будуємо еквівалентну криву із запізненням на 180 сек.

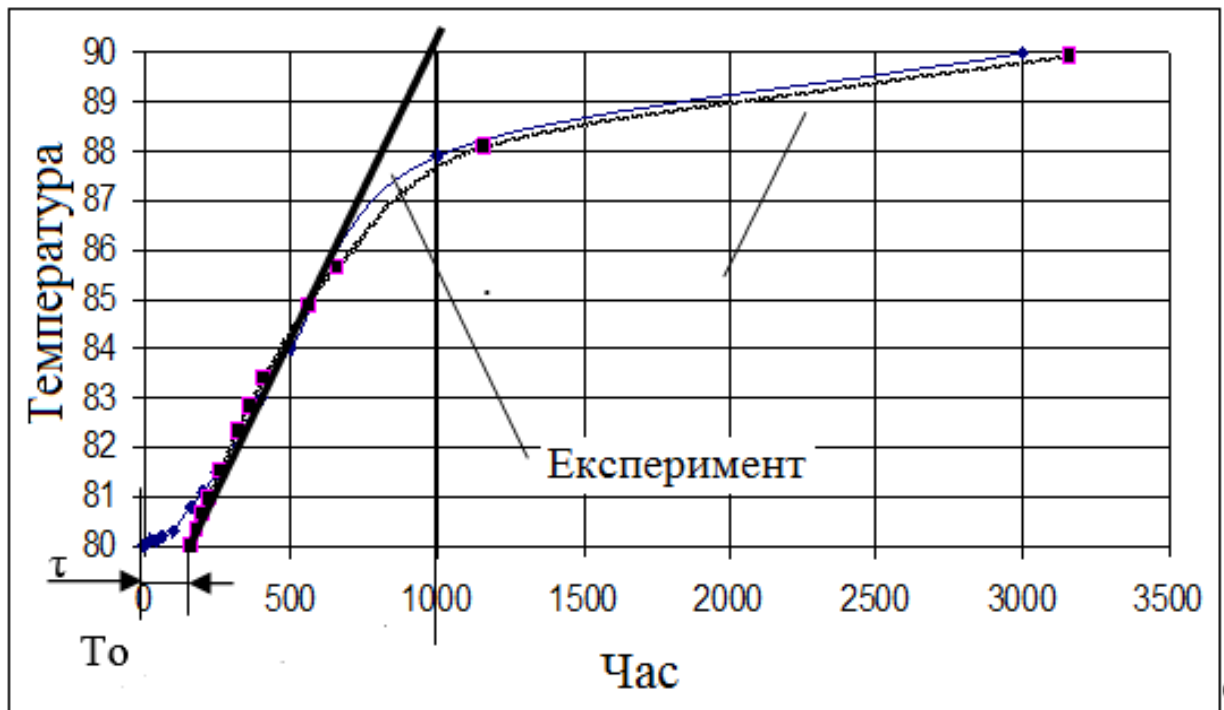


Рис. 3.1. Крива розгону котла

Знайдемо середньоквадратичне відхилення експериментальних даних від теоретичної кривої:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\theta_1(t_i) - \theta_2(t_i)]^2} \quad (3.2)$$

де $P_1(t_i)$ - експериментальне значення тиску на момент часу t_i ,

$P_2(t_i)$ - розрахункове значення тиску на момент часу t_i ,

n – число розрахункових точок.

t_i, c	125	185	225	285	325	375	500	1000	3000
$P_{\text{експер}},$ кПа	80,20	80,90	81,00	82,00	82,15	82,40	84,00	88,00	90,00

Р _{теор} , кПа	80,00	81,00	81,65	82,47	82,98	83,58	84,80	88,11	89,80
----------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\theta_1(t_i) - \theta_2(t_i)]^2} = 0,41$$

Далі будемо використовувати еквівалентний об'єкт, що описується з точністю 41% диференціальним рівнянням 1-го порядку з самовирівнюванням та запізненням із передатною функцією:

$$W(p) = \frac{k_o \cdot e^{-\tau \cdot p}}{(T_{o\delta} p + 1)} \quad (3.3)$$

Коефіцієнт посилення об'єкта:

$$k_0 = \frac{\theta_{уст} - \theta_0}{M} = \frac{90 - 80}{20}, \quad K_o = 0,5$$

Передатна функція об'єкта:

$$W(p) = \frac{0,5 \cdot e^{-125p}}{(600p + 1)}$$

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСР ІЗ ТИПОВИМ РЕГУЛЯТОРОМ

4.1. Вибір типового регулятора АСР та визначення параметрів його налаштування

Необхідною умовою надійної стійкої роботи АСР є правильний вибір типу регулятора та його налаштувань, що гарантує необхідну якість регулювання.

Розглянемо методику на основі аналізу виду передавальної функції об'єкта регулювання.

Залежно від властивостей об'єктів управління, що визначаються його передатною функцією та параметрами, та передбачуваного виду перехідного процесу вибирається тип та налаштування лінійних регуляторів.

Основні сфери застосування лінійних регуляторів визначаються з урахуванням наступних рекомендацій:

I – регулятор зі статичним ОР – при повільних змінах обурень та малому часі запізнення ($\tau_o / T_o < 0.1$);

II – регулятор зі статичним та астатичним оптимальним регулятором (ОР) – при будь-якій інерційності та часу запізнення, що визначається співвідношенням $\tau_o / T_o < 0.1$;

III – регулятор – за будь-якої інерційності та часу запізнення ОР, що визначається співвідношенням $\tau_o / T_o < 1$;

ПІД – регулятори за умови $\tau_o / T_o < 1$ та малої коливання вихідних процесів.

Підходящим є ІІІ-регулятор, оскільки за умовами завдання на об'єкт діють обурення, що викликають відхилення рівня, що відповідають 5 % при перестановці регулюючого органу та за видом перехідного процесу та передавальної функції. Якщо при подальших розрахунках виявиться, що ІІІ-

регулятор не задовольняє заданим умовам, нам необхідно вибрати складніший (а отже, дорожчий) ПД - регулятор, який має кращі показники регулювання.

4.2. Аналіз динамічних характеристик АСР із типовим регулятором

Завдання регулятору визначається, як правило, за показниками якості кінцевого продукту (або напівпродукту), тому завдання регулятора не змінюють, а процес регулюють за допомогою впливу на орган, що регулює, через який, як правило, йдуть основні збурення.

Визначаємо перехідний процес АСР по впливу, що збурює, на регулюючий орган. У цьому випадку передатна функція замкнутої системи визначається за формулою

$$W_z(p) = W_{об}(p) / (1 + W_{об}(p) * W_{рег}(p)) \quad (4.1)$$

Регулюючий орган та об'єкт регулювання представлені передатною функцією (4.2)

$$W_{об}(p) = K_o * e^{-\tau * p} / (T_o p + 1) \quad (4.2)$$

У програмному продукті Simulink передавальна функція $W_{об}(p)$ представлена послідовно з'єднаними ланками: аперіодичним та ланкою запізнення (рис.4.1).

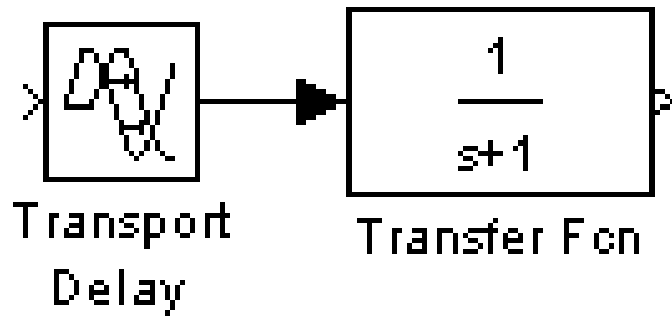


Рис. 4.1. Структура об'єкта регулювання у програмному продукті Simulink

ПІ-регулятор представлений двома ланками, що підсумовуються в результаті: пропорційним $W_p(p) = K_p$ і інтегруючим $W_i = 1 / T_i * p$. Передатна функція регулятора, таким чином, визначається за формулою (4.3):

$$W_{\text{рег}}(p) = W_p + W_i = K_p + 1 / T_i * p \quad (4.3)$$

де W_p – підсилювач

W_i – інтегратор.

