

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ **О. КОЛЛАРОВ**
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2022 р.

**Кваліфікаційна робота
бакалавра**

на тему Пошук шляхів підвищення надійності роботи теплоенергетичної
установки

Виконав студент 3 курсу, групи ТЕПЗп-19
(шифр групи)

спеціальності підготовки 144 «Теплоенергетика»
(шифр і назва спеціальності підготовки)

_____ **Максим БАРИШНИК**

(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Керівник _____ **д.т.н., проф. С. ТИМОШЕНКО**

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

_____ (підпис)

Рецензент _____

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

_____ (підпис)

Нормоконтроль:

_____ **О. ЛЮБИМЕНКО**

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

_____ (дата)

_____ (дата)

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

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

(О. КОЛЛАРОВ)
« ____ » _____ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Максиму БАРИШНИКУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Пошук шляхів підвищення надійності роботи
теплоенергетичної установки

керівник роботи Сергій ТІМОШЕНКО, док.техн.наук, професор
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Розробити заходи з підвищення
надійності роботи теплоенергетичної установки з котлом ДКВр-20-1.

Паливо – природний газ з наступними параметрами, %: $\text{CH}_4=70,2$,

$\text{C}_2\text{H}_6 = 12,3$, $\text{C}_3\text{H}_8 = 6,7$, $\text{C}_4\text{H}_{10}=3,1$, $\text{C}_5\text{H}_{12}=1,2$, $\text{N}_2=3,3$, $\text{CO}_2=1,5$, $\text{CO}=0,5$,

$\text{H}_2\text{S}=0,5$, $\text{H}_2=0,7$; нижча теплота згорання – $20,2 \text{ МДж/кг}$; нормальна

щільність газу – $0,70 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт надлишку повітря топки – $1,1$,

коефіцієнт надлишку повітря конвективної частини – $1,05$, коефіцієнт

надлишку повітря на вході в економайзер – $1,05$, коефіцієнт надлишку

повітря на виході з економайзера – $1,0$. Величина присосу повітря – $0,15$.

Температура вихідних газів: 150°C . Температура холодного повітря: 25°C .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Огляд способів і методів підвищення надійності роботи теплоенергетичних установок.

2. Визначення принципів прогнозування надійності теплоенергетичних систем.

3. Розрахунок параметрів роботи теплоенергетичної установки.

4. Моделювання процесів роботи теплоенергетичної установки.

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

Десять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 4	С. ТІМОШЕНКО, проф. каф.		
Розділ 5	О. КОЛЛАРОВ, доц. каф.		
Нормоконтроль	О. ЛЮБИМЕНКО, доц. каф.		

7. Дата видачі завдання 02 травня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	02.05.22 – 08.05.22	
2.	Розділ 2	09.05.22 – 15.05.22	
3.	Розділ 3	16.06.22 – 22.05.22	
4.	Розділ 4	23.05.22 – 04.06.22	
5.	Розділ 5	05.06.22 – 10.06.22	
6.			

Студент _____
(підпис)

Максим БАРИШНИК
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Сергій ТІМОШЕНКО
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Максим БАРИШНИК. Пошук шляхів підвищення надійності роботи теплоенергетичної установки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 144 Теплоенергетика – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2022.

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

У першому розділі здійснено наведено загальні відомості про промислові котельні як теплоенергетичні установки – здійснено огляд типів, типорозмірів та принципів компонування промислових котельних та пошук шляхів підвищення надійності котельних систем.

У другому розділі здійснено огляд способів і методів підвищення надійності роботи теплоенергетичних установок шляхом визначення технічного стану теплоенергетичного обладнання, принципів прогнозування надійності теплоенергетичних систем та інтелектуалізації процесу моніторингу параметрів.

У третьому розділі виконано розрахунок параметрів роботи теплоенергетичної установки.

У четвертому розділі здійснено моделювання роботи теплоенергетичної установки.

Ключові слова: теплоенергетична установка, промислова котельня, надійність, технічний стан, профілактичне обслуговування, моніторинг, моделювання

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРОМИСЛОВІ КОТЕЛЬНІ ЯК ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ	8
1.1 Огляд типів, типорозмірів та принципів компонування промислових котельних	8
1.2 Пошук шляхів підвищення надійності котельних систем	9
2 ОГЛЯД СПОСОБІВ І МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	13
2.1 Огляд загальних принципів визначення технічного стану теплоенергетичного обладнання	13
2.2 Принципи прогнозування надійності теплоенергетичних систем завдяки здійсненню профілактичного обслуговування	24
2.3 Інтелектуалізація процесу моніторингу параметрів роботи теплоенергетичної установки	26
3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	29
3.1 Розрахунок параметрів вихідних газів	31
3.2 Тепловий розрахунок теплогенератора	36
4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	43
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	51
ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	54
ДОДАТОК Б. ОГЛЯД ПИТАНЬ ОХОРОНИ ПРАЦІ	60
ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	72

ВСТУП

Паровий котел як теплоенергетична установка являє собою досить складне обладнання до якого пред'являють достатньо високі вимоги по надійності роботи, а вихід котельного агрегату з ладу є не припустимою подією.

Причинами виходу з ладу котла різноманітні несправності, серед яких можна виокремити механічні, електричні, гідравлічні та несправності контролюючих приладів.

Для зменшення вірогідності виникнення несправності застосовуються принципи профілактичного обслуговування. Моніторинг роботи обладнання дозволяє визначити «слабкі місця» роботи теплоенергетичної установки і направити більші зусилля на них.

Точний вибір методів аналізу надійності залежить від типорозміру котельного агрегату та бажаної точності оцінки роботи. Обраний метод повинен враховувати усі можливі фактори, які тим чи іншим чином впливають на надійність роботи системи, що досліджується за умови простоти і доступності їх здійснення. Обрання конкретного методу досліджень суттєвим чином залежить від принципів протікання робочого процесу, врахування числа змінних, комбінованого впливу окремих компонентів, інтенсивності виробництва, кількості операцій та культури технічного обслуговування.

Аналітичні методи оцінки надійності базуються на визначенні показників надійності окремих компонентів, що вимагає знання значної кількості даних. Це вимагає необхідності розробки системи тестів та експериментів на основі комп'ютерного моделювання та багаторівневого аналізу виробничого середовища. Моделювання дозволяє здійснити кількісну та якісну оцінку вірогідності виникнення несправностей та загальної надійності роботи теплоенергетичної системи.

Мета роботи – пошук шляхів підвищення надійності роботи теплоенергетичної установки.

Завдання роботи:

- здійснити огляд типів, типорозмірів та принципів компонування промислових котельних,
- пошук шляхів підвищення надійності котельних систем,
- здійснити огляд загальних принципів визначення технічного стану теплоенергетичного обладнання,
- визначити принципи прогнозування надійності теплоенергетичних систем,
- розрахувати параметри роботи теплоенергетичної установки,
- здійснити моделювання процесів роботи теплоенергетичної установки.

Об’єкт досліджень – процеси, що протікають у теплоенергетичних установках.

Предмет досліджень – взаємозв’язки між процесами та параметрами роботи теплоенергетичної установки.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРОМИСЛОВІ КОТЕЛЬНІ ЯК ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

1.1 Огляд типів, типорозмірів та принципів компонування промислових котельних

У загальному розумінні, промислові котельні являють собою технологічні споруди, у яких відбувається спалювання нормативного палива з метою нагрівання води або для виробництва пари визначених параметрів [1].

У котельних установках спалюють викопне паливо для отримання теплової енергії, рідше у них використовуються відходи та біоматеріали. Пара, що виробляється при спалюванні палива, використовується у технологічних процесах або продукування електричної енергії. Замість пари у котельних установках може вироблятися гаряча вода, що використовується для гарячого постачання у побуті та на підприємствах і для виконання технологічних застосуваннях [1].

Котли розрізняються за призначенням, розміром, параметрами робочого тіла і конструкцією.

Так, котельні агрегати, що призначено для технологічних потреб за розміром менші за ті, що використовують для енергетичних потреб. Енергетичні котли призначено для виробництва пари, який використовується для обертання парових турбін, що виробляють електричну енергію. Іноді дані агрегати працюють на постійній основі, а іноді – за потреби у додатковій виробці енергії. Котли для технологічних потреб залежать від призначення виробництва та процесів, що протікають, а його робота визначається потребою у парі, стабільності його виробки та досяжності критичних параметрів за необхідності. Енергетичні котельні агрегати переважно працюють на пиловугільній суміші, мазуті або природному газі, що подаються до топки під високим тиском та високою

температурою. Котли даних типів мають різноманітні системи згоряння, конструкція яких вид типу використаного палива [2].

Енергетичні котли зазвичай класифікують за видом спалюваного палива та конфігурацією облаштування топки. Традиційні способи спалювання призначені для спалювання вугільного пилу, нафти та газу, можуть мати кілька пальників, розташованих на одній стіні або на протилежних сторонах пальника. У циклонних топках зазвичай паливо-повітряну вугільну суміш спалюють у горизонтальних топках. Усе більшого застосування в останній час набувають топки з псевдорідким киплячим шаром, що сприяє турбулентному перемішуванню у зоні горіння подрібненого вугілля, дозволяє додавати додаткові компоненти, сорбенти для видалення забруднюючих речовин та забезпечує ефективне згоряння навіть низькосортного палива [2].

За способом теплопередачі розрізняють котельні установки [3]:

- водотрубні котли, у яких теплообмінні трубки, по яким протікає вода, контактують безпосередньо з гарячими вихідними газами,
- трубні котли, у яких вода протікає зовні труб, по яким виходять гарячі гази від згоряння палива,
- чавунні котли виготовляються з литих секцій і використовуються для виробництва пари низького тиску та гарячої води.

1.2 Пошук шляхів підвищення надійності котельних систем

Працездатність теплоенергетичної установки є результатом реалізації різних керуючих впливів та програм, алгоритм роботи яких встановлюються емпірично на основі статистичних даних та аналізі відмов. Правильний вибір програм керування досить сильно впливає на надійність та продуктивність роботи котельних агрегатів. Продуктивність

роботи будь-якого котла визначається здатністю агрегату задовольняти функціональні потреби, значенням його коефіцієнту корисної дії, здатністю ефективно перетворювати викопну енергію, параметрами надійності, здатністю до швидкого запуску, показниками ремонтпридатності та інше.

Надійність досить тісно пов'язана з режимом експлуатації, ефективністю процесів обслуговування та ремонту. І не останню роль відіграє, так званий, «людський фактор», що суттєво впливає на усі зазначені вище фактори. Очевидно, що надійність є важливим елементом у досягненні високої продуктивності теплоенергетичної системи та тривалості експлуатаційного циклу – низькі параметри надійності можуть призвести до значних витрат, як експлуатаційних так витрат на обслуговування [4].

Надійність у деякій мірі має імовірнісний характер і визначає здатність системи працювати у певних умовах протягом певного періоду часу. Імовірнісний підхід дозволяє зрозуміти з якої причини система виходить з ладу та яким чином можна запобігти повторному виникненню таких ситуацій знову. Для цього необхідно здійснити аналіз статистичних даних про попередні відмови для конкретного об'єкта, розуміння фізики процесів відмов та іншого.

Параметр працездатності теплоенергетичної установки може бути визначений шляхом поєднання надійності та ремонтпридатності котельного агрегату. Надійність визначається імовірністю того, що при дотриманні визначених умов, він буде працювати визначений період часу, а основною метою здійснення оцінки стану компонентів є необхідність керування терміном служби цих компонентів. Управління експлуатаційними витратами та витратами на технічне обслуговування визначається досягненням мінімальними витратами [4].

Знання докладної інформації про стан окремих компонентів котельного агрегату дозволяє з високим ступенем вірогідності зрозуміти механізми

відмов та аварій, їх причини та здійснити розробку заходів для ефективного управління надійністю.

Сучасне обладнання вимагає від відповідних служб експлуатації новітніх знань, навичок та інструментів для прогнозування можливих відмов. Аналіз відмов означає визначення відмов окремих компонентів систем котельного агрегату, їх види та ймовірні причини.

Відмови компонентів котельного агрегату визначаються причинно-наслідковими зв'язками, а аналіз відмов дозволяє визначити окремі елементи цього ланцюга причин і наслідків, з визначенням можливих причин відмов, і заснованих на застосуванні різних способів та методів.

Серед основних цілей аналізу відмов можна визначити [5]:

- запобігання розвитку небажаної події,
- мінімізація вірогідності повторення небажаної події,
- забезпечення надійної роботи усіх окремих компонентів системи,
- визначення причин відмови компонентів (хибність конструкції, явні або приховані дефекти, виробничі причини, помилки монтажу, вихід параметрів за межі експлуатаційних зон, недосконалість технічного обслуговування та інші).

Відмова може стати результатом безперервного ланцюжка, який у кінцевому випадку призводить до функціонального порушення роботи, несправності або аварії як окремих компонентів, так і системи в цілому. Відмова може стати результатом руйнування внаслідок прихованих фізичних, хімічних та механічних процесів під дією певних сила при певній температурі, впродовж певного часу.

Визначення першопричин виникнення відмов з практичної точки зору полягає у визначенні ланцюга причин і наслідків та їх усуненні та підвищенні загальної надійності.

Компоненти котла працюють при високих значеннях температури і тиску, що суттєвим чином впливає на термін служби цих компонентів та визначає рішення по здійсненню обслуговування – його регулярність та

спосіб виконання. Оцінку поточного стану зазначених компонентів залежить від поточного стану, ступеня накопичених ушкоджень і попереднього обслуговування [2].

Найбільш прогресивним серед заходів по управлінню життєвим циклом є усунення причин, що суттєвим чином впливають на працездатність теплоенергетичного обладнання. Для цього використовується багаторівнева структура оцінки стану окремих компонентів. На початковому рівні відбувається попередня оцінка стану з урахуванням попереднього технічного обслуговування, інтенсивності експлуатації з урахуванням впливу високих значень температур і тисків та часу роботи на максимальних режимах. На наступному рівні можна задовольнятися зовнішнім оглядом та перевірки внутрішніх властивостей матеріалів з використанням неруйнівного контролю з наступним порівнянням цих значень з проектною документацією. Потім відбувається теоретичний розрахунок остаточного терміну служби з визначенням імовірного значення працездатності [6].

Остаточний термін служби залежить від індивідуальних критеріїв роботи із забезпеченням високих вимог безпеки, мінімізації витрат на виключенню критичних наслідків відмови обладнання. При цьому також визначається час до проведення наступного моменту обслуговування та зниження параметрів невизначеності. Зазначений підхід дозволяє збалансувати витрати з урахуванням складності конструкції об'єкта та забезпечити максимальний залишковий термін служби теплоенергетичної системи.

2 ОГЛЯД СПОСОБІВ І МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

2.1 Огляд загальних принципів визначення технічного стану теплоенергетичного обладнання

Літературні джерела містять досить багато інформації з приводу технічного обслуговування та експлуатації теплоенергетичного обладнання.

Технічне обслуговування являє собою набір технічних та організаційних заходів, виконання яких направлено на збереження теплоенергетичного об'єкта в стані, при якому він ефективно виконує покладені на них функції [7].

У загальному змісті технічне обслуговування можна розділити на чотири види: коригування, передбачення, прогнозування, ініціації.

На шляху до набуття остаточної форми технічне обслуговування пройшло кілька стадій, серед яких можна виділити [8]:

- коригувальне технічне обслуговування, яке полягає у в тому, щоб відкоригувати роботу обладнання при наблизенні стану його поломки або настанні стану поломки,
- запобіжне технічне обслуговування, зміст якого полягає у здійсненні ремонтного обслуговування через фіксовані проміжки часу, які визначаються окремо для кожного виду обладнання. Здійснення такого обслуговування іноді вимагає повної зупинки технологічного обладнання та фіксовані витрати на проведення обслуговування тим самим збільшуючи термін служби обладнання,
- технічне обслуговування за фактичним технічним станом, полягає у постійному моніторингу стану параметрів роботи обладнання на основі чого складається план технічного обслуговування для уникнення виходу з ладу або відмови роботи обладнання,

– прогнозне технічне обслуговування, яке полягає у застосуванні наукового методу визначення поточного стану обладнання та характеризується збільшенням надійності його роботи, підвищеними параметрами безпеки, подовженням термінів служби з високою ефективністю витрати коштів на обслуговування.

