

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Оцінка якості роботи системи автоматичного регулювання розрідження в
топці парового котла
(тема кваліфікаційної роботи)

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

(код і найменування спеціальності)

_____/ Юрій ТЮРІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

Рецензент _____/ Павло БУДАНОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

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

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

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

Харків – 2024 рік

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

Завідувач кафедри

« » 2024 p.

на кваліфікаційну роботу магістерського рівня вищої освіти

(ім'я, прізвище)

затверджена наказом по академії 4801-5/3345 від “ 12 ” жовтня 2024 р.

2. Термін здачі закінченої роботи “ 30 ” грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи. 1) дані для складання структурної схеми системи; 2) параметри для визначення передавальних функцій системи з керуючого та збурюючого впливів, в т.ч. для помилок щодо цих впливів (див. у розділах); 3) дані для проведення аналізу стійкості системи, в т.ч. АФЧХ розімкнутої системи; 4) показники якості управління системою.

4. Зміст роботи (перелік питань, що їх належить розробити). 1) Вступ; 2) Огляд літератури та постановка завдань дослідження; 3) Характеристика об'єкта управління; 4) Визначення закону регулювання системи; 5) Аналіз залежності статичної помилки системи від зміни керуючого впливу на систему; 6) Аналіз зміни керованої величини об'єкта управління та системи впливу, що збурює, у статиці; 7) Оцінка якості управління за перехідними функціями; 8) Рекомендації щодо підвищення якості роботи промислових котлів; 9) Розрахунок економічної ефективності модернізації; 10) Висновки; 11) Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал). 1) САР тиску пари у котлі; 2) Структурна схема регулювання витрати загального повітря твердопаливного котла; 3) Структурна схема регулювання розрідження у

топці котла; 4) Принцип роботи системи автоматичного регулювання розрядження у топці; 5) Схема САР розрядження в топці котла

6. Консультант:

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

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

Керівник

(підпис)

Геннадій КАНЮК
(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Костянтин ШОРКО
(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Вступ	жовтень	виконано
2	Огляд літературних джерел та постановка завдань дослідження	жовтень	виконано
3	Визначення закону регулювання системи	жовтень-листопад	виконано
4	Аналіз залежності статичної помилки системи від зміни керуючого впливу на систему. Аналіз зміни керованої величини об'єкта управління та системи впливу, що збурює, у статиці;	листопад	виконано
5	Оцінка якості управління за перехідними функціями	листопад	виконано
6	Рекомендації щодо підвищення якості роботи промислових котлів	листопад	виконано
7	Розрахунок економічної ефективності модернізації	грудень	виконано
8	Висновки і оформлення кваліфікаційної роботи	грудень	виконано

Студент

(підпис)

Юрій ТЮРІН
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

Євген КЛЮЧКА

Юрій ТЮРІН

**Оцінка якості роботи системи автоматичного регулювання
розрідження в топці парового котла**

Кваліфікаційна робота складається з 59 сторінок тексту, 5 аркушів креслень формату А1 та 16 джерел літератури.

У магістерській кваліфікаційній роботі розглядається питання оцінки якості роботи системи автоматичного регулювання розрідження в топці парового котла промислової котельні.

Об'єктом управління в системі автоматичного регулювання є рівень розрідження в топці котла. Керуючим впливом на цей об'єкт є кут повороту регулювальних заслінок. Основним збурювальним фактором є витрата повітря, що подається в топку.

Регулювання ПД-регулятора здійснюється за пропорційним законом.

Стійкість системи задовільна. Запас стійкості за амплітудою складає близько 0,7. Запас стійкості по фазі дорівнює 690. Це задовольняє рекомендуємим запасам стійкості в техніці такого рівня.

Оцінки якості управління безпосередньо вказують, що перерегулювання становить 30%, при цьому число перерегулювання та коливань $N = 2$, відповідаючи вимогам та показуючи наявність достатнього запасу стійкості.

Час регулювання невеликий, та складає 11,9 сек, а показник коливальності системи дорівнює 0,04.

Якість системи керування можна вважати задовільною.

Запропоновані рекомендації для підвищення якості роботи промислових котлів.

Також розглядаються питання економічної ефективності роботи котельні.

Ключові слова: промислова котельня, автоматична система регулювання, розрідження

Evaluation of the quality of the automatic vacuum control system in the furnace of a steam boiler

The qualification work consists of __59__ pages of text, __5__ sheets of A1 drawings and __16__ sources of literature.

The master's qualification work considers the issue of assessing the quality of the automatic vacuum control system in the furnace of a steam boiler of an industrial boiler house.

The object of control of the automatic vacuum control system is the vacuum in the furnace of the boiler. The controlling influence on the object is the angle of rotation of the rotary dampers. The main disturbing influence is the application of air flow to the furnace.

The system regulation law is a proportional law.

The system is stable. The stability margin in amplitude is about 0.7. The stability margin in phase is 690, which satisfies the recommended stability margins.

Direct estimates of the control quality indicators are as follows: overshoot is 30%, the number of overshoots and oscillations is $N = 2$, which satisfies the requirements and indicates a sufficient margin of stability.

The control time is 11.9 sec. and the system oscillation is 0.04.

The system quality should be considered satisfactory.

Recommendations are proposed to improve the quality of industrial boilers.

The issues of economic efficiency of boiler plant operation are also considered.

