

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
 факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації,
 електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

О.Ю. Колларов

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2021 р.

Дипломна робота

бакалавра

(освітній ступінь)

на тему Створення системи інтелектуальної діагностики роботи
 теплоенергетичної установки

Виконав: студент 3 курсу, групи ТЕПп-18

(шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності) 144 Теплоенергетика

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Смірнов Р.Д.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник д.т.н., проф. Тімошенко С. М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль:

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

Любименко О. М.

Студент

(підпис)

(підпис)

(дата)

(дата)

Покровськ – 2021 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: (144) теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (Колларов О. Ю.)

« ____ » _____ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Смірнову Руслану Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Створення системи інтелектуальної діагностики
роботи теплоенергетичної установки

керівник роботи Тімошенко С. М., д.т.н, проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: Паливо – кам'яне вугілля:

$W_p=13,5\%$, $A_p=20,2\%$, $S_{kp}=2,8\%$, $S_{cp}=1,8\%$, $C_p=49,0\%$, $H_p=3,5\%$, $N_p=1,1\%$,

$O_p=8,1\%$, нижча теплота згорання – 20,2 МДж/кг. Коефіцієнт надлишку

повітря перед економайзером – 1,50, величина присосу повітря у газоході

економайзера – 0,10, температура вихідних 150 (300 °С), температура

холодного повітря – 25 °С.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити) 1. Огляд принципів виробки теплової енергії.

2. Огляд проблемних питань при роботі теплоенергетичних установок.

3. Розрахунок параметрів роботи котельного агрегату.

4. Складення математичної моделі тепломасообмінних процесів.

5. Створення інтелектуального інтерфейсу моніторингу роботи котла

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

Одинадцять слайдів презентаційного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Колларов О. Ю.		
Розділи 1, 2	Колларов О. Ю.		
Нормоконтроль	Любименко О.М.		

7. Дата видачі завдання 30 квітня 2021 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд принципів виробки теплової енергії.	01.05.2021 – 05.05.2021	
2.	Огляд проблемних питань при роботі теплоенергетичних установок.	06.05.2021 – 11.05.2021	
3.	Розрахунок параметрів роботи котельного агрегату.	12.05.2021 – 18.05.2021	
4.	Визначення способів виявлення несправностей котельного агрегату з використанням сучасних прогресивних методів.	19.05.2021 – 24.05.2021	
5.	Складення математичної моделі тепломасообмінних процесів.	25.05.2021 – 30.05.2021	
6.	Моделювання процесів автоматизації котельного обладнання.	31.05.2021 – 05.06.2021	
7.	Огляд питань охорони праці. Оформлення.	06.06.2021 – 12.06.2021	

Студент

_____ Смірнов Р.Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Тімошенко С. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Смірнов Р.Д. Створення системи інтелектуальної діагностики роботи теплоенергетичної установки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 144 Теплоенергетика – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає чотири розділи, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі здійснено огляд принципів виробки теплової енергії та принципи роботи теплогенеруючих установок.

У другому розділі визначено фактори зниження виробництва теплової енергії теплогенеруючими установками та системи моніторингу стану теплоенергетичних об'єктів.

У третьому розділі наведено основні відомості про котельні агрегати та здійснено розрахунок параметрів спалювання палива у котельному агрегаті.

У четвертому розділі визначено способи виявлення несправностей котельного агрегату з використанням штучних нейронних мереж, складу математичної моделі тепломасообмінних процесів та створено інтелектуальний інтерфейс моніторингу роботи котла.

Ключові слова: тепла енергія, теплогенеруюча установка, виробництво теплової енергії, моніторинг, котельний агрегат, несправність, інтерфейс, моніторинг, моделювання

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИРОБКУ І ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ	9
1.1 Огляд принципів виробки теплової енергії	9
1.2 Принципи роботи теплогенеруючих установок	12
2 ОГЛЯД ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ПРИ РОБОТІ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	14
2.1 Фактори зниження виробництва теплової енергії теплогенеруючими установками	14
2.2 Система моніторингу стану теплоенергетичних об'єктів	16
3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ КОТЕЛЬНИХ АГРЕГАТІВ	18
3.1 Основні відомості про котельні агрегати	18
3.2 Розрахунок параметрів спалювання палива у котельному агрегаті	21
4 СТВОРЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ РОБОТИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	28
4.1 Застосування способу виявлення несправностей котельного агрегату з використанням штучних нейронних мереж	28
4.2 Складення математичної моделі тепломасообмінних процесів	35
4.3 Створення інтелектуального інтерфейсу моніторингу роботи котла	39
4.3 Моделювання процесів автоматизації котельного обладнання	40

	6
ВИСНОВКИ	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	50
ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	53
ДОДАТОК Б. ОГЛЯД ПИТАНЬ ОХОРОНИ ПРАЦІ	58
ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	70

ВСТУП

Економічне зростання нації та країни суттєво залежить від наявності енергетичних та мінеральних ресурсів, а також наукового і технічного потенціалу.

Споживання енергії різного виду має значний вплив на умови життя населення та потенціалу промислового виробництва.

Основними видами енергії, що споживається, є теплова та електрична енергія. Їх виробництво у більшості випадків забезпечується шляхом спалювання викопних палив (вугілля, природний газ, нафта та інші).

Побічним ефектом при видобутку і спалюванні зазначених палив є забруднення навколишнього середовища – забруднення земельних, водних і повітряних середовищ. Особливе занепокоєння викликають викиди парникових газів (оксиди вуглецю і азоту), які здатні посилити негативне явище глобального потепління на планеті.

Теплова енергія, у більшості випадків, використовується у технологічних процесах і для опалення або охолодження будівель. Основною рисою при використанні теплової енергії є постійність зростання її споживання на фоні постійного скорочення викопних ресурсів, що викликає занепокоєння на фоні погіршення екологічної ситуації.

Для зменшення впливу зазначених проблем необхідно здійснювати дослідження, направлені на збільшення відсотку виокремлення енергії з викопних палив та підвищення ефективності роботи теплоенергетичних агрегатів.

Для виробки теплової енергії з викопних палив у більшості випадків використовують або котельні, або викиди теплоенергетичних станцій – ТЕЦ, ТЕС та інші, робота яких направлена на перетворення хімічної енергії палив у електричну і теплову енергію.

Мета роботи – дослідження системи роботи теплоенергетичної установки для створення системи інтелектуальної діагностики її роботи.

Завдання роботи:

- визначити технологічні та енергетичні особливості роботи котельної установки,
- розробити модель топки та дослідити перехідні процеси при різних зовнішніх впливах,
- створити систему інтелектуальної діагностики роботи теплоенергетичної установки.

Об'єкт досліджень – технологічні процеси теплоенергетичної установки.

Предмет досліджень – параметри керування роботою теплоенергетичної установки.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИРОБКУ І ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1 Огляд принципів виробки теплової енергії

Серед основних джерел виробки теплової енергії є [1]:

- парові та водогрійні котельні,
- теплоелектроцентралі (ТЕЦ),
- теплоутилізаційні установки,
- вторинні енергоресурси.

У залежності від температури теплоносія у системах тепlopостачання можна виділити такі групи [1]:

- високотемпературні (з температурою більше 400 °С), теплоносієм виступає перегріта пара,
- середньотемпературні (з температурою від 150 до 400 °С), теплоносієм виступає пар або нагріта вода,
- низькотемпературні (з температурою від 70 до 150 °С), теплоносієм виступає нагріта вода або пар.

Котельня являє собою комплекс агрегатів, установок та пристроїв, призначених для виробки теплової енергії у вигляді нагрітої води або пари і підготовки цих теплоносіїв до транспортування [1].

Правильний вибір окремих елементів та геометричних розмірів цих елементів, а також їх конструктивні особливості є вирішальними критеріями ефективної роботи котельних. Особливо важливо врахувати роботу цих котельних при частковому навантаженні, коли ефективність роботи котельних агрегатів знижується. Це також стосується режимів пуску та зупинки котелень.

У теперішній час для промислових і приватних підприємств конче необхідним є використання систем моніторингу теплового стану та теплового споживання будівель. На основі зібраних значень можна

отримати відомості про річне споживання та порівнювати впроваджені енергозберігаючі заходи.

Якщо мова йде про ТЕЦ, то раціонально проектувати її 30% теплового навантаження від значення максимального навантаження. У системах ТЕС, які орієнтовані на виробку електричної енергії, тепла енергія є побічним продуктом і практично нічого не коштує [2].

Робота котелень зорієнтована на виробку теплової енергії для опалення і гарячого водопостачання. Їх робота повинна бути постачена регулюючими пристроями та заходами для забезпечення потреби у тепловій енергії. При нестачі теплової енергії від роботи одного котла, необхідним є запуск додаткового, а в разі перевиробки теплової енергії необхідним є застосування заходів та засобів, що або знижують виробку теплової енергії при дотриманні високого загального значення ККД системи, або дозволяють накопичити надлишкову теплову енергію (наприклад, у теплових акумуляторах) попутно унеможливлючи викиди тепла у навколишнє середовище і забезпечує високе значення ефективності роботи системи [3].

У більшості випадків, теплопродукуючі системи працюють з високими показниками ефективності при повному завантаженні і при покриванні підключеного навантаження. Піки споживання теплової енергії повинно бути «покрито» включенням додаткового обладнання (котла). Неможливо уявити, що теплопродукуючі системи працюють безперервно в одному, усталеному режимі, з огляду на зміну споживання впродовж часу, що знижує ефективність системи.

Для продукування теплової енергії застосовуються різні види палива, для вибору типу якого існує кілька критеріїв: рівень забруднення при його спалюванні, теплотворна здатність, кількість твердих або газоподібних залишків й інше [4].

Таблиця 1.1 – Показники теплотворної здатності палив [5]

Паливо	Одиниці вимірювання.	Питома теплота згоряння		
		ккал	кВт·год	МДж
Електроенергія	кВт·год	864	1,0	3,62
Дизельне пальне (солярка)	л	10300	11,9	43,12
Мазут	л	9700	11,2	40,61
Гас	л	10400	12,0	43,50
Нафта	л	10500	12,2	44,00
Бензин	л	10500	12,2	44,00
Газ природний	м ³	8000	9,3	33,50
Газ скраплений	кг	10800	12,5	45,20
Метан	м ³	11950	13,8	50,03
Пропан	м ³	10885	12,6	45,57
Етилен	м ³	11470	13,3	48,02
Водень	м ³	28700	33,2	120,00
Вугілля кам'яне (W=10%)	кг	6450	7,5	27,00
Вугілля буре (W=30...40%)	кг	3100	3,6	12,98
Вугілля- антрацит	кг	6700	7,8	28,05
Вугілля деревне	кг	6510	7,5	27,26
Торф (W=40%)	кг	2900	3,6	12,10

Теплотворна здатність палива визначає кількість енергії, що виділяється з одиниці маси при її повному згорянні. Цей показник залежить від стану палива, запасеної внутрішньої енергії та енергії кінцевих продуктів згоряння.

До викопних відносять наступні види палив: вугілля, торф, природний газ, нафта.

До альтернативних палив можна віднести відходи деревинного виробництва, відходи харчової промисловості, рослинні залишки, енергетичні сільськогосподарські культури, біогаз.

1.2 Принципи роботи теплогенеруючих установок

Теплогенеруючі установки у більшості випадків являють собою складний технологічний об'єкт. До їх складу відносяться [6]:

- система подачі палива,
- система спалювання,
- парогенератор,
- система очищення,
- система хімводопідготовки,
- система відбору та відведення тепла.

На теплових об'єктах, на яких для спалювання використовується тверде паливо – вугілля – необхідною вимогою є забезпечення високої якості його підготовку і контроль якості при подрібненні і транспортуванні.

Підготовлене паливо подається у пальники, де воно змішується з гарячим повітрям і далі спалюється у топці котла. Для більш повного згоряння палива, нагріте повітря додатково нагрівається за допомогою повітрянагрівачів, що додатково підвищує ефективність циклу.

Очищена та хімічнопідготовлена вода подається у котел за допомогою насосів живильної води через нагрівач високого тиску. Виділене тепло перетворює воду на пар з визначеними параметрами температури і тиску [7].

Для забезпечення високих екологічних показників роботи, теплоенергетичні об'єкти повинні бути обладнані системою контролю викидів продуктів горіння у навколишнє середовище. Особлива увага приділяється очищенню димових газів від різноманітних оксидів (чадного газу, діоксиду сірки, оксидів азоту).

2 ОГЛЯД ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ПРИ РОБОТІ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

2.1 Фактори зниження виробництва теплової енергії теплогенеруючими установками

Більшість проблемних питань, що призводять до припинення постачання теплової енергії, пов'язані з питаннями спалювання палива.

Проблеми подачі палива залежать від його виду, поточного стану та фізичних і хімічних властивостей, гранулометричного складу та інших показників [8].

Серед проблем, що викликаються нестабільністю або станом палива, можна виділити наступні [9]:

- затухання полум'я або нестабільність його горіння,
- недостатність або нестабільність температури теплоносія,
- недостатність або нестабільність тиску теплоносія,
- нестабільність рівня води у парогенераторі,
- нестабільність температури живильної води,
- підвишена вірогідність піноутворення,
- нестабільність потоку повітря для горіння палива,
- переривчаста робота тягодутьових пристроїв,
- надто високий, надто низький або нестабільний тиск у топці,
- невизначена температура димових газів,
- невизначеність об'єму та складу викидів у димових газах.

З урахуванням вищенаведеного необхідним є здійснення діагностичного огляду стану та працездатності котельного обладнання з використанням систем моніторингу.

Іншим впливаючим фактором може бути стан трубопровідних систем, через їхню корозію, забруднення та зашлаковування [9].

Вихід з ладу трубопровідних систем можуть викликати наступні наслідки:

- втрати теплоносія,
- втрати палива,
- невраховані викиди шкідливих речовин.

Іншим видом несправностей є зашлаковування котла з прилипанням твердих відкладень до поверхонь стінок топки. Зазначені утворення у кінцевому підсумку призводять до зниження загальної ефективності системи та до зменшення ресурсу котла [10].

Найчастіше місцями зашлаковування є дільниці від пальника до виходу з топки котла. Причиною цих процесів є [10]:

- недостатній об'єм кисню, що подається у піч,
- надмірне значення температури вихідних газів,
- втрати повітря, що подається у топку,
- механічні ушкодження пальників,
- вихід з ладу паливopідготовлюючої системи,
- непроекtnі властивості палива.

Відкладення також відбуваються у конвекційному ході на шляху горючих газів. Ці відкладення зазвичай осаджуються на передніх крайках труб підігрівачів та перегрівачів і досить легко видаляються за допомогою повітродувки [10].

Не дивлячись на зусилля по видаленню шлаків, вірогідність повного їх видалення є досить низькою, що вимагає впровадження інтелектуальних методів та механізмів контролювання процесу продувки та осадження для запуску відповідних процесів очищення.