При розгляді поточного технічного стану обладнання можна виділити чинники, які на нього впливають, серед яких можна виділити [8]:

- поточний термін експлуатації,
- схильність до відмов у залежності від терміну експлуатації,
- наявність або відсутність попередніх операцій по заміні окремих частин обладнання,
- існування або відсутність періодичного профілактичного обслуговування,
- вимоги до надійності роботи обладнання,
- економічна доцільність проведення тих чи інших профілактичних та ремонтних заходів,
- загальна кількість часу, витраченого на здійснення технічного обслуговування та ремонту,
- точність та ретельність запису операцій з обслуговування,
- ретельність здійснення інвентаризації запасних частин,
- запровадження принципів навчання обслуговуючого персоналу,
- інтеграції системи технічного обслуговування у загальну систему управління роботою підприємства,
- наявність або відсутність на підприємстві загальної культури технічного обслуговування.

З наукової точки зору необхідним є дотримання певної топології технічного обслуговування, яку можна розділити на наступні етапи [8]:

- створення методології оцінки надійності,
- складання теоретичних моделей надійності роботи систем, що досліджуються,

- пошук шляхів оптимізації технічного обслуговування,
- безпосереднє здійснення технічного обслуговування,
- контроль якості виконаних робіт з технічного обслуговування.

Прийняття оптимальних рішень при здійсненні технічного обслуговування базується на прогнозуванні надійності та оцінці ризиків виходу обладнання з ладу. У основі процесів з технічного обслуговування міститься ефективне застосування різноманітних методик, моделей та алгоритмів роботи (рис. 2.1) [9].

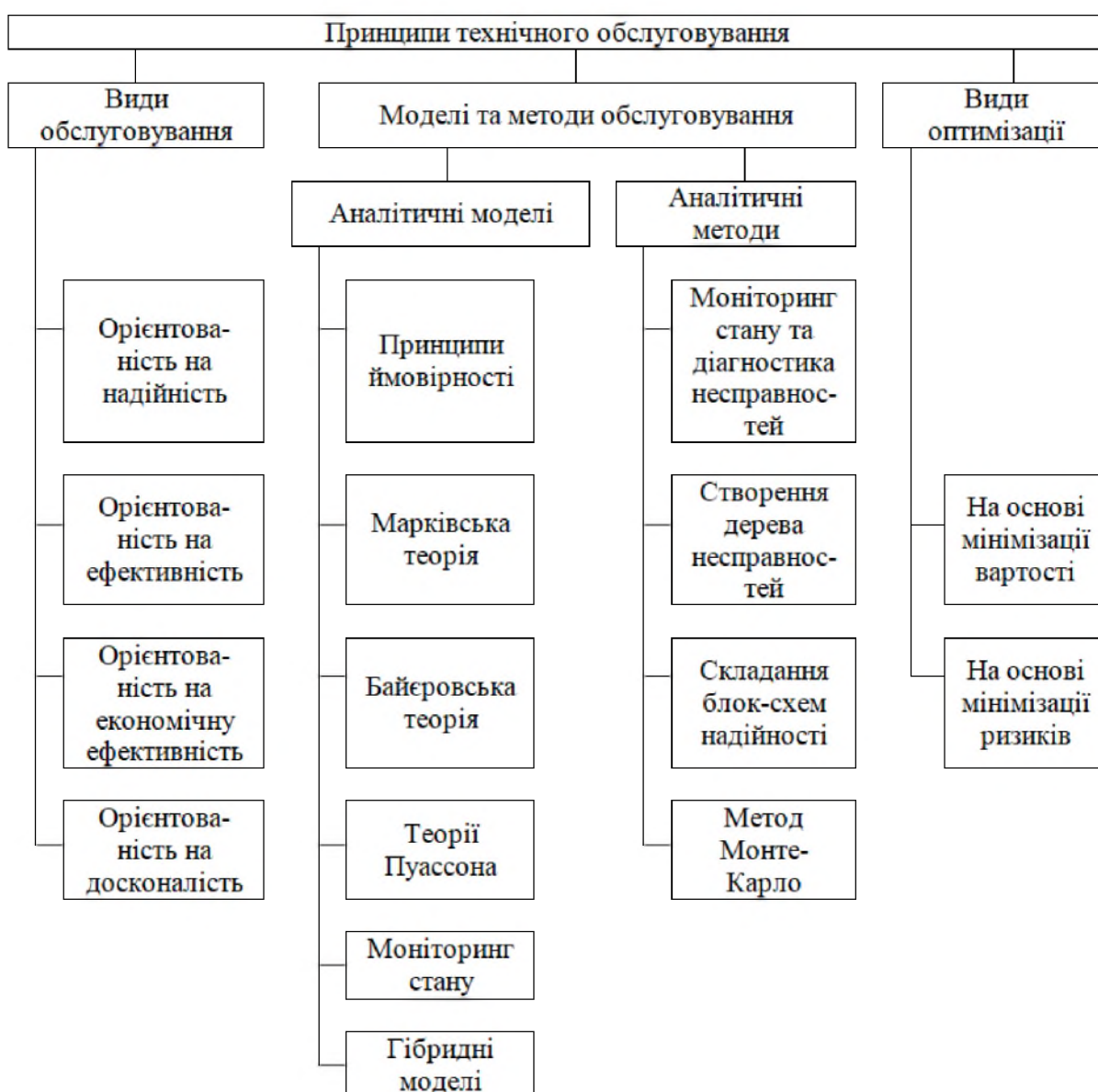


Рисунок 2.1 – Принципи технічного обслуговування

Структура технічного обслуговування являє собою послідовність процесів, як реалізують принципи технічного обслуговування для реалізації різноманітних моделей і методологій з технічного обслуговування. Технічне обслуговування визначає, класифікує та порівнює характеристики роботи обладнання у процесі здійснення цього обслуговування.

При застосуванні принципів технічного обслуговування, яке орієнтоване на надійність, визначається найбільш важливі показники функціонування та можливі режими відмов. При цьому процесі можна відзначити певні наслідки відмов: приховані, експлуатаційні, не експлуатаційні та екологічні, які впливають на принципи здійснення технічного обслуговування (рис. 2.2) [9].

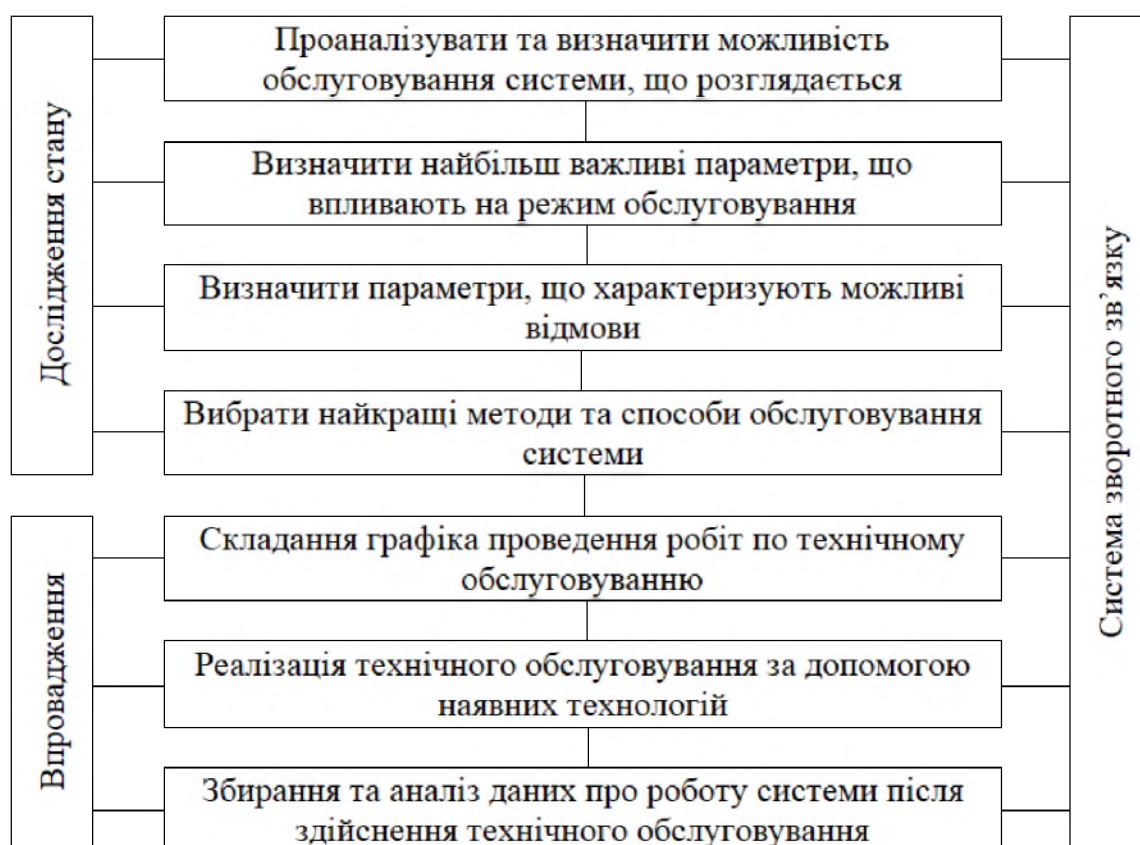


Рисунок 2.2 – Структура системи технічного обслуговування з орієнтацією на надійність

Система повноцінного технічного обслуговування полягає у досягненні максимальної ефективності роботи обладнання, забезпечення максимально-можливого терміну роботи обладнання, використанні усіх наявних можливостей з обслуговування та впровадженням принципів автономії (рис. 2.3) [10].

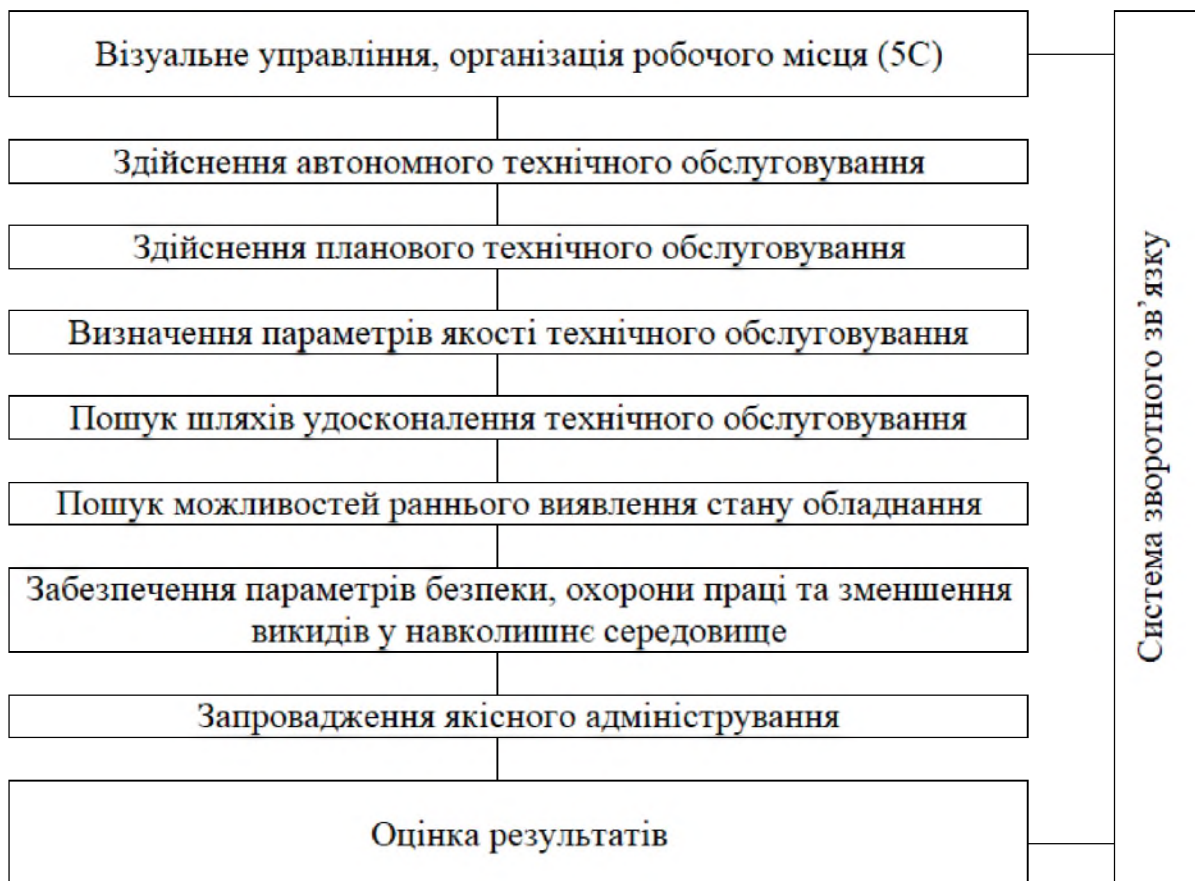


Рисунок 2.3 – Структура системи повноцінного технічного обслуговування

У методі обслуговування для досягнення максимального економічного ефекту перед визначенням параметрів та можливостями здійснення технічної сторони обслуговування, вимагає здійснення економічної оцінки здійснення та об'єму операцій з технічного обслуговування (рис. 2.4) [11].

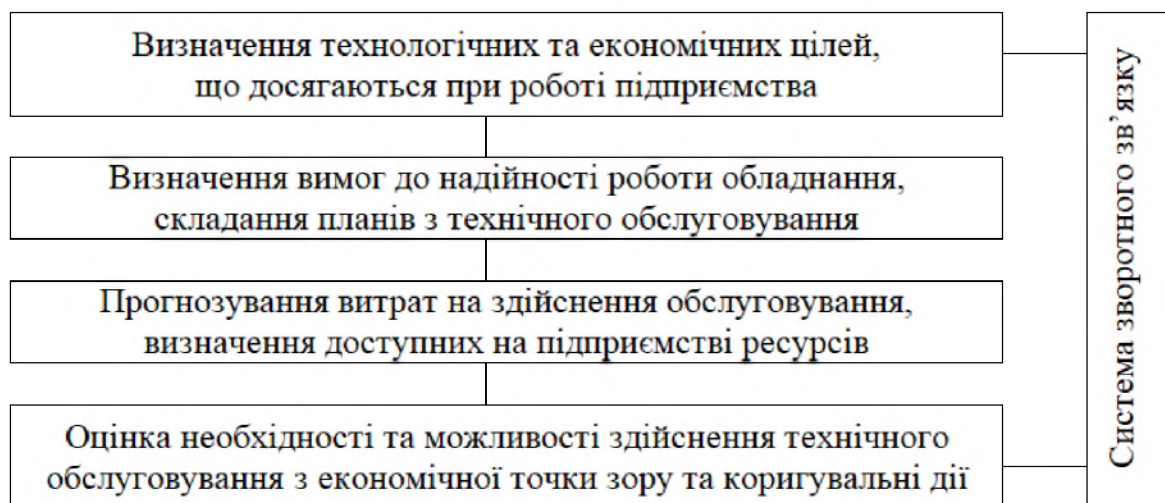


Рисунок 2.4 – Структура системи обслуговування для досягнення максимального економічного ефекту

Метод ефективного технічного обслуговування розглядає новітні ідеї та досягнення при його здійсненні. Він дозволяє використати усі позитивні сторони вищезазначених методів шляхом їх інтеграції. При цьому для вирішення проблем обслуговування для досягнення більшої його ефективності необхідно скласти комплексне уявлення про функцію технічного обслуговування.