Keywords: industrial boiler house, automatic control system, rarefaction

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	12
2.1. Загальні відомості щодо процесу регулювання розрядження в топці промислового котла	12
2.2. Призначення та принцип роботи котла як об'єкта керування	14
2.3. Складання структурної схеми регулювання	16
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМИ	21
3.1. Закон регулювання САР розрядження у топці	21
3.2. Визначення передавальних функцій системи керуючого та збурювального впливів для помилок щодо цих впливів	22
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЗАПАСІВ СТІЙКОСТІ	24
4.1. Аналіз стійкості за критерієм Гурвіца	25
4.2. Аналіз стійкості за критерієм Найквіста	26
4.3. Визначення запасів стійкості	29
РОЗДІЛ 5. АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ СТАТИЧНОЇ ПОМИЛКИ СИСТЕМИ ВІД ЗМІНИ КЕРУЮЧОГО ВПЛИВУ НА СИСТЕМУ	29
РОЗДІЛ 6. АНАЛІЗ ЗМІНИ КЕРОВАНОЇ ВЕЛИЧИНИ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ ТА СИСТЕМИ ВПЛИВУ, ЩО ЗБУРЮЄ, У СТАТИЦІ	30
РОЗДІЛ 7. ОЦІНКА ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ЗА ПЕРЕХІДНИМИ ФУНКЦІЯМИ	31
7.1. Оцінка прямих показників якості управління системою регулювання	31
7.2. Швидкодія системи, що оцінюється часом регулювання	32
7.3. Коливання перехідного процесу	33

РОЗДІЛ 8. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ ПРОМИСЛОВИХ КОТЛІВ	35
РОЗДІЛ 9. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ	39
9.1. Капітальні вкладення на розробку проекту з модернізації автоматичної системи регулювання	40
9.2. Визначення одноразових капітальних вкладень на придбання засобів автоматизації та їх монтаж	48
9.3. Визначення річних експлуатаційних витрат на обслуговування системи автоматизації	50
9.4. Розрахунок економічної ефективності	51
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55
ДОДАТКИ	57

ВСТУП

Промислові котельні є ключовим елементом в системі теплопостачання та виробництва пари для промислових потреб. Вони використовуються в різних галузях, включаючи виробництво тепла, електроенергії, а також для процесів обробки сировини та виробництва продукції.

Застосування промислових котелень може мати значний вплив на економіку України у багатьох аспектах, таких як енергоефективність, зменшення забруднення навколишнього середовища, стимулювання інновацій та розвиток нових робочих місць.

Використання сучасних промислових котелень дозволяє ефективно використовувати паливо і зменшувати споживання енергії, що допомагає знизити витрати на опалення та виробництво енергії для промислових потреб. Крім того, в умовах війни, коли в наслідок російської військової агресії більшість потужних теплових електростанцій (ТЕС) України повністю зруйновані, промислові котельні можуть бути відповідною альтернативою.

Сучасні промислові котельні можуть бути обладнані системами очищення викидів, що зменшує потрапляння забруднюючих речовин до атмосфери. Це сприяє покращенню якості повітря, зменшує вплив на здоров'я населення і допомагає виконувати міжнародні стандарти щодо зменшення викидів парникових газів, що відповідає цілям сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй [1-2].

Розвиток і модернізація енергетичного сектору, включаючи промислові котельні, може стати привабливим для інвесторів, які зацікавлені в створенні стабільної та ефективної енергетичної інфраструктури в Україні [3-4].

Таким чином, промислові котельні грають важливу роль у забезпеченні енергетичних потреб промисловості та життєвих потреб населення. Ефективне використання промислових котелень може допомогти зменшити споживання енергії, знизити викиди забруднюючих речовин у навколишнє середовище та забезпечити стабільну та надійну енергопостачання.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Більшість промислових котелень проектується індивідуально для кожного підприємства через відсутність стандартизованих розмірів та кількостей цехів в індустрії. Це ускладнює створення загальноприйнятого рішення для всіх підприємств, оскільки різні підприємства можуть мати відмінну потребу в потужності та типах котелень. На окремих підприємствах можуть функціонувати одночасно декілька котелень, які відрізняються як за потужністю, так і за типами. [5-7].

Котельні цього типу можуть використовувати різні види палива, їх робочий принцип може значно відрізнятися в залежності від потреб конкретного підприємства. При виборі виду палива для промислової котельні важливо врахувати площу, яка потребує обігріву.

Найбільш універсальним варіантом є газові котли, які забезпечують ефективне функціонування як для обігріву великих приміщень, так і для опалення невеликих зон. Котли цього типу є досить енергоефективними, і вартість палива компенсується результативністю їх роботи.

Основні компоненти промислової котельні включають:

1. Котел, який виробляє тепло або пару шляхом згоряння палива. Котли можуть мати різні конструкції, включаючи вугільні, газові, нафтові, біопаливні та комбіновані.

2. Система подачі палива - включає системи транспортування, зберігання та підготовки палива до подачі в котел.

3. Система водопостачання та обробки води. Вода використовується для утворення пари у котлі, тому система водопостачання та обробки води включає насоси, резервуари для зберігання води, системи очищення та демінералізації.

4. Система відведення відходів, що містить системи відведення продуктів згоряння, які можуть містити відходи та шкідливі речовини, а також системи очищення викидів.

5. Система автоматизації та управління. Сучасні промислові котельні часто обладнані системами автоматизації та управління, які дозволяють оптимізувати роботу котла, забезпечувати безпеку та ефективність експлуатації. Автоматизація промислових котельні може значно покращити їх ефективність, безпеку та надійність.

Використання сучасних систем контролю та моніторингу в системах автоматизації дозволяє постійно відстежувати роботу котельні, контролювати параметри, такі як температура, тиск, рівень палива тощо. Це дозволяє операторам вчасно реагувати на будь-які аномалії та уникати аварійних ситуацій.

Системи автоматизованого керування дозволяють оптимізувати роботу котельні за допомогою автоматичного регулювання параметрів відповідно до потреби. Наприклад, автоматичне регулювання подачі палива та повітря може забезпечити ефективне згоряння та зменшити споживання палива [8-12].

Використання систем діагностики та прогнозування дозволяє виявляти потенційні проблеми та збої в роботі котельні ще до їх виникнення. Це дозволяє планувати ремонтні роботи та уникати несправностей, що може значно зменшити час простою та збільшити надійність устаткування.