2.2 Система моніторингу стану теплоенергетичних об'єктів

Система моніторингу стану котельного агрегату являє собою автоматизовану комп'ютеризовану систему, що здатна безперервно відстежувати стани роботи котельної установки.

Задача системи полягає у зчитуванні показань параметрів роботи котла з датчиків з визначеним інтервалом часу. Це безперервне зчитування інформаційних даних дає об'єктивні знання про стан котельного агрегату, відстежує поточний стан і реакцію на зміну окремих контрольованих параметрів, дозволяє дистанційно реалізовувати різні завдання з високим ступенем точності [11].

Для ефективної роботи зазначеної системи необхідним є застосування комп'ютерних засобів, які здатні швидко і точно обробляти інформацію, а також систем машинного навчання (штучного інтелекту), який навчається на основі отриманих знань та розпізнавання закономірностей зміни контрольованої величини [12].

Найпоширенішими методами машинного навчання при розгляді теплоенергетичних систем є методи нечіткої логіки, генетичні алгоритми та штучні нейронні мережі (ШНМ) [13].

Робота ШНМ для інтелектуальної діагностики стану енергосистеми заснована на аналізі діагностичної інформації і визначає помилку між прогнозованою та фактичною поведінкою системи.

ШНМ імітує поведінку людського мозку і являє собою взаємозалежну структуру розташованих нейронів і зв'язків – числових ваг, що виступають аналогом біологічних нейронів мозку. ШНМ знаходиться у постійному навчанні для більшого розуміння взаємозв'язків між вхідними параметрами і змінною вихідною величиною, набуваючи знань через попередні розрахунки. Перевагою ШНМ є їх поступова адаптація до поставлених задач. Для покращення і пришвидчення роботи ШНМ інформація

одночасно обробляється по паралельним гілкам. Наявність зворотного зв'язку при порівнянні контрольованих параметрів і так званих правил навчання, для поліпшення значення вихідної величини у відповідності до поставленої мети. Процес навчання триває до тих пір, поки не буде досягнуто визначеного рівня помилки [13].

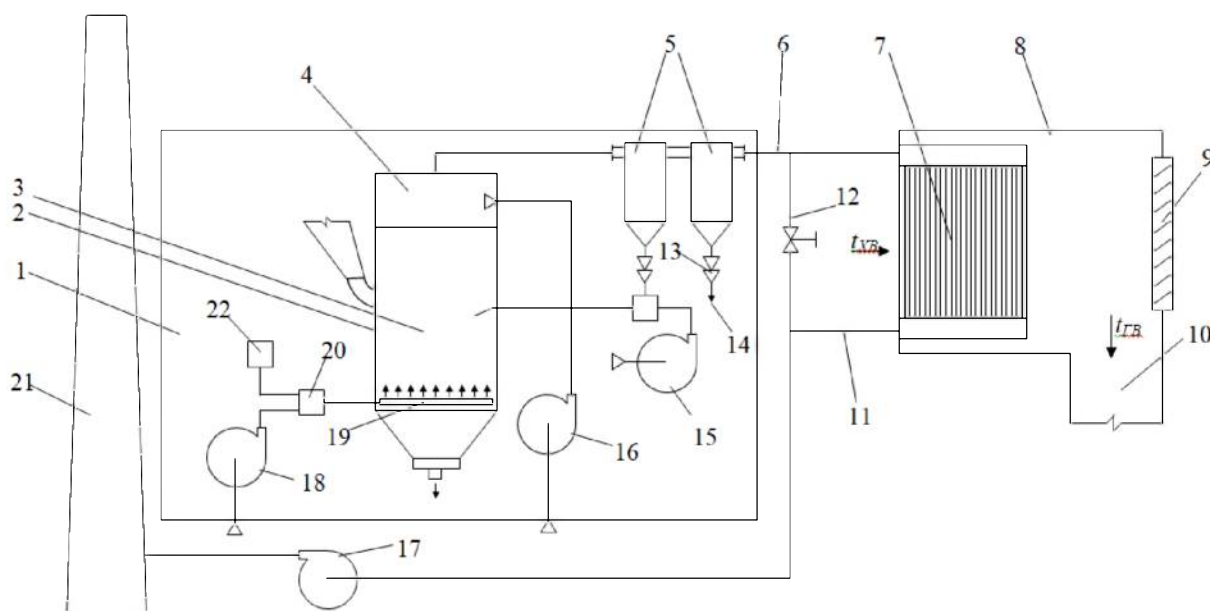
З іншого боку існують так звані експертні система, які являють собою комп'ютерну програму, що має вузькоспеціалізоване призначення у визначеній технологічній царині. Для її створення використовуються попередньо набуті знання, правила роботи обладнання, алгоритми вирішення можливих проблем та набору периферійних пристроїв. Визначений набір правил на основі контрольної інформації дає змогу швидко реагувати на проявлену проблему за допомогою простих алгоритмів критичних суджень. Цей метод вимагає контролювання великого об'єму даних, що повинні бути оброблені за короткий період часу. Він не містить засобів навчання і являє собою аналіз статистичних даних і прийняття на їх основі виважених керуючих команд на основі існуючої бази даних [14].

Отже, для моніторингу обладнання теплоенергетичних об'єктів найбільш бажаними до застосування є експертні програмні системи та штучні нейронні мережі. Вони здатні досить успішно інтерпретувати поведінку окремих об'єктів та протікання технологічних процесів при перетворенні різних видів енергії у енергію теплову. При безперервній роботі цих систем можливий моніторинг стану системи з одночасною фіксацією значної кількості робочих параметрів та їх зберігання. Здатність до навчання дозволяє використовувати ці системи для прогнозування можливих аварійних станів, погіршення стану обладнання та виявлення несправностей у реальному часі [15].

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ КОТЕЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

3.1 Основні відомості про котельні агрегати

Основне призначення котла передача теплової енергії від вихідних газів циркулюючій воді або пару. Теплопередача здійснюється через поверхні теплопередачі у котлі, до яких відносять топку, випарник, пароперегрівач, економайзер і підігрівач повітря. Ці поверхні утворюють внутрішній простір котла від топки до димової труби. Конфігурація і взаємне розташування поверхонь нагріву відіграють важливу роль для досягнення вищої ефективності (рис. 3.1) [16].



1 – топкове відділення, 2 – теплогенератор, 3 – топкова камера, 4 – камера змішування, 5 – система газоочищення, 6 – газохід, 7 – калорифер, 8 – теплопровід, 9 – радіатори, 10 – споживачі, 11 – повітряпідвід, 12 – байпас, 13 – пилові затвори, 14 – золовідведення, 15, 16 – вентилятори, 17 – димосмок, 18 – дutoввий вентилятор, 19 – топкова решітка, 20 – розпалювач, 21 – димова труба, 22 – рідке паливо

Рисунок 3.1 – Технологічна схема котельні

Котли, що працюють на пиловугільному паливі, характеризуються високими значеннями ККД теплового циклу та низькими витратами на палива, при цьому до них висувають високі вимоги по контролю викидів шкідливих і парникових газів. Особливістю пиловугільного палива є його легкозаймистість та здатність засмічення паливного тракту [17].

Якщо необхідно підвищити температуру насиченої пари, що виходить з топки, використовують перегрівник – це підвищує ефективність виробництва енергії.

Дестабілізуючі фактори при роботі котла та запобігання його виходу з ладу необхідно здійснювати процедуру перевірки його стану і контроль відведення та/або видалення продуктів горіння та твердих і газоподібних залишків [18].

Через складність процесів, що протікають у котлі, необхідно обмежитись кількістю досліджуваних параметрів. Різні котлові агрегати ведуть себе по-різному через їх конструктивні особливості, але кожен елемент характеризується визначеними робочими параметрами, що визначають ефективність їх роботи.

Умови роботи котлів є змінними параметрами на які впливають різноманітні зовнішні фактори та внутрішні неконтрольовані процеси, на це також впливають атмосферні впливи. Усі ці фактори відрізняються мінливістю, що призводить до змін температури і тиску, а отже вимагає необхідності постійного контролю роботи котельних агрегатів [15].

Постійний контроль дозволяє отримувати реальні дані про функціонування котельного агрегату і дозволяє визначити можливі сценарії розвитку потій. Це є особливо важливим для моделювання процесу виявлення несправностей і забезпечення відповідного зворотного зв'язку для убезпечення роботи обладнання. Розуміння законів протікання процесів і отримання знань про несправності, що виникають, і їх вплив на зміну робочих параметрів і факторів, можуть ідентифікувати несправності. Виявлення несправностей та факторів, що визначають чинники для

відключення котлового агрегату вимагає обробки значної кількості даних. Вибір контрольованих параметрів заснований на досвіді роботи установки та визначенню основних змінних величин, що спричинені появою несправності. Робочими параметрами котла, що мають бути проконтрольовані є [15]:

- витрата теплоносія,
- витрата живильної води,
- тиск у барабані котла,
- температура пари після перегрівача,
- температура вихідних газів,
- стан клапану подачі/регулювання подачі живильної води,
- рівень води у барабані,
- стан циркуляційних насосів,
- температура окремих елементів проточної частини,
- значення тисків на економайзері,
- значення температур на економайзері.

Проектування теплового циклу котла і режим його роботи з урахуванням необхідної подачі теплоносія ставить на меті визначення значень тиску, температури і витрати для забезпечення необхідної вихідної потужності [19].

Вода, що подається у котел, називають живильною, джерелом якої є система підживлення очищеною сирою водою, що надходить зовні. Вимоги до даної системи – безперервність подачі, що вимагає контролю даного процесу [19].

Для забезпечення безперервності виробництва пари, вода повинна безперервно циркулювати по трубах, для чого застосовують систему примусової циркуляції, робота якої базується на циркуляційному насосі і системі його управління і яка визначає параметри його роботи та появу аварійних режимів.

Для підвищення ефективності роботи котельного агрегату використовують економайзер або повітрянагрівач, які розташовують у повітряному тракці котла.

Необхідність безперебійної подачі теплової енергії вимагає безперебійної роботи котельних агрегатів, що вимагає постійного контролю їх роботи.

Необхідність належного функціонування системи моніторингу та діагностики роботи котельного обладнання дозволяє виявити несправності на ранніх стадіях їх виникнення. Відключення котельного агрегату призводить до зниження якості теплопостачання та зниження експлуатаційної готовності системи в цілому. Для здійснення контролю роботи зазначеної системи необхідно розробити інтелектуальну систему з використанням штучних нейронних мереж. Це дозволить здійснювати постійний моніторинг та прогнозування стану окремих елементів котельної системи.

3.2 Розрахунок параметрів спалювання палива у котельному агрегаті

Розрахунок параметрів спалювання палива у котельному агрегаті полягає у визначення об'ємів продуктів згоряння. Задаємось відомостями про елементарний склад палива – табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Елементарний склад палива

Паливо	Склад, %								Нижча теплота згорання Q_n^p , МДж/кг
	W_p	A_p	S_{κ}^p	S_{cp}^p	C^p	H^p	N^p	O^p	
Кам'яне вугілля	13,5	20,2	2,8	1,8	49,0	3,5	1,1	8,1	20,2

Теоретичний об'єм повітря, який необхідний для повного згорання палива, розрахуємо за формулою [20]:

$$\begin{aligned} V_{нов.}^o &= 0,0889 \cdot [C^p + 0,375 \cdot (S_{cp}^p + S_{\kappa}^p)] + 0,265 \cdot H^p - 0,0333 \cdot O^p = \\ &= 0,0889 \cdot [49,0 + 0,375 \cdot (1,8 + 2,8)] + 0,265 \cdot 3,5 - 0,0333 \cdot 8,1 = 5,1672 \text{ м}^3 / \text{кг} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Об'єм триатомних газів розрахуємо за формулою [20]:

$$\begin{aligned} V_{RO_2} &= 0,01866 \cdot [C^p + 0,375 \cdot (S_{cp}^p + S_{\kappa}^p)] = \\ &= 0,01866 \cdot [49,0 + 0,375 \cdot (1,8 + 2,8)] = 0,9722 \text{ м}^3 / \text{кг} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Об'єм кількості азоту розрахуємо за формулою [20]:

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot V_{нов.}^o + 0,008 \cdot N^p = 0,79 \cdot 5,1672 + 0,008 \cdot 1,1 = 4,0909 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad (3.3)$$

Об'єм кількості водяних парів розрахуємо за формулою [20]:

$$\begin{aligned} V_{H_2O}^o &= 0,11 \cdot H_p + 0,0124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V_{нов.}^o = \\ &= 0,11 \cdot 3,5 + 0,0124 \cdot 13,5 + 0,0161 \cdot 5,1672 = 0,6356 \text{ м}^3 / \text{кг} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Теоретичний повний об'єм продуктів згорання розрахуємо за формулою [20]:

$$V_{зг.}^o = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}^o = 0,9465 + 4,0909 + 0,6356 = 5,6730 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad (3.5)$$

Дійсний об'єм продуктів згорання розрахуємо для двох варіантів конструкції котлоагрегату:

- 1) з економайзером (варіант «1»)
- 2) без економайзера (варіант «2»).