У програмному продукті Simulink структура регулятора буде виглядати так

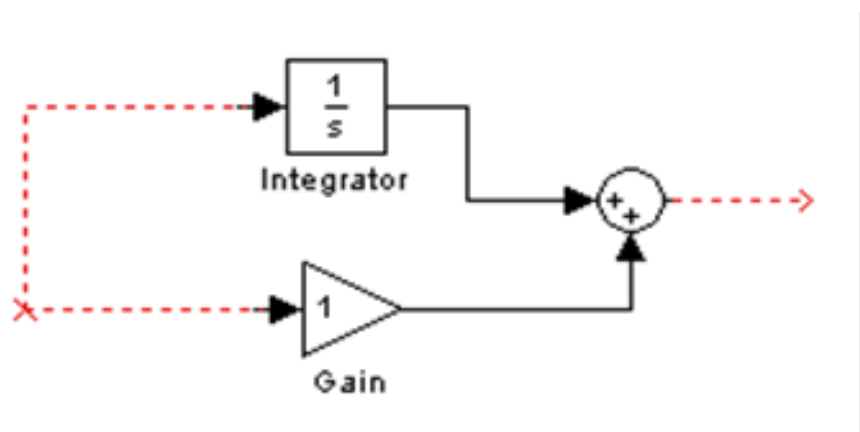


Рис.4.2. Структура ПІ-регулятора у Simulink

Структурна схема АСР, що відповідає її функціональній схемі з узагальненим об'єктом регулювання та позначеним регулятором представлена на рисунку 4.3.



Рис. 4.3. Структурна схема АСР

Дана схема деталізується для розрахунку замкнутої АСР та наводиться до вигляду на рис. 4.4.

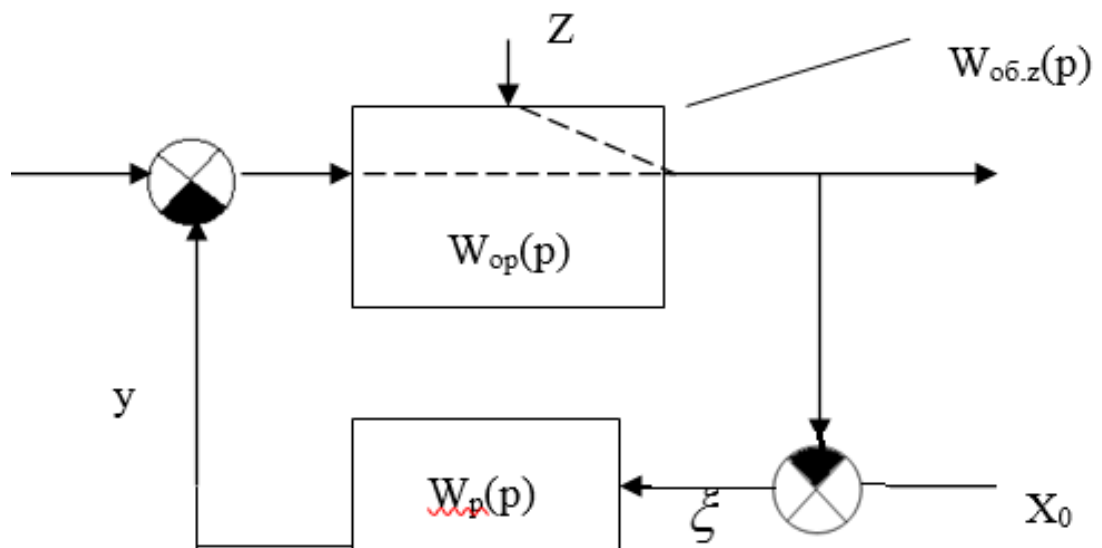


Рис. 4.4. Структурна схема замкнутої автоматичної системи управління, що складається з об'єкта та регулятора

Як вихідний величини системи розглядають частіше керовану величину x (що відображає для технологічних об'єктів параметр якості кінцевої продукції або напівфабрикату) або відхилення керованої величини від заданого значення (помилка управління) $\xi = X_0 - X$.

Як вхідна (збурююча) величина замкнутої системи управління розглядають:

а) збурення з боку регулюючого органу – каналом управління u_v (переміщення вихідного сигналу виконавчого механізму, рівне переміщенню регулюючого органу);

б) зовнішнє збурення Z ;

в) обурення за завданням x_0 пов'язане зі зміною заданого значення керованої величини.

Передавальні функції замкнутої системи при рівності нуля інших вхідних впливів мають такий вигляд:

а) каналом управління (обурення з боку регулюючого органу) $X_{\text{вх.с.}} = U_v$:

$$W_z(p) = \frac{X(p)}{Y_s(p)} = \frac{W_{ob}(p)}{1 + W_{ob}(p) * W_p(p)}, \quad (4.4)$$

б) при зовнішньому обуренні $X_{\text{вх.с.}} = Z$:

$$W_z(p) = \frac{X(p)}{Z(p)} = \frac{W_{ob.z}(p)}{1 + W_{ob.z}(p) * W_p(p)}, \quad (4.5)$$

в) при збуренні за завданням $X_{\text{вх.с.}} = X_0$, якщо вихідна величина - керована величина:

$$W_z(p) = \frac{X(p)}{Z(p)} = \frac{W_{ob}(p) * W_p(p)}{1 + W_{ob}(p) * W_p(p)}. \quad (4.6)$$

Враховуючи, що для більшості технологічних процесів характерні обурення з боку регулюючого органу, дотримуватимемося формули.

За умовою завдання узагальнений об'єкт регулювання, що представляє послідовне з'єднання аперіодичної ланки першого порядку та ланки запізнення, виражається наступною функцією:

$$W_{об}(p) = k_0 * e^{-\tau p} / (T_o p + 1) \quad (4.7)$$

де k_0 - коефіцієнт передачі об'єкта;

T_o – постійна часу об'єкта;

τ - запізнення об'єкта.

Передатна функція ПІ-регулятора представлена паралельним з'єднанням пропорційної ($K_p = 75$) та інтегральної ($1/(T_{ip})$) складових, де $T_i = 0,1$:

$$W_p(p) = K_p + \frac{1}{T_u p} \quad (4.8)$$

За допомогою спеціальних символів програмного продукту Simulink створюємо схему розрахунку перехідного процесу щодо збурення з боку регулюючого органу, рис. 4.5.

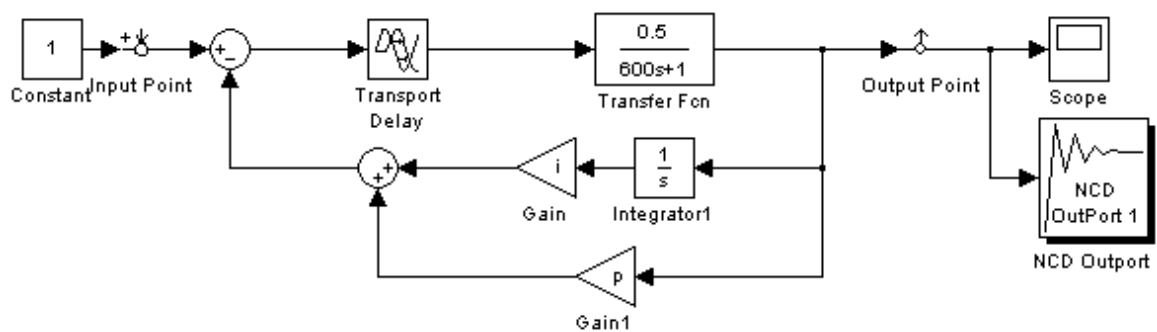


Рис. 4.5. Структурно-математична схема розрахунку перехідного процесу з обуренням із боку регулюючого органу у програмному продукті Simulink

РОЗДІЛ 5. ПОБУДОВА ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ АСР ЗА ДОПОМОГОЮ ПІ-РЕГУЛЯТОРА

5.1. Побудова перехідного процесу за допомогою пакета Simulink

У результаті моделювання в пакеті Simulink за допомогою виконаної схеми (рис. 4.5) ми отримали перехідну та амплітудо-фазовочастотну характеристики з обурення з боку регулюючого органу.