Автоматизація роботи промислових котелень може бути інтегрована з іншими сторонніми системами управління, такими як загальна системи керування виробництвом або керування системою енергопостачанням. Це дозволяє координацію роботи котельні з іншими виробничими процесами для досягнення оптимального використання енергії. Загалом, автоматизація промислових котельні може значно покращити їх ефективність, зменшити споживання палива, підвищити безпеку та надійність роботи, а також знизити витрати на обслуговування та експлуатацію.

Метою даної роботи є оцінка якості роботи системи автоматичного регулювання розрядження в топці парового котла промислової котельні.

Для досягнення поставленої мети були виконані наступні **завдання**:

1. Дати коротку характеристику об'єкта управління, описати пристрій та роботу системи, скласти її функціональну та структурну схеми.
2. Визначити закон регулювання системи та передавальні функції з керуючого (задаючого) та збурювального впливу і для помилок щодо цих впливів.
3. Виконати аналіз стійкості системи за критеріями Гурвіца та Найквіста. Визначити запас стійкості.
4. Проаналізувати взаємозв'язок статичної похибки системи зі зміною керуючого впливу на неї та зробити висновок щодо характеру цієї залежності.
5. Провести спільний аналіз впливу, що збурює, на зміну керованої (регульованої) величини об'єкта управління та системи в статичних умовах. Порівняти їх результати. Оцінити статичну помилку системи за дії впливу, що збурює.
6. Оцінити показники якості регулювання за перехідними функціями та надати рекомендації щодо підвищення якості роботи САР.

Об'єкт дослідження – промисловий твердопаливний котел.

Предмет дослідження - система автоматичного регулювання (САР) розрядження в топці промислового котла.

Новизна роботи: проведено комплексний аналіз систем автоматичного регулювання розрядження в топці промислового котла.

Практичне значення отриманих результатів полягає в оцінці якості регулювання та розробці рекомендацій щодо підвищення ефективності роботи промислових котлів.

Методи дослідження: розрахункові (визначення передавальних функцій системи, аналіз стійкості за критеріями Гурвіца та Найквіста) та статистичні методи; аналіз.

Далі буде розглядатись промислова котельня виробництва української фірми ТОВ «Святовіт-ЛТД» потужністю 1 МВт [5].

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1. Загальні відомості щодо процесу регулювання розрядження в топці промислового котла

Розрядження у топці парового котла – це знижений тиск, створюваний для забезпечення оптимального потоку повітря та димових газів через котел. Воно має критичне значення для ефективного і безпечного процесу горіння палива.

Автоматична система регулювання розрядження призначена для забезпечення відповідності кількості газів, що утворюються при згорянні пального, і кількості газів, які видаляються з котла. Підвищення тиску в топці призводить до викиду димових газів через нещільність обшивки котла, а підвищення розрядження призводить до збільшення витрат повітря в топку, яке не бере участь у процесі горіння, і призводить до збільшення втрат із викидними газами. Різке підвищення розрядження (до 200 кПа) може призвести до зриву факела.

Система регулювання розрядження повинна забезпечувати під час стаціонарного режиму роботи котла максимальне відхилення розрядження не більше ± 20 Па, а при раптовій зміні навантаження на 10%, розрядження не повинне змінюватися більше ніж на 30 Па.

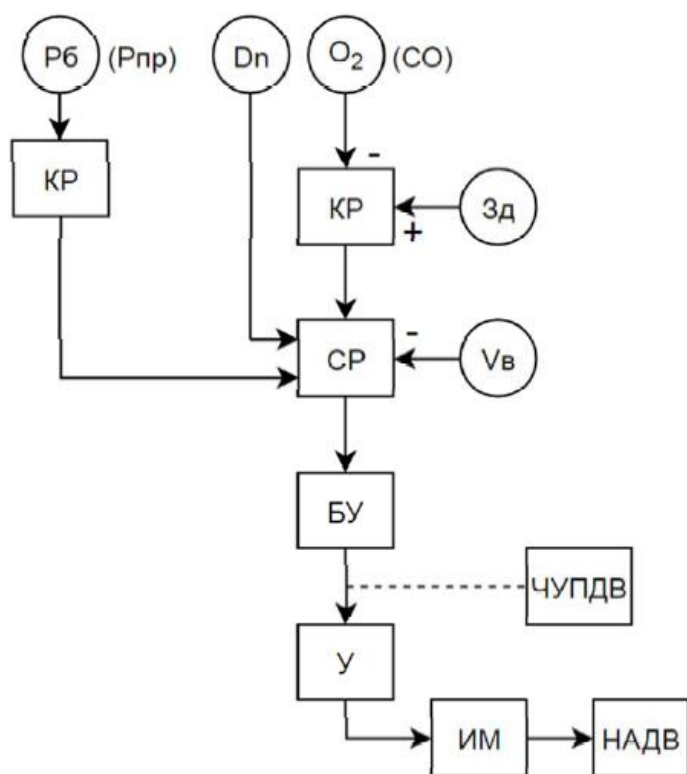


Рис. 11.2. Структурна схема регулювання витрати загального повітря твердопаливного котла:

РПР – тиск у зоні насичення (проміжної точки) пароводяного тракту прямоточного котла

Система регулювання розрядження в топці котла тісно пов'язана з системою регулювання загальної подачі повітря і є складовою частиною системи регулювання процесу горіння. Зазвичай ця система представляє собою одноконтурну стабілізуючу автоматичну систему регулювання (АСР).

Використання динамічного зв'язку є цілком обґрунтованим для котлів, які обладнані електрофільтрами. Динамічний зв'язок допомагає підтримувати стійкість і оптимальні параметри регулювання системи, що включає регулювання розрядження в топці та регулювання інших параметрів, необхідних для ефективної роботи електрофільтра.

Електрофільтр - це пристрій, який використовується для очищення димових газів від твердих частинок та інших забруднень. Його ефективна

робота важлива для забезпечення довготривалої та безперебійної роботи котла та уникнення негативних екологічних наслідків.