Коефіцієнт надлишку повітря газів розрахуємо за формулою [20]:

$$\alpha_{вих}^{(1)} = \alpha_T + \Delta\alpha_e, \quad (3.6)$$

$$\alpha_{вих}^{(2)} = \alpha_T = 1,55,$$

де α_T – коефіцієнт надлишку повітря перед економайзером, $\alpha_T = 1,50$,
 $\Delta\alpha_e$ – величина присосу повітря у газоході економайзера, $\Delta\alpha_e = 0,10$,

$$\alpha_{вих.}^{(1)} = 1,50 + 0,10 = 1,60,$$

$$\alpha_{вих.}^{(2)} = \alpha_T = 1,50.$$

Дійсний об'єм водяної пари розрахуємо за формулою [20]:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^O + 0,0161 \cdot (\alpha_{вих} - 1) \cdot V_{\epsilon}^O \quad (3.7)$$

$$V_{H_2O}^{(1)} = 0,6356 + 0,0161 \cdot (1,60 - 1) \cdot 5,1672 = 0,6855 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$V_{H_2O}^{(2)} = 0,6356 + 0,0161 \cdot (1,50 - 1) \cdot 5,1672 = 0,6772 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Дійсний обсяг продуктів згоряння розрахуємо за формулою [20]:

$$V_{зг.} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha_{вих} - 1) \cdot V_{\epsilon}^O \quad (3.8)$$

$$V_{зг.}^{(1)} = 0,9465 + 4,0909 + 0,6356 + (1,60 - 1) \cdot 5,1672 = 9,7733 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$V_{зг.}^{(2)} = 0,9465 + 4,0909 + 0,6356 + (1,50 - 1) \cdot 5,1672 = 8,2566 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

При застосуванні економайзера температура вихідних газів складе $t_{вих.}^{(1)} = 150$ °С ентальпії газів і вологого повітря наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Ентальпія газів і вологого повітря при $t_{вих.}^{(1)} = 150$ °С з економайзером

t, °С	Ентальпія, кДж/м ³			
	$(C \cdot t)_{R_2O}$	$(C \cdot t)_{N_2}$	$(C \cdot t)_{H_2O}$	$(C \cdot t)_g$
150	261,5	195	228	199,5

Ентальпію теоретичного об'єму повітря розрахуємо за формулою [20]:

$$I_{пов.}^{o(1)} = V_{пов.}^o \cdot (C \cdot t)_g^{(1)} = 5,1672 \cdot 199,5 = 1030,86 \text{ кДж / кг} \quad (3.9)$$

Ентальпію теоретичного об'єму продуктів згоряння розрахуємо за формулою [20]:

$$\begin{aligned} I_{зг.}^{o(1)} &= V_{RO_2} (C \cdot t)_{RO_2}^{(1)} + V_{N_2} (C \cdot t)_{N_2}^{(1)} + V_{H_2O} (C \cdot t)_{H_2O}^{(1)} = \\ &= 0,9465 \cdot 261,5 + 4,0909 \cdot 195 + 0,6356 \cdot 228 = 1190,15 \text{ кДж / кг} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Ентальпію дійсних об'ємів продуктів згоряння при температурі вихідних газів розрахуємо за формулою [20]:

$$I_{зг.}^{(1)} = I_{зг.}^{o(1)} + (\alpha_{вих.}^{(1)} - 1) \cdot I_{пов.}^{o(1)} = 1190,15 + (1,60 - 1) \cdot 1030,86 = 1808,67 \text{ кДж / кг} \quad (3.11)$$

Без використання економайзера температура вихідних газів складає $t_{вих.}^{(2)} = 300$ °С ентальпії газів і вологого повітря наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Ентальпія газів і вологого повітря при $t_{вих.}^{(2)} = 300$ °С
(без економайзера)

t, °С	Ентальпія, кДж/м ³			
	$(C \cdot t)_{R_2O}$	$(C \cdot t)_{N_2}$	$(C \cdot t)_{H_2O}$	$(C \cdot t)_g$
300	564	394	466	407

Ентальпію теоретичного об'єму повітря розрахуємо за формулою [20]:

$$I_{пов.}^{o(2)} = V_{пов.}^o \cdot (C \cdot t)_g^{(2)} = 5,1672 \cdot 407 = 2103,05 \text{ кДж / кг} \quad (3.12)$$

Ентальпію теоретичного об'єму продуктів згоряння розрахуємо за формулою [20]:

$$\begin{aligned} I_{зг.}^{o(2)} &= V_{RO_2} \cdot (C \cdot t)_{RO_2}^{(2)} + V_{N_2} \cdot (C \cdot t)_{N_2}^{(2)} + V_{H_2O} \cdot (C \cdot t)_{H_2O}^{(2)} = \\ &= 0,9465 \cdot 564 + 4,0909 \cdot 394 + 0,6356 \cdot 466 = 2441,83 \text{ кДж / кг} \end{aligned} \quad (3.13)$$

Ентальпію дійсних об'ємів продуктів згоряння при температурі вихідних газів розрахуємо за формулою [20]:

$$I_{зг.}^{(2)} = I_{зг.}^{o(2)} + (\alpha_{вих.}^{(2)} - 1) \cdot I_{пов.}^{o(2)} = 2441,83 + (1,50 - 1) \cdot 2103,05 = 3493,36 \text{ кДж / кг} \quad (3.14)$$

При спалюванні кам'яного вугілля у шаровій топці можна записати [20]:

- втрати від хімічної неповноти згоряння палива – $q_3 = 1\%$,
- втрати від механічної неповноти згоряння палива – $q_4 = 5\%$.

Ентальпію теоретичного об'єму холодного повітря необхідного для повного згоряння 1 кг палива розрахуємо за формулою [20]:

$$I_{x\text{ пов.}}^o = V_{пов.}^o \cdot C_{x\text{ пов.}} \cdot t_{x\text{ пов.}} \quad (3.15)$$

де $C_{x.нов.}$ – теплоємність холодного повітря, $C_{x.нов.} = 1,35 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$,
 $t_{x.нов.}$ – температура холодного повітря, $t_{x.нов.} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$I_{x.нов.}^o = 5,1672 \cdot 1,35 \cdot 25 = 174,39 \text{ кДж} / \text{кг}$$

Рівняння теплового балансу має вигляд [20]:

$$Q_p^e = Q_1 + \Sigma Q_{втр.} \quad (3.16)$$

де Q_p^e – вміщуюче тепло, $Q_p^e = Q_n^p = 20,2 \text{ МДж} / \text{кг} = 20200 \text{ кДж} / \text{кг}$,

Q_1 – теплота, що корисно сприймається у котлоагрегаті поверхнями нагріву, кДж/кг,

$\Sigma Q_{втр.}$ – сумарні втрати тепла, кДж/кг [20]:

$$\Sigma Q_{ном} = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (3.17)$$

де Q_2 – втрати тепла з вихідними газами, кДж/кг,

Q_3 – втрати тепла від хімічної неповноти згоряння палива, кДж/кг,

Q_4 – втрати тепла від механічного недопалу палива, кДж/кг,

Q_5 – викиди тепла у навколишнє середовище, кДж/кг,

Q_6 – втрати тепла з фізичним теплом шлаків, кДж/кг,

Прийнявши вміщуючи тепло за 100%, можна записати наступне [20]:

$$100\% = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = q_1 + \Sigma q_{втр.} \quad (3.18)$$

Втрати тепла з димовими газами для обох випадків розрахуємо за формулами [20]:

$$\begin{aligned}
Q_2^{(1)} &= (I_{32}^{(1)} - \alpha_{вих}^{(1)} \cdot I_{x\,нов.}^o) \cdot \frac{100 - q_4}{100} = \\
&= (1808,67 - 1,60 \cdot 174,39) \cdot \frac{100 - 5}{100} = 1453,16 \text{ кДж / кг}
\end{aligned}
\tag{3.19}$$

$$\begin{aligned}
Q_2^{(2)} &= (I_{32}^{(2)} - \alpha_{вих}^{(2)} \cdot I_{x\,нов.}^o) \cdot \frac{100 - q_4}{100} = \\
&= (3493,36 - 1,50 \cdot 174,39) \cdot \frac{100 - 5}{100} = 3070,19 \text{ кДж / кг}
\end{aligned}$$

тоді

$$q_2^{(1)} = \frac{Q_2^{(1)}}{Q_p^e} \cdot 100 = \frac{1453,16}{20200} \cdot 100 = 7,19\%
\tag{3.20}$$

$$q_2^{(2)} = \frac{Q_2^{(2)}}{Q_p^e} \cdot 100 = \frac{3070,19}{20200} \cdot 100 = 15,20\%$$

Значення коефіцієнту корисної дії «брутто» для обох випадків розрахуємо за формулами [20]:

$$\eta_{ка}^{\bar{p}(1)} = q_1 = 100 - (q_2^{(1)} + q_3 + q_4 + q_5^{(1)})
\tag{3.21}$$

$$\eta_{ка}^{\bar{p}(2)} = q_1 = 100 - (q_2^{(2)} + q_3 + q_4 + q_5^{(2)})$$

де $q_5^{(1)}$ – втрати тепла у навколишнє середовище (для схеми з економайзером), $q_5^{(1)} = 1,5\%$

$q_5^{(2)}$ – втрати тепла у навколишнє середовище (для схеми без економайзером), $q_5^{(2)} = 0,6\%$

$$\eta_{ка}^{\bar{p}(1)} = q_1 = 100 - (7,19 + 1 + 5 + 1,5) = 85,31\%$$

$$\eta_{ка}^{\bar{p}(2)} = q_1 = 100 - (15,20 + 1 + 5 + 0,6) = 78,20\%$$

4 СТВОРЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ РОБОТИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1 Застосування способу виявлення несправностей котельного агрегату з використанням штучних нейронних мереж

Виникнення раптових несправностей технологічного (теплого) обладнання у більшості випадків може привести до значних фінансових та експлуатаційних втрат. При виникненні несправностей відбувається відхилення контрольованих величин від визначених значень, що свідчить про порушення працездатності обладнання [21].

Багаторівневість та складність облаштування котельної системи ускладнює вирішення задачі по відстеженню та виявленню зазначених несправностей у реальному часі. На допомогу можуть прийти способи моделювання та системного аналізу, які з високим ступенем точності здійснюють моніторинг та оцінку стану і прогнозування поведінки обладнання при виявленні та/або діагностуванні несправностей [21].

Для вирішення поставлених задач досить добре підходять штучні нейронні мережі (ШНМ), що дозволяють змодельовати поведінку роботи котельного обладнання на основі систематизованих даних.

Результатом роботи ШНМ є прогнозування значень вихідних даних у створеній мережевій структурі і їх порівняння з тими ж даними на попередньому етапі розрахунків для дослідження варіації зміни визначених параметрів, що характеризують роботу обладнання.

Загальна структура (рис. 4.1) зображує впровадження елементів штучної нейронної мережі у алгоритм виявлення несправностей теплотехнологічного об'єкта.

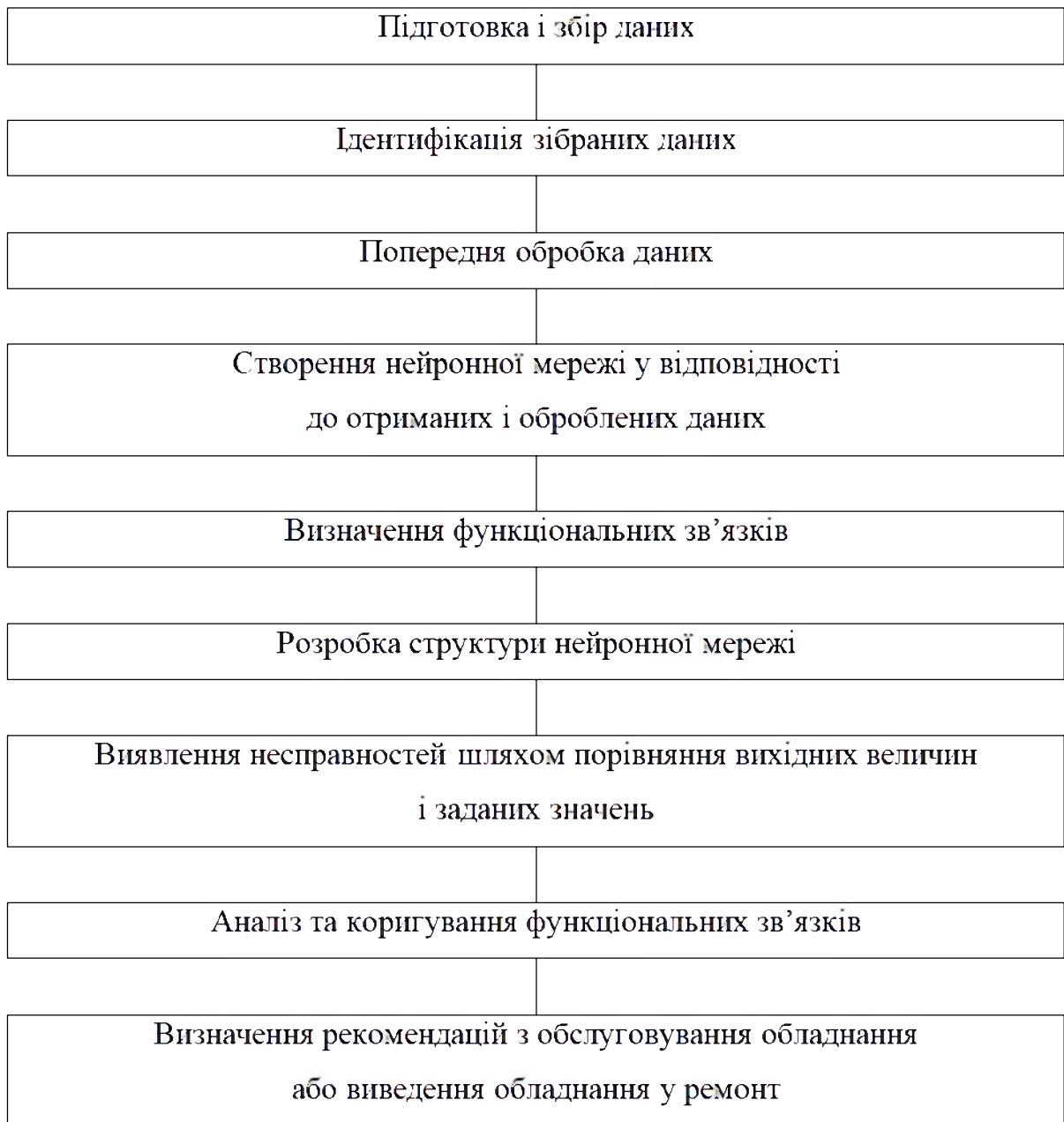


Рисунок 4.1 – Структура алгоритму виявлення несправностей теплотехнологічного об'єкта з впровадженням ШНМ

ШНМ працює на принципах відтворення обміну даними, що описують загальні закономірності роботи досліджуваного об'єкта, прогнозування його стану та прийняття відповідних поведінкових рішень. ШНМ складаються з нейронів, які пов'язані за допомогою числових ваг. Так званий, процес навчання відбувається шляхом багаторазового коригування зазначених числових ваг. Для будови ШНМ необхідно

визначити кількість нейронів та з'єднати їх разом за допомогою визначених числових ваг (рис. 4.2) [22].

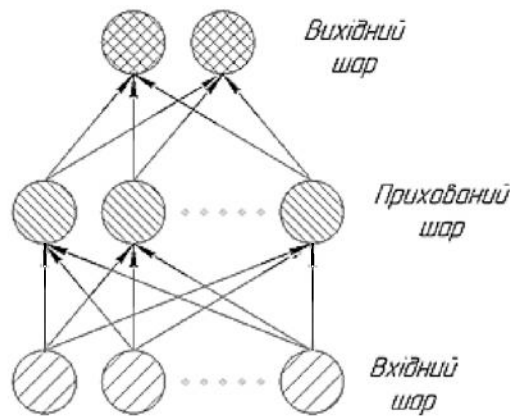


Рисунок 4.2 – Загальна структура штучної нейронної мережі

Для складних структур необхідно скласти більш складні ШНМ, які називають багатошаровими. Ці мережі містять визначену кількість прихованих шарів (рис. 4.3) [22].