Розглянемо перехідну характеристику на рис. 5.1

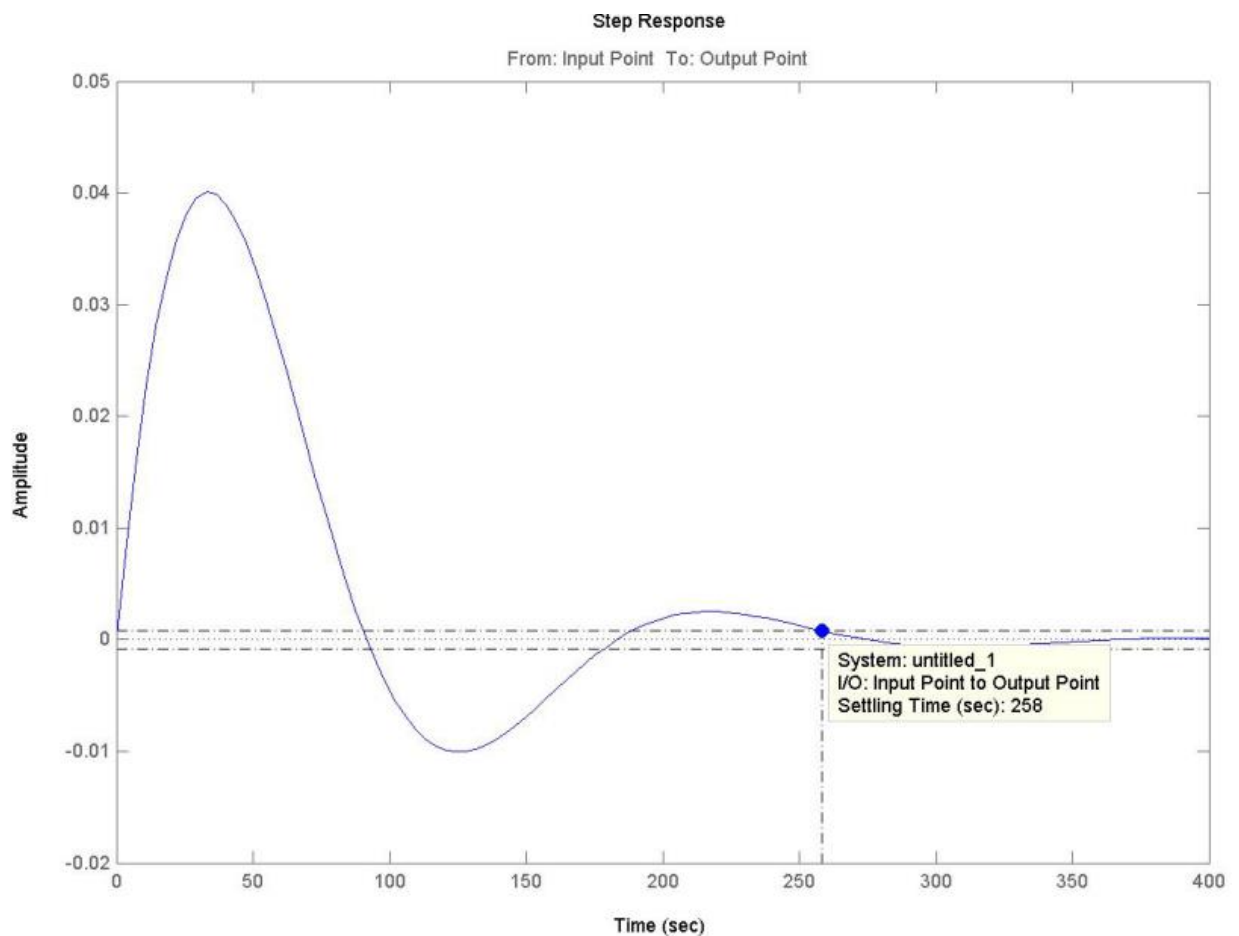


Рис. 5.1. Перехідна характеристика САР із ПІ – регулятором

- Час регулювання становить 258 секунд;
- Значення, що встановилося – 1.0;
- Час наростання – 54 с;
- Статична помилка – 0;
- Перерегулювання – 2 %.

Щоб отримати логарифмічні амплітудні та фазові характеристики, за якими можна визначити запаси стійкості за амплітудою та фазою необхідно розімкнути систему.

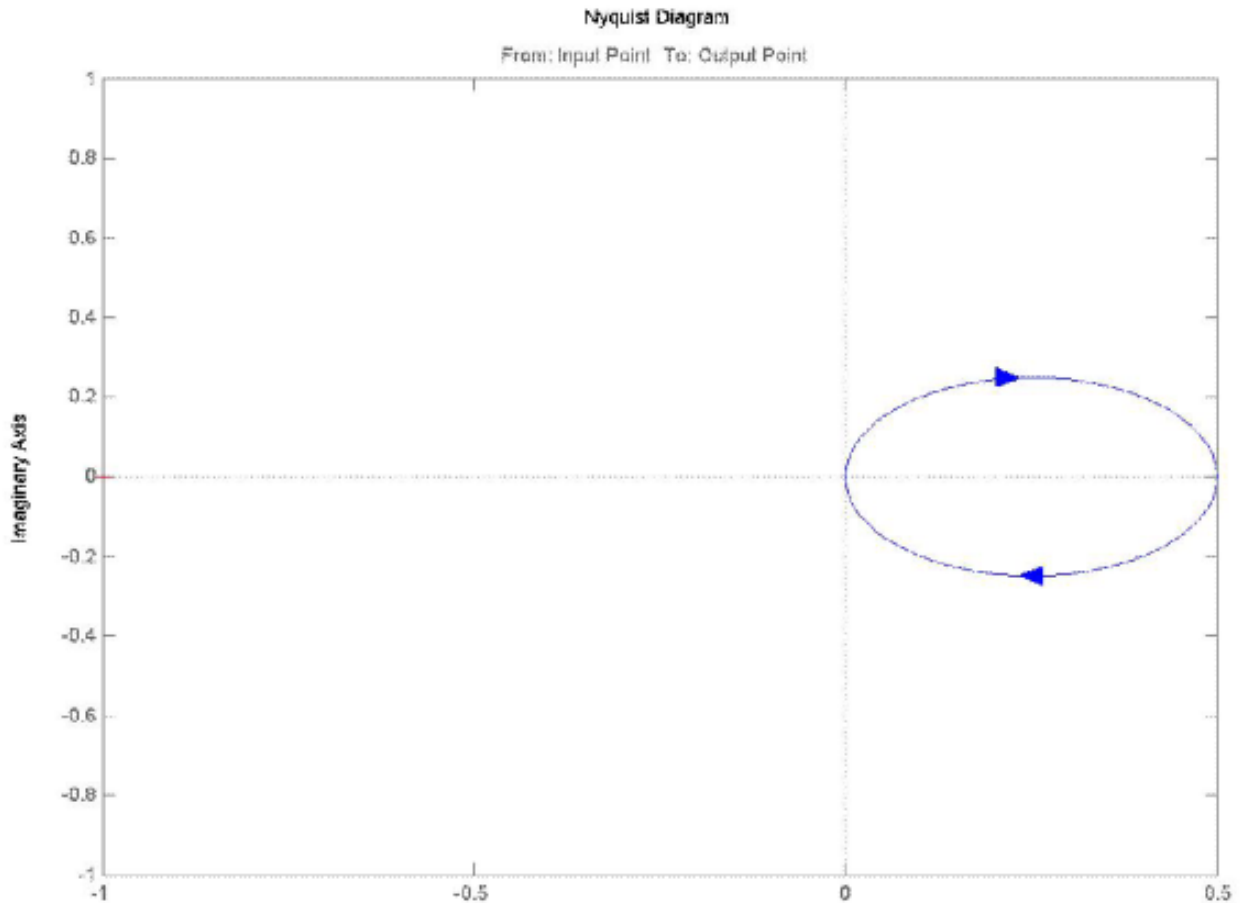


Рис.5.2. Годограф системи автоматичного регулювання температури

З рис.5.2 видно, що система є стійкою, оскільки годограф не охоплює точку з координатою $(-1j, 0)$ (критерій Найквеста).

Критерій Найквеста (Nyquist criterion) - це метод аналізу стійкості динамічних систем, який використовується для оцінки стійкості замкнутих систем зворотного зв'язку на основі використання графіків комплексної площини.

Основна ідея полягає в застосуванні теореми Гурвіца до відкритої передатної функції системи, яка може бути представлена у формі діаграми Боде (Bode plot). За допомогою цього критерію можна оцінити стійкість

замкнутої системи зворотного зв'язку, використовуючи відкриту передатну функцію.

У випадку звичайного критерію Найквеста, графік Найквеста показує траєкторію в точках на комплексній площині, які відповідають точкам на діаграмі Бode відкритої передатної функції. Ця траєкторія може дати інформацію про стійкість системи: якщо вона обгортає точку $(-1, j0)$ у протилежному напрямку годинникової стрілки, то система є стійкою; якщо траєкторія включає цю точку в контур годинникової стрілки, то система нестійка.

Критерій Найквеста дозволяє оцінити стійкість системи зворотного зв'язку, а також визначити межу стійкості для системи з різними параметрами. Він широко використовується в аналізі та проектуванні керованих систем і є одним із ключових інструментів у теорії керування.

За отриманими показниками якості перехідного процесу запасами стійкості можна зробити висновок про відповідність цих параметрів заданим. Що, у свою чергу, має забезпечувати стабільну роботу системи.