Увесь процес управління технічним обслуговуванням можна розділити на два етапи – зовнішній, що визначає загальні принципи управління станом системи, та внутрішній цикл, що визначає безпосередній план та здійснення технічного обслуговування. Технічне обслуговування повинна враховувати експлуатаційні, процедурні, силові взаємодії для здійснення повноцінного аналізу для даного виду обладнання. Застосування принципів зворотного зв'язку може стати у даному випадку обов'язковою вимогою у структурі обслуговування [12].

Оптимізувати технічне обслуговування можна внаслідок здійснення порівняння ефективності здійснення тих чи інших заходів при проведенні даних процесів.

Коригувальне технічне обслуговування найкраще підходить для некритичних об'єктів при постійності рівня безпеки роботи обладнання. Найважливішими критеріями використання технічного обслуговування є можливість здійснення моделювання відмов та постійності моніторингу появи та розвитку ушкоджень з огляду на економічну ефективності застосування даного методу [12].

Профілактичне технічне обслуговування у найкращий спосіб підходить для недопущення прояву несправності при монотонному вигляді кривої зношення для систем, що складені за блоковим принципом. Такий вид обслуговування здійснюється за визначеними періодами (інтервалами) часу, величина яких ґрунтуються на статистичних дослідженнях або згідно вимог заводів-виробників.

У теперішній час технічне обслуговування є обов'язковим і знаходять широке застосування в промисловості та на енергоємних виробництвах та постійно ускладнюються.

За визначеними відомостями можна виділити новітні принципи обслуговування теплоенергетичного обладнання [12]:

- визначення концепції та структури технічного обслуговування,
- здійснення діагностики роботи системи,
- безпосереднє виконання робіт з обслуговування,
- синхронність дій служби постачання та енергомеханічної служби,
- складання технологічних карт обслуговування для ідентичного обладнання,
- здійснення глибокого планування принципів технічного обслуговування визначає вигляд цільової функції, період виконання, очікуваний час досягнення поставленої мети, час запізнення,
- інтеграцію технічного обслуговування у процес виробництва, що все частіше є необхідною умовою для покращення структури виробництва,
- впровадження автоматизованих систем контролю роботи та необхідності здійснення обслуговування.

- застосування комп'ютерних систем,
- інтеграція повного управління якістю за умови аналізу першопричин виникнення несправностей,
- встановлення взаємозв'язків між окремими системами виробництва.

Для зменшення витрат на здійснення технічного обслуговування та оптимізація його стратегії необхідно визначити поняття: надійність, наслідки, фактори, взаємозв'язки.

Надійність – це здатність системи виконувати закладені функції за заданих експлуатаційних умов на протязі заданого періоду часу. Надійність визначається значенням ймовірності роботи системи протягом визначеного часу і описується з одного боку функцією надійності, а з іншого – функцією розподілу (щільності) відмов. При відмові робота системи не відповідає вимогам працездатності та однозначно призводить до необхідності проведення обслуговування [13].

Методи оцінки надійності роботи теплоенергетичних систем розділяють математичні та концептуальні, кожна з яких має свої характеристики, переваги та недоліки [13].

Моніторинг стану та діагностики несправностей відіграє суттєву роль при визначенні принципів технічного обслуговування і у останні роки викликав перехід до режиму обслуговування на основі фактичного стану, що вважається найкращою стратегією для здійснення профілактичного технічного обслуговування. Дана система дозволяє приймати рішення щодо необхідності здійснення технічного обслуговування на основі поточного стану обладнання і виключає необхідність здійснення регулярного технічного обслуговування.

Моніторинг поточного стану обладнання полягає у визначенні [14]:

- параметрів вібрації частин, що обертаються,
- стану мастильних матеріалів,
- температурного режиму роботи окремих частин,
- наявності мікрошпарин – видимих та прихованих,

– відповідність значення визначених параметрів заданим.

Здійснення моніторингу стану суттєво залежить від кількості та місцезосташування датчиків контролю.

Класичним методом виявлення несправностей є будова «дерева несправностей» або «дерева подій» на основі здійсненого аналізу першопричин їх виникнення.

Дерево несправностей являє собою модель, яка за допомогою логічних міркувань і зображена графічно передбачає різноманітні комбінації можливих подій, які у кінцевому випадку призводять до головної події – виходу з ладу системи, що розглядається – та може бути використана для якісного та кількісного аналізу роботи системи технічного обслуговування. Недоліком даного методу є необхідність витрати значного часу на його складання, неможливістю визначення причинно-наслідкових зв'язків та складністю отримання даних про частоту відмов. Дерево відмов більше підходить для аналізу першопричин, а дерево подій – для кількісного аналізу стану системи [15].

Дерево подій являє собою блок-схему або діаграму, що визначає параметри надійності роботи системи. Тобто, отримуємо логічну мережу, що може бути використана для опису функцій взаємних зв'язків системи.

Обидва зазначені дерева можуть бути перетворені один в одне. При здійсненні якісного аналізу дерева можна використовувати для визначення того, чи перебуває система у робочому або в несправному стані за певних умов її експлуатації, а сам стан системи можна описати за допомогою структурної функції системи, що має двійкову структуру. При здійсненні кількісного аналізу можна здійснити точний розрахунок надійності системи у визначений момент часу. При використанні для розрахунку надійності системи дерев необхідно мати вигляд функції надійності кожного окремого компонента у системі, що розглядається, та вважатися незалежними.

Метод аналізу режимів, наслідків та критичності відмов являє собою комбінацію аналізу режиму, ефекту відмови та аналізу критичності стану та полягає у виявленні режимів відмов і їх наслідків.

Даний метод можна використати для визначення режимів, що призводять до появи збоїв, та їх вплив на роботу системи з виявленням потенційних критичних станів. Його використання відбувається за допомогою складання функціонального дерева системи, яке містить наступні елементи [14]:

- аналіз режиму відмови через вивчення складу системи та взаємних відносин компонентів за різних умов експлуатації,
- аналіз ефекту відмов через вивчення потенційних збоїв на будь-якій ділянці системи,
- аналіз критичності відмов, що здійснюється шляхом визначення серйозності кожної відмови з точки зору ймовірної загрози.

Аналіз критичного стану може бути використаний для оцінки впливу збою на функціональність роботи системи, її складові компоненти та оточення. Даний метод спирається на спеціальні знання, засновані на статистичних спостереженнях та дозволяють виявити несправності за допомогою відомих методів діагностики.

Досить корисною для виявлення несправностей може бути концепція виявлення пріоритетності технічного обслуговування з метою максимізації його ефективності. При цьому необхідно рахуватися з тим, якими є інтенсивність використання теплоенергетичної системи, якість цього використання, наявність перерв у обслуговуванні, якістю обслуговування.

Різноманіття методів та моделей здійснення технічного обслуговування знаходить широке практичне застосування, хоча досі відсутня ефективна методологія для здійснення кількісного аналізу зв'язків між несправністю та її першопричинами. Погіршити ситуацію можуть неналежне технічне обслуговування, відкладення його здійснення та порушення періодичності. Натомість, занадто часті перевірки або

надмірний моніторинг системи призводять до невиправданих витрат. Для реальних систем характерною є ситуація, коли з ладу виходять лише окремі елементи системи, що дозволяє локалізувати окремі компоненти технічних систем з урахуванням наявних взаємозв'язків. У найкращому випадку необхідно прагнути до розробки відповідних моделей, які враховують зібрану впродовж функціонування системи інформацію про збої системи у минулому, поточні дані з датчиків систем моніторингу стану та іншу доступну інформацію, що дозволить з високим ступенем точності підвищити якість прогнозування стану обладнання [14].

У найближчій перспективі найактуальнішими можуть бути наступні напрямки досліджень [15]:

- розробка нових методів та моделей, що дозволять більш широко здійснювати впровадження теоретичних розробок,
- пошук довгострокових рішень для повного життєвого циклу роботи теплоенергетичної системи,
- секціонування складних систем для швидкого пошуку та локалізації несправності,
- зменшення кількості вихідних даних для адекватної оцінки стану системи,
- підвищення точності прогнозування стану через всебічний розгляд станів функціонування системи,
- впровадження загального централізованого керування комплексом виробничих систем та наявними ресурсами і активами.

2.2 Принципи прогнозування надійності теплоенергетичних систем завдяки здійсненню профілактичного обслуговування

Профілактичне обслуговування здійснюють з метою зменшення ймовірності несподіваного виходу з ладу теплоенергетичних систем впродовж визначеного періоду часу. Зазначені роботи розробляють ще на стадії проектування та здійснюють у період експлуатації. Різні види здійснення мають різний вплив на надійність роботи систем, що розглядаються. Кінцевий результат залежить від своєчасності та правильності здійснення профілактичних робіт [16].

Більшість технологічних об'єктів вимагають постійного обслуговування, що вимагає дослідити вплив профілактичного обслуговування на надійність систем, що піддаються різноманітним впливам. При цьому необхідною умовою є прогнозування показників надійності для кількісної оцінки ефективності обраної стратегії стосовно покращення режиму роботи досліджуваної системи та пошук оптимальних рішень при здійсненні профілактичних робіт [17].

Будь-яка теплоенергетична система є складною і містить різноманітну кількість компонентів, між якими існують визначені функціональні зв'язки. Кожен з цих компонентів має відмінний від іншого життєвий цикл, що ускладнює прогнозування показників роботи системи в цілому. Здійснення профілактичного обслуговування зазвичай включає таке обслуговування для окремих компонентів систем у відповідності до режимів їх роботи та остаточного ресурсу.

Технічні системи вимагають забезпечення прогнозування надійності та ремонтпридатності за умови здійснення постійного технічного обслуговування та ремонтів. На шляху до поліпшення та можливості здійснення надійного прогнозування роботи системи з використанням профілактичного обслуговування можуть стати в нагоді спеціальні моделі.

Зазначені моделі можуть розглядати різноманітні сценарії поведінки систем для прогнозування їх надійності.

Здійснення профілактичного, запобіжного огляду та технічного обслуговування і ремонтів не здатні повністю відновити працездатність систем, а лише максимально наблизити її стан і параметри до вихідних значень. Це може пояснюватися недосконалістю здійснення профілактичних або ремонтних робіт. З іншого боку, надійність системи після профілактичних або відновлюваних робіт може відновитися але стан системи може погіршуватися швидше, тобто час до наступних обслуговуючих процедур скорочується. Необхідно пам'ятати, що деякі моделі мають обмежене застосування через значну ступінь припущень або недосконалих методів обчислень. Моделі повинні враховувати форму та параметри функції відновлювання систем у якості змінних. Параметри та фактори, що використовують для опису змін функції надійності системи після обслуговування або технічного обслуговування, повинні оцінюватися спеціалістами енергомеханічної служби, що може бути досить складною задачею [17].

Більшість технічних систем настільки складні, що їх розглядають як чотириполюсник, робота якого характеризується за значеннями вхідних та вихідних параметрів, а стан окремих компонентів даної системи не враховуються.

Більшість існуючих моделей розроблені на основі теорії ймовірностей, стохастичного або евристичного аналізу через те, що потік відмов характеризується випадковістю – очікуванням настання стану відмови протягом певного періоду часу. Дані методи можуть надати інтуїтивно зрозумілі прогнози надійності і добре підходять для інженерного використання.

При використанні концепції розділення системи розділяють на обслужені та не обслужені компоненти системи під час імітаційного моделювання для визначення параметрів надійності системи після

здійснення профілактичного обслуговування. Цей принцип дозволяє аналізувати надійність системи на рівні компонентів через можливість їх персонального технічного обслуговування.

При складанні аналізу можна здійснити наступні спрощення:

- стан обслужених елементів не залежить від стану не обслужених,
- функція надійності роботи є безперервною,
- система має кінцеву кількість компонентів,
- окремі компоненти системи є незалежними,
- час обслуговування є необмеженим.

2.3 Інтелектуалізація процесу моніторингу параметрів роботи теплоенергетичної установки

Моніторинг параметрів роботи теплоенергетичної установки може бути здійснений у автоматичному режимі завдяки використанню інтелектуальних засобів, що здатні незалежно від зовнішніх факторів здійснювати відстеження будь-яких параметрів роботи при виникненні реакції на зовнішні впливи. Інтелектуальні засоби здатні аналізувати роботу теплоенергетичного обладнання як при його нормальній роботі так і при аварійних ситуаціях, причому на ранніх стадіях її розвитку [18].

Для створення інтелектуальної системи необхідним є обов'язкове використання системи датчиків, спеціального програмного забезпечення та інтерфейсу користувача. Графічний інтерфейс складеної системи надає данні про роботу теплоенергетичної системи оператору та здійснює автоматичне регулювання у залежності з поставленим завданням на управління. Для збирання та зберігання інформації необхідно використання локального сервера з вільним доступом для оперативного обміну даними. Інтелектуальна система повинна бути забезпечена

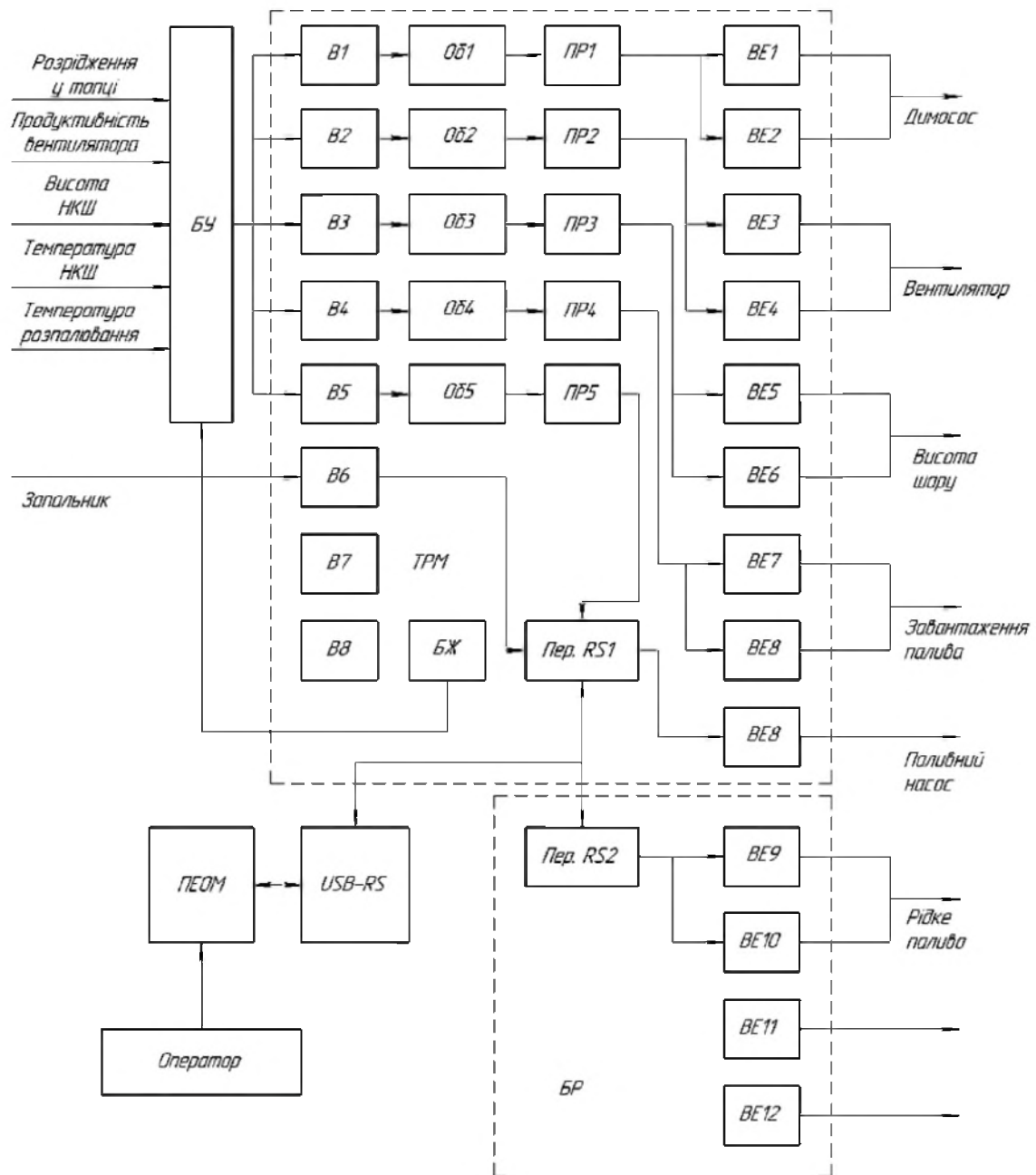
швидкодіючим зворотним зв'язком та зрозумілим інтерфейсом для надання вичерпної інформації для можливості здійснення повноцінного та адекватного аналізу роботи теплоенергетичної системи [14].