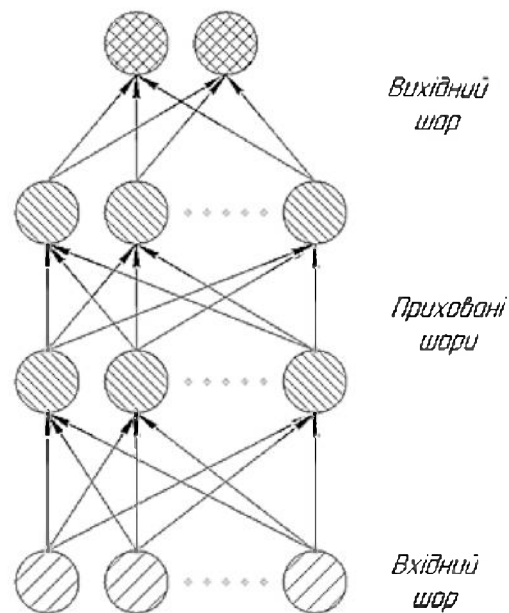


Рисунок 4.3 – Загальна структура багатошарової штучної нейронної мережі

ІНМ здійснює процес моделювання досліджуваного процесу, що дозволяє швидко та з високим ступенем точності здійснювати тестування та досліджувати складену модель.

З метою проектування ІНМ попередньо необхідно визначити основні досліджувані параметри та встановити зв'язки між ними. Процес навчання моделі здійснюється на основі отриманих даних. Структура ІНМ дозволяє представляти та аналізувати вхідні та вихідні дані. У результаті навчання складена модель буде готова до здійснення передбачення вихідних даних на основі зміни вхідних.

Якщо говорити про створення моделі для виявлення несправності котельного обладнання, то вона використовує вихідні дані значень температури, тиску і вологості для прогнозування стану.

Точність моделювання напряму залежить від способів та алгоритмів навчання і складу нейронної мережі. Найкращих результатів можна досягти при використанні ІНМ з прямим зв'язком, яка складається з рядів нейронів, з'єднаних ваговими зв'язками у кілька шарів: вхідний, прихований і вихідний шари. Вхідний шар отримує зовнішні дані про стан обладнання і передає ці значення через вагові зв'язки до нейронів прихованого шару. Процес обчислення продовжується від шару до шару до тих пір, поки розрахунки не сягнуть вихідного шару. Порівняння вхідних і вихідних значень у більшості визначається ваговими зв'язками [22].

Для досліджуваного об'єкта обираються параметри – масова витрата, температура, об'єм, тиск для різних середовищ: палива, повітря вхідного, вихідних газів, живильної води, теплоносія та інших. Серед різноманіття коливання цих даних обираються їх максимальне та мінімальне значення, що реєструються впродовж визначеного періоду часу. Виокремлення нормалізованих даних виконуємо за допомогою методу пошуку середньозваженої величини [23]:

$$X_{нор.} = \frac{X_t - X_{t\min}}{X_{t\max} - X_{t\min}} \quad (4.1)$$

де X_t – початкове значення контрольованої величини до нормалізації.

Наступним кроком буде вибір передавальної функції, на яку впливає формування вхідних даних і яка визначає межі коливань значень нейронів на виході ШНМ.

Для ШНМ з прямим зв'язком доцільно обрати логістичну передавальну функцію, для якої характерно лише очікування позитивних чисел у визначеному діапазоні [23]:

$$\Omega(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}} \quad (4.2)$$

Функція за формулою (4.2) має безперервний характер і має змогу адаптувати розрахункові ваги до навчання під час тренування.

Сам алгоритм навчання являє собою процедуру процесу навчання ШНМ. Найпростішим є метод найменших квадратів, які визначають суму квадратів помилок, що дозволяє досить швидко навчати ШНМ. Навчання відбувається за відповідним алгоритмом шляхом обчислення різниці градієнтів з поступовим наближенням до істинної величини. При критичному відхиленні, відповідний параметр коригується для зменшення помилки на наступній ітерації [23]:

$$\Delta_t = \frac{g}{(X_{нор.} + \varphi\Pi)} \quad (4.3)$$

де φ – коефіцієнт демпфування,

Π – одинична матриця,

g – градієнт зміни досліджуваної величини.

Навчання починається з найменшого значення φ і збільшується до тих пір, поки не буде отримано бажаний результат.

Для моделювання теплових процесів найкращим чином підходять нелінійні передавальні функції.

Навчання моделі для визначення відповідної передавальної функції вимагає здійснення багатьох ітерацій або прогонів з використанням одного і того ж набору даних з випадковими початковими розрахунковими вагами в кожному прогоні.

Реальна модель вимагає застосування кінцевої кількості значень параметрів для здійснення розрахунків. Цей вибір може бути визначений процесами, що відбуваються у реальних об'єктах, що у деякій мірі обмежує можливості вибору вхідних і вихідних параметрів на основі закону причин і наслідків та зв'язками, що при цьому встановлюються. Вхідні та вихідні параметри ШНМ вибираються на основі визначення стану обладнання та їх оптимізації для забезпечення бажаної точності роботи ШНМ. У якості вхідних параметрів можна визначити [24]:

- температура теплоносія на вході та виході з нагрівача,
- тиск у барабані котла,
- тиск, створюваний циркуляційним насосом,
- температура повітря на вході та виході з економайзера,
- тиск на вході і виході з економайзера,
- витрата живильної води.

Зазначені параметри характеризують роботу котельного агрегату і є керівництвом для дій операторів та контролюючо-вимикаючих пристроїв.

Результат порівняння вихідних величин вимагає певної структури дій:

- початкова нормалізація вхідних і вихідних даних,
- складання багаторівневої ШНМ,
- складання навчального алгоритму,
- тестування, співставлення, навчання, перевірка,

– досягнення визначеної точності розрахунків – мінімізація помилки з використанням середньоквадратичного методу [25]:

$$\Delta_t^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_t - X_t)^2 \quad (4.4)$$

де n – кількість ітерацій,

Y_t – цільове значення вихідної величини,

X_t – вихідне значення, обчислене ШНМ,

Для оцінки адекватності ШНМ та досягнення заданого ступеню точності розрахунків розраховується помилка цих розрахунків [25]:

$$\Delta\% = \left(1 - \frac{N_{\text{поз.}} - N_{\text{нег.}}}{N_{\text{сум.}}} \right) \cdot 100\% \quad (4.5)$$

$N_{\text{поз.}}$ – кількість позитивних результатів – значення вихідних величин, що із заданим ступенем точності відповідають заданому значенню,

$N_{\text{нег.}}$ – кількість негативних результатів – значення вихідних величин, які знаходяться поза визначеним інтервалом значень або не відповідають заданому ступеню точності,

$N_{\text{сум.}}$ – загальна кількість отриманих результатів.

На досягнення бажаного результату суттєво впливають значення розрахункових ваг ШНМ. Щоб оцінити вплив окремої розрахункової ваги на результат роботи ШНМ і визначенні найближчих до «ідеальних» коефіцієнтів ваг для здійснення моделювання використовуємо пошуковий процес, де використовують два значення ваг – початкове і випадкове, а потім – їх поєднання.

Вхідними даними виступають значення відповідних температур, тисків та об'ємів, а вихідними – сигнал на відключення, тобто логічні сигнали («0» – нормальний стан, «1» – наявність несправності).

4.2 Складення математичної моделі тепломасообмінних процесів

Для регулювання та стабілізації значення температури у топці у визначеному діапазоні у теперішній час все частіше використовують низькотемпературний киплячий шар (НКШ). Ця технологія дозволяє спалювати вугілля низького сорту або зі значним вмістом домішок. Зазначений діапазон температур, що вимагає дана технологія, досягається шляхом застосування засобів автоматизації. Це дозволяє виключити вплив «людського фактору» та врахувати інерційність теплових процесів. Робота засобів автоматизації направлена на стабілізацію та підтримку температури горіння палива [26].

Існуюча апаратура автоматизації часто помилково визначає ступінь подачі палива до топки і контролювати його фракційний склад. У ідеальному випадку апаратура автоматизації повинна реалізовувати наступне [26]:

- здійснювати регулювання та стабілізацію значення температури у діапазоні роботи киплячого шару,
- підтримка товщини киплячого шару,
- індикація та сигналізація про аварійні режими роботи котла,
- безперервний контроль температури у топці,
- підтримка режиму подачі повітря.

Відомі математичні моделі тепломасообміну у теплоенергетичних установках описують процеси, що протікають у ритмічно-працюючих об'єктах. Формування газових потоків в робочому просторі котлів та втрати енергії з вихідним повітрям визначають розподіл температури по всій довжині випромінюючої поверхні.

Математичні моделі відображають перенесення теплоти і маси шляхом розв'язання систем рівнянь збереження маси, імпульсу та енергії у досліджуваних середовищах.

Енергетична ефективність котлів обумовлена його формою (відношення висоти до глибини).

Математичне моделювання енергетичних та технологічних процесів дозволяють здійснювати чисельний порівняльний аналіз продукування теплової енергії. Критерієм ефективності у цьому випадку є параметри зниження питомих втрат енергії та витрати палива.

Чисельне моделювання виконаємо у пакеті прикладних програм Mathcad. Для цього складемо диференційні рівняння, що описують процеси у котельному агрегаті [27]:

$$H11_b(\omega, M) := \text{root} \left[V_b(M) - \pi \cdot \frac{(H11_b \cdot \omega)^3}{16} \cdot \left[\frac{1}{3} + 3 \cdot \left(\frac{H11_b \cdot \omega}{H11_b} \right)^2 \right], H11_b \right] \quad (4.6)$$

$$M_b(\omega, M) := \left[\pi \cdot \frac{(H_b(\omega, M) + b_b(M))^3}{16} \cdot \left[\frac{1}{3} + 3 \cdot \left(\frac{D_b(\omega, M) + 2b}{H_b(\omega, M) + b_b(M)} \right)^2 \right] \right] - V_b(M) \cdot p_b \quad (4.7)$$

$$\eta_{liq}(P_{trans}, \omega, M, \beta_{wcw}, \rho_{scr}) := \frac{10^3 P_{trans} \cdot \cos \varphi_{liq} - P_{loss \Sigma}(\omega, M, \beta_{wcw}, \rho_{scr})}{10^3 P_{trans} \cdot \cos \varphi_{liq}} \quad (4.8)$$

Оцінка середнього коефіцієнта енергоефективності з урахуванням впливу коефіцієнта форми ω за різного ступеню завантаженості палива наведено на рис. 4.4.

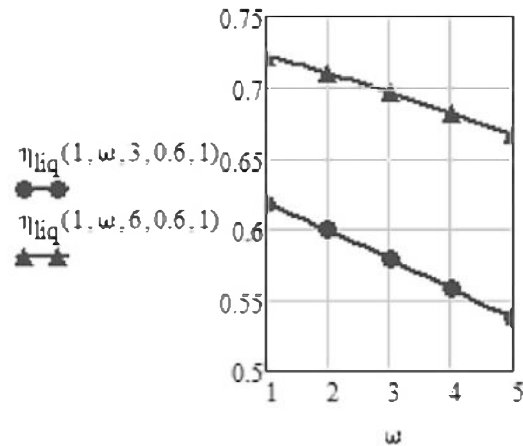


Рисунок 4.4 – Зміна середнього коефіцієнта енергоефективності з урахуванням впливу коефіцієнта форми ω за різного ступеню завантаженості палива

Вплив комплексу енергетичних і геометричних чинників на енергоефективність роботи теплового обладнання визначається співвідношенням величин втрат теплоти з вихідними газами та через огорожуючі конструкції у навколишнє середовище.

Для номінальних режимів роботи зменшення коефіцієнта форми ω веде до зростання ефективності через зниження втрат теплоти випромінюванням і інтенсифікації процесів тепломасообміну.

Динаміка зміни втрат теплової енергії у робочому просторі показана на рис. 4.5.

Динаміки зміни втрат обумовлено масштабними факторами і дозволяє визначити чинники для зниження цих втрат.

Графічна залежність відносної економії палива у залежності від масштабного фактора та ступеня завантаженості топки наведено на рис. 4.6.

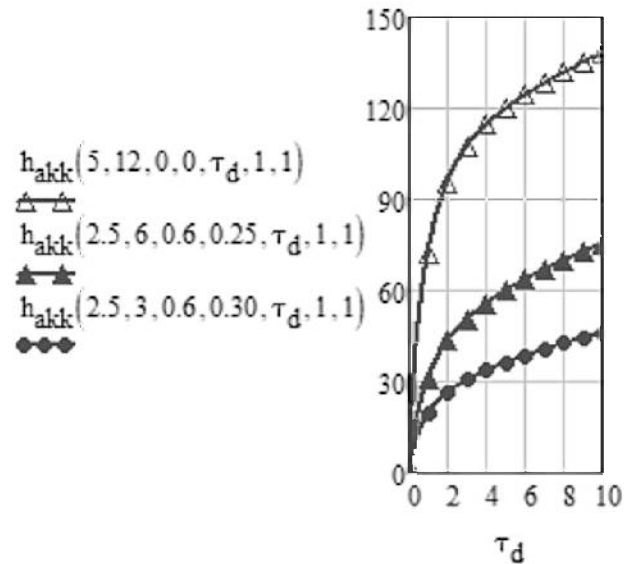


Рисунок 4.5 – Динаміка зміни втрат теплової енергії у робочому просторі

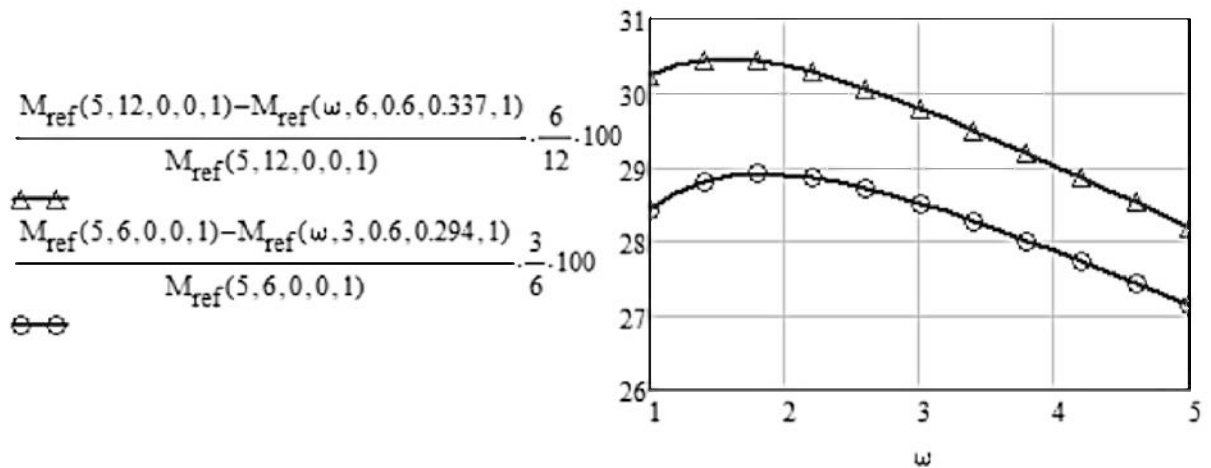


Рисунок 4.6 – Графічна залежність відносної економії палива у залежності від масштабного фактора та ступеня завантаженості топки

Розроблена математична модель енергетичних і технологічних процесів у робочому просторі топки дозволяє здійснювати аналіз та пошук заходів з мінімізації втрат у технологічному процесі.