Динамічний зв'язок дозволяє керувати роботою електрофільтра в реальному часі, забезпечуючи необхідну ефективність очищення димових газів та враховуючи зміни в режимі роботи котла. Це сприяє збереженню якості очищення димових газів та зниженню викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

Отже, використання динамічного зв'язку для котлів з електрофільтрами допомагає підтримувати оптимальний рівень регулювання і забезпечувати ефективну роботу системи очищення димових газів.

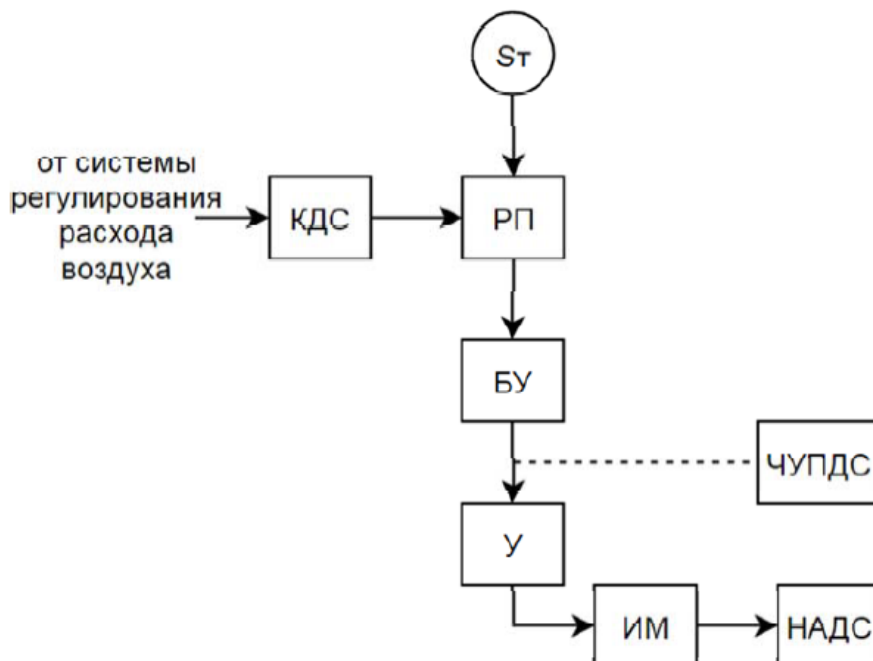


Рис.11.3. Структурна схема регулювання розрідження у топці котла:

S_T – сигнал розрядження в топці котла; НАДС – напрямний апарат димососів; ЧУПДС - частотно-керований привід димососів; КДС – комплект динамічного зв'язку

Отже, регулювання розрідження в топці промислового котла є важливим процесом, який забезпечує ефективне та безпечне спалювання палива. Це досягається підтримкою оптимального тиску в топці, що впливає на подачу повітря та вихід продуктів згоряння. Основні аспекти цього процесу включають:

1. Призначення розрідження

Розрідження в топці створюється для забезпечення руху димових газів через котел, теплообмінники та димову трубу.

Воно допомагає підтримувати рівномірне горіння палива та запобігає викиду продуктів згоряння у приміщення.

2. Методи регулювання

Регулювання розрідження виконується за допомогою спеціального обладнання:

Димососи: Використовуються для відведення продуктів згоряння і створення розрідження.

Клапани або заслінки: Встановлюються на димових каналах і використовуються для регулювання потоку димових газів.

Регулятори розрідження: Автоматичні системи, які підтримують задане розрідження шляхом управління димососами чи заслінками.

3. Основні параметри для регулювання

Рівень розрідження: Зазвичай підтримується в межах від -5 до -30 Па залежно від типу котла та палива.

Тиск у топці: Контролюється манометрами або датчиками.

Швидкість виходу газів: Забезпечує оптимальне видалення продуктів згоряння.

4. Процес регулювання

Встановлюється цільовий рівень розрідження.

Датчики тиску передають сигнал на автоматичну систему управління.

Система коригує роботу димососа або положення заслінок, щоб досягти потрібного розрідження.

Контроль здійснюється в реальному часі, щоб уникнути перевищення допустимих меж.

5. Вплив розрідження на роботу котла

Недостатнє розрідження: Може призвести до погіршення тяги, накопичення димових газів у топці і зниження ефективності горіння.

Надмірне розрідження: Викликає перевитрату повітря, охолодження топки і зниження теплової ефективності.

6. Автоматизація процесу

У сучасних котлах використовуються автоматичні системи управління, що базуються на ПЛК (програмованих логічних контролерах) та датчиках. Це дозволяє мінімізувати участь оператора і підвищити точність підтримки заданих параметрів.

7. Профілактичні заходи

Регулярна перевірка та калібрування датчиків і регуляторів.

Огляд димових каналів і димососів на наявність засмічень.

Контроль герметичності топки для уникнення неконтрольованого підсосу повітря.

Дотримання цих правил забезпечує безпечну роботу котла, його тривалий термін служби та високу енергоефективність.

2.2. Призначення та принцип роботи котла як об'єкта керування

Об'єктом керування є котел. Регульована величина - розрідження повітря всередині топки.