5.2. Розрахунок одноконтурної цифрової АСР

Розрахуємо параметри дискретного регулятора за наявними значеннями безперервного регулятора:

$$K_p = 4,5$$

$$T_i = 142,8$$

Такт квантування –

$$T_o = 60$$

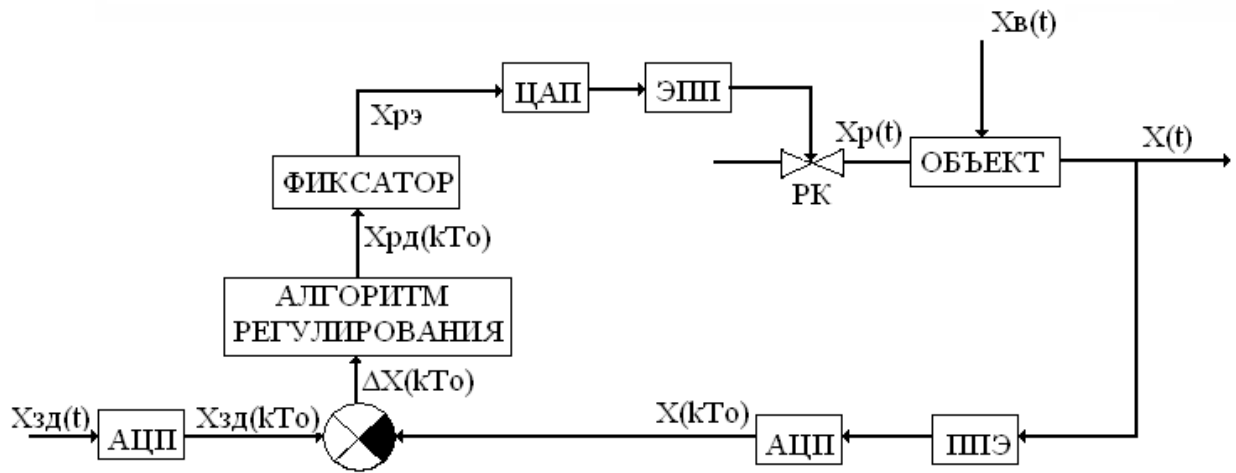


Рис.5.3. Структурна схема одноконтурної цифрової САР

Рівняння, що описує динаміку дискретного ПІ-регулятора:

$$X_p(k) = X_p(k-1) + q_o \Delta X(k) + q_1 \Delta X(k-1) \quad (5.1)$$

де k – дискретний аргумент.

За методом трапецій:

$$q_o = K_p \cdot \left(1 + \frac{T_o}{2T_u}\right), \quad q_o = 4,5 \cdot \left(1 + \frac{60}{2 \cdot 142,8}\right) = 5.44 \quad (5.2)$$

$$q_1 = -K_p \cdot \left(1 - \frac{T_o}{2T_u}\right), \quad q_1 = -4,5 \cdot \left(1 - \frac{60}{2 \cdot 142,8}\right) = -3.55$$

Метод трапецій - це один з чисельних методів, який можна використовувати для чисельного інтегрування диференціальних рівнянь у системах керування та регулювання.

При розрахунку одноконтурної цифрової автоматичної системи регулювання метод трапецій може бути використаний для чисельного моделювання динаміки системи з урахуванням дискретного часу.

Основні кроки методу трапецій для цифрового моделювання системи:

1. Дискретизація системи: Початкові диференціальні рівняння системи регулювання перетворюються на відповідні рівняння різницевих відношень у вигляді рівнянь відносно різницевих рівнянь.

2. Апроксимація похідних: Диференціальні оператори замінюються відповідними різницевими апроксимаціями (наприклад, диференціал замінюється різницею між значеннями змінної у двох послідовних моментах часу).

3. Ітераційне оновлення значень: За допомогою методу трапецій обчислюються нові значення змінних системи на кожному кроці ітерації, використовуючи попередні значення та відповідні різницеві рівняння.

4. Ітерація в часі: Повторення кроку 3 для кожного кроку дискретного часу до досягнення необхідного моменту часу або до досягнення стійкого стану системи.

Метод трапецій дозволяє апроксимувати динаміку системи у дискретний час і використовується для аналізу та моделювання різних систем керування, включаючи автоматичні системи регулювання. Однак важливо правильно налаштувати параметри дискретизації та крок часу для отримання точних результатів моделювання.

Різницеві рівняння, що описує дискретний ПІ-регулятор:

$$X_p(k) = X_p(k-1) + 5,44\Delta X(k) - 3,55\Delta X(k-1) \quad (5.3)$$

РОЗДІЛ 6. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Технічні засоби автоматизації рівня у барабанних котлах на теплових електростанціях (ТЕС) грають ключову роль у забезпеченні стабільності роботи котла та ефективності його функціонування. Ось деякі з цих засобів:

1. Датчики рівня води: Вони встановлюються у барабані котла для постійного вимірювання рівня води. Інформація, отримана від цих датчиків, використовується системою керування для регулювання подачі води в котел.

2. Автоматичні насоси чи клапани: Ці пристрої керують подачею води у барабанний котел на основі сигналів, отриманих від датчиків рівня води. Вони активуються автоматично для підтримки оптимального рівня води у котлі.

3. Система контролю тиску та температури: Датчики тиску та температури слідкують за цими параметрами, допомагаючи у встановленні оптимальних умов для генерації пари.

4. Автоматичні системи безпеки: Ці системи вбудовані для запобігання аварійним ситуаціям, наприклад, автоматичне відключення подачі води у випадку перевищення максимально допустимого рівня або запобігання перевищення тиску.

5. Системи аварійного відведення води: У разі потреби ці системи автоматично відводять надмірну воду з котла для запобігання переповненню.

6. Системи автоматичного регулювання: Вони використовують алгоритми регулювання для підтримки стійкого рівня води в барабані котла.

7. Системи моніторингу та відображення інформації: Дозволяють операторам станції отримувати інформацію про рівень води та параметри котла у реальному часі для контролю та прийняття рішень.

Ці технічні засоби спільно з автоматизованими системами контролю та керування дозволяють ефективно управляти рівнем води у барабанних котлах на ТЕС, забезпечуючи безперебійну та безпечну роботу системи.

Для вимірювання тиску палива перед пальником використовують пружинні манометри з вбудованим перетворювачем для дистанційної передачі показань. Те саме використовується для вимірювання тиску пари та повітря в повітропроводі.

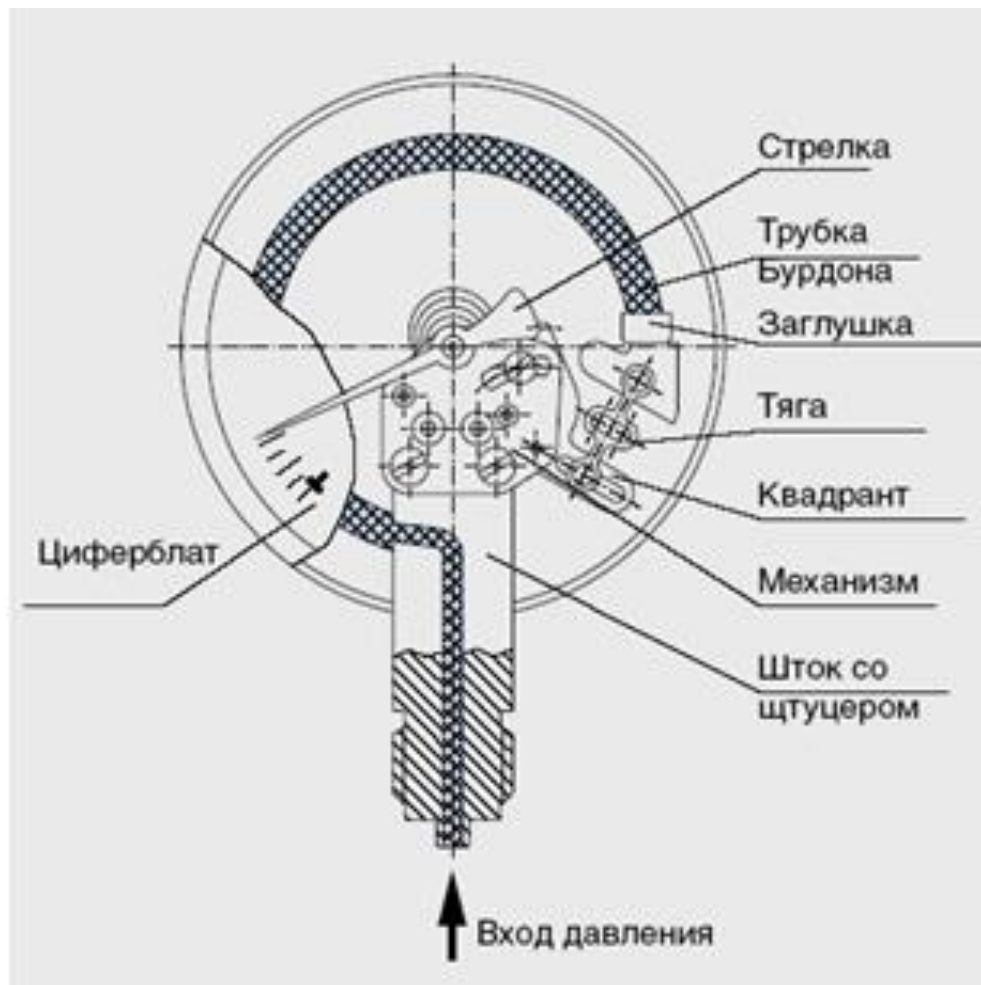


Рис. 6.1. Пружний манометр

У пружинних манометрах - приладах для вимірювання тиску газів і рідин - використовується деформація пружних елементів (трубчастих, спіральних або мембранних пружин) під дією тиску. Вони широко застосовуються в промисловості, техніці та побуті.