Доведено, що необхідною умовою є визначення оптимальних геометричних та режимних параметрів роботи топки.

4.3 Створення інтелектуального інтерфейсу моніторингу роботи котла

Інтелектуальний інтерфейс моніторингу роботи котла – це система інтерфейсу, яка відстежує реакцію на зміну параметрів роботи контрольованого обладнання.

Зазначене дозволяє оператору відстежувати потенційно аварійні стани з високим ступенем точності через надбання інформації про стан обладнання, у тому числі від дій оператора.

Методи поліпшенні систем моніторингу стану теплоенергетичного обладнання можуть бути побудовані у різний спосіб [28]:

- здійснення порівняльного аналізу,
- застосування нечіткої логіки,
- використання штучних нейронних мереж,
- методи машинного аналізу.

Інтелектуальна система управління теплоенергетичною системою має на меті виявлення аварійних ситуацій на ранніх стадіях їх розвитку та оцінювати потенційний вплив цієї події з точки зору діагностування та розробки рекомендацій для усунення цих проявів [28].

Ця система виконує функції попереджувальної діагностики на основі виявлення відхилень показників роботи обладнання, які можуть бути реалізовані у вигляді діагностичних моделей.

Інтелектуальний інтерфейс також використовує програмне забезпечення для здійснення моделювання і прогнозування подальшої поведінки системи та розробки графічного інтерфейсу для оператора.

Система моніторингу за допомогою графічного інтерфейсу представляє данні для оператора, а також продукує рекомендації для обслуговування і управління. Найкращою реалізацією системи моніторингу може стати локальний сервер, доступ до якого мають ідентифіковані користувачі, і на якому збираються усі дані від

підключених локальних робочих станцій. Доступ до інформації може бути цілодобовим з будь-якого місця, дозволяє здійснювати обмін даними та оперативною інформацією і реалізовувати спільні коригувальні дії [28].

Інтерфейс повинен забезпечити високу ступінь візуалізації та зворотного зв'язку, що забезпечить кращі результати роботи системи моніторингу. Для цього найкраще підходять розповсюджені у даний час інженерні програмні системи Mathcad, Matlab, SolidWorks, Ansis та інші.

Інтелектуальний інтерфейс визначає стан котельного агрегату протягом визначених інтервалів часу та зберігає отримані дані на серверах, дозволяє обробляти їх та спрощує аналіз роботи системи. Ці дані дозволяють здійснювати прогнозування можливих аварійних ситуацій за допомогою програмних продуктів моделювання. Зазначений інтерфейс забезпечує найкращі показники взаємодії автоматизованих систем і операторів, забезпечує зв'язок між системою моніторингу, заснованої на обраному способі і методі обчислень, надає вичерпну інформацію для здійснення довгострокового аналізу та сприяють підвищенню надійності роботи системи [29].

4.3 Моделювання процесів автоматизації котельного обладнання

Схема автоматизації передбачає застосування блоків керування і регуляторів, кожен з яких контролює визначений параметр – температуру, витрату і тиск у відповідній ланці теплоенергетичного об'єкту.

Для автоматичного керування роботи котельного агрегату широкого застосування набули прилади типу P25.1.1 (рис. 4.7) [30].

Зазначений прилад здатен виконувати такі функції [30]:

- сумування сигналів від первинних датчиків,
- введення сигналів завдання,

- посилення сигналів відхилення,
- формування закону регулювання виконавчого механізму,
- формування сигналів на керування виконавчим механізмом,
- можливість ручного керування виконавчим механізмом,
- перетворення сигналів від датчиків положення у сигнал постійного струму.



Рисунок 4.7 – Регулюючий прилад P25.1.1

Більш прогресивним регулятором є прилад TPM501 (рис. 4.8), призначення якого полягає у регулюванні теплотехнічних параметрів з точним дотриманням часових інтервалів [31].

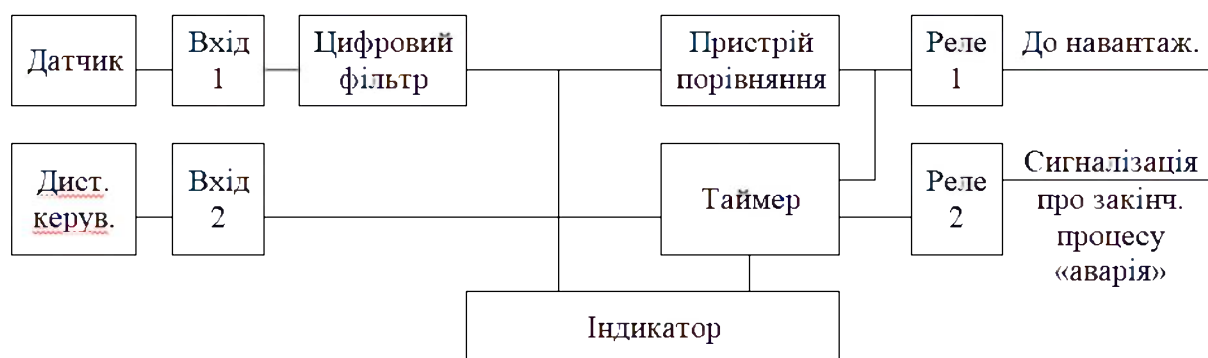


Рисунок 4.8 – Структурна схема регулюючого приладу TPM501

Прилад ТРМ501 виконує наступні функції [31]:

- вимірювання та регулювання теплотехнічних параметрів,
- можливість підключення первинних перетворювачів до входу приладу,
- можливість регулювання по двом параметрам,
- дистанційне керування пуском та зупинкою агрегатів,
- відлік визначеного часу за допомогою вбудованого таймера,
- можливість встановлення різних режимів роботи регулятора і таймера,
- сигналізація при виникненні аварійної ситуації.

Складність та різноманітність процесів, що протікають у котельних установках, вимагають здійснення автоматизації контролю теплових режимів.

Існуючі системи автоматизованого контролю мають недолік – при підвищенні температури за межі припустимого діапазону, зазначені вище регулятори при автономній роботі не можуть здійснювати узгодження між однотипними приладами, що відповідають за контроль роботи окремих систем. Це не дозволяє забезпечити дотримання оптимального співвідношення між кількістю палива і кількістю повітря, що подаються у топку, та призводить до неекономічної роботи котлоагрегату.

Зазначене вимагає застосування пристрів, що дозволяють узгодити роботу визначених регуляторів для нормалізації роботи котельних агрегатів. Найкращим параметром у цьому випадку може виступати температура, як такий, на який впливають практично усі зміни, що відбуваються у досліджуваній тепловій системі.

Захист від аварійних режимів роботи повинен виконувати наступні функції:

- порівняння встановленого і поточного значення температури у топці,
- витримка встановленого діапазону температур,

- сигналізація про поточний стан системи,
- узгодження роботи регуляторів,
- формування сигналу на керування.

При такій структурі система може керувати процесом з оптимальної точки зору з можливістю одночасної зміни визначених параметрів. Для перевірки даних тверджень здійснюємо моделювання системи керування у програмному середовищі Matlab (рис. 4.9) [32].

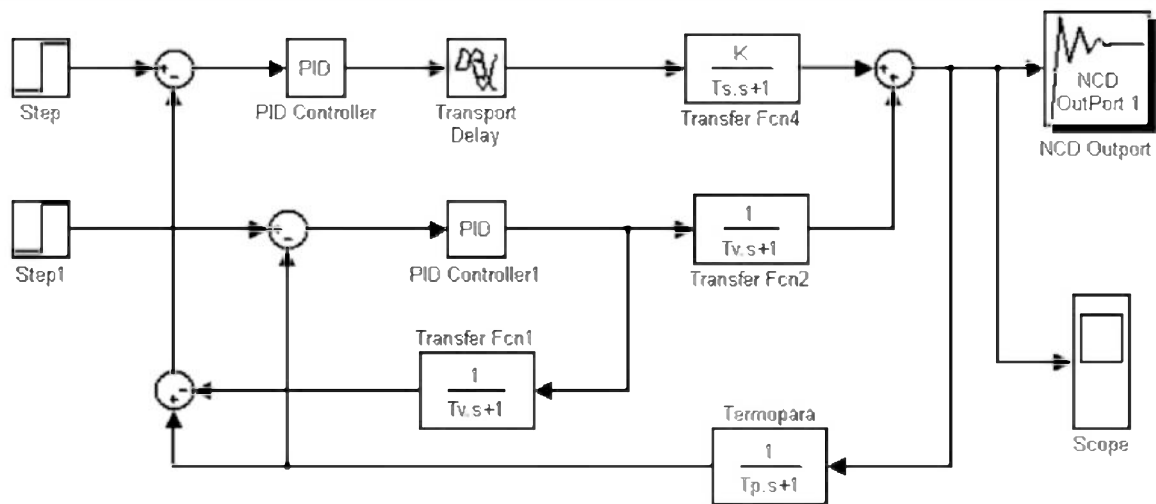


Рисунок 4.9 – Функціональна схема пристрою керування в середовищі Matlab

Дана схема реалізує підтримку характеристик роботи топки котла у заданому температурному режимі. Схема передбачає два зворотних зв'язки:

- перший контролює подачу повітря у топку,
- другий контролює подачу палива.

Рівняння теплового балансу для оцінки швидкості відгуку системи на зовнішні та внутрішні впливи має вигляд [33]:

$$c_{нов.} \rho_{нов.} S_{к.зг.} h_{нал.} \frac{dT_{нал.}}{dt} =$$

$$= w_{нал.} Q_m^p S_{к.зг.} (1 - q_{нал.}) - \rho_{нов.} c_{нов.} v_{нов.} S_{к.зг.} (T_{нал.} - T_{нов.}) \quad (4.9)$$

де $c_{нов.}$ – теплоємність повітря, Дж/(кг·К),

$c_{нал.}$ – теплоємність палива, Дж/(кг·К),

$\rho_{нов.}$ – щільність повітря, кг/м³,

$\rho_{нал.}$ – насипна щільність палива, кг/м³,

$S_{к.зг.}$ – площа камери згоряння, м²,

$h_{нал.}$ – висота шару палива, м,

$T_{нал.}$ – температура шару палива, К,

$T_{нов.}$ – температура повітря, К,

Q_m^p – теплота згорання палива, МДж/кг,

$w_{нал.}$ – витрата палива на 1 м², кг/м²·с,

$v_{нов.}$ – швидкість повітря через шар палива, м/с.

Для визначення передаточної функції скористаємось перетворенням Лапласа:

$$W_{0(p)} = \frac{K}{Tp + 1} \quad (4.10)$$

де T – стала часу:

$$T = \frac{c_{нал.} \rho_{нов.} h_{нал.}}{\rho_{нов.} c_{нов.} v_{нов.}} \quad (4.11)$$

Результати моделювання перехідного процесу наведено на рис. 4.10.