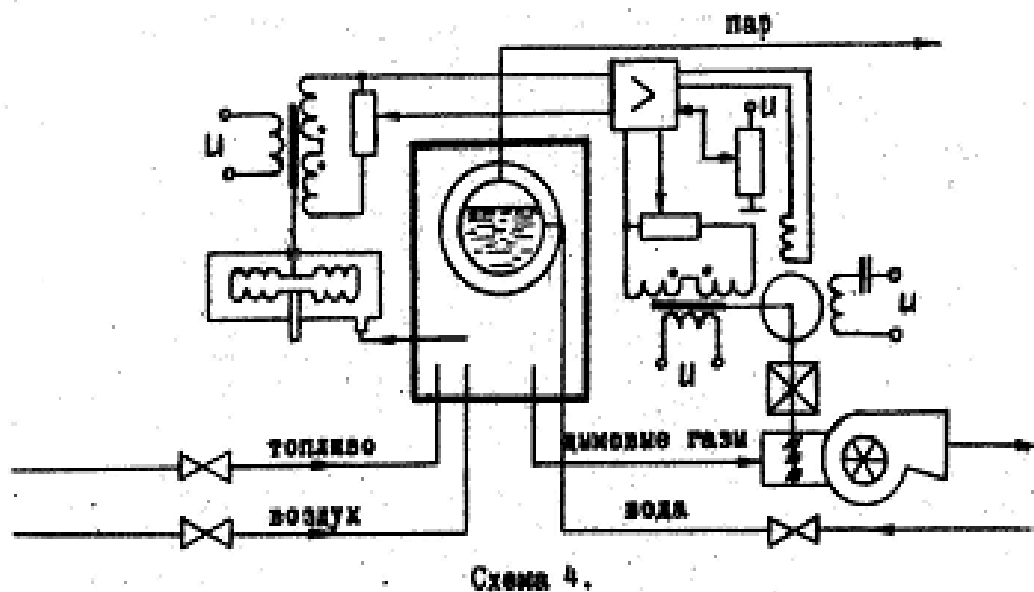


Рис.2.1. САР розрідження у топці котла

Дифтягометр є датчиком розрідження, який з'єднаний з верхньою частиною топки. Система порівняння реалізована на диференційному підсилювачі. Сигналізація формується за допомогою потенціометра. Керуючим фактором є продуктивність. Основний вплив зміни тиску повітря в топці вимірюється за допомогою ртуті порівняно з розрахунковим значенням. Додатковим фактором, який може вплинути на систему, є зміна потенціометра. Система порівняння реалізована на диференційному підсилювачі (ДП), який виконує функції порівняння, віднімання вихідних сигналів ($U_{oz} - U_{oc} - U_3$) та підсилення їх різниці. На вхід підсилювача надходить напруга U_3 та відображений сигнал дифтягометра U_d . Сигнал U_{oc} - вхідний сигнал для електродвигуна, напруга U_y , а вхідний сигнал - кут повороту валу електродвигуна фдв. Кут повороту від редактора фдв та вихідний сигнал фр - поворот заслінки (рис. 2.1).

Підсилювач збільшує різницю між напругою U_d та U_{oc} , а контролер місцевого зв'язку встановлює взаємозв'язок між напругою U_d та кутом повороту валу електродвигуна фдв. Це означає, що кут повороту заслінки в димососі буде змінюватися пропорційно відхиленням рівня розрядження. Як результат, рівень розрядження в топці буде автоматично коригуватися для повернення до заданого режиму.

При постійній зміні густини регульовальний процес відбувається безперервно. При встановленні певної густини система зміститься в нове положення протягом певного часу. Система є стабілізуючою, в ній реалізовано принцип управління за відхиленням.

2.3. Складання структурної схеми регулювання

1) Для складання структурної схеми отримаємо передавальні функції всіх елементів системи.

Рівняння об'єкта управління:

$$T_1 * (dP_T/dt) + P_T = K_1 * Q_d - K_2 Q_v;$$

де P_T , P_a – розрідження в топці;

Q_d , m^3/c – продуктивність димососа;

Q_v , m^3/c – витрата повітря на топку;

Лапласа.

$$T_1 * P * P_T(p) + P_T(p) = K_1 * Q_d(p) - K_2 * Q_v(p);$$

Оскільки до ланки прикладено кілька впливів, то складаємо передавальні функції окремо для кожного впливу.

У цьому інші впливу вважають рівним нулю. Відповідно до принципу суперпозиції зміна вихідної величини такої ланки дорівнює сумі змін вихідних величин за кожним впливом.

У нашому випадку передавальна функція топки котла за керуючою дією Q_d .

$$W_y(p) = P_r(p) / Q_d(p) = \kappa_1 / (T_1 * P + 1);$$

$$P_r(p) * (T_1 * P + 1) = \kappa_1 * Q_d(p);$$

$$W_f(p) = P_r(p) / Q_v(p) = -(\kappa_2 / (T_1 * P + 1)) -$$

передавальна функція по впливу Q_v .

Аналогічним чином отримали передавальні функції інших елементів системи.

2) Датчик: дифтягометр з автотрансформатором Д:

$$T_d (dU_M/dt) + U_M = \kappa_d P_r;$$

$$T_d * P * U_M(p) + U_M(p) = \kappa_d * P_r(p);$$

$$U_M(p) (T_d * P + 1) = \kappa_d * P_r(p);$$

$$W_d = U_M(p) / P_r(p) = \kappa_d / (T_d * P + 1);$$

де U_M , V - амплітуда вихідної напруги перетворюється.

3) Задатчик (3):

$$U_3 = \kappa_3 * P_{т3};$$

$$U_3(p) = \kappa_3 * P_{т3}(p);$$

$$W_3(p) = V_3(p) / P_{т3}(p) = \kappa_3;$$

$P_{т3}$, Па – задане значення розрідження.

4) Диференціальний підсилювач:

$$U_y = \kappa_y (U_3 - U_{oc} - U_d);$$

Диференціальний підсилювач складається з двох ланок. Перша ланка здійснює віднімання напруг U_{oc} і U_d з напруги U_3 .

$$\Delta U = (U_3 - U_d - U_{oc});$$

Друга ланка посилює різницю ΔU .

$$U_y = \kappa_y * \Delta U;$$

$$U_y(p) = \kappa_y * \Delta U(p);$$

$$W_y(p) = U_y(p) / \Delta U(p);$$

5) Влаштування місцевого обрядового зв'язку.

$$U_{oc} = \kappa * n * \varphi_{дв};$$

$\varphi_{дв}$ град. - Кут повороту вихідного валу двигуна.

$$U_{oc}(p) = k * n * \varphi_{дв}(p);$$

$$W_n(p) = U_{oc}(p) / \varphi_{дв}(p) = k_n;$$

У пристрій УОС входить диференціальний трансформатор із перетворювачем кута повороту.