Складність та різноманітність процесів у теплоенергетичних системах вимагають здійснення постійного покращення та удосконалення існуючих систем автоматизації та контролю, недоліком яких є неможливість адекватної роботи при виході контрольованих параметрів за визначені межі. Це вимагає пошуку шляхів узгодження роботи різноманітних систем для роботи котельних агрегатів у номінальних режимах, а захист від аварійних режимів може бути реалізований шляхом порівняння встановлених і поточних значень контрольованих параметрів.

Для реалізації поставлених завдань використовуються системи інтелектуальної діагностики роботи теплоенергетичної установки, приклад схеми якої представлено на рис. 2.5.

Дана схема може реалізувати наступні задачі [18]:

- контроль параметрів роботи теплоенергетичної установки,
- фільтрація зовнішніх впливів,
- зменшення похибок та хибних спрацювань,
- здійснення аналізу робочих параметрів,
- збирання та зберігання отриманих даних.
- здійснення необхідного корегування параметра, що виходить за встановлені межі,
- графічне представлення результатів вимірювань,
- визначення аварійного стану та сигналізація про цей стан,
- подача сигналу на відключення при розвиненні аварійної ситуації.



ТД – технологічні датчики, *БУ* – блок узгодження, *TPM* – універсальний ПІД-регулятор, *В_і* – вхідні елементи, *ОД_і* – обчислювачі, *ПР* – програмні регулятори, *ВЕ* – вихідні елементи, *БР* – блок розв'язки, *Пер. RS* – перехідник RS, *БЖ* – блок живлення

Рисунок 2.5 – Схема інтелектуальної діагностики роботи теплоенергетичної установки

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Теплогенеруючі установки являють собою сукупність пристроїв для виробництва теплової енергії у вигляді гарячої води, водяного пара або підігрітого пару [19].

Отримана тепла енергія на теплових електричних станціях використовується для отримання електричної енергії, у інших випадках – для технологічних потреб, опалення та гарячого водопостачання. Близько 80% теплової енергії виробляється за рахунок спалювання органічних видів палива. Головною метою є економне та раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів у теплоенергетичній галузі. З огляду на дане твердження, впроваджується ряд енергозберігаючих заходів [20]:

- теплові системи для виробки теплової енергії переводяться з твердого на газоподібне паливо,
- здійснюється децентралізація теплопостачання районів та перехід на малопотужні котельні,
- знижуються втрати теплової енергії при її транспортуванні,
- впроваджуються установки, що споживають тепло відходів виробництв,
- широке впровадження альтернативних джерел енергії.

Паровий котел ДКВР призначено для отримання насиченої пари з наявністю природної циркуляції. Котел має П-подібне компонування і має дві вертикальні призматичні шахти, з'єднані вгорі горизонтальним газоходом.

У камері топки котла по периметру по всій висоті розташовані топкові екрани, виконані зі зварених труб. Екранна система вкрита оболонкою з теплоізоляційного матеріалу для зменшення втрат теплоти.

Топка котла має два бічних, один фронтний та один задній екрани. Топкова камера закінчується камерою догоряння для попередження затягування зворотного полум'я до конвективного пучка.

Котел має верхній та нижній барабани, розташовані у поздовжній осі котла. До верхнього барабану вводяться усі труби екранів, нижні частини яких приєднано до колекторів. Усередині кип'ятильного пучка чавунна перегородка розділяє його на газоходи. Вода надходить у бічні екрани одночасно з верхнього барабана по опускним та перепускним трубам для підвищення надійності роботи котла та збільшення кратності циркуляції [21].

У якості палива у нашому випадку використовується природний газ, основну частину якого становить метан. Газ по паливопроводу надходить до пальника, де згоряє у вигляді факела у камері топки. Повітря для процесу горіння подається від вентилятора. Питома потреба у повітрі становить з урахуванням коефіцієнта надлишку: 10 м^3 повітря на 1 м^3 газу.

Газоподібні продукти згоряння газу, нагріті до високої температури, омивають топкові екрани труб з водою і пароводяною сумішшю. Охолоджені в камері топки продукти згоряння, рухаються по газоходах котла, омивають спочатку пучок кип'ятільних труб, а потім економайзер, і охолоджені, димососом видаляються через димар [21].

Поживна вода для очищення проходить через фільтри мех- і хімічного очищення та надходить у деаератор, де відбувається видалення активних газів. Очищена і підігріта вода потрапляє у бак-акумулятор, звідки подається на живлення котла. Перед подачею по двом поживним лініям у верхній барабан поживна вода додатково підігрівается у економайзері. У верхньому барабані відбувається відокремлення (сепарація) пари від води. Насичена пара через головний запірний вентиль по паропроводу котельного агрегату прямує до головного паропроводу. Вода, що відокремилася від пари в барабані котла, змішується з поживною водою. Характеристики котла ДКВр-20-13 наведено у табл. 3.1 [21].

Таблиця 3.1 – Характеристики котла ДКВр-20-13 [21]

Параметр	Одиниці виміру	Значення параметра
Розрахункове паливо	—	газ
Номінальна паропроодуктивність, D_n	т/год.	20
Температура пари, T_{mp}	°C	260
Робочий тиск пари, P_n	МПа (кгс/см ²)	1,3 (13)
Розрахункова витрата палива, при номінальному навантаженні	м ³ /год.	1470
Загальний ККД	%	93
Температура живлячої води, $T_{жв}$	°C	100
Значення безперервної продуктивності, P_{np}	%	2,5
Температура холодного повітря, $t_{хп}$	°C	25

Відсотковий склад палива, у якості якого використовується природний газ, наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Склад палива

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	N ₂	CO ₂	CO	H ₂ S	H ₂
70,2	12,3	6,7	3,1	1,2	3,3	1,5	0,5	0,5	0,7

3.1 Розрахунок параметрів вихідних газів

Для здійснення подальших розрахунків задаємось значеннями щодо властивостей та параметрів руху повітря.

Значення нормальної щільності газу: $\rho = 0,70$ кг/м³.

Значення коефіцієнту надлишку повітря топки $\alpha_T = 1,1$.

Значення коефіцієнту надлишку повітря конвективної частини $\alpha_K = 1,05$.

Значення коефіцієнту надлишку повітря на вході в економайзер $\alpha'_E = 1,05$.

Значення коефіцієнту надлишку повітря на виході з економайзера $\alpha''_E = 1,0$.

З урахуванням значення величини присосу повітря ($\Delta\alpha = 0,15$) визначаємо коефіцієнти витрати повітря:

– у конвективній частині [22]:

$$\alpha_K = \alpha_T + \Delta\alpha = 1,1 + 0,15 = 1,25 \quad (3.1)$$

– на вході в економайзер [22]:

$$\alpha'_E = \alpha_K + \Delta\alpha = 1,25 + 0,15 = 1,4 \quad (3.2)$$

– на виході з економайзера [22]:

$$\alpha''_E = \alpha'_E + \Delta\alpha = 1,4 + 0,15 = 1,55 \quad (3.3)$$

Теоретичний об'єм повітря, необхідний для горіння, розрахуємо за формулою [22]:

$$\begin{aligned} L_0 = V_t &= \frac{1}{21} \cdot \left[0,5 \cdot H_2 + 0,5 \cdot CO + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n + 1,5 \cdot H_2 S - O_2 \right] = \\ &= \frac{1}{21} \cdot \left[0,5 \cdot 0,7 + 0,5 \cdot 0,5 + \left(1 + \frac{4}{4} \right) \cdot 70,2 + \left(2 + \frac{6}{4} \right) \cdot 12,3 + \right. \\ &\quad \left. + \left(3 + \frac{8}{4} \right) \cdot 6,7 + \left(4 + \frac{10}{4} \right) \cdot 3,1 + \left(5 + \frac{12}{4} \right) \cdot 1,2 \right] = 11,81 \text{ м}^3/\text{м}^3 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Теоретичний об'єм триатомних газів розрахуємо за формулою [22]:

$$V_{RO_2}^O = 0,01 \cdot [CO_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot C_m H_n] =$$

$$= 0,01 \cdot [1,5 + 0,5 + 0,5 + 1 \cdot 70,2 + 2 \cdot 12,3 + 3 \cdot 6,7 + 4 \cdot 3,1 + 5 \cdot 1,2] = 1,358 \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (3.5)$$

Теоретичний об'єм двоатомних газів розрахуємо за формулою [22]:

$$V_{R_2}^O = V_{N_2}^O = 0,79 \cdot V_T + 0,01 \cdot N_2 =$$

$$= 0,79 \cdot 11,81 + 0,01 \cdot 3,3 = 9,363 \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (3.6)$$

Теоретичний об'єм водяних парів розрахуємо за формулою [22]:

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot (H_2 + 0,5 \cdot \sum n \cdot C_m \cdot H_n + H_2S + 0,124 \cdot d + 1,61 \cdot L_0) =$$

$$= 0,01 \cdot [0,7 + 0,5 \cdot (1 \cdot 70,2 + 2 \cdot 12,3 + 3 \cdot 6,7 + 4 \cdot 3,5 + 5 \cdot 1,2) + 0,124 \cdot 12 +$$

$$+ 1,61 \cdot 10,21] = 0,869 \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (3.7)$$

Об'єми витоків повітря у різних агрегатах котла:

– у топці [22]:

$$\alpha_T = 1,1 - 1,05 = 0,05,$$

$$(3.8)$$

$$\Delta V = \alpha_T \cdot 12,21 = 0,05 \cdot 11,81 = 0,591 \text{ м}^3$$

– у конвективній частині [22]:

$$\alpha_K = 0,05 + 0,15 = 0,2,$$

$$(3.9)$$

$$\Delta V = \alpha_K \cdot 11,81 = 0,2 \cdot 11,81 = 2,362 \text{ м}^3.$$

– на вході в економайзер [22]:

$$\alpha_E' = 0,2 + 0,15 = 0,35,$$

(3.10)

$$\Delta V = \alpha_E' \cdot 11,81 = 0,35 \cdot 11,81 = 4,134 \text{ м}^3$$

– на виході з економайзера [22]:

$$\alpha_E'' = 0,35 + 0,15 = 0,5,$$

(3.11)

$$\Delta V = \alpha_E'' \cdot 11,81 = 0,5 \cdot 11,81 = 5,905 \text{ м}^3$$

Таблиця 3.3 – Тепловміст продуктів згоряння

Температура газів, θ , °C	Триатомні гази			Двоатомні гази			Водяна пара			Надлишкове повітря			$\Sigma(V_i \cdot C_i)$	Тепловміст продуктів згоряння
	$V_{RO_2}^0$	C_{RO_2}	$V_{RO_2}^0 \cdot C_{RO_2}$	$V_{R_2}^0$	C_{R_2}	$V_{R_2}^0 \cdot C_{R_2}$	$V_{H_2O}^0$	C_{H_2O}	$V_{H_2O}^0 \cdot C_{H_2O}$	ΔV	C_B	$\Delta V \cdot C_B$		$\Sigma(V_i \cdot C_i) \cdot \theta$
$\alpha_T = 1,10$														
2000	1,45	2504	3631	10	1521	15240	3	2015	5501	13	1637	21608	45981	91961
800	1,45	2255	3270	10	1436	14389	2	1765	4342	12	1597	19324	41324	33059
$\alpha_K = 1,25$														
1000	1,55	2424	3760	10,7	1531	16311	2,79	1895	5295	13,4	1579	21201	46568	46568
400	1,55	2123	3293	10,7	1448	15420	2,79	1718	4801	13,4	1485	19945	43459	17384
$\alpha'_E = 1,40$														
500	1,55	2188	3	10,7	1461	12855	2,79	1749	4887	13,4	1501,5	20167	37911	18956
200	1,55	1976	3	10,7	1430	12584	2,79	1674	4678	13,4	1463,0	19650	36914	7383
$\alpha''_E = 1,55$														
300	1,55	2058	2638	10,7	1438	12855	2,79	1696	4739	13,4	1477,3	19842	40074	12022
100	1,55	1884	2415	10,7	1426	12584	2,79	1656	4625	13,4	1457,5	19576	39200	3920

Розрахуємо параметри роботи котельного агрегату за різних значень коефіцієнта надлишку повітря і зводимо отримані значення до табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Параметри роботи котельного агрегату

Найменування величини	Розрахункова формула	Коефіцієнт надлишку повітря			
		$\alpha_T = 1,10$	$\alpha_K = 1,25$	$\alpha_E = 1,40$	$\alpha'_E = 1,55$
Теоретичний об'єм повітря, необхідного для горіння	$L_0 = V_t = \frac{1}{21} \left[\sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n \right]$	11,81	11,81	11,81	11,81
Величина $(\alpha - 1)$	$(\alpha - 1)$	0,10	0,25	0,40	0,55
Об'єм надлишкового повітря	$\Delta V = (\alpha - 1) \cdot V^0$	1,181	2,953	4,724	6,496
Надлишковий об'єм повітря	$0,016 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0$	0,0189	0,0472	0,0756	0,1039
Теоретичний об'єм триатомних газів	$V_{RO_2}^0 = 0,01 \cdot (CO_2 + \sum m \cdot C_m \cdot H_n)$	1,358	1,358	1,358	1,358
Теоретичний об'єм двоатомних газів	$V_{R_2}^0 = V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V_T + 0,01 \cdot N_2$	9,363	9,363	9,363	9,363
Теоретичний об'єм водяних парів	$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot (CO_2 + \sum \frac{n}{2} \cdot C_m \cdot H_n + 0,124 \cdot d + 0,016 \cdot L_0)$	0,869	0,869	0,869	0,869
Дійсний об'єм сухих газів	$V_{CT} = V_{RO_2}^0 + V_{R_2}^0 + \Delta V$	11,902	13,674	15,445	17,217
Дійсний об'єм водяних парів	$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,016 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0$	0,888	0,916	0,945	0,973
Загальний об'єм димових газів	$\sum V = V_{CT} + V_{H_2O}$	12,790	14,590	16,390	18,189
Об'ємна доля триатомних газів	$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{\sum V}$	0,1062	0,0931	0,0829	0,0747
Об'ємна доля водяних парів	$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{\sum V}$	0,0694	0,0628	0,0576	0,0535
Загальна об'ємна доля триатомних газів	$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	0,1756	0,1559	0,1405	0,1281

3.2 Тепловий розрахунок теплогенератора

Загальна площу обмежуючої поверхні топки – $F_{\text{заг.}} = 72,14 \text{ м}^2$ [21],

Значення площі променесприймаючої радіаційної поверхні нагріву – $H_n = 61,28 \text{ м}^2$ [21],

Корисне тепловиділення у топці розрахуємо за формулою [22]:

$$\begin{aligned} Q_m &= Q_H^P \cdot \frac{100-q}{100} + \alpha_T \cdot V^0 \cdot C_B \cdot t_B = \\ &= 46287 \cdot \frac{100-1,5}{100} + 1,1 \cdot 11,81 \cdot 1,358 \cdot 1,003 \cdot 25 = 46035,06 \text{ кДж/нм}^3 \end{aligned} \quad (3.12)$$

За I – T діаграмою визначаємо температуру: $T_{TT} = 1957 \text{ }^\circ\text{C}$ [23].