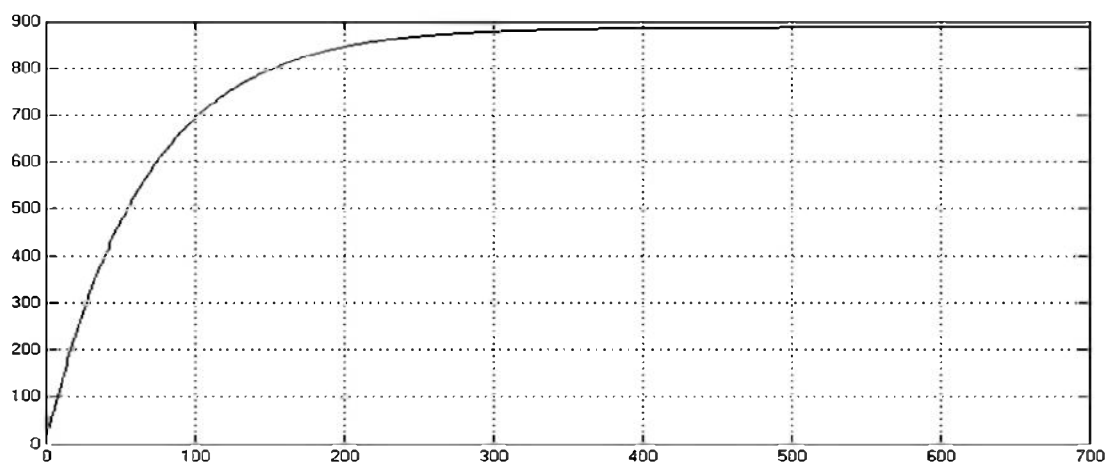


Рисунок 4.10 – Результати моделювання перехідного процесу у топці котла

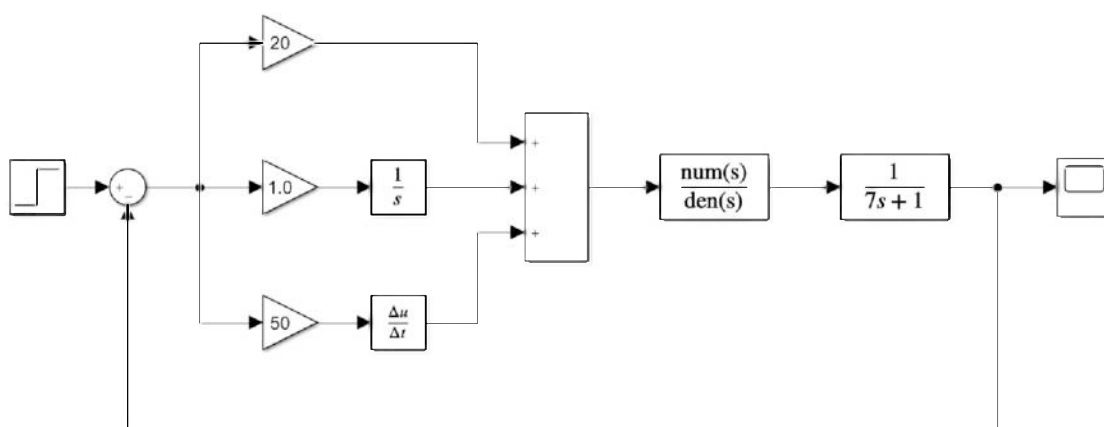


Рисунок 4.11 – Моделювання прямого керування

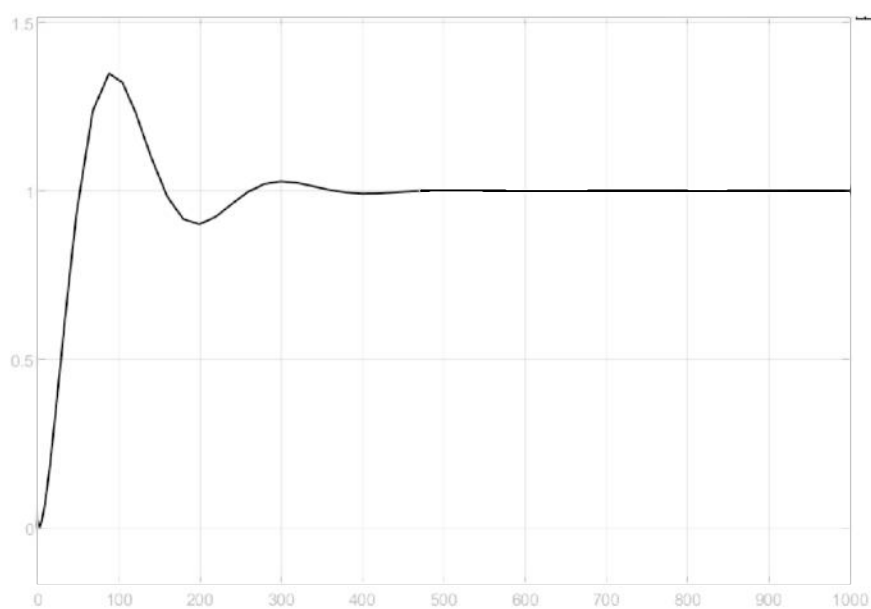


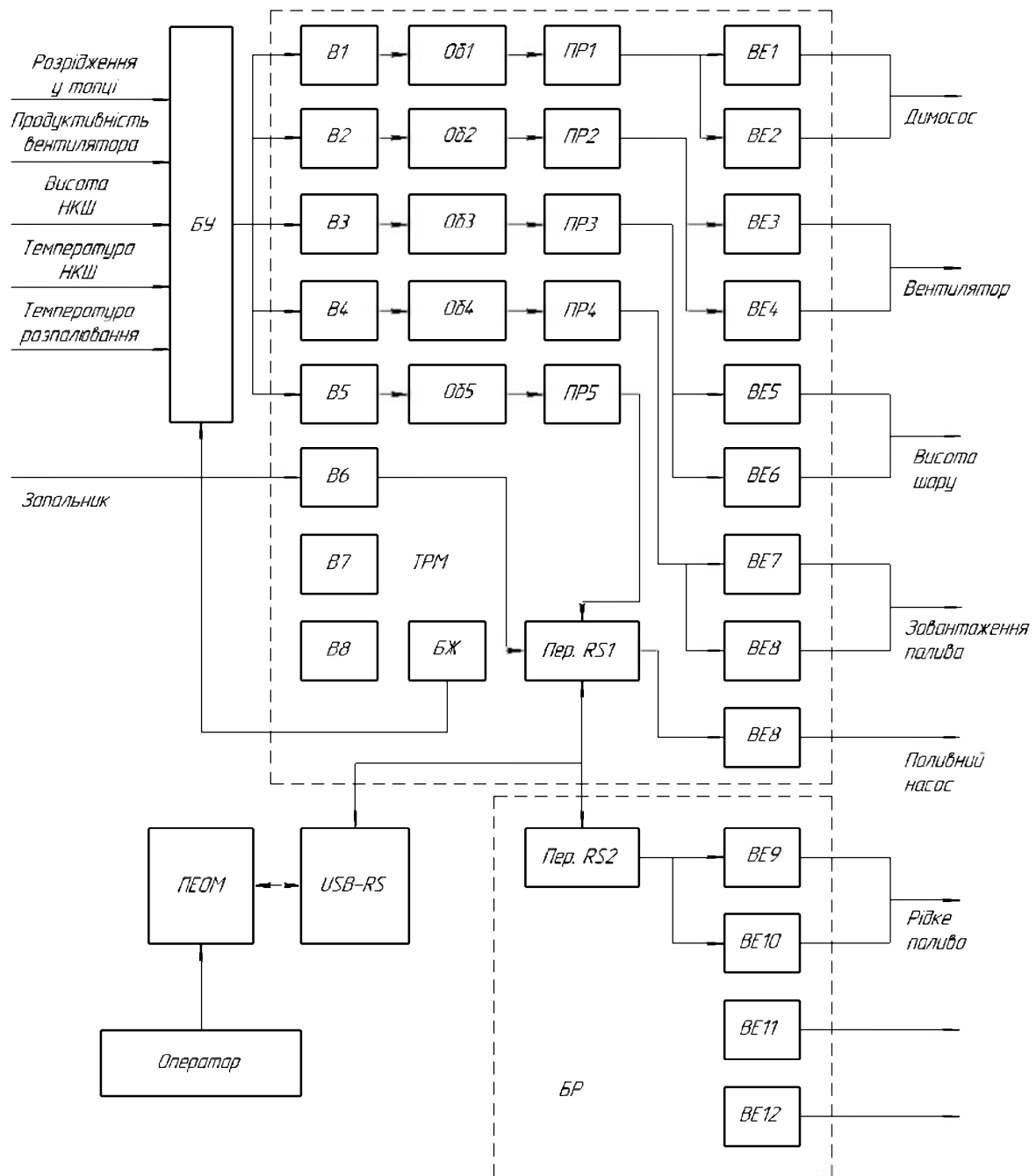
Рисунок 4.11 – Результати моделювання прямого керування

Отримані результати моделювання показують, що коливання температури в топці у процесі регулювання подачі палива не перебільшує меж регулювання, що зменшує ризик виникнення аварійної ситуації.

Для реалізації представленої вище структури рекомендується створити систему, що реалізує інтелектуальну діагностику системи автоматизації процесу роботи теплоенергетичної установки (рис. 4.12).

Основними задачами, що реалізуються даною схемою наступні [15]:

- вимірювання визначених параметрів роботи теплоенергетичного об'єкта та їх контроль вхідними первинними перетворювачами,
- аналогова та цифрова фільтрація виміряних параметрів від зовнішніх впливів,
- корекція виміряних параметрів з метою виключення похибок від роботи перетворювачів,
- аналіз виміряних параметрів роботи об'єкта за заданим алгоритмом,
- візуалізація результатів вимірювання та здійснених обчислень,
- реалізація корегування досліджуваної величини відповідно до їх зміни та поставлених задач,



ТД – технологічні датчики, БУ – блок узгодження, ТРМ – універсальний ПІД-регулятор, Ві – входні елементи, Обі – обчислювачі, ПР – програмні регулятори, ВЕ – вихідні елементи, БР – блок розв’язки, Пер.RS – перехідник RS, БЖ – блок живлення

Рисунок 4.12 – Структурна схема інтелектуальної діагностики теплоенергетичної установки

- формування сигналів про аварійний стан або виявлення несправності з візуалізацією цього стану,
- формування сигналу на відключення про аварію при виході контрольованої величини за визначені межі,
- передачу на сервер поточних значень виміряних та розрахованих величин, значень вихідних керуючих сигналів та параметрів стану теплоенергетичного об'єкту.

ВИСНОВОК

У роботі було здійснено аналіз теплоенергетичної установки з точки зору його як об'єкта автоматизації.

Були сформульовані вимоги до роботи системи управління процесом спалювання вугілля, що дозволять підвищити ефективність та економічність роботи котельного агрегату. У роботі були розроблені алгоритм, структура та функціональна схеми пристрою інтелектуальної діагностики та управління теплоенергетичною установкою. Пропонується замінити уже застарілі та ненадійні регулятори Р25.1.1 на більш сучасні пристрої серії TRM.

Було проведено моделювання роботи топкового пристрою у програмних середовищах Mathcad і Matlab, були складені диференціальні рівняння, що описують процеси у котельному агрегаті. Результати здійсненого моделювання показали, що розроблена математична модель, яка ідентифікує процеси у робочому просторі топки дозволили виконати аналіз та розробити рекомендації до мінімізації втрат у технологічному процесі. Було доведено, що необхідною умовою цього є завдання оптимальних геометричних та режимних параметрів роботи топкового пристрою.

Запропонований алгоритм функціонування управління роботою теплоенергетичного процесу може забезпечити високу якість визначення протікання процесів теплообміну.

Було складено та визначено режими роботи інтерфейсу інтелектуального моніторингу і були зазначені його переваги у порівнянні з існуючою системою моніторингу. Спроектована система дозволяє визначати несправності, що виникають у котельному обладнанні та надає рекомендації для їх усунення. Це дозволить знизити вірогідність виникнення аварійних ситуацій та зменшити експлуатаційні витрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сидельковский Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов/ Л. Н. Сидельковский – 3 изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов/Под ред. В.Я. Гиршфельда. – М: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.
3. Failure Analysis And Investigation Methods For Boiler Tube Failures Mehrooz Zamanzadeh, Edward S. Larkin, and George T. Bayer Matco Associates, Inc4640 Campbells Run Road Pittsburgh, Pennsylvania.
4. Технология, оборудование, совершенствование подготовки и сжигания твердого топлива на ТЭС и котельных: Учебное пособие ч. 1/ В.З. Лейкин, СПб.: ПЭИПК, 2003.
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cutt.ly/SnnGifY>
6. Паровые и водогрейные котлы: Справочное пособие/ Ю.Ф. Самойлов, СПб.: Деан, 2000.
7. Воронов В.Н., Мартынова О.И., Петрова Т.И. Совершенствование химико-технологических процессов в энергетике// Теплоэнергетика. 2005. №6. С. 46-49.
8. R.S. Barlow, G.J. Fiechtner, C.D. Carter, J.Y. Chen, Combust. Flame 120 (2000) 549-569.
9. Александров В.П. Паровые котлы малой и средней мощности / В.П. Александров – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1972. – 200 с.
10. Противоаварийные тренировки в производственно-отопительных котельных/ Р.И. Эстеркин, Л.: Энергоатомиздат, 1990.
11. Боженко М.Ф. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: Навч. посіб. / М.Ф.Боженко, В.П.Сало. – Київ: ІВЦ Вид-во «Політехніка», 2004. – 192 с.

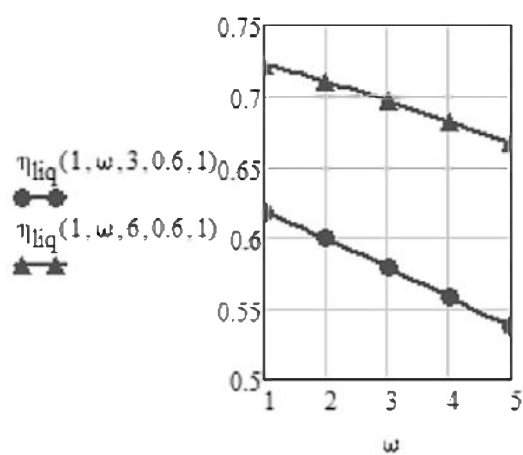
12. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей : Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.
13. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр. : Пер. с англ. - М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.
14. Гавзов Д.В., Бушуев С.В., Гундырев К.В., Шандин А.Е., Гронский А.А. Комплекс технических средств распределенных измерений, контроля и управления // ТрансЖАТ – 2004: Материалы научно-технической конференции. Санкт-Петербург: ПГУПС, 2004. С. 73.
15. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія / за ред. В.П. Бабака. – К.: Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015. – 512 с.
16. Бузников Е.Ф. Производственные и отопительные котельные. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 248с.
17. Новое оборудование и системы пылеприготовления для пылевого сжигания бурых и каменных углей и котлов с кипящим слоем. Новые технологии сжигания твердого топлива: их текущее состояние и использование в будущем, М.: ВТИ, – 2001.
18. Dorota Bankiewicz, Patrik Yrjas and Mikko Hupa, “High temperature corrosion of superheater tube materials exposed to zinc salts”, Energy Fuels, 23 (7), 3469-3474, 2009.
19. Технологические исследования котлов и топочных процессов: Учебное пособие ч. 1/ Ю.А. Рундыгин, СПб.: 1995.
20. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод/ АООТ НПО ЦКТИ, СПб.: б. н., 1998.
21. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнёв. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство МЭИ, 2005. – 352 с.
22. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления: Учеб. Пособие для вузов - М.: Высш. шк. 2002. – 183 с.

23. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
24. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.
25. Willmott, C. and Matsuura, K.: Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance, *Clim. Res.*, 30, 79–82, 2005.
26. Кузьменко Д.Я., Регулирование и автоматизация паровых котлов: учебник для машиностроительных техникумов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1998 – 160 с.
27. Дьяконов В. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. М.: Солон-Пресс, 2004. – 384 с.
28. Казаков А. В. Надежность, диагностика элементов энергетического оборудования. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2010. – 224 с.
29. Смирнов А.Н., Герике Б.Л., Муравьев В.В. Диагностирование технических устройств опасных производственных объектов. – Новосибирск: Наука, 2003. – 244 с.
30. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cutt.ly/1nnGgqS>
31. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cutt.ly/HnnGx0u>
32. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.
33. Ключев А.С., Товарнов А.Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов / М.: Энергия, 1970. – 280 с.
34. Белоусов В.Н., Смородин С.Н., Смирнова О.С. Топливо и теория горения/СПб., 2011 – 84 с.
35. Эксплуатация и ремонт паровых и водогрейных котлов/ П.А. Баранов, М.: Энергоатомиздат, 1986.