6) Двигун постійного струму з якірним керуванням.

$$T_{дв} * (d_2 \varphi_{дв}/dt_2) + (d_2 \varphi_{дв}/dt) = k_{дв} * U_y;$$

$$T_{дв} * p_2 * \varphi_{дв}(p) + p * \varphi_{дв}(p) = k_{дв} * U_y(p);$$

$$W_y(p) = \varphi_{дв}(p) / U_y(p) = k_{дв} / p * (T_{дв} * P + 1);$$

де U_y , В – напруга управління.

$\varphi_{дв}$ град. - Кут повороту вихідного валу двигуна.

7) Регулюючий орган димососа – заслінки.

$$Q_d = k_v * \varphi_p;$$

$$Q_d(p) = k_v * \varphi_p(p);$$

φ_p - кут порота дросельних заслінок

Q_d , м³/с – продуктивність димососа.

8) Редуктор (p).

$$\varphi_p = K_p * \varphi_{дв};$$

$$\varphi_p(p) = K_p * \varphi_{дв}(p);$$

$$W_p = \varphi_p(p) / \varphi_{дв}(p) = K_p;$$

де φ_p , $\varphi_{дв}$ - вхідний та вихідний кути повороту.

Задатчик (з) системи є безінерційним. Його коефіцієнт передачі повинен дорівнювати коефіцієнту передачі кд датчика. Оскільки задане R_3 і R_d – дійсні розрядження мають відніматися в одному масштабі. Тому $K_d = K_3$ можна перенести за систему управління СУ та вважати, що з розрядження R_t безпосередньо віднімають R_d і формують сигнал помилки "е". Перетворена в такий спосіб структурна схема САР розрядження в топці котла показано на рис.2.2.

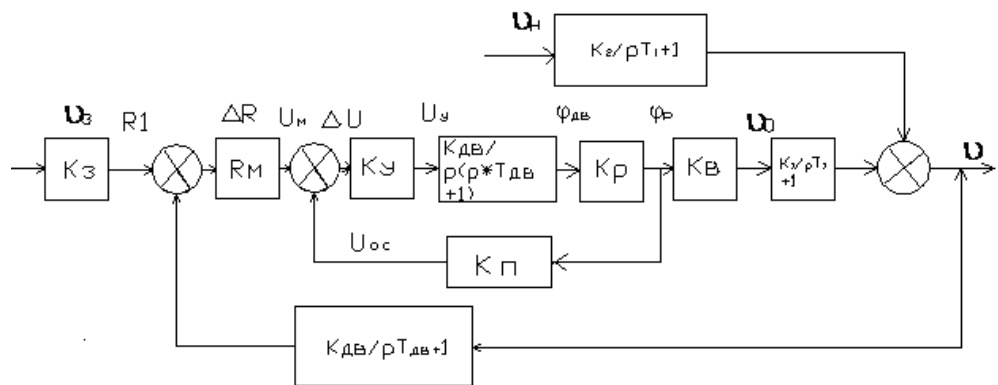


Рис. 2.2.Схема САР розрядження в топці котла

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМИ

3.1. Закон регулювання САР розрядження у топці

Для встановлення закону керування системою автоматичного регулювання викидів у котлі, який розглядається, ми визначимо передавальну функцію, що відображає залежність між Q_B та помилкою "е" на об'єкті.

$$W_{yy}(p) = \frac{Q_{\delta}(p)}{e(p)}$$

$$W_{\delta}(p) = \frac{\frac{\varphi_{\delta\delta}}{1 + \frac{(K_y \cdot K_{\delta\delta} \cdot K_n)}{P \cdot (T_{\delta\delta} \cdot P + 1)}} - \frac{K_y \cdot K_{\delta\delta}}{P \cdot (T_{\delta\delta} \cdot P + 1)}}{\frac{K_n}{T_{\delta\delta}} + \frac{1}{(K_y \cdot K_{\delta\delta} \cdot K_n)} \cdot P + 1} = \frac{\frac{1}{K_n}}{\frac{T_{\delta\delta}}{(K_y \cdot K_{\delta\delta} \cdot K_n) \cdot P^2} + \frac{1}{(K_y \cdot K_{\delta\delta} \cdot K_n)} \cdot P + 1} = \frac{K_{\delta}}{T_{2\delta p}^2 + T_{1\delta} \cdot P + 1}$$

Підставимо у знайдений вираз чисельне значення коефіцієнтів та отримаємо:

$$W_{\delta p} = \frac{\frac{1}{0,2}}{\frac{0,3}{60 \cdot 0,08 \cdot 0,2} \cdot P^2 + \frac{1}{60 \cdot 0,08 \cdot 0,2} \cdot P + 1} = \frac{5}{0,31 \cdot P^2 + 1,042 \cdot P + 1}$$

При послідовному з'єднанні ланок їх передатні функції перемножуються, тому:

$$W_{yy}(p) = \frac{Q_{\delta}(p)}{e(p)} = W_{\delta}(p) \cdot K_p \cdot K_{\delta} \cdot K_{\delta}$$

Остаточно для безінерційного регулятора отримуємо:

$$Q_{\delta} = K_{\delta} \cdot K_p \cdot K_{\delta} \cdot K_{\delta} \cdot e = K_{yy} \cdot e$$

Залежність керуючого впливу Q_v від помилки "е" показує, що в системі застосований пропорційний закон регулювання

3.2. Визначення передавальних функцій системи керуючого та збурювального впливів для помилок щодо цих впливів

Передатна функція системи автоматичного регулювання керуючого впливу.