У трубчастих (деформаційних) манометрах основним елементом є металева трубка (найчастіше у формі півкола, спіралі або гвинта), яка під дією внутрішнього тиску намагається випростатися.

Один кінець трубки закріплений і з'єднаний з середовищем, тиск якого вимірюється. Інший кінець вільний і зв'язаний з передавальним механізмом (зубчастою передачею або важелем), який переміщує стрілку на шкалі манометра.

Матеріал трубки — латунь, бронза, сталь або сплави з високою пружністю та корозійною стійкістю.

Спіральний манометр відрізняється тим, що пружний елемент має форму спіралі. Така конструкція забезпечує більший хід кінця пружини, що підвищує точність вимірювання. Використовується у випадках, коли потрібно вимірювати високі значення тиску.

У мембранному манометрі основним елементом є гнучка мембрана (дископодібна пластина), яка під дією тиску деформується. Деформація мембрани передається на стрілковий механізм, який відображає значення тиску на шкалі. Застосовується для вимірювання низьких тисків, вакууму та тисків у агресивних середовищах.

Принцип дії пружинного манометра - вплив тиску на пружний елемент. Газ або рідина під тиском надходить у трубку або мембранний простір, що призводить до деформації пружного елемента.

Трубчастий пружний елемент (пружина) випрямляється пропорційно до величини тиску. Мембрана згинається під дією тиску, а спіральна пружина розкручується. Деформація передається на важільно-зубчастий механізм або безпосередньо на стрілку. Стрілка рухається по шкалі, відображаючи значення тиску. Положення стрілки показує величину тиску у відповідних одиницях (Па, бар, атм тощо).

Переваги пружинних манометрів:

1. Простота конструкції та надійність.
2. Можливість роботи в широкому діапазоні тисків (від низьких до дуже високих).
3. Механічна індикація тиску — не потребує джерела живлення.
4. Стійкість до вібрацій та ударів.

Недоліки: можлива похибка при довготривалій експлуатації (через втому матеріалу пружного елемента); необхідність періодичної калібрування; обмеження за робочими середовищами — для агресивних середовищ потрібні спеціальні матеріали.

Для вимірювання тиску в газопроводі у режимі перевірки герметичності клапанів достатньо електроконтактного манометра.

Електроконтактний манометр — це прилад для вимірювання тиску, який поєднує функції звичайного пружинного манометра і електричного пристрою керування (контролю) тиску. Такий манометр не тільки вимірює тиск, але й може замикати або розмикати електричний ланцюг при досягненні певного заданого значення тиску.

Електроконтактний манометр складається з таких основних елементів:

1. Пружинний чутливий елемент. Це може бути трубчаста пружина (типу Бурдона), мембрана або спіральна пружина. Вона деформується під дією тиску та передає рух на передавальний механізм.

2. Механізм передавання руху. Важільно-зубчастий механізм передає рух чутливого елемента на стрілку та одночасно на контакти вимикача.

3. Контактна система. На циферблаті манометра встановлені два або більше рухомих і нерухомих контактів. Рухомий контакт закріплений на стрілці та переміщується разом із нею. Нерухомі контакти можна налаштувати за допомогою регульованих гвинтів на задані значення тиску (нижня та верхня межа).

4. Циферблат зі шкалою. Дозволяє візуально контролювати тиск і встановлювати граничні значення.

5. Електричний ланцюг. Вбудовані контакти під'єднуються до зовнішнього електричного кола, яке може керувати обладнанням (насоси, компресори, клапани, сигнальні пристрої тощо).

Переваги електроконтактних манометрів:

- автоматизація процесів — можливість автоматично включати або вимикати обладнання.

- надійність і довговічність — проста механічна конструкція та відсутність електроніки.

- широкий діапазон вимірюваних тисків — від низьких до високих значень.

- просте налаштування — можливість регулювати значення порогів спрацювання.

Недоліки: знос контактів (з часом контакти можуть підгоряти або окислюватися); не підходить для високочастотних перемикачів (для таких задач краще використовувати електронні датчики); можливі механічні пошкодження (вібрації та удари можуть вплинути на точність показань).



Рис. 6.2. Електроконтактні манометри:

а – манометр із електроконтактною приставкою; б і в – електроконтактні манометри ЕКМ160 та ЕКМ100 на основі мікровимикачів; г – передавальний механізм із мікровимикачами

Для вимірювання рівня води у верхньому барабані використовуємо промисловий рівнемір з диференціальним манометром, рис. 6.3.



Рис. 6.3. Дифманометр

Сильфонний диференціальний манометр (дифманометр) — це прилад для вимірювання різниці тисків у двох різних точках системи. Основним чутливим елементом такого манометра є сильфон — гнучка циліндрична металева оболонка з поперечними гофрами, яка деформується під дією тиску.

Основні елементи дифманометра:

1. Два сильфони. Сильфони виготовлені з металу (латунь, бронза, сталь або спеціальні сплави). Кожен з них з'єднаний із системою, де потрібно виміряти тиск. Сильфони розташовані так, що деформація одного протидіє деформації іншого.

2. Жорсткий корпус. У корпусі створено дві камери, які ізольовані одна від одної. Перша камера з'єднана із зоною з більш високим тиском (P_1), друга — з зоною з нижчим тиском (P_2).

3. Передавальний механізм. Сильфони деформуються під дією тиску, а різниця деформацій передається через важільно-зубчастий механізм на стрілку. Чим більша різниця тисків ($P_1 - P_2$), тим більше зміщується стрілка.

4. Циферблат зі шкалою. На шкалі вказується різниця тисків $\Delta P = P_1 - P_2$ у відповідних одиницях (Па, мбар, мм вод. ст., мм рт. ст. тощо).

РОЗДІЛ 7. КЕРУВАННЯ РИЗИКАМИ НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Ризикоорієнтований підхід застосовується для запобігання нещасним випадкам. Його інструменти – численні методики для виявлення небезпек, оцінювання ризиків і впровадження заходів щодо їх контролю [20].

Оцінювання ризиків полягає у виявленні небезпек (наприклад, падіння, електричний струм, гаряча поверхня, обертальні пристрої і т.п.), саме оцінювання ризиків і впровадження адекватних заходів.

Рівні, на яких оцінюються ризики: регіональний (сейсмічні, кліматичні, військові ризики тощо); загальнооб'єктовий (пересування території, оповіщення про надзвичайну ситуацію тощо); рівень обладнання, виробничої зони чи операції.

Кількісний метод оцінювання ризиків визначається за формулою:

$$P = T \cdot \Phi \cdot I,$$

де T – тяжкість наслідків,

Φ – частота,

I – ймовірність ризику.

Керування ризиками на електростанції з точки зору автоматизації процесів є важливим аспектом забезпечення безпеки, ефективності та надійності роботи станції. Автоматизація процесів дозволяє спростити та поліпшити багато аспектів керування ризиками на електростанції:

Системи автоматизованого моніторингу дозволяють постійно відслідковувати стан різних елементів обладнання, вчасно виявляти відхилення в роботі та вчасно проводити діагностику для попередження потенційних аварій.

Автоматизовані системи безпеки включають у себе різні заходи, включаючи аварійне відключення обладнання в разі виявлення загрози, що дозволяє уникнути аварійних ситуацій.

Автоматизація дозволяє автоматично перемикати роботу на резервні системи в разі відмови основного обладнання, забезпечуючи безперебійну роботу електростанції, а також може допомогти оптимізувати виробництво електроенергії з мінімізацією втрат та оптимальним використанням ресурсів.

Системи автоматизованого аналізу даних можуть передбачати можливі ризики та проблеми, що дозволить приймати управлінські рішення для їх попередження або зменшення наслідків.

Автоматизація процесів управління ризиками дозволяє стандартизувати та документувати процедури, що сприяє кращому контролю за ризиками та впровадженню кращих практик управління.