Рівняння теплового балансу має вигляд [22]:

$$Q_P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (3.13)$$

де Q_P – вміщуюча підведена теплота або теплота згоряння палива,

Q_1 – корисна теплота, що продукується у котлоагрегаті,

Q_2 – втрати з димовими газами,

Q_3 – втрати через неповне згоряння палива або хімічний недопал,

Q_4 – викиди тепла в навколишнє середовище через обмежуючі конструкції.

Перетворимо рівняння (3.13) наступним чином:

$$100 = \frac{Q_1}{Q_P} \cdot 100 + \frac{Q_2}{Q_P} \cdot 100 + \frac{Q_3}{Q_P} \cdot 100 + \frac{Q_4}{Q_P} \cdot 100 \quad (3.14)$$

або

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4, \quad (3.15)$$

де q_1 – термодинамічний коефіцієнт корисної дії котла [22]:

$$q_1 = \eta_{\text{брутто}} \cdot \frac{Q_1}{Q_P} \cdot 100 \quad (3.16)$$

де $\eta_{\text{брутто}}$ – коефіцієнт корисної дії котла брутто:

$$\eta_{\text{брутто}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4) \quad (3.17)$$

q_2 – втрати тепла, з продуктами згоряння на виході з котла [22]:

$$q_2 = \frac{I_{\text{вих.г.}} - I_{\text{х.п.}}}{Q_P^H} \cdot 100\% \quad (3.18)$$

де $I_{\text{вих.г.}}$ – ентропія вихідних газів, $I_{\text{вих.г.}} = 3828$ кДж/нм³ (при 150 °С) [232],

$I_{\text{х.п.}}$ – ентропія холодного повітря при розрахунковому значенні температури холодного повітря [22]:

$$\begin{aligned} I_{\text{х.п.}} &= \alpha_E'' \cdot V^0 \cdot C_B \cdot t_B = \\ &= 1,55 \cdot 11,81 \cdot 1,358 \cdot 1,003 \cdot 25 = 623,34 \text{ кДж/нм}^3 \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$q_2 = \frac{(3828 - 623,34)}{46287} \cdot 100\% = 6,923\%$$

q_3 – втрати тепла з хімічним недопалом, $q_3 = 1,6\%$.

q_4 – втрати тепла через обмежуючі поверхні, $q_4 = 1,45\%$.

$$\eta_{\text{брутто}} = 100 - (6,923 + 1,6 + 1,45) = 90,027\%$$

Витрату палива розрахуємо за формулою [22]:

$$B_p = \frac{D_n \cdot \Delta i}{Q_P^H \cdot \eta_{\text{брутто}}} \cdot 100, \quad (3.20)$$

де D_n – номінальна продуктивність котла, $D_n = 20000$ кг/год.,

Повне теплосприйняття пара у котельному агрегаті, віднесеного до 1 кг насиченої пари визначимо за формулою [22]:

$$\Delta i = (i_{\text{ПП}} - i_{\text{ЖВ}}) + \frac{P_{\text{ПП}}}{100} (i_{\text{КВ}} - i_{\text{ЖВ}}) \quad (3.21)$$

де $i_{\text{ПП}}$ – ентродія перегрітого пара для 260°C , $i_{\text{ПП}} = 3228$ кДж/кг [23],

$i_{\text{КВ}}$ – ентродія котлової води, для $P_K = 1,3$ МПа $i_{\text{КВ}} = 796$ кДж/кг [23],

$i_{\text{ЖВ}}$ – ентродія живильної води, при $t_{\text{ЖВ}} = 100^\circ\text{C}$, $i_{\text{ЖВ}} = 420,767$ кДж/кг [23].

$$\Delta i = (3228 - 420,767) + \frac{2,5}{100} \cdot (796 - 420,767) = 2816,614 \text{ кДж/кг}$$

$$B_p = \frac{20000 \cdot 2816,614}{46287 \cdot 90,027} \cdot 100 = 1351,84 \text{ нм}^3/\text{год.}$$

Таблиця 3.5 – Розрахунок температур газів у котлі

Найменування величини	Умовне позначення	Од. виміру	Розрахункова формула/джерело	Результат
1	2	3	4	5
Площа бокових огорожуючих поверхонь топки з однієї сторони	$0,5 \cdot F_{\text{он}}$	м ²	$0,5 \cdot F_{\text{он}}$	14,47
Ефективна площа випромінюючого шару топки	S	м ²	S	2,1
Об'єм топкового простору	V_{mn}	м ³	$0,5 \cdot F_{\text{он}} \cdot S$	30,39

продовження табл. 3.5

1	2	3	4	5
Загальна площа огорожуючих поверхонь	F_t	м ²	[22]	72,14
Променесприймаюча поверхня нагріву	H_{II}	м ²	[22]	61,28
Ступінь екранування топки	ψ	–	$H_{II}/F_{заг.}$	0,85
Відношення максимальних температур	X	–	h_T/h_T	0,45
Значення коефіцієнта m	m	–	[22]	0,55
Сумарна поглинаюча здатність триатомних газів	$r_n \cdot S$	МПа	$P_n \cdot S$	0,521
Температура газу на виході з топки	θ''_T	°С	1050-1250	1100
Значення коефіцієнту ослаблення променів триатомними газами	k_T	–	[22]	2016
Коефіцієнт ослаблення променів сажистими частинками	k_C	–	[22]	1,53
Коефіцієнт ослаблення променів	k	1/(м·МПа)	$k_T \cdot r_n + k_C$	1,89
Сила поглинаючого потоку	$k \cdot S$	–	$k \cdot S$	3,969
Ступінь чорноти частини факела, що світиться	a_{CB}	–	$1 - e^{-(k_T \cdot r_n + k_C) \cdot P_n \cdot S}$	0,625
Ступінь чорноти частина триатомних газів, що світиться	a_T	–	$1 - e^{-(k_T \cdot r_n) \cdot P_n \cdot S}$	0,356
Ступінь чорноти факела	a_ϕ	–	$m \cdot a_{CB} + (1 - m) \cdot a_T$	0,532
Тепловиділення у топці на 1 м ² огорожуючої поверхні	Q_T	$\frac{\kappa B m}{m^2}$	$\frac{B_p}{F_{заг.} \cdot 3600}$	520,37
Значення постійних величин А і В та коефіцієнту позиції максимальної температури в топці	M	–	$A = 0,54$ $B = 0,12$ $A - B \cdot X$	0,5025
Тепломіст газу на виході з топки	I''_ϕ	кДж/м ³	По $I-\theta$ діаграмі	32675
Теплота, що передається випромінюванням у топці	Q_{II}	кДж/м ³	$\phi \cdot (Q_T - I''_T)$	2073,52
Відношення теплової напруги до топкового об'єму	Q/V	кВт/м ³	$\frac{B_p \cdot Q_H^p}{3600 \cdot V_T}$	634,2

Таблиця 3.6 – Основні характеристики газоходу

Найменування величини	Умовне позначення	Од. виміру	Результат
1	2	3	4
Поверхня нагріву	H	м ²	162
Число рядів вздовж осі котла	z_1	шт.	65
Число рядів труб уперек	z_2	шт.	9

продовження табл. 3.6

1	2	3	4
Діаметр труб	d	мм	53
Розрахунковий крок труб, поперечний	S_1	мм	112
Розрахунковий крок труб, поздовжній	S_2	мм	92
Площа перетину для газів, що проходять	F	м ²	0,815
Ефективна товщина випромінюючого шару	s	м	0,172

Таблиця 3.7 – Тепловий розрахунок газоходу

Найменування величини	Умовне позна- чення	Од. виміру	Розрахункова формула/джерело	Результат	
				$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6
Температура димових газів	θ'_1	$^\circ\text{C}$	[22]	1150	1170
Тепловміст димових газів перед газоходом	I'_1	кДж/м ³	[22]	23500	23600
Температура димових газів на виході з газоходу	θ''_1	$^\circ\text{C}$	[22]	550	350
Тепловміст димових газів за газоходом	I''_1	кДж/м ³	[22]	11000	5630
Теплосприйняття газоходу за рівнем теплового балансу	$Q_{\text{бал.}}$	Вт	$0,278 \cdot \varphi \cdot B_p (I'_1 - I''_1)$	$3546 \cdot 10^6$	$5032 \cdot 10^6$
Середній температурний напір	$\Delta t_{\text{сер.}}$	$^\circ\text{C}$	$\frac{\theta' - \theta''}{\ln \left(\frac{\theta' - t_H}{\theta'' - t_H} \right)}$	637,7	423,2
Середня температура димових газів	$\theta_{\text{сер.}}$	$^\circ\text{C}$	$\frac{\theta' + \theta''}{2}$	850	760
Середня швидкість димових газів	$W_{\text{сер.}}$	м/с	$\frac{B_p \cdot \sum V(\theta_{\text{сер.}} + 273)}{3600 \cdot F_1 \cdot 273}$	24,21	21,34

продовження табл. 3.7

1	2	3	4	5	6
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від продуктів згоряння до поверхні нагріву	α_K	—	$\alpha_{JI} \cdot C_Z \cdot C_\Phi \cdot C_S$	118,2	115,6
Сумарна поглинаюча здатність триатомних газів	$P_n \cdot S$	м ²	$r_n \cdot S$	0,045	0,045
Значення коефіцієнта послаблення променів триатомних газів	k_Γ	—	[22]	11,33	12,14
Сумарна сила поглинання газовими потоками	$k_\Gamma \cdot P_n \cdot S$	—	$k_\Gamma \cdot P_n \cdot S$	0,5099	0,5463
Ступінь чорноти газового потоку	a	—	[22]	0,36	0,39
Значення коефіцієнта забруднення поверхні	ε	—	[22]	0,0044	0,0044
Температура зовнішньої поверхні забруднення стінки	t_{CT}	°C	$t_n + \varepsilon \cdot \frac{Q_o}{H}$	328,78	296,41
Значення коефіцієнта тепловіддачі випромінювання незапиленого потоку	α_{JI}	—	$\alpha_H \cdot a \cdot C_\Gamma$	31,54	20,14
Значення коефіцієнта омивання газоходу димовими газами	w	—	0,9 – 1,0	0,95	0,95

продовження табл. 3.7

1	2	3	4	5	6
Значення коефіцієнта тепловіддачі газоходу	$k_{газ.}$	—	$\frac{\omega \cdot \alpha_K + \alpha_{\mathcal{L}}}{1 + \varepsilon \cdot (\omega \cdot a_K + a_{\mathcal{L}})}$	92,45	83,29
Теплосприйняття газоходу	Q_T	—	$k_{\Gamma} \cdot H \cdot \Delta t_{сер.}$	$8,53 \cdot 10^6$	$5,89 \cdot 10^6$

4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Котел, як теплоенергетична установка, являє собою складне технологічне обладнання, у якому спостерігаються безліч взаємних зв'язків, та законів взаємодії, що описують нелінійну поведінку елементів системи. Це створює певні складнощі для опису процесів, що протікають у елементах котельного агрегату, а деякі процеси є зовсім недосяжними для дослідження. На допомогу можуть прийти принципи імітаційного моделювання [24].

Складність систем при моделюванні можуть бути компенсовані шляхом застосування інтелектуальних систем, що реалізуються за допомогою різноманітних методів штучного інтелекту. Дані методи дозволяють вирішити складності неявних функціональних зв'язків, динамічної поведінки взаємних відносин та іншого.

Основною вимогою до систем управління котельними агрегатами є необхідність забезпечення стабільної та безпечної їх роботи. Зміни у процесі виробки або споживання пари, зміна параметрів самої пари можуть викликати нестабільну роботу. Нестабільність параметрів може бути скоригована оператором у ручному режимі або за допомогою автоматизованої чи автоматичної системи керування. У разі різких та/або несподіваних коливань параметрів необхідно вживати адекватні заходи досить оперативно. Стабільна робота котельного агрегату вимагає жорсткого контролю змінних, що характеризують протікання процесів у ньому і для забезпечення його роботи на оптимальному (економічному) рівнів у будь-який час і при будь-яких режимах навантаження. Досягнення зазначеного можна реалізувати шляхом впровадження інтелектуальних систем керування, які здійснюють прийняття найкращих (об'єктивних) рішень на основі значної кількості попередньо отриманої або закладеної керуючої інформації [25].

Інтелектуальні системи являють собою штучні сутності, які мають певні можливості та знання, що дозволяють певним чином реагувати на зміну зовнішніх впливів та внутрішніх параметричних змін для досягнення цільової мети функціонування системи. Багатокритеріальний аналіз роботи системи дозволяє розподілити існуючу проблему керування на ряд функціональних, знання про які збираються у спільному центрі, а поведінка окремих блоків є незалежними.

Найбільшого застосування знайшли принципи створення гібридних моделей, що враховують роботу усіх підсистем котельного агрегату та розподіл енергій між цими підсистемами. Цікавими результатами роботи моделі можуть бути перехідні процеси – пуск, зупинка, підвищення або зменшення навантаження [26].

Моделі будують на загальних принципах гідромеханіки і теплотехніки з урахуванням характерних особливостей та геометричних розмірів конкретного котельного агрегату. З усіх можливих параметрів роботи агрегату для контролю його роботи можна обрати тиск, температуру та об'єм пари і кількість спожитої та виробленої теплової енергії. Модель може врахувати усі гідродинамічні явища руху води і пари у системі. Серед припущень, що дозволяють спростити модель, можна відзначити нехтування зворотним рухом вихідної води. Складені імітаційні моделі дозволяють визначити відклик системи на зміну теплоспоживання з урахуванням витрати живильної води та необхідної зміни параметрів пари. Перевагами використання моделей є доступність і простота їх використання та зрозумілість інтерфейсу, підходить для досліджень перехідних процесів і здійснення оперативного контролю параметрів. Результати моделювання можуть бути порівняні з експериментальними даними роботи реальних теплових агрегатів [27].

У основі розробки моделей міститься алгоритм руху і перетворення робочої рідини по окремим елементам котельного агрегату. У модель може

бути вбудовано PI-регулятор із замкненим контуром по параметрам живильної води або тиску.

У основі будови моделей покладено загальні принципи термодинаміки, фізичні закони зберігання енергії та маси, зміна властивостей рідини внаслідок зміни агрегатного стану та інші. Зміну усіх досліджуваних параметрів можна дослідити за допомогою графічних будов, які дозволяють побачити загальну тенденцію, здійснити кореляцію, побудувати лінії тренду, визначити нестабільність роботи в окремих областях, визначити зони стабільної роботи та інше [28].

Подальша модель буде створена у середовищі Matlab, яке дозволяє здійснити симуляцію окремих параметрів роботи у відповідності до різноманітних сценаріїв роботи. Моделювання складної динамічної системи дає можливість здійснити пошук оптимальних параметрів та побачити поведінку системи при будь-якому розвитку подій у системі. Імітаційне моделювання дозволяє забезпечити безперервність досліджуваного процесу та отримати інформацію в динаміці цього процесу у будь-який момент часу. Метод моделювання використовує чіткий логічний, структурний, математичний та фізичний зв'язок між структурними елементами теплоенергетичної системи [29].

Моделювання котельного агрегату дозволяє здійснити перевірку його реакції на різноманітні зміни, дослідити режими холодного та гарячого пуску котла, провести пошук найкращих параметрів налаштування. У якості вхідних і вихідних параметрів можуть бути використані фактичні дані роботи теплоенергетичної установки [30].