$$W_{zy}(p) = \frac{P_m(p)}{P_{mz}(p)} = \frac{W_n(p)}{1 + W_n(p) \cdot W_{oc}(p)} ;$$

$$W_{zy}(p) = \frac{\frac{5 \cdot \kappa_\delta \cdot \kappa_p \cdot \kappa_\epsilon \cdot \kappa_1}{(0,31 \cdot P^2 + 1,042 \cdot P + 1) \cdot (T_1 \cdot P + 1)}}{1 + \frac{(5 \cdot \kappa_\delta \cdot \kappa_p \cdot \kappa_\epsilon \cdot \kappa_1)}{(0,31 \cdot P^2 + 1,042 \cdot P + 1) \cdot (T_1 \cdot P + 1)(T_\delta \cdot P + 1)}} ;$$

$$= \frac{5 \cdot \kappa_\delta \cdot \kappa_p \cdot \kappa_\epsilon \cdot \kappa_1 \cdot (T_\delta \cdot P + 1)}{(0,31 \cdot P^2 + 1,042 \cdot P + 1) \cdot (T_1 \cdot P + 1)(T_\delta \cdot P + 1) + 5 \cdot \kappa_\delta \cdot \kappa_p \cdot \kappa_\epsilon \cdot \kappa_1 \cdot \frac{1}{\kappa_\epsilon}} =$$

$$= \frac{0,6P + 2}{0,0372P^4 + 0,342P^3 + 1,16P^2 + 1,742P + 3} ;$$

Передатна функція САР по впливу, що збурює, визначає взаємозв'язок між зміною регульованої величиною P_t і застосуванням збурювального впливу Q_n :

$$W_{Fy}(p) = \frac{P_m(p)}{Q_n(p)} ;$$

$$W_{Fy}(p) = \frac{W_F(p)}{1 + W_p(p)} ;$$

де $W_F(p)$ - передавальна функція ланцюга ланок від місця застосування впливу, що збурює, до регульованої величини.

$$\begin{aligned} W_{Fy}(p) &= \frac{P_m(p)}{Q_n(p)} = \frac{\frac{\kappa_2}{T_1 \cdot P + 1}}{\frac{5 \cdot \kappa_\delta \cdot \kappa_p \cdot \kappa_\epsilon \cdot \kappa_1}{(0,31 \cdot P^2 + 1,042 \cdot P + 1) \cdot (T_1 \cdot P + 1)(T_\delta \cdot P + 1)}} = \\ &= \frac{\kappa_2(0,31P^2 + 1,042P + 1)(T_\delta \cdot P + 1)}{(0,31P^2 + 1,042P + 1)(T_1 \cdot P + 1)(T_\delta \cdot P + 1) + 5 \cdot \kappa_\delta \cdot \kappa_p \cdot \kappa_\epsilon \cdot \kappa_1} ; \end{aligned}$$

$$W_{Fy}(p) = \frac{(0,04P + 0,4) \cdot 0,124P^2 + 0,4168P + 0,4}{0,0372P^4 + 0,342P^3 + 1,16P^2 + 1,742P + 3} ;$$

Передатна функція САР для помилки по впливу, що збурює, визначає взаємозв'язок між зміною сигналу помилки e_z і застосуванням задає впливу РТЗ.

$$\begin{aligned} W_{ze}(p) &= \frac{e_z(p)}{P_{Tz}(p)} = \frac{1}{1 + W_p(p)} = \frac{1}{\frac{5 \cdot \kappa_\delta \cdot \kappa_p \cdot \kappa_\epsilon \cdot \kappa_1}{1 + (0,31 \cdot P^2 + 1,042 \cdot P + 1) \cdot (T_1 \cdot P + 1)(T_\delta \cdot P + 1)}} = \\ &= \frac{(0,31 \cdot P^2 + 1,042 \cdot P + 1) \cdot (T_1 \cdot P + 1)(T_\delta \cdot P + 1)}{(0,31 \cdot P^2 + 1,042 \cdot P + 1) \cdot (T_1 \cdot P + 1)(T_\delta \cdot P + 1) + 5 \cdot \kappa_\delta \cdot \kappa_p \cdot \kappa_\epsilon \cdot \kappa_1} ; \end{aligned}$$

Підставимо в отриманий вираз чисельні значення параметрів і після проміжних перетворень отримуємо:

$$W_{ze}(p) = \frac{e_z(p)}{P_{Tz}(p)} = \frac{(0,31P^2 + 1,042P + 1)(3P + 1)(0,3P + 1)}{0,0372P^4 + 0,342P^3 + 1,16P^2 + 1,742P + 3} ;$$

Передатна функція САР по впливу, що збурює, визначаємо взаємозв'язок між застосуванням помилки і застосуванням збурювального впливу.

$$W_{Fe}(p) = \frac{e_F(p)}{Q_H(p)} = -\frac{W_F(p)}{1+W_p(p)} = -W_{Fy}(p);$$

$$W_{Fe}(p) = -\frac{(0,04P+0,4)(0,124P^2+0,4168P+0,4)}{0,0372P^4+0,342P^3+1,16P^2+1,742P+3};$$

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЗАПАСІВ СТІЙКОСТІ

Стійкість - це властивість системи повертатися у вихідний або близький до нього режим, що встановився після зняття впливу, що викликав вихід з встановленого режиму.

Основні кроки аналізу стійкості та визначення запасів стійкості включають:

1. Аналіз передатної функції. Передатна функція системи - це відношення вихідної величини до вхідної величини в частотному домені. Аналізуючи передатну функцію, можна визначити полюси та нулі системи, які вказують на її стійкість.

2. Критерій стійкості. Існує декілька критеріїв стійкості, таких як критерій Найквіста, критерій Рауса-Гурвіца, критерій Михайлова та інші. Вони дозволяють визначити стійкість системи, а також виявити можливі небажані коливання або нестійкі режими роботи.

3. Запаси стійкості. Запаси стійкості вказують на відстань між реальною робочою точкою системи та критичною точкою нестійкості. До запасів стійкості можна віднести фазовий запас, похибку амплітуди та запас

керування. Вони дозволяють визначити, наскільки далеко система знаходиться від точки нестійкості та як добре вона може компенсувати зміни у вхідних умовах.