Питання ризиків та підприємстві та безпека праці розглядається у []

Таким чином, автоматизація процесів на електростанціях не лише спрощує керування, але й покращує якість управління ризиками, забезпечуючи безпеку, ефективність та надійність роботи станції; а також забезпечення безпечних умов праці та захист навколишнього середовища.

7.1. Характеристика умов роботи об'єкта та рівень його автоматизації

У цій кваліфікаційній роботі розглядаємо керування ризиками та техніку безпеки для Зміївської ТЕС. Зміївська ТЕС складається з 6 енергоблоків потужністю по 200 МВт, 4 блоків потужністю по 300 МВт.

До складу блоків 200 МВт входить барабанний котел ТП-100, турбоагрегат К-200-130 з генератором. Більш детальна характеристика даного підприємства дано у розділі II: «Короткий опис Зміївської ТЕС».

До факторів, що визначають потенційну небезпеку даного об'єкта, можна віднести:

- застосування вибухо- та пожежонебезпечних речовин;
- наявність високих температур та високих тисків;
- використання підйомно-транспортного обладнання, а також обладнання з частинами, що рухаються і обертаються.
- наявність електромагнітних та теплових випромінювань.

На Зміївській ТЕС рівень автоматизації повний: за допомогою автоматизованих систем здійснюється контроль та регулювання за всіма параметрами робочого тіла, режиму горіння в топці, енергії, що виробляється. Автоматизовано також захист: при виході параметрів за допустимі межі.

Дистанційне керування за параметрами здійснюється з блочного щита керування.

7.2. Засоби запобіжної техніки

Робота на тепловій електростанції (ТЕС) пов'язана з підвищеною небезпекою через високі температури, тиск, електричні струми та можливість вибухів або пожеж. Щоб забезпечити безпеку працівників та захистити обладнання, на ТЕС застосовуються численні засоби запобіжної техніки та заходи безпеки.

1. Системи аварійного захисту (САЗ)

Системи аварійного захисту автоматично спрацьовують при відхиленні параметрів роботи обладнання від допустимих норм і запобігають розвитку аварійних ситуацій.

Основні функції САЗ:

Автоматичне вимкнення обладнання при перевищенні допустимого тиску, температури або рівня води у барабані котла.

Захист генераторів та електрообладнання від коротких замикань та перевантажень.

Автоматичний запуск резервних систем (наприклад, резервного живлення, аварійного насоса тощо).

Сигналізація про несправності та аварійні ситуації для інформування персоналу.

Приклади засобів аварійного захисту:

Запобіжні клапани — автоматично скидають тиск у барабані котла при його перевищенні.

Автоматичні відсічні клапани — перекривають подачу палива при виникненні небезпеки вибуху або пожежі.

Датчики та контролери САЗ — забезпечують контроль рівня води, тиску, температури та інформують систему автоматизації про можливу небезпеку.

2. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Засоби індивідуального захисту призначені для захисту працівників від впливу небезпечних факторів навколишнього середовища.

Основні види ЗІЗ для працівників ТЕС:

Спеціальний одяг та взуття — термостійкий, вогнестійкий одяг, що захищає від високих температур та можливих бризок розплавленого металу або гарячої води.

Каски та захисні шоломи — захищають голову від падіння інструментів та елементів конструкцій.

Захисні окуляри та щитки — захищають очі від яскравого світла, пилу, хімічних речовин та випромінювання.

Респіратори та протигази — захищають органи дихання від пилу, диму та отруйних газів (наприклад, оксидів азоту чи сірки).

Засоби захисту органів слуху (навушники, вкладиші) — знижують вплив шуму від турбін, генераторів та інших механізмів.

Ізолювальні рукавички та діелектричні килимки — захищають від ураження електричним струмом під час роботи з електрообладнанням.

3. Електричний захист та системи контролю електробезпеки

Оскільки на ТЕС працює високовольтне обладнання (генератори, трансформатори, розподільчі пристрої), важливе місце займають засоби захисту від ураження електричним струмом.

Основні заходи електробезпеки:

Захисне заземлення — використовується для відведення струму замикання на землю з метою захисту персоналу від ураження електрострумом.

Системи вирівнювання потенціалу — зменшують різницю потенціалів між частинами обладнання, щоб запобігти ураженню струмом.

Пристрої захисного відключення (ПЗВ) — автоматично вимикають електроживлення у разі виникнення струму витоку.

Автоматичні вимикачі та реле захисту — захищають від перевантажень, коротких замикань та інших небезпечних ситуацій у системі живлення.

Діелектричні засоби захисту (килимки, рукавички, інструменти з ізовольованими ручками) — захист персоналу від ураження електричним струмом.

4. Пожежна безпека та вибухозахист

На ТЕС використовується велика кількість легкозаймистих речовин (вугілля, мазут, газ), тому пожежна безпека є критично важливою.

Основні заходи пожежної безпеки:

Автоматичні системи пожежогасіння — використовуються системи водяного, пінного, газового та порошкового пожежогасіння.

Датчики диму, тепла та газу — визначають наявність пожежі та автоматично активують системи пожежогасіння.

Системи вентиляції та аспірації — видаляють вибухонебезпечні гази та пил із робочих приміщень.

Іскрозахищене обладнання — електрообладнання, що не створює іскру, яка може стати джерелом займання.

Пожежний інвентар — вогнегасники, пожежні гідранти, пожежні рукави, пісок та пожежний інструмент.

5. Системи вентиляції та контролю газового середовища

При спалюванні палива (особливо вугілля та мазуту) у повітря виділяються небезпечні гази, такі як CO, NO_x, SO₂.

Основні заходи з контролю газового середовища:

Системи вентиляції та аспірації — видаляють вибухонебезпечні гази та пил.

Газоаналізатори — визначають концентрацію токсичних та вибухонебезпечних газів у приміщеннях.

Системи контролю якості повітря — забезпечують автоматичний контроль повітря в робочих приміщеннях.

6. Охорона праці та інструктаж персоналу

Один із важливих елементів системи запобіжної техніки — підготовка та навчання персоналу.

Основні заходи охорони праці:

Інструктажі з техніки безпеки — перед початком роботи всі працівники проходять вступний, первинний, повторний та позаплановий інструктаж.

Перевірка знань з техніки безпеки — регулярне тестування знань працівників щодо правил техніки безпеки.

Ідентифікація небезпек і оцінка ризиків — аналіз можливих ризиків і вжиття заходів для їх усунення.

Регулярний медичний огляд — для контролю стану здоров'я працівників, особливо тих, хто працює у шкідливих умовах.

Отже, засоби запобіжної техніки на ТЕС забезпечують захист від аварій, пожеж, вибухів, уражень електричним струмом та інших небезпек. Використання сучасних систем автоматизації, датчиків контролю, систем пожежогасіння та засобів індивідуального захисту дозволяє значно підвищити рівень безпеки. Крім того, велика увага приділяється підготовці та інструктажу персоналу для забезпечення дотримання правил охорони праці. Усі ці заходи спрямовані на зниження ризику для життя та здоров'я працівників та запобігання аварійним ситуаціям на станції.

7.3. Забарвлення приміщень та обладнання. Сигнальні кольори та знаки безпеки

Розпізнавальне фарбування та трубопроводів повинні відповідати таблиці 7.1.

У місцях, перебування в яких пов'язане з можливою небезпекою для тих, хто працює за ГОСТ 12.4.026-76, застосовуються 4 групи знаків безпеки:

- забороняючі;
- попереджувальні;
- розпорядники;
- вказівні.

Таблиця 7.1.

Забарвлення трубопроводів по речовині, що транспортується

Транспортируемое вещество		Цвет опознавательной окраски
№ п/п	Наименование	
1	вода	зеленый
2	пар	красный
3	воздух	синий
4	газы горючие	желтый
5	газы негорючие	желтый
6	кислоты	оранжевый
7	щелочи	фиолетовый
8	жидкости горючие	коричневый
9	жидкости негорючие	коричневый
10	горючие вещества	серый

Розпізнавальне фарбування трубопроводів слід виконано суцільною по всій поверхні комунікацій або окремими ділянками.

7.4. Електробезпека

Приміщення за ступенем небезпеки ураження електричним струмом класифікуються за характером виробничого середовища та доступності електричного обладнання.

Класифікація приміщень з виробничого середовища.

За вологістю приміщення діляться на сухі, вологі, сирі, особливо сирі.

Усі приміщення, з погляду небезпеки ураження електричним струмом, ділять такі категорії:

- із підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні;
- без підвищеної небезпеки.

Машзал належить до приміщення особливо небезпечного, т.к. характеризується наявністю понад 1 умови, підвищеної небезпеки: висока температура (вище 30 °C), струмопровідна підлога, наявність заземлених металоконструкцій.

Класифікація приміщень доступності електричного устаткування.