Для спрощення моделі були прийняті деякі припущення, а саме – не враховувалися геометричні параметри котельного агрегату але була збережена його конфігурація, що відповідає фактичному стану взаємодії у тепловій установці. У моделі були повністю узгоджені теплові і матеріальні баланси при номінальному навантаженні за допомогою відповідного налаштування певних параметрів та застосування відповідних стандартних

блоків. Вихідні змінні – продукування тепла, тиск пари, витрата та температура живильної води та інші залежать від часу моделювання [30].

На рис. 4.1 наведено модель контролю роботи парового котла з використанням зворотного зв'язку по значенню тиску у барабані [29, 31].

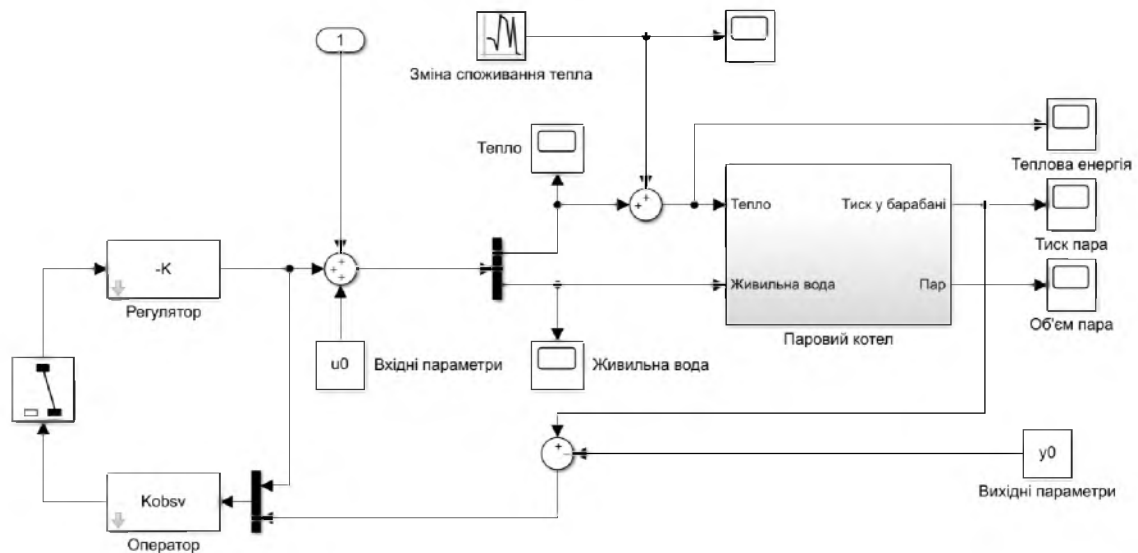


Рисунок 4.1 – Модель контролю роботи парового котла

На рис. 4.2 наведено склад підсистеми «Паровий котел», яка реалізує наявні функціональні зв'язки у котлі при виробці пари.

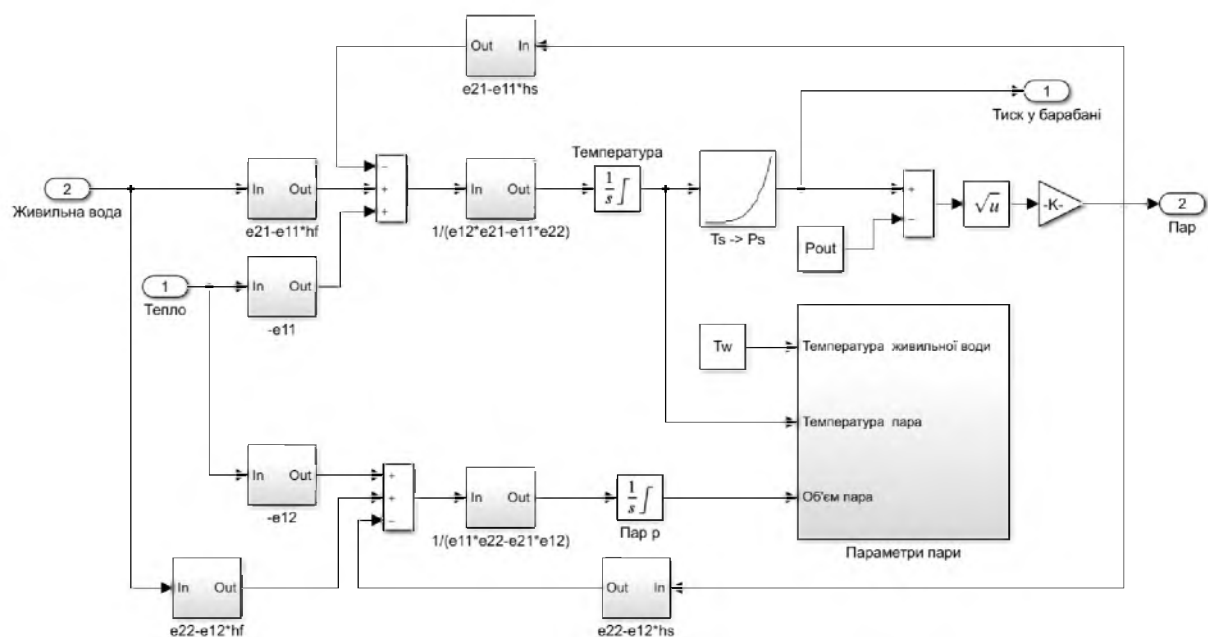


Рисунок 4.2 – Склад підсистеми «Паровий котел»

На рис. 4.3 наведено склад підсистеми «Параметри пара», яка реалізує характеристики обраного котельного агрегату із завданням змінних параметрів.

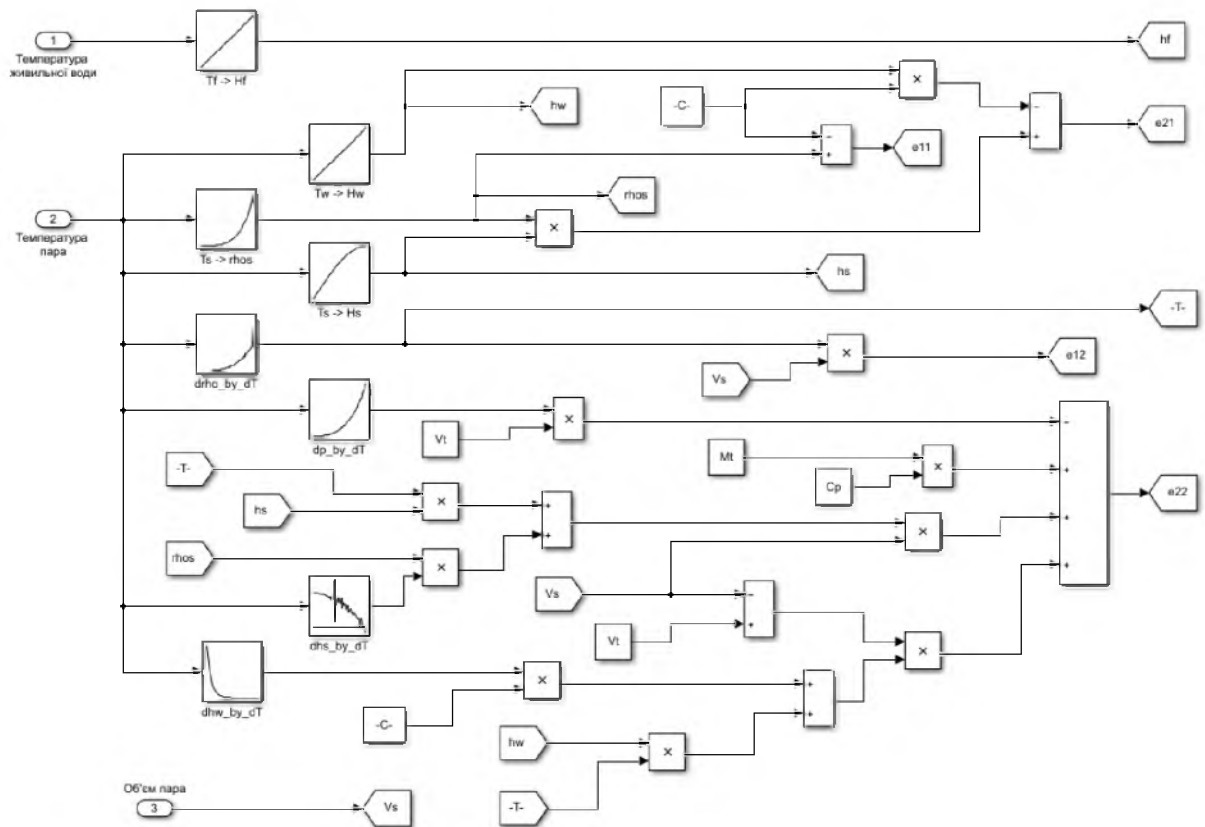


Рисунок 4.3 – Склад підсистеми «Параметри пара»

За результатами моделювання було отримано графіки, що характеризують зміну різноманітних параметрів.

На рис. 4.4 наведено завдання зміни споживання теплової енергії від котельного агрегату споживачем.

На рис. 4.5 наведено зміну виробки теплової енергії котельним агрегатом, як відповідь на зміну її споживання.

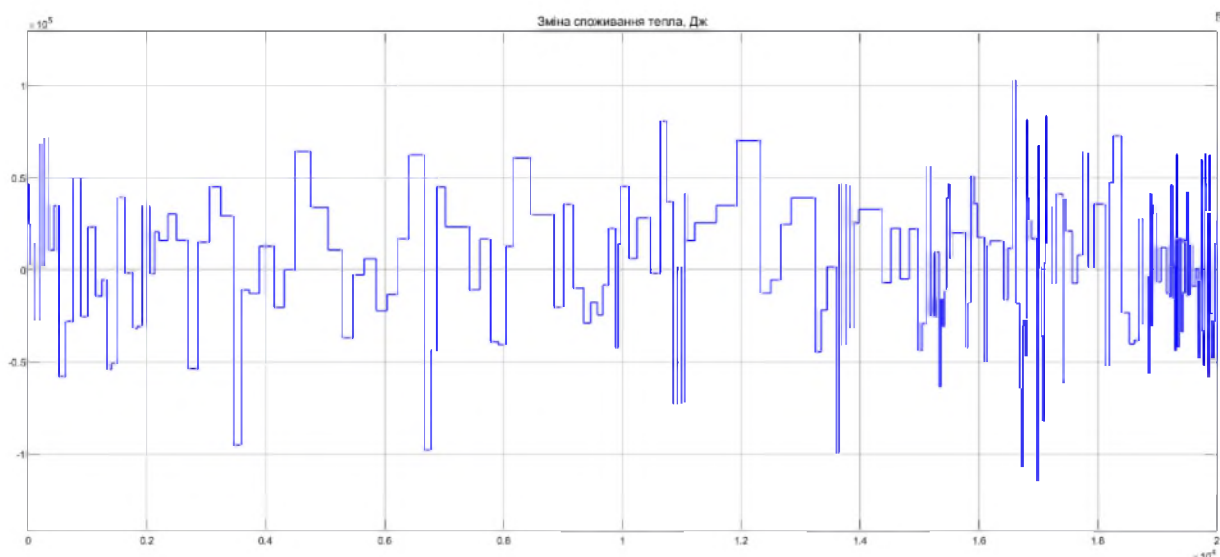


Рисунок 4.4 – Зміна споживання теплової енергії споживачем

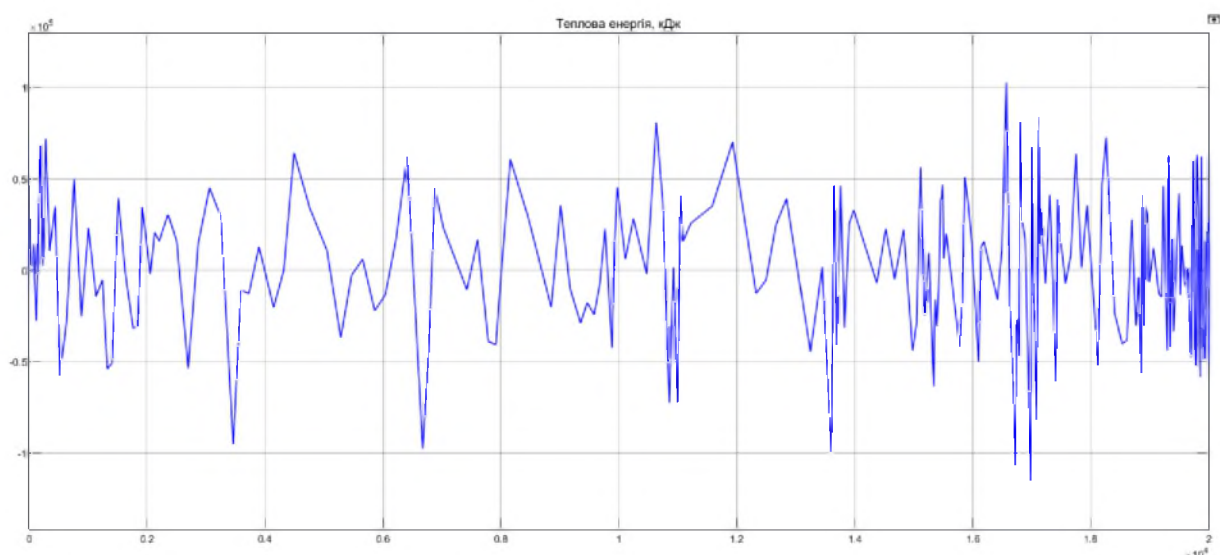


Рисунок 4.5 – Зміна виробки теплової енергії котельним агрегатом

На рис. 4.6 представлено графік зміни тиску пари при холодному пуску котла – можемо спостерігати вихід котельного агрегату на стабільний режим роботи впродовж припустимого періоду.

На рис. 4.7 представлено графік зміни об'єму пари при холодному пуску котла та при зміні виробки теплової енергії у відповідь на зміну її споживання.