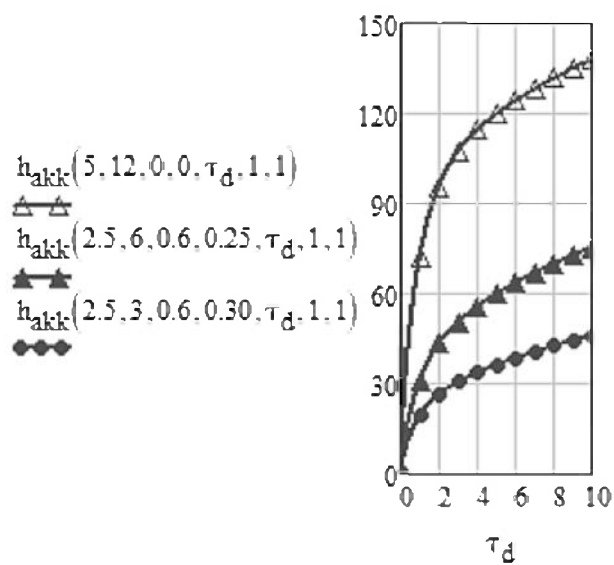
ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА



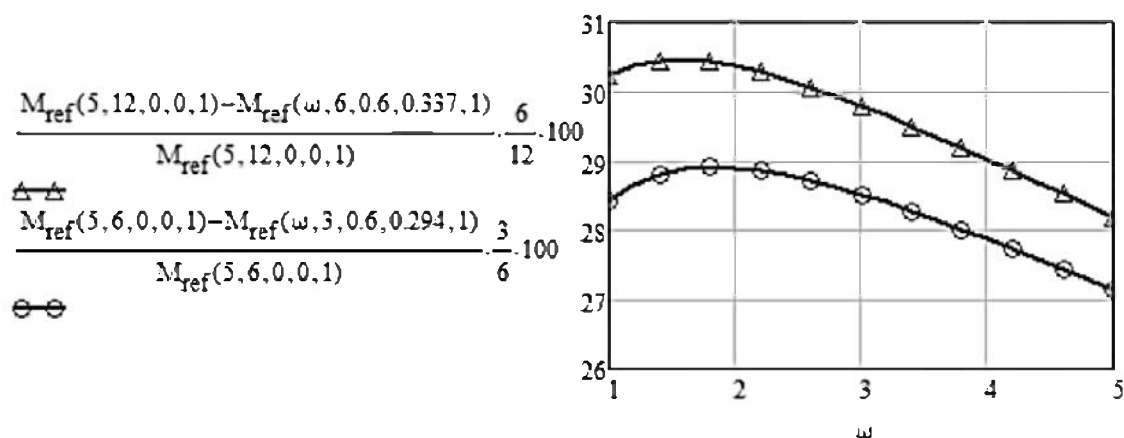
Структура алгоритму виявлення несправностей теплотехнологічного
об'єкта з впровадженням ШНМ



Зміна середнього коефіцієнта енергоефективності з урахуванням впливу коефіцієнта форми ω за різного ступеню завантаженості палива



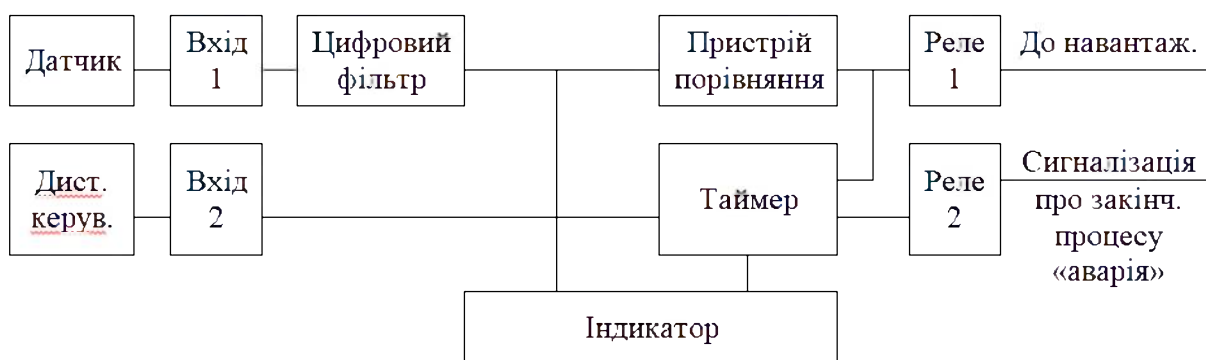
Динаміка зміни втрат теплової енергії у робочому просторі



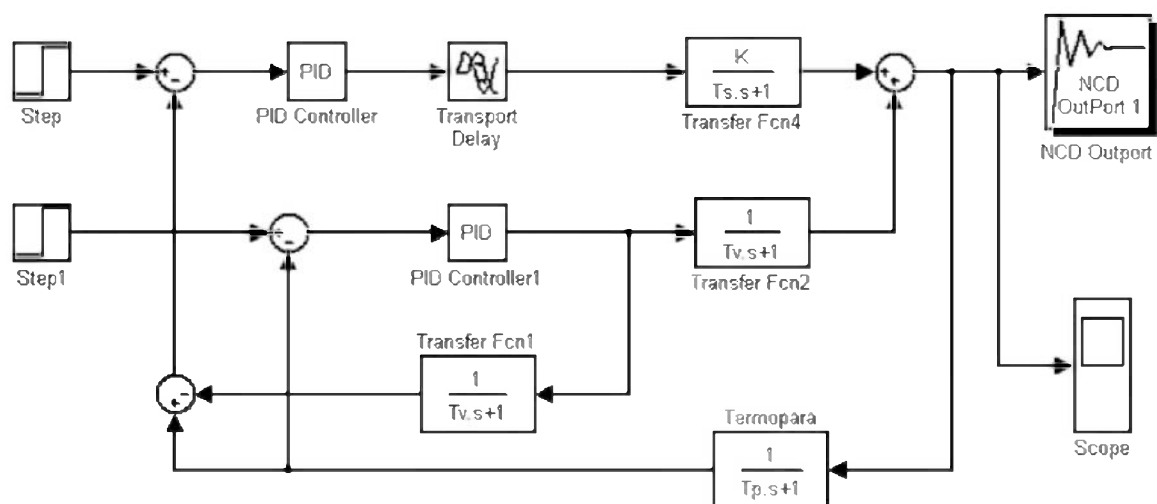
Графічна залежність відносної економії палива у залежності від масштабного фактора та ступеня завантаженості топки



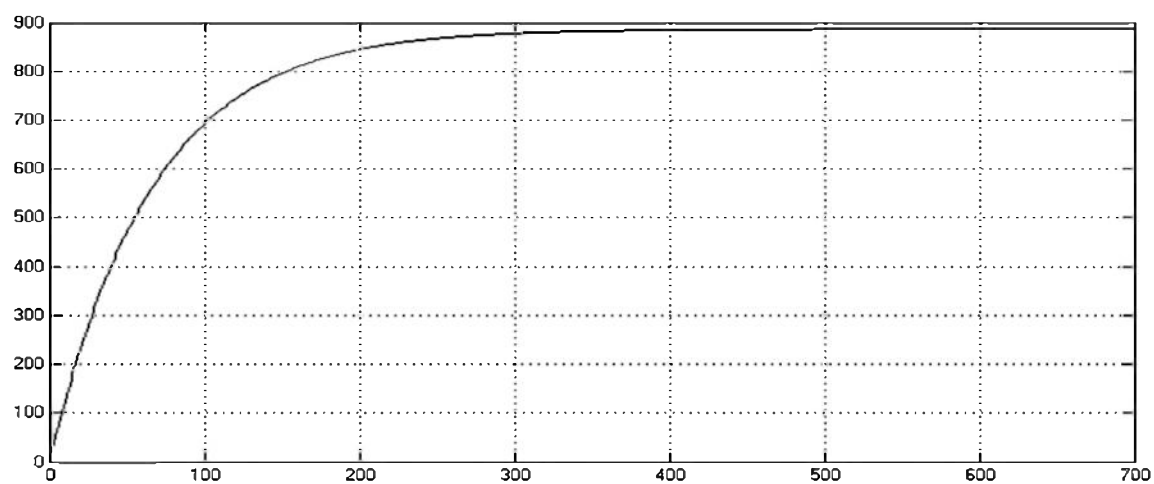
Регулюючий прилад Р25.1.1



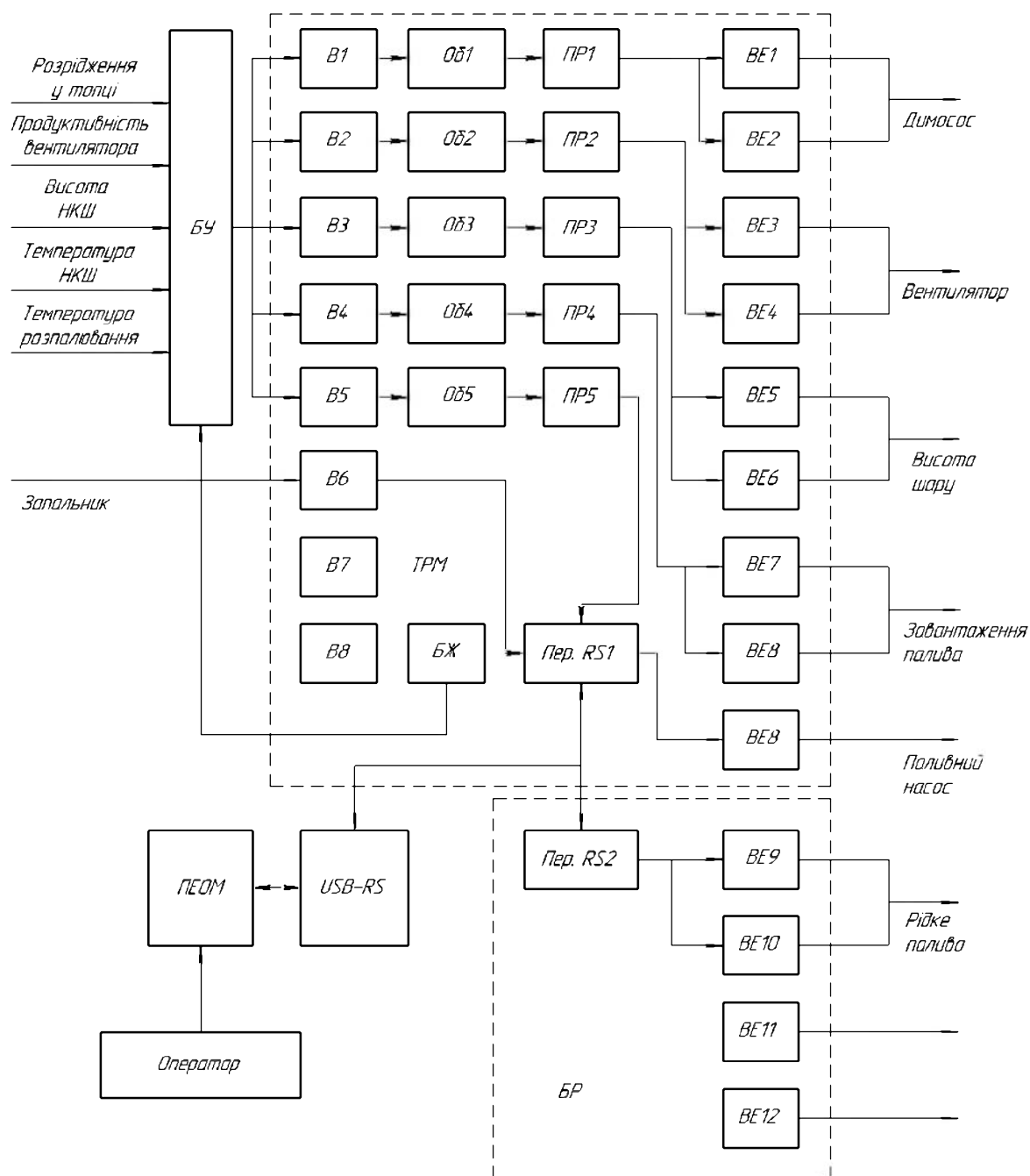
Структурна схема регулюючого приладу TPM501



Функціональна схема пристрою керування в середовищі Matlab



Результати моделювання перехідного процесу у топці котла



ТД – технологічні датчики, БУ – блок узгодження, TRM – універсальний ПІД-регулятор, Ві – вхідні елементи, Обі – обчислювачі, ПР – програмні регулятори, ВЕ – вихідні елементи, БП – блок розв’язки, Пер.RS – перехідник RS, БЖ – блок живлення

Структурна схема інтелектуальної діагностики теплоенергетичної установки

ДОДАТОК Б. ОГЛЯД ПИТАНЬ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Лише своєчасна, чітко спланована, фінансово, технологічно та організаційно забезпечена робота є запорукою сталого функціонування енергетичного господарства суб'єктів господарювання в опалювальний період.

Інспекція Держенергонагляду пропонує керівникам підприємств, установ та організацій завчасно розпочинати щорічну підготовку до осінньо-зимового періоду, шляхом розроблення та введення в дію відповідних організаційно-технічних заходів, які регламентовані Правилами підготовки теплових господарств до опалювального періоду.

В планах організаційно-технічних заходів включається основний комплекс заходів, що впливає на надійну та безаварійну роботу систем тепlopостачання та теплоспоживання, які необхідно виконати під час підготовки господарств до опалювального періоду та в обов'язковому порядку повинні включати наведені нижче заходи з конкретизацією обладнання, термінів виконання та осіб, відповідальних за їх виконання.

А саме:

- забезпечення запасу палива;
- приведення споживачами схем електропостачання до нормального режиму роботи, передбаченого проектними рішеннями;
- укомплектування аварійним запасом обладнання, запасними частинами та матеріалами, інструментом, знаряддям, засобами захисту, теплим спецодягом;
- підготовка машин та механізмів до робіт в умовах понижених температур;.
- ремонт обладнання теплових установок та мереж у необхідних обсягах згідно затверджених планів;

- перевірка справності димовідвідних та вентиляційних каналів з складанням відповідних актів про їх готовність до експлуатації;
- відновлення обмурування котлоагрегатів та щільності газоповітряних трактів;
- заміна аварійних ділянок теплових мереж;
- проведення технічного огляду будівель і споруд;
- очищення водостоків, зливних дренажів, лотків від сторонніх предметів;
- своєчасне випробування та налагодження обладнання електроустановок, устаткування теплових установок та мереж в необхідних обсягах;
- промивання устаткування та трубопроводів теплових мереж, центральних теплових пунктів систем тепlopостачання;
- розроблення експлуатаційних режимів роботи систем тепlopостачання, а також заходів з їх забезпечення;
- перевірка пристроїв релейного захисту та автоматики;
- перевірка технічного стану теплових пунктів, елеваторних вузлів, насосних агрегатів, водопідігрівачів, вузлів обліку теплової енергії, контрольно-вимірювальних пристроїв та автоматики;
- перевірка справності пристроїв технологічного захисту (спрацювання запобіжних клапанів, автоматики аварійного відключення) джерел теплової енергії з обов'язковими записами в журнал або складанням акту;
- забезпечення гідропневматичної, а у разі необхідності - хімічної промивки внутрішньобудинкових мереж;
- приведення теплоізоляції споруд, інженерних об'єктів та під'їздів житлових будинків до вимог нормативної та проектної документації, що повинно забезпечити належний тепловий опір огорожувальних конструкцій, вікон, дверей в опалювальний сезон;

- проведення чергової повірки засобів обліку теплової енергії та засобів вимірювальної техніки (манометрів, термометрів);
- проведення протиаварійних тренувань з відповідним персоналом і обов'язковою фіксацією в журналі протиаварійних тренувань;
- забезпечення робочих місць персоналу оперативною та технічною документацією;
- розроблення та введення в дію протиаварійних заходів у разі введення в дію графіків аварійних відключень та (або) обмежень споживання електричної енергії та потужності;
- складання, у разі необхідності, Актів аварійної, екологічної та технологічної броні електропостачання;
- укладення та внесення, за необхідності, змін до договорів на енергопостачання в зв'язку з введенням в дію графіків аварійних відключень та (або) обмежень споживання електричної енергії та потужності;
- створення комісії для визначення стану готовності систем теплопостачання та теплоспоживання до опалювального сезону.