За доступністю до електроустаткування електротехнічні приміщення поділяються на:

- закриті електротехнічні приміщення;
- електротехнічні приміщення, в яких електричне обладнання доступне лише для постійно присутніх у них спеціального чергового персоналу.
- службові приміщення;
- побутові приміщення.

На Зміївській ТЕС використовується електроустаткування до електроустановок напругою 220 В, 380 В, 6 кВ, 24 кВ, 110 кВ, 220 кВ, 330 кВ; частотою струму 50 Гц.

При експлуатації такого обладнання можуть відбуватися електричні опіки, місцеві електротравми та інші види ураження електричним струмом.

У зв'язку з цим використовуються різні види захисту та попередження травматизму.

До заходів попередження електричної небезпеки відносяться:

1) Сигналізація – при подачі високої напруги горить червона лампа, при подачі низької – зелена. Також використовуються плакати з безпеки: попереджувальні з червоною стрілкою (використовуються при організації робочих місць); плакати на зеленому тлі, забороняють – на червоному тлі.

2) Маркування фази та сітки: А – жовтий, В – зелений, С – червоний, а також полюсів постійної напруги: «+» – червоний, а також «-» – синій, заземлення – чорний.

3) Блокування бувають електричні, механічні, магнітні, електромеханічні, електромагнітні та комбіновані. Вони включаються у разі пошкодження будь-якої мережі в мережі або комунікації.

Захисними засобами називаються прилади, апарати та переносні пристрої, які дозволяють надійно захищати персонал від ураження електричним струмом.

Захисні засоби діляться на основні та додаткові.

Основні – це такі захисні засоби, за допомогою яких можна торкатися струмопровідних частин.

Основні захисні засоби:

більше 1000 В:

1. ізолювані та вимірювальні штанги;
2. ізолювані та вимірювальні кліщі;
3. показчики ВН;
4. спеціальні пристрої;

менше 1000 В:

1. діелектричні рукавички;
2. показчики ПН;
3. струмовимірювальні кліщі;
4. монтерський інструмент із ізолюваними рукоятками;

Додаткові захисні засоби:

більше 1000 В:

1. діелектричні рукавички;

2. діелектричні боти та калоші;
3. ізольовані підставки;

менше 1000 В:

1. боти та калоші;
2. ізольовані підставки;
3. діелектричні килимки.

Також захисними заходами є:

- захисні заземлення – це навмисне з'єднання металевих невідповідних частин електроустановок (заземлення металевих корпусів тепломеханічного обладнання);

- занулення – навмисне з'єднання металевих корпусів ЕУ до багаторазово заземленого нульового дроту.

Усі електроустановки мають бути укомплектовані необхідним переліком захисних засобів та інструментом, які є невід'ємною частиною ЕП.

При використанні захисних засобів необхідно:

1. перевірити справність;
2. чи не минув термін періодичних випробувань.

Користуватися несправними та невипробуваними ЗС заборонено.

При експлуатації ЕУ виконують такі заходи:

1. відключення ЕУ, на якій будуть проводитись роботи та використання заходів проти помилкового або мимовільного включення;

2. на дротах комутаційних апаратів вивішуються забороняючі плакати;

3. перевірка відсутності напруги (понад 1000 В – УВН-80, менше 1000 В – ТІ-2);

4. накладення переносних заземлень попри всі висновки відключеної ЕУ з усіх боків (мідним, гнучким, голим проводом): до 1000В – S 16мм², вище 1000В – S 25 мм²;

5. огороження робочого місця та вивішування запобіжних плакатів.

7.5. Організаційні заходи

Допуск персоналу обслуговування обладнання здійснюється з 18 років.

До самостійної роботи допускаються особи, які досягли 18 років, придатні до здоров'я та пройшли перевірку знань з питань охорони праці, а також знають:

- вимоги правил експлуатації електроустановок, експлуатаційно-технічну документацію на електрообладнання та інструкції в обсязі, що відповідає займаній посаді та виконуваним обов'язкам;
- принципи роботи, будову та електричну схему експлуатованих електроустановок (ЕУ);
- умови безпеки під час роботи на даному типі ЕУ;
- будову та призначення захисних засобів та засобів пожежогасіння та вміти ними користуватися;
- принципи звільнення людини від дії електричного струму та надання їй першої медичної допомоги;

Існують такі види інструктажів, як:

1. вступний;
2. первинний;
3. періодичний;
4. позачерговий;
5. не робоче місце.

Вступний інструктаж проходить персонал, який приймається на роботу. Вступний інструктаж включає: інструктаж з пожежної безпеки, інструктаж з охорони праці та первинний з охорони праці на робочому місці (підрозділі).

Інструктажі призначені для завчасного попередження травм та нещасних випадків на виробництві. Вони є одним із ступенів навчання при отриманні кваліфікації.

Один раз на 3 місяці проводиться періодичний інструктаж для того, щоб закріпити положення з техніки безпеки.

Усі види робіт на устаткуванні виконуються за нарядами чи розпорядженнями. Приступати до виконання робіт членам бригади без інструктажу з боку допускаючого та керівника робіт забороняється.

7.6. Виробничі шкідливості

Основними небезпеками на електростанціях можна назвати ураження електричним струмом, теплові та хімічні опіки при необережній роботі з розпеченою речовиною та хімічно активними речовинами.

Небезпечними видами обладнання є:

- електрогенератори, ОРУ, обладнання з електроприводами;
- судини під тиском (турбіни, трубопроводи, система регенерації);
- тепловиділяюче обладнання.

У таблиці 7.2 наведені гранично-припустимі концентрації небезпечних речовин.

Основними шкідливостями на станції можна вважати загазованість і запиленість. Пил потрапляє в приміщення, проникаючи через різні щілини, люки з навколишнього середовища, а також пил заноситься персоналом (одяг, взуття).

Джерелом виділення газу є газо-зварні апарати (аргон), водень (для охолодження генератора). Ці речовини, проникаючи в організм людини при диханні, через шкіру, викликають отруєння та захворювання.

Таблиця 7.2

Гранично-припустимі концентрації

Наименование вещества	Ожидаемая концентрация, мг/м ³	ПДК, мг/м ³
Оксиды азота	0,42	0,25
Оксиды углерода	0,15	0,22
Диоксиды серы	0,2	0,031
Зола	0,52	0,01

7.7. Метеорологічні умови

Мікроклімат у виробничому приміщенні визначається характером виробництва, сезонністю та категорією роботи. По тяжкості виконуваної роботи персонал, який обслуговує технологічне устаткування, належить до категорії II-б середньої тяжкості, т.к. енерговитрати, становлять 250÷293ккал/год.

Мікроклімат на робочому місці визначається такими параметрами:

- температурою повітря, t °С;
- відотною вологістю, $\phi\%$;
- швидкістю руху повітря, V м/с.

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні ГОСТ 12.1.005-88 встановлюються оптимальні та допустимі температури, відносна вологість, швидкість руху повітря залежно від пори року та категорії робіт.

Вентиляція у виробничих приміщеннях здійснюється як природним, і штучним способом.

Приплив зовнішнього повітря в літній період здійснюється через отвори в даху машзалу, а в зимовий – через вікна, розташовані на висоті 4м, від робочої позначки. При штучній вентиляції використовується припливно-витяжна система. У холодні та перехідні періоди року у виробничих приміщеннях, у яких проводиться робота середньої тяжкості, застосовуються системи опалення та вентиляції із зосередженою подачею повітря.

У таблиці 7.4. наведені нормовані параметри мікроклімату у робочій зоні у залежності від характеру робіт та пори року.

Таблиця 7.3.

Нормовані параметри мікроклімату у робочій зоні

Период года	Категория работ	Температура воздуха, t°C		Относительная влажность, ф%		Скорость движения воздуха, V м/с	
		опт.	допуст.	опт.	допуст.	опт.	допуст.
Холодный	средняя тяжесть Цб	18-20	17-23	60-40	75	0,2	0,3
Теплый	средняя тяжесть Цб	21-23	18-27	60-40	60-40	0,3	0,2-0,4

7.8. Освітлення

Природне освітлення машзала – бічне одностороннє, за рахунок скління, площею 30% від площі всієї стіни.

Штучне освітлення комбіноване: електричні лампи розжарювання для місцевого освітлення та люмінесцентні лампи розжарювання.

На БЩУ встановлені люмінесцентні типу ДС-100, машзал та котельне відділення – освітлені лампами типу «Універсал», на сходових майданчиках – лампи розжарювання.

Роботи в машзалі мають 5 розряд зорової роботи (малої точності), що вимагає освітленості $E = 200$ Лк та коефіцієнта природного освітлення (КЕО), що дорівнює 0,5-2. Для підтримки норми освітлення передбачається чищення світлових прорізів один раз на 3 місяці, чищення світильників один раз на 2 місяці, заміна ламп, що перегоріли. Вимірювання освітленості проводиться не рідше одного разу на рік.