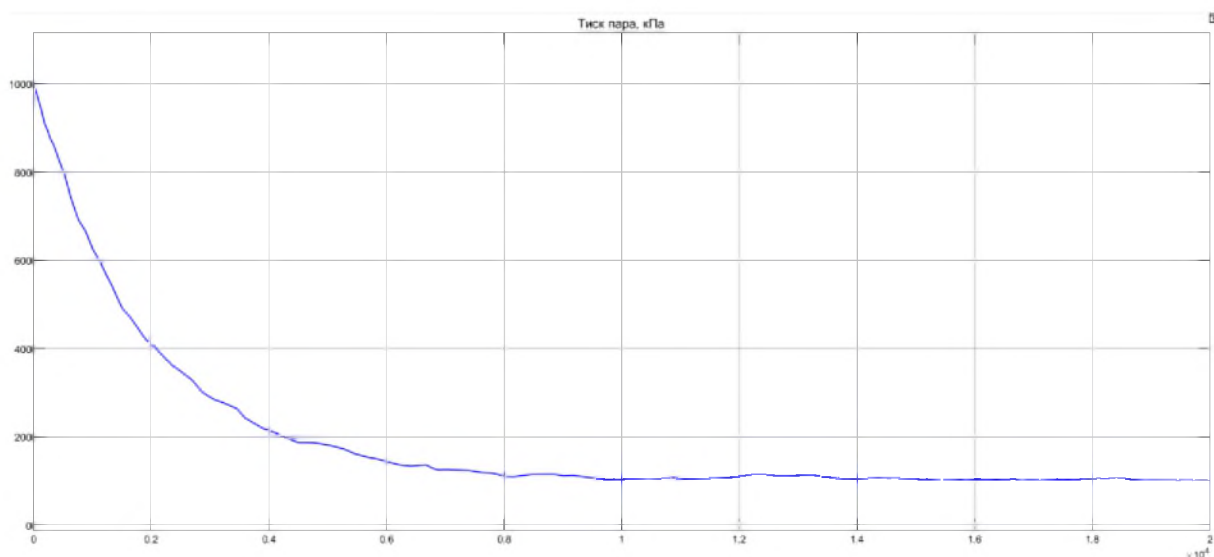


Рисунок 4.6 – Графік зміни тиску пари при холодному пуску котла

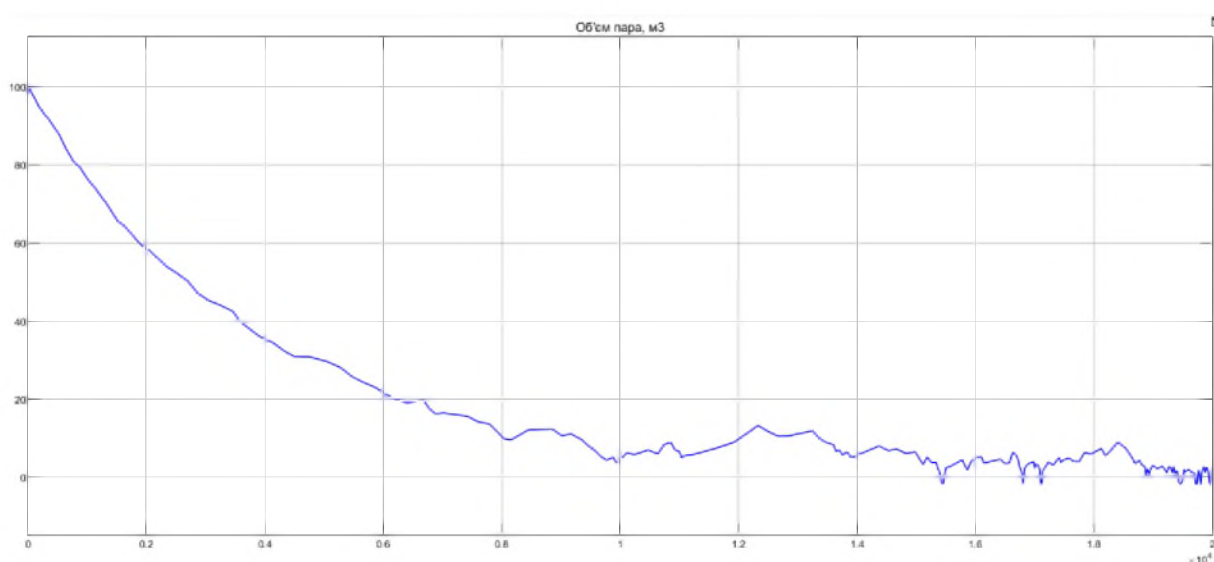


Рисунок 4.7 – Графік зміни об'єму пари при холодному пуску котла

Не дивлячись на зміну споживання теплової енергії, холодний пуск котла забезпечує будь-яку його зміну. При виході котельного агрегату на номінальний режим виробка теплової енергії і зміна параметрів пара слідує за зміною величини споживання.

ВИСНОВКИ

У роботі було здійснено аналіз роботи теплоенергетичної установки з точки зору підвищення її надійності. У роботі були розроблені принципи та структура інтелектуальної схеми керування роботою теплоенергетичною установкою.

Була здійснена розробка моделі котла, яка може функціонувати в широких режимах роботи, які добре співпадають з реальними режимами роботи теплоенергетичної установки.

Для створення моделі котельного агрегату було використано гібридний підхід, який поєднує різноманітні принципи моделювання. У якості програмного засобу було обрано середовище Matlab, яке може реалізувати конкретні параметри роботи котельного агрегату, який працює для задоволення потреб у тепловій енергії.

Створена модель може бути модифікована у залежності від потреб у тепловій енергії та при зміні теплопродукуючої установки для досягнення мети мінімізації витрати органічного палива і максимізації його використання при використанні даного виду обладнання для забезпечення усіх можливих режимів його роботи. Алгоритм управління роботою теплоенергетичної установки здатен забезпечити необхідну якість досягнення поставленої мети.

Спроектowana модель дозволить визначати небажані режими роботи теплоенергетичної установки, запобігти виникненню несправностей та аварійних режимів роботи, що можуть виникнути при роботі теплоенергетичного обладнання. Усе це дозволяє підвищити надійність роботи теплоенергетичних установок.

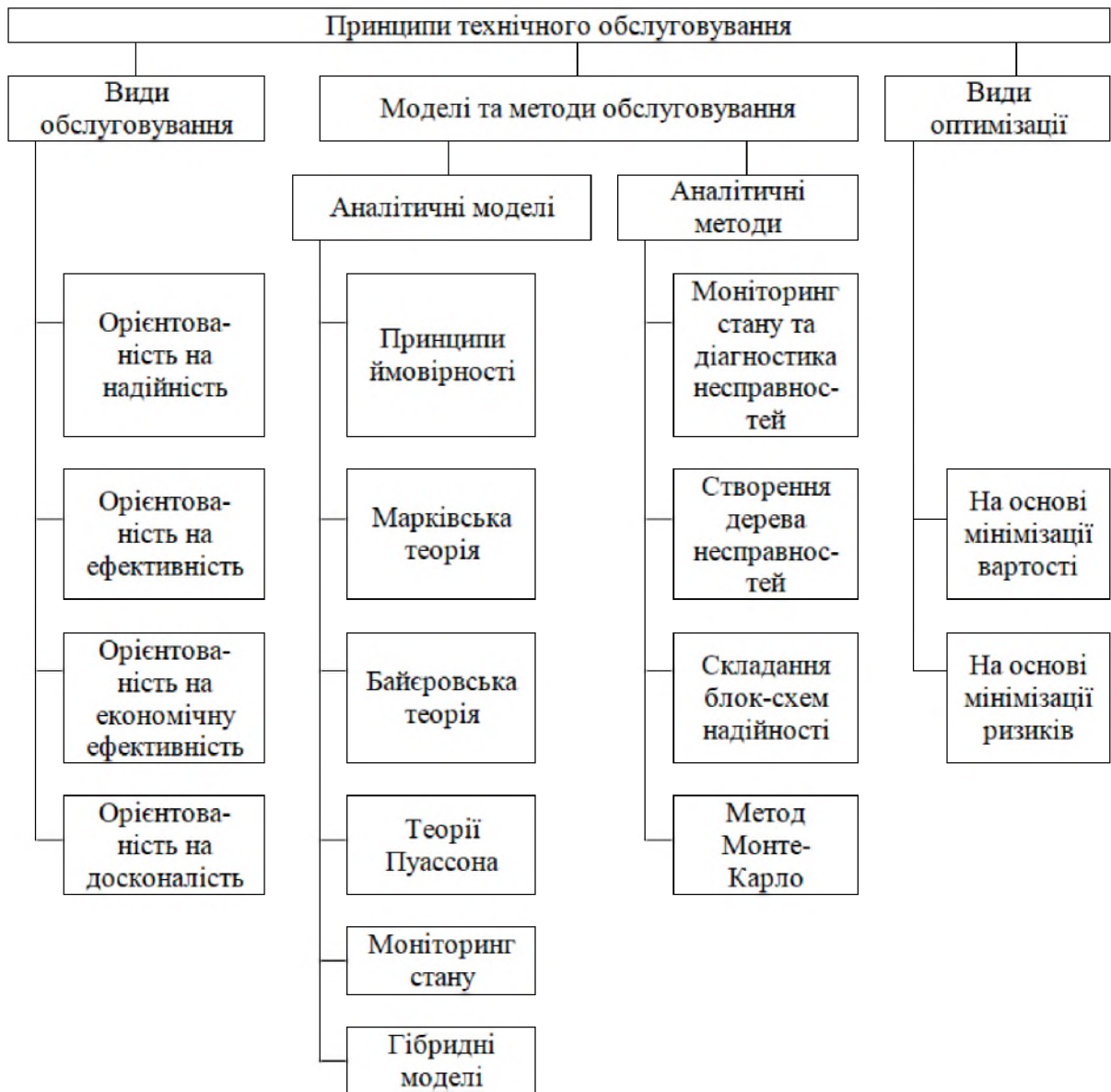
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паровые и водогрейные котлы: Справочное пособие/ Ю.Ф. Самойлов, СПб.: Деан, 2000. – 192 с.
2. Паровые и водогрейные котлы для промышленной и коммунальной энергетики: Отраслевой каталог. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1996. – 44 с.
3. Сидельковский Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов/ Л. Н. Сидельковский – 3 изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 528 стр.
4. Казаков А. В. Надежность, диагностика элементов энергетического оборудования. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2010. – 224 с.
5. Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы. / Ковалев В. В. Сеннова Е. В., Чельцов М. Б. и др. / Под ред. Воропая Н.И. – Новосибирск, Наука, СП РАН, 1999. – 434 с.
6. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС: Учеб, пособие для теплоэнергетических и энергомашиностроительных вузов / Г. П. Гладышев, Р.З. Аминов, В.З.Гуревич и др.; Под ред. А. И. Андрющенко. – М.: Высш.шк. 1991. – 303 с.
7. Правила технічної експлуатації теплових установок і мереж / Затв. наказом № 71 Мінпаливенерго України від 5.03.2007 р.; введ. 05.09.2007 р.
8. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования: справочник/А.И.Ящура – М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2006. – 504с.
9. Blischke W.R., Murthy, D.N.P. Case studies in reliability and maintenance. New Jersey: Wiley, Hoboken, 2003. pp. 351-445.

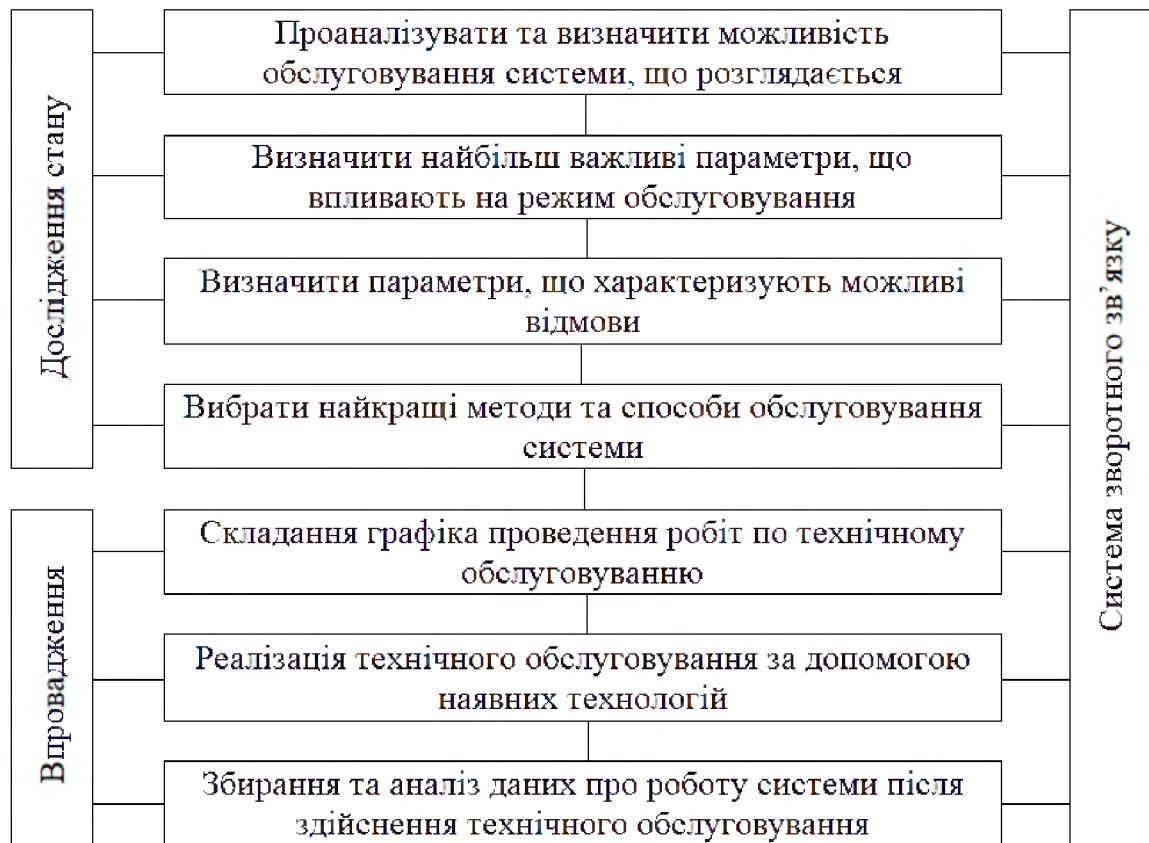
10. Castanier B., Grail A. Berenguer C. A conditionbased maintenance policywith non-periodic inspections for a boiler system. Reliab.Engg. Syst. Safety, 87(1), 2005. p.p. 109-120.
11. Markeset T., Kumar U. R&M and risk-analysis tools in product design, to reduce life cycle cost and improve product attractiveness: proceedings of annual reliability and maintainability symposium. New York, NY: IEEE, 2001. p.p. 116 – 121.
12. Kiureghian A.D., Ditlevson O.D. Song, J. Availability, reliability & downtime of system with repairable components. Reliability Engineering and System Safety, 92, 2007. p.p. 231-242.
13. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. М.: Высшая школа, 1984. – 256 с.
14. Смирнов А.Н., Герике Б.Л., Муравьев В.В. Диагностирование технических устройств опасных производственных объектов. – Новосибирск: Наука, 2003. – 244 с.
15. 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.
16. Противоаварийные тренировки в производственно-отопительных котельных/ Р.И. Эстеркин, Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 245 с.
17. Деев Л.В., Балахничев Н.А. Котельные установки и их обслуживание М.: Высш. шк. 1990. – 239 с.
18. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія / за ред. В.П. Бабака. – К.: Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015. – 512 с.
19. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов/Под ред. В.Я. Гиршфельда. – М: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.
20. Боженко М.Ф. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: Навч. посіб. / М.Ф.Боженко, В.П.Сало. – Київ: ІВЦ Вид-во «Політехніка», 2004. – 192 с.

21. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://energetik.ua/catalog/parovi_kotly/dkvr-1-3/
22. Эстеркин Р.И. Котельные установки: курсовое и дипломное проектирование. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 279с.
23. Александров А. А., Орлов К. А., Очков В. Ф. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики: Интернет-справочник. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 224 с.
24. Александров В.П. Паровые котлы малой и средней мощности / В.П. Александров – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1972. – 200 с.
25. Кузьменко Д.Я., Регулирование и автоматизация паровых котлов: учебник для машиностроительных техникумов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1998 – 160 с.
26. 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.
27. Технологические исследования котлов и топочных процессов: Учебное пособие ч. 1/ Ю.А. Рундыгин, СПб.: 1995.
28. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 288с.
29. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.
30. Astrum, K.J., Eklund, K, «J Simple Non-linear Drum Boiler Model» International Journal of Control, Vol. 22, 1975, pp. 739-740.
31. Дьяконов В. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. М.: Солон-Пресс, 2004. – 384 с.
32. Эксплуатация и ремонт паровых и водогрейных котлов/ П.А. Баранов, М.: Энергоатомиздат, 1986.
33. Правила безопасной эксплуатации энергоустановок. – Киев, 1998. – 142 с.