За підсумками проведеної роботи на підприємстві, установі та організації створюється комісія, яка складає акт готовності енергетичного господарства до опалювального сезону. Очолювати ці комісії повинні власники (керівники) цих господарств або уповноважені ними особи (заступники), до складу комісій мають бути обов'язково включені представники інспекції Держенергонагляду, керівники і фахівці уповноваженого органу, керівний персонал та провідні фахівці теплових господарств, а для споживачів, що отримують теплову енергію за договором – представники організації, що постачає теплову енергію. Також до складу комісій можуть входити за згодою представники центральних органів виконавчої влади або уповноважених органів, яким підпорядковані споживачі.

Для координації та вдосконалення роботи, пов'язаної із забезпеченням пожежної безпеки та контролем за її проведенням в установах та організаціях повинні створюватися служби пожежної безпеки (далі - СПБ) відповідно до Типового положення про службу пожежної безпеки.

Такі служби необхідно також організовувати в об'єднаннях підприємств для виконання функцій у сфері пожежної безпеки.

Діяльність СПБ повинна регламентуватися положеннями, які розробляються та затверджуються Міністерством, об'єднаннями підприємств та узгоджуються з органами державного пожежного нагляду.

З урахуванням ступеня пожежної небезпеки підприємства наказом керівника або інструкцією має бути встановлений відповідний протипожежний режим, яким визначається:

- місце паління (якщо можливе), застосування відкритого вогню, використання побутових нагрівальних приладів;
- пожежобезпечність місць зберігання і припустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно перебувати у виробничих приміщеннях і на території;
- порядок прибирання горючого пилу та відходів, зберігання промасленого спецодягу та шмаття, очищення повітроводів вентиляційних систем від горючих відкладень;
- порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт (у тому числі зварювальних);
- правила проїзду і стоянки транспортних засобів;
- порядок відключення електрообладнання від мережі в разі пожежі;
- порядок огляду й зачинення приміщень після закінчення роботи;
- порядок проходження посадовими особами спеціального навчання та перевірки знань з питань пожежної безпеки, а також проведення з працівниками протипожежних інструктажів і занять з пожежно-технічного мінімуму та призначення відповідальних за це осіб;

- порядок організації експлуатації та обслуговування наявних технічних засобів протипожежного захисту (протипожежного водопроводу, насосних станцій, установок пожежної сигналізації, автоматичного пожежогасіння, видалення диму, вогнегасників тощо);
- порядок проведення планово–попереджувальних ремонтів і оглядів електроустановок, опалювального, вентиляційного, технологічного та іншого інженерного обладнання;
- дії працівників у разі виявлення пожежі;
- порядок збору членів добровільної пожежної дружини (далі – ДПД) та посадових осіб адміністрації в разі виникнення пожежі, а також виклику їх уночі, у вихідні та святкові дні.

Працівників підприємства слід ознайомити з цими вимогами на інструктажах, під час проходження пожежно-технічного мінімуму. Витяги з наказу (інструкції) з основними положеннями слід вивішувати на встановлених місцях.

У будинках і спорудах (крім житлових будинків), що мають два і більше поверхи, у разі одночасного перебування на поверсі більше 25 осіб мають бути розроблені і вивішені на видних місцях плани (схеми) евакуації людей у разі пожежі.

Необхідність забезпечення планами (схемами) евакуації одноповерхових будинків і споруд визначається місцевими органами державного пожежного нагляду, виходячи з пожежної небезпеки цих будинків (споруд), кількості працівників та площі приміщень.

У разі зміни планування або функціонального призначення будинків (приміщень, споруд), технології виробництва, штатного розкладу персоналу адміністрація зобов'язана забезпечити своєчасну розробку планів евакуації та інструкцій.

На підприємстві має бути встановлений порядок повідомлення про пожежу, з яким слід ознайомити всіх працівників.

У приміщеннях на видних місцях біля телефонів слід вивішувати таблички із зазначенням номера для виклику пожежної охорони.

З метою залучення працівників до проведення заходів щодо запобігання пожежам, організації їх гасіння на підприємствах з кількістю працівників 25 осіб і більше створюються ДПД або добровільні пожежні команди (далі - ДПК).

Застосування на виробництві та при будівництві речовин і матеріалів, на які відсутні показники пожежної небезпеки, забороняється.

Працівники охорони повинні мати список посадових осіб підприємства з домашньою адресою, службовим та домашнім телефонами. Вони повинні знати порядок дій у разі виявлення пожежі, правила користування первинними засобами гасіння пожежі та основні тактичні прийоми гасіння.

Керівники підприємств повинні визначити обов'язки посадових осіб (у тому числі заступників керівника) із забезпечення пожежної безпеки, призначити відповідальних за пожежну безпеку окремих будинків, споруд, приміщень, діляниць, технологічного та інженерного обладнання, а також за зберігання та експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту.

Обов'язки осіб, відповідальних за забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту, слід відображати у відповідних документах (наказах, інструкціях, положеннях тощо).

Керівник підприємства зобов'язаний вживати (у межах наданих йому повноважень) відповідних заходів реагування на факти порушень чи невиконання іншими працівниками підприємства встановленого протипожежного режиму, вимог правил пожежної безпеки та нормативно-правових актів, що діють у цій сфері.

Установи та організації або уповноважені ними органи (власники, а також орендарі) зобов'язані:

- розробляти комплексні заходи для забезпечення пожежної безпеки,

упроваджувати на підприємстві досягнення науки і техніки, позитивний досвід;

- відповідно до нормативно-правових актів з пожежної безпеки розробляти і затверджувати положення, інструкції та інші нормативні акти, що діють у межах підприємства, здійснювати постійний контроль за їх дотриманням;

- забезпечувати додержання протипожежних вимог стандартів, норм, правил, а також виконання вимог приписів і постанов органів державного пожежного нагляду;

- організовувати навчання працівників правилам пожежної безпеки та пропаганду заходів для їх забезпечення;

- у разі відсутності в нормативних актах вимог, потрібних для забезпечення пожежної безпеки, – уживати відповідних заходів, узгоджуючи їх з органами державного пожежного нагляду;

- утримувати в справному стані засоби протипожежного захисту і зв'язку, пожежну техніку, обладнання та інвентар, не допускати їх використання не за призначенням;

- створювати в разі потреби відповідно до встановленого порядку підрозділи пожежної охорони та потрібну для їх функціонування матеріально-технічну базу;

- подавати на вимогу Державної пожежної охорони відомості та документи про стан пожежної безпеки об'єктів і види продукції, які ними виробляються;

- уживати заходів з упровадження автоматичних засобів виявлення і гасіння пожеж та використання з цією метою виробничої автоматики;

- своєчасно інформувати пожежну охорону про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання, а також завчасно інформувати про закриття доріг і проїздів на своїй території;

- проводити службове розслідування випадків пожеж.

Посадові особи структурних підрозділів, відповідальні за пожежну безпеку, повинні:

- стежити за дотриманням встановленого протипожежного режиму, правил пожежної безпеки, інструкцій про заходи пожежної безпеки;
- не допускати до роботи осіб, які не пройшли спеціальне навчання або інструктаж з питань пожежної безпеки;
- відсторонювати від роботи осіб, які перебувають у нетверезому стані або в стані наркотичного сп'яніння;
- проводити періодичні огляди території, будинків, споруд виробничих і службових приміщень та робочих місць з метою постійного контролю за утриманням у належному стані шляхів евакуації, протипожежних перешкод, розривів, під'їздів та доріг, засобів гасіння пожеж (гідрантів, внутрішніх пожежних кранів, вогнегасників) та вживати термінових заходів для усунення виявлених порушень і недоліків;
- утримувати у справному стані та постійній готовності до дії установки пожежної сигналізації, пожежогасіння, системи повідомлення та засоби зв'язку;
- стежити за справністю приладів опалення, вентиляції, електроустановок, технологічного та виробничого обладнання, негайно вживаючи заходів щодо усунення виявлених несправностей, які можуть призвести до виникнення пожежі;
- знати пожежну небезпеку технологічних процесів, речовин, матеріалів, що зберігаються в приміщеннях і перебувають у роботі в технологічному та виробничому обладнанні, категорію приміщень виробничого і складського призначення щодо вибухопожежонебезпеки та пожежної небезпеки і вимоги, які встановлені для них, правила та умови безпечного зберігання, застосування та перевезення вибухонебезпечних та пожежонебезпечних речовин і матеріалів;

- стежити за своєчасним прибиранням приміщень і робочих місць, а також за відключенням (за винятком чергового освітлення) від мереж електроспоживачів після закінчення роботи;

- у разі виявлення пожежі (ознак горіння) негайно повідомити про це пожежну охорону, керівництво об'єкта і приступити до ліквідації пожежі.

Керівники цехів, дільниць, лабораторій, складів та інших структурних підрозділів повинні:

- розробляти плани евакуації людей і матеріальних цінностей у разі виникнення пожежі та вивішувати їх в установлених місцях, а також один раз на два роки організовувати їх практичне відпрацьовування;

- своєчасно вживати заходів з гарантування пожежної безпеки, установлених органами державного пожежного нагляду та пожежно-технічною комісією;

- контролювати виконання наказів і розпоряджень щодо забезпечення пожежної безпеки;

- проводити планово-попереджувальні ремонти та огляди інженерного обладнання, яке експлуатується або зберігається;

- установлювати порядок (систему) повідомлення своїх працівників (підлеглих) про пожежу, з яким слід ознайомити всіх працівників;

- на видних місцях біля телефонів вивішувати таблички з номером телефону для виклику пожежної охорони.

Працівники підприємств при прийнятті на роботу і за місцем роботи повинні проходити вступні, первинні, повторні, позапланові та цільові інструктажі з питань пожежної безпеки.

Програми для проведення вступного та первинного протипожежних інструктажів погоджуються з органами державного пожежного нагляду.

Про проведення інструктажів (крім цільового) запис робиться у спеціальних журналах реєстрації інструктажів. Запис про проведення цільового інструктажу робиться в документі, що дозволяє виконання робіт (наряд-допуск).

Особи, яких приймають на роботу з підвищеною пожежною небезпекою, попередньо до початку самостійного виконання робіт повинні пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум) за програмою, узгодженою з органом державного пожежного нагляду, а потім постійно один раз на рік – перевірку знань, зокрема:

- електрогазозварювальники;
- особи, які мають брати безпосередню участь у виробничому процесі в приміщеннях категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою А, Б і В;
- особи, які мають виконувати роботи на устаткуванні, обладнанні, апаратах, де перебувають в обігу легкозаймисті та горючі рідини, горючі гази, речовини та матеріали, здатні вибухати або горіти в результаті взаємодії з водою, киснем повітря та один з одним;
- працівники складського господарства, де зберігаються пожежонебезпечні матеріали і речовини;
- електрики, які працюють з електроустановками у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних зонах;
- інші категорії працівників, діяльність яких потребує більш глибоких знань з питань пожежної безпеки та навичок на випадок виникнення пожежі.

Посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично один раз на три роки проходять навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Вивчення заходів пожежної безпеки на підприємстві слід також передбачати в системі виробничого навчання робітників, службовців, інженерно-технічних працівників, а також з цією метою використовувати наявні на підприємстві місцеві системи радіомовлення тощо.

Забороняється допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, відповідні інструктажі і перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Згідно «Правил пожежної безпеки для енергетичних підприємств» існують такі основні причини виникнення пожеж: порушення персоналом правил пожежної безпеки при проведенні ремонтних робіт і експлуатації; утворення горючої суміші внаслідок можливої запиленості або загазованості приміщення; розлиті киплячі ізоляційні мастики і бітумні суміші, що використовуються при теплоізоляційних роботах; електричні іскри (краплі розпеченого металу), що утворюються під час електрозварювання; відкрите полум'я (палаючий сірник, сигарета); знос і пошкодження теплової ізоляції обладнання.

Для усунення причин пожеж і вибухів проводяться:

- технічні заходи – дотримання протипожежних норм при спорудженні будівель, пристроїв опалення та вентиляції;
- експлуатаційні заходи – правильна технічна експлуатація силових установок і електрообладнання, котелень, компресорних та іншого обладнання;
- організаційні і режимні заходи – навчання виробничого персоналу протипожежним правилам, проведення протипожежних тренувань, створення пожежних розрахунків, видача необхідних інструкцій і плакатів.

Територія станції повинна постійно утримуватися в чистоті, очищатися від горючих відходів. Забороняється захаращувати матеріалами та обладнанням проїзди навколо будівель і дороги. Забороняється на території котельного цеху без узгодження з пожежною охороною спорудження тимчасових горючих будівель і споруд. Спалювання сміття і відходів на території станції проводиться в спеціальній печі. У приміщеннях котлотурбінного цеху забороняється: захаращувати шляхи евакуації і сходові марші обладнанням, матеріалами; прибирати приміщення із застосуванням бензину, гасу та інших легкозаймистих і горючих рідин, забороняється зберігати в шафах просмолений спецодяг. У цехах і на робочих місцях дозволяється зберігати тільки таку кількість мастильних матеріалів, яке не перевищує змінну потребу.

Перед початком опалювального сезону котельні, теплогенераторні і калориферні установки повинні бути перевірені та відремонтовані. Зола і шлак, що вигрібають з топок, повинні бути пролиті водою і видалені в спеціально відведене для них безпечне місце.

При виявленні пожежі або ознак горіння (задимлення, запах гару, підвищення температури і т.п.): негайно повідомити про це начальника зміни або керівництво підприємства, а також в пожежну охорону (при цьому необхідно назвати адресу об'єкта, місце виникнення пожежі, а також повідомити своє прізвище) і приступити до гасіння пожежі, використовуючи засоби пожежогасіння; прийняти якомога більше заходів щодо евакуації людей, гасіння пожежі та збереження матеріальних цінностей.

Відповідно до стандарту «Пожежна техніка. Класифікація пожеж» пожежі в котельних відносяться до класу А – горіння твердих речовин, що супроводжується тлінням (горіння вугілля).

Рекомендовані сполуки і засоби для гасіння пожежі – розпорошена вода, всі види водопінних сполук, сполуки на основі галогеналкилів, порошки, газоаерозольні сполуки.

У котельному залі для гасіння пожежі передбачені пінні і водні вогнегасники (6 шт.) місткістю 10 л; порошкові вогнегасники (6 шт.) місткістю 5 л; вуглекислотні вогнегасники (6 шт.) місткістю 5 л. Біля кожного котельного агрегату є ящик з піском місткістю 0,5 м³. На складі палива (вузол пересипання чотирьох транспортерів) для гасіння пожежі передбачені пінні і водні вогнегасники (4 шт.) місткістю 10 л. Котельня має автоматичну установку водяного пожежогасіння, яка забезпечує подачу води зі зрошувачів (дренчерних) автоматичних установок водяного пожежогасіння з необхідною інтенсивністю подачі води.

ДОДАТОК В

Перелік зауважень нормоконтролера до дипломної роботи

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____