7.9. Шум, вібрація, ультразвук, інфразвук

Шум на ТЕС виникає в результаті роботи великої кількості обладнання, що створює вібрації, механічні удари, аеродинамічні та гідродинамічні процеси. Шум є одним із основних факторів шкідливого виробничого середовища, який впливає на здоров'я та працездатність персоналу.

Стіни приміщення блочного щита керування виготовляють із звукопоглинаючого матеріалу. Для робочих засоби спеціального захисту – протиударна каска, навушники протишумні або вкладки протишумні.

Основним джерелом вібрації, як і шуму, є турбіни, генератори, насоси, вентилятори.

Джерелом ультразвуку є виробниче обладнання та прилади.

Вплив ультразвуку на організм людини: порушення нервової системи, зміна тиску, складу та властивостей крові.

Способи зниження та захисту передбачають встановлення кожухів з листової сталі та органічного скла.

Основними джерелами інфразвуку є поршневі компресори, вентилятори та інші тихохідні машини. Рівні звукового тиску на частоті до 16 Гц повинні перевищувати 105 Дб, але в частоті 32 Гц – трохи більше 102 Дб.

До основних заходів боротьби з інфразвуком можна віднести: підвищення жорсткості конструкцій, усунення низькочастотної вібрації, зміна режиму роботи.

7.10. Санітарне, побутове та медичне обслуговування персоналу електростанції

На станції передбачено забезпечення працюючого персоналу спецодягом, спецвзуттям, касками, рукавицями. Якщо робота пов'язана із шкідливим виробництвом видаються індивідуальні засоби захисту – респіратори, захисні окуляри, захисні засоби від шуму та вібрації.

У виробничих приміщеннях цеху, а також у приміщеннях чергового пункту цеху мають бути укомплектовані аптечки.

У виробничих приміщеннях повинні вивішуватися правила надання першої допомоги та плакати, що наочно ілюструють необхідні заходи безпеки.

Протягом робочого дня, після кожної зміни та при перервах у роботі повинно проводитися прибирання робочих місць, проходів та проїздів.

У приміщеннях цехів повинні бути необхідні засоби пожежогасіння: пожежні крани, стовбури, рукави, вогнегасники, ящики з піском та ін.

7.11. Пожежна безпека та протипожежні заходи

Машзал, котельне та деаераторне відділення відносяться до категорії Г пожежної та вибухової небезпеки (наявність речовин та матеріалів, що знаходяться в розпеченому вигляді) зі ступенем вогнестійкості II.

Важливим заходом, що запобігає поширенню пожежі, є пристрій протипожежних перешкод, що перешкоджають впливу променистої енергії, теплопровідності та безпосередньому переходу вогню з одного приміщення в інше або перекидання вогню з однієї будівлі на іншу.

Такими перешкодами є спалювання стін, міжповерхові перекриття, брандмауери, протипожежні зони, розриви тощо.

Протипожежні стіни і перекриття перешкоджають поширенню пожежі, що виникла всередині будівлі (об'єкта).

Брандмауери (внутрішні і зовнішні) є глухі вогнетривкі стіни з високою межею вогнестійкості (не менше 5 год.).

Протипожежна зона перешкоджає розповсюдженню вогню у площині покриття та всередині будівлі між окремими частинами, розділеними цією

зоною. Тому під зоною не допускається розміщення складів речовин, що згоряються, пристрій згоряються конструкцій і розміщення пожежонебезпечних виробництв.

Дуже ефективними протипожежними перешкодами є протипожежні розриви. Перешкоджають перекидання вогню з одного будинку до іншого. Найменша величина розриву встановлюється не більше 10-20 м залежно від вогнестійкості будинків.

На станції застосовуються установки водяного, повітряного, газового та порошкового пожежогасіння.

На Зміївській ТЕС у машзалі знаходяться такі вогнегасники: пінні та водяні – 2 шт.; порошкові – 2 шт.; (ОПС-2), ОПС-4 - 4 шт.; ОПС-10 - 1 шт.; у цивільних будівлях та спорудах: порошкові ОПС-5 – 4 шт. та ОПС-10 у кількості 2 штук, хладонові – 4шт. та вуглекислотні ОУ-2 – 4 шт. та ОУ-5 – 2шт.

Кожне підприємство має бути оснащено тими чи іншими видами пожежної техніки. Місце розміщення кожного виду пожежної техніки має бути позначене вказівними знаками у приміщеннях.

У приміщеннях електростанцій встановлено низку сигналізаторів, які сповіщають пожежну команду про виникнення пожеж. На станції існують сповіщувачі ручної та автоматичної дії. Сповіщувач ручної дії є контактним пристроєм, що забезпечує замикання струму в ланцюгу, виконане у вигляді шлюпок рубильників. Також встановлено контрольно-вимірювальні прилади та автоматика, що забезпечують безпечний режим роботи обладнання, передбачений ГОСТ 12.4.026-76.

Евакуаційними шляхами вважаються такі, що безпосередньо ведуть до евакуаційного виходу та забезпечують безпечний рух людей.

Усі проходи, евакуаційні виходи та підступи до обладнання, машин, матеріалів та засобів пожежогасіння мають бути вільними. Протипожежні розриви між будинками не дозволяється використовувати під складування матеріалів, обладнання, пакувальної тари та для стоянки автотранспорту.

Проходи, виходи, коридори, тамбури, сходи у всіх виробничих, службових, складських приміщеннях та будівлях не дозволяється захащувати різними предметами та обладнанням.

Всі двері евакуаційних приміщень повинні вільно відчинятися у напрямку виходу з будівлі.

У сходових клітинах будівель забороняється влаштовувати робочі, складські та іншого призначення приміщення, прокладати газопроводи, трубопроводи з легкозаймистими та горючими рідинами, встановлювати виходи з шахт вантажних витягів.

7.12. Екологічна оцінка

Екологічна оцінка ризиків автоматизації - це процес визначення та оцінки впливу автоматизованих систем на навколишнє середовище, ідентифікація можливих екологічних ризиків, які можуть виникнути в результаті впровадження автоматизації процесів в енергетиці.

Автоматизація може зменшити рівень викидів шляхом оптимізації процесів та контролю над обладнанням, що сприяє зниженню забруднення навколишнього середовища. Крім того, автоматизація може призвести до оптимізації використання енергії, води, палива та різних матеріалів, що може позитивно впливати на зменшення відходів та навантаження на природне середовище.

Також важливий аспект оцінки ризиків – це захист від аварійних ситуацій за допомогою засобів автоматизації, щоб уникнути потенційного забруднення середовища внаслідок аварій.

При проектуванні автоматизованих систем слід уникати використання токсичних матеріалів, що можуть негативно впливати на екосистему. Важливо враховувати управління відходами, що виникають в результаті впровадження автоматизації, та розробити стратегії їхньої переробки або використання з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

Екологічна оцінка ризиків автоматизації має на меті забезпечити мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище та сприяти розвитку більш екологічно чистих технологій та процесів. Оцінка допомагає виявити потенційні проблеми та ризики, які можуть виникнути внаслідок автоматизації, та розробити стратегії їхнього управління для збереження природних ресурсів та зниження впливу на довкілля.

ВИСНОВКИ

Завдяки автоматизованій системі живлення, барабанні котли ТЕС – основне обладнання електростанцій - можуть ефективно працювати при

різних навантаженнях, забезпечуючи безперервне виробництво пари для генерації електроенергії.

У кваліфікаційній роботі магістра розглядалось удосконалення системи автоматичного живлення барабанних котлів на прикладі енергоблоків 200 МВт Зміївської ТЕС. Необідна якість регулювання, а також виконання умови надійної стійкої роботи АСР забезпечуються обґрунтованим вибором типу регулятора та удосконаленням його налаштувань. Для цього було проведено:

1. Огляд систем автоматичного регулювання живлення парових котлів теплоелектростанцій.
2. Визначення параметрів об'єкта регулювання.
3. Аналіз динамічних характеристик АСР із типовим регулятором.
4. Побудова перехідного процесу АСР за допомогою ПІ-регулятора.
5. Вибір технічних засобів автоматизації.
6. Розгляд ризиків виробництва та їх подолання.

У роботі був обраний ПІ-регулятор, оскільки за умовами завдання на об'єкт діють обурення, що викликають відхилення рівня, що відповідають 5 % при перестановці регулюючого органу та за видом перехідного процесу і передавальної функції.

Таким чином, можна констувати відповідність цих параметрів заданим, що свідчить про забезпечення стабільної роботи системи та її надійну експлуатацію.