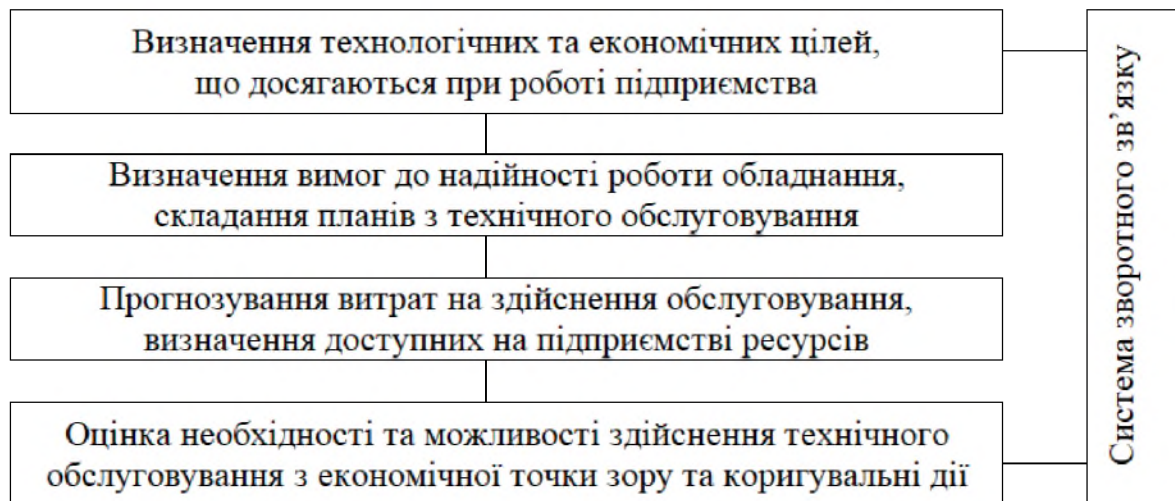
ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА



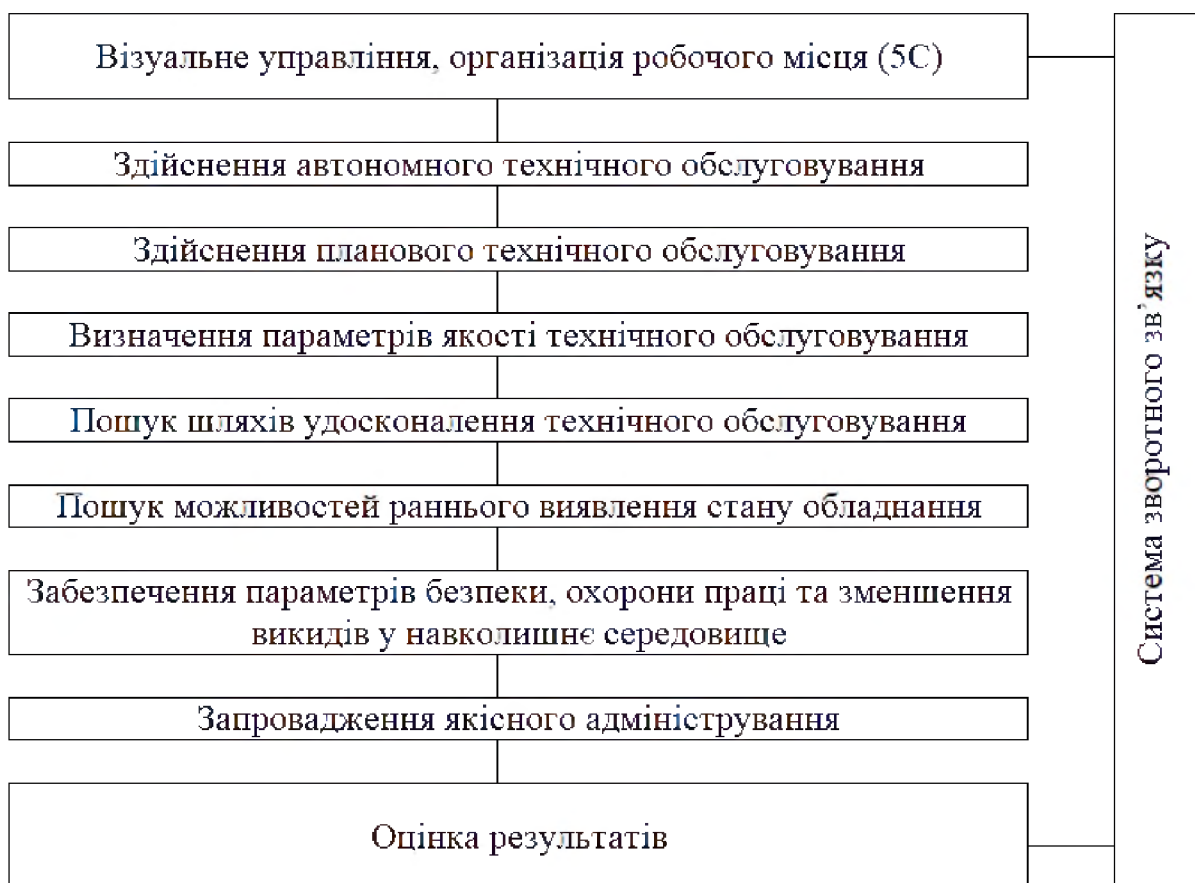
Принципи технічного обслуговування



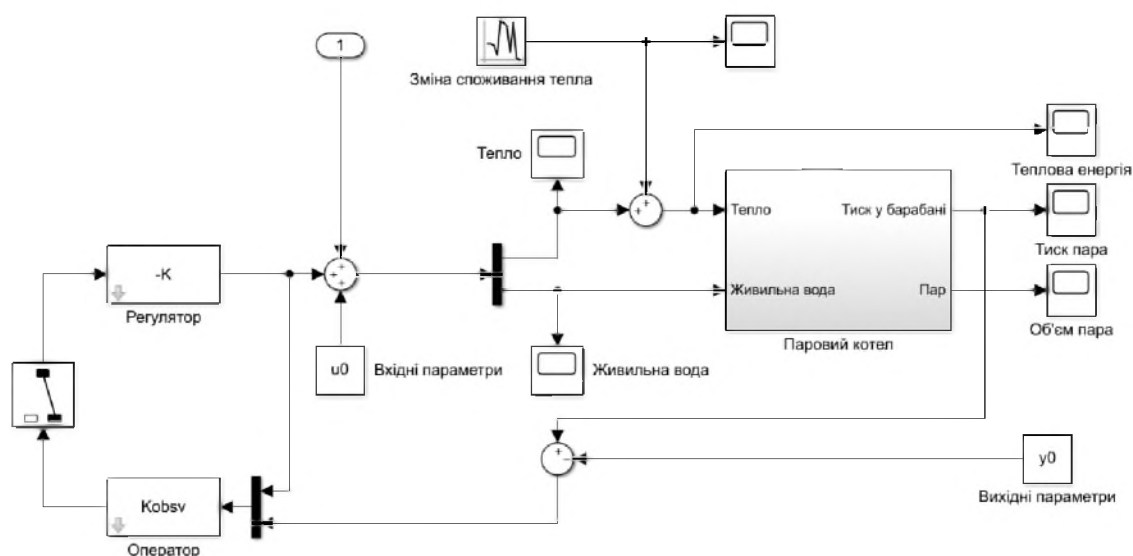
Структура системи технічного обслуговування з орієнтацією на надійність



Структура системи обслуговування для досягнення максимального економічного ефекту

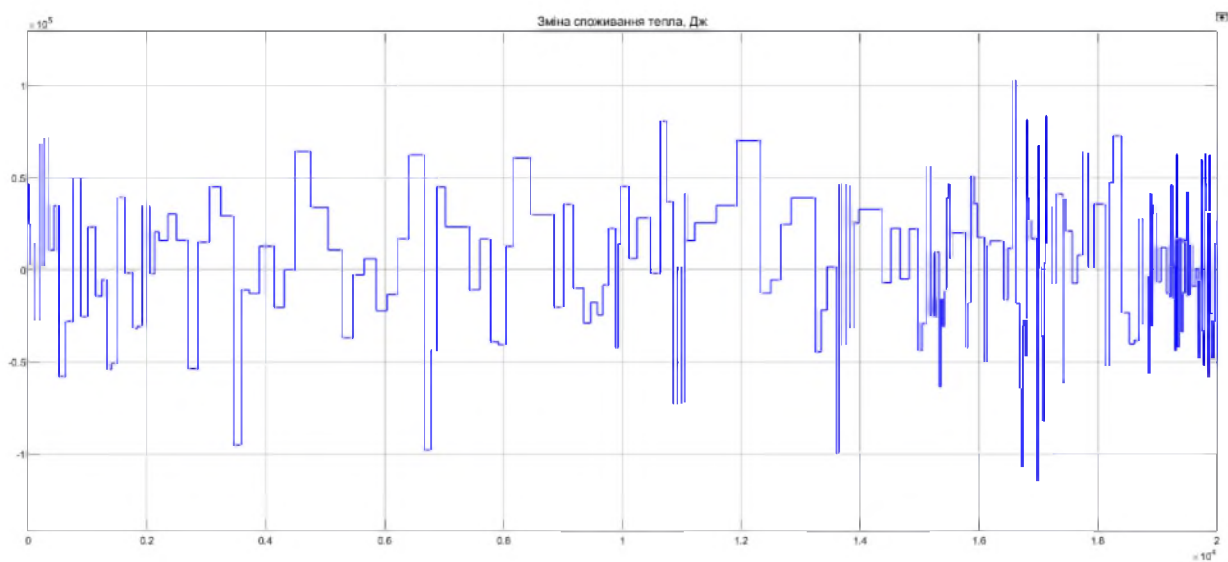


Структура системи повноцінного технічного обслуговування

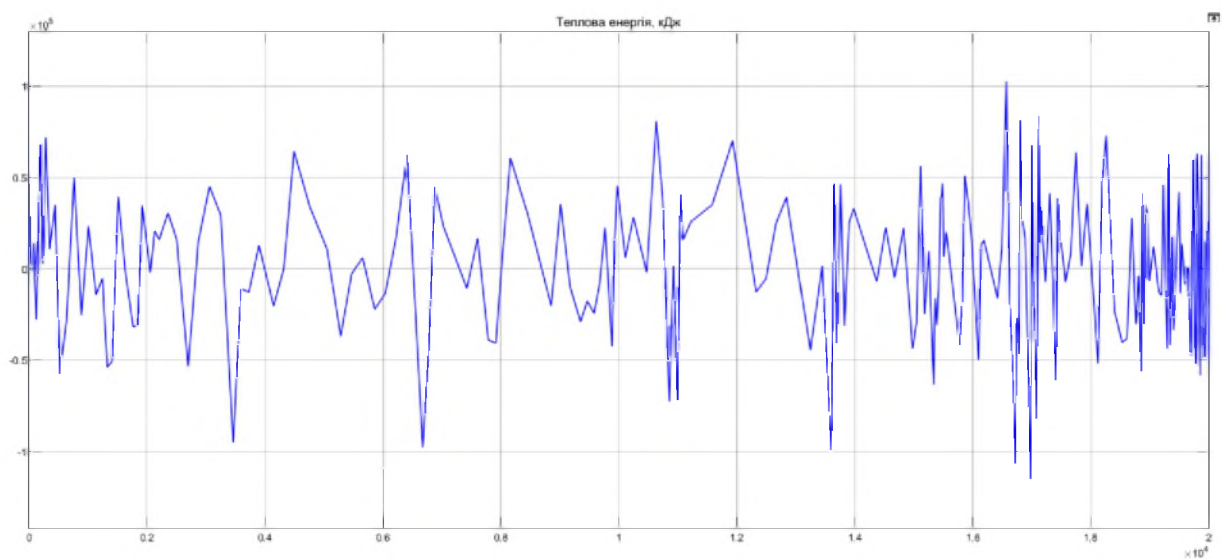


Модель контролю роботи парового котла

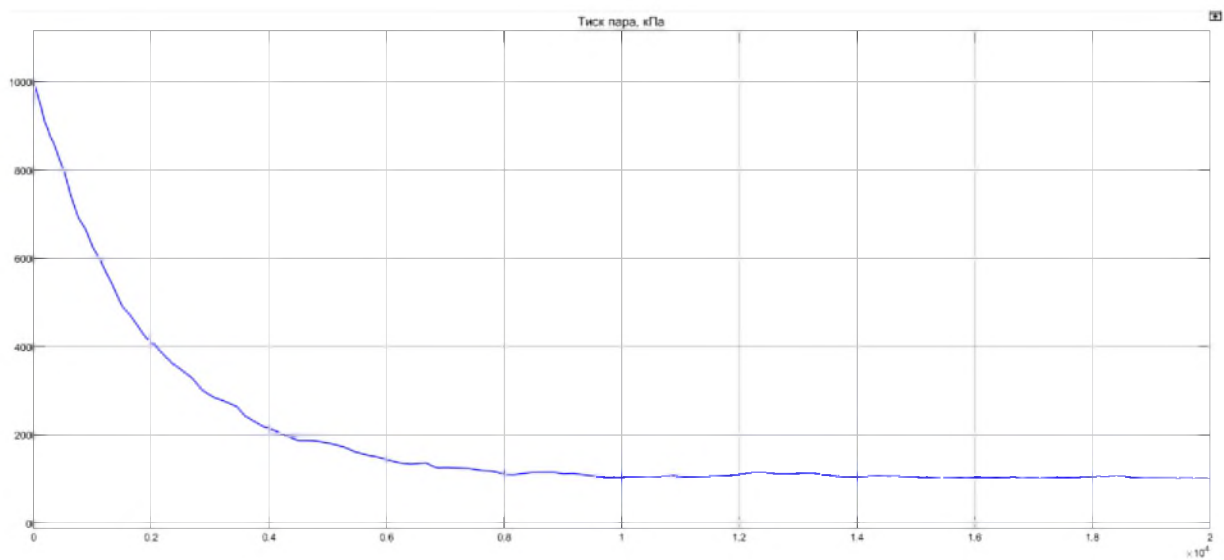
Склад підсистеми «Параметри пара»



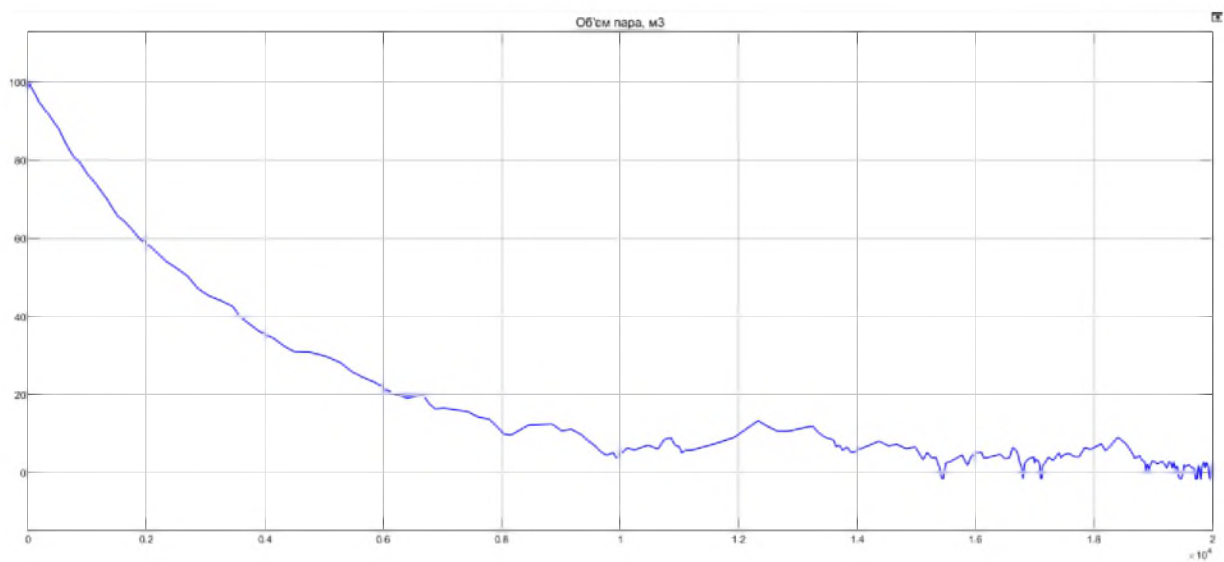
Зміна споживання теплової енергії споживачем



Зміна виробки теплової енергії котельним агрегатом



Графік зміни тиску пари при холодному пуску котла



Графік зміни об'єму пари при холодному пуску котла

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 _____