4. Аналіз чутливості. Чутливість системи вказує на вплив змін в параметрах системи на її стійкість. Чутливість може бути аналізована шляхом зміни параметрів системи та спостереження за її реакцією.

5. Оцінка впливу збурень. Визначення того, як система реагує на різні збурення, такі як шуми, вхідні перешкоди або випадкові відхилення, допомагає встановити, наскільки стійкою є система у реальних умовах.

Аналіз стійкості та визначення запасів стійкості є важливим етапом у проектуванні та оптимізації систем автоматичного керування. Це дозволяє забезпечити надійну та стійку роботу системи в реальних умовах експлуатації.

4.1. Аналіз стійкості за критерієм Гурвіца

Використання критерію Гурвіца дозволяє швидко визначити стійкість системи [14].

Передатна функція лінійної системи автоматичного регулювання у загальному випадку має вигляд:

$$W(p) = \frac{b_0 \cdot P^m + b_1 \cdot P^{m-1} + \dots + P^{m-1} \cdot P + b_m}{a_0 P^n + a_1 P^{n-1} + a_{n-1} P + a_n} = \frac{R(p)}{Q(p)};$$

де $m \leq n$, $Q(p) = 0$ – характеристичне рівняння системи.

$$Q(p) = 0,0372P^4 + 0,342P^3 + 1,16P^2 + 1,742P + 3 = 0;$$

Складемо визначник Гурвіца.

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 0,342 & 1,742 & 0 & 0 \\ 0,0372 & 1,16 & 3 & 0 \\ 0 & 0,342 & 1,742 & 0 \\ 0 & 0,0372 & 1,16 & 3 \end{vmatrix}$$

Умова стійкості системи з характеристичним рівнянням четвертого ступеня:

$$a_0 = 0,0372 > 0; a_1 = 0,342 > 0; a_2 = 1,16 > 0; a_3 = 1,742 > 0; a_4 = 3 > 0,$$

Друге рівняння:

$$\Delta_3 = 1,742(0,342 \cdot 1,16 - 0,0372 \cdot 1,742) - 3 \cdot 0,342^2 = 0,23 > 0;$$

Отриманий результат показує, що система є стійкою.

4.2. Аналіз стійкості за критерієм Найквіста

Критерій стійкості Найквіста ґрунтується на використанні амплітудно-фазової частотної характеристики (АФЧХ) розімкнутої системи [15].

Передатна функція розімкнутої системи:

$$W_p(p) = \frac{K_\partial \cdot K_\varepsilon \cdot K_1 \cdot K_p \cdot \frac{1}{K_n}}{(T_{2\partial}P^2 + T_{1\partial}P + 1)(T_1P + 1)(T_\partial P + 1)};$$

Частотна передатна функція розімкнутої системи:

$$W_p(j\omega) = \frac{K_\delta \cdot K_\epsilon \cdot K_1 \cdot K_p \cdot K_\gamma}{[T_{2\gamma}(j\omega)^2 + T_{1\gamma}(j\omega) + 1] \cdot (T_1(j\omega) + 1)(T_\delta(j\omega) + 1)};$$

Для побудови АФЧХ розімкнутої системи розрахуємо значення $A(\omega)$ та $\varphi(\omega)$; тоді використовуємо

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)};$$

Передатна функція у вигляді:

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega);$$

Без перетворень отримуємо:

$$|W(j\omega)| = A(\omega) = \frac{K_\delta \cdot K_\epsilon \cdot K_1 \cdot K_p \cdot K_\gamma}{T_{1\gamma}^2 \cdot \omega^2 + (1 - T_{2\gamma} \cdot \omega^2)^2 \cdot \sqrt{(T_1^2 \omega^2 + 1)} \cdot \sqrt{T_\delta^2 \omega^2 + 1}};$$

$$\arg W(j\omega) = \varphi(\omega) = 0 - \arctg \left(\frac{T_{1\gamma} \omega}{1 - T_{2\gamma} \omega^2} \right) - \arctg T_1 \omega - \arctg (T_\delta \omega);$$

Таблиця 2. Значення $A(\omega)$ і $\varphi(\omega)$.

Підставимо чисельні значення.

$$A(w) = \frac{2}{\sqrt{1.042^2 \cdot w^2 + (1 - 0.31w^2)^2} \cdot \sqrt{3^2 w^2 + 1} \cdot \sqrt{0.31^2 w^2 + 1}};$$

$$\varphi(w) = 0 - \arctg\left(\frac{1.042 \cdot w}{1 - 0.31 \cdot w^2}\right) - \arctg(3w) - \arctg(0.31w);$$

Критерій Найквіста є потужним інструментом для аналізу стійкості систем, оскільки дозволяє враховувати вплив кожного параметра системи на її стійкість.

Будуємо на комплексній площині АФЧХ розімкнутої системи: (рис.4.1)

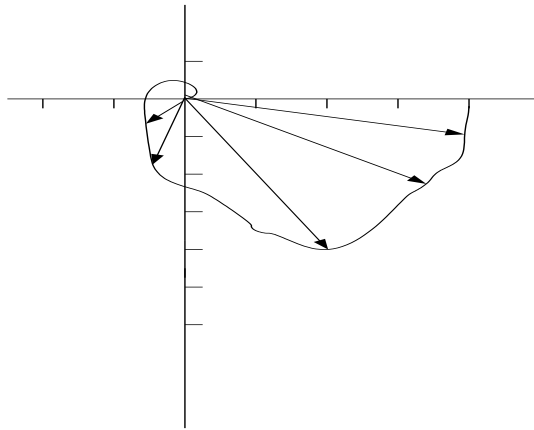


Рис.4.1. АФЧХ розімкнутого ланцюга

Таблиця 4.1.

Результати розрахунку

w	0	0.01	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	1.8	1.9	2.5	4
A (w)	2	1.99	1.69	1.44	1.23	1.03	0.88	0.75	0.64	0.55	0.48	0.25	0.15	0.13	0.076	0.018
φ (w)	0	-5.2	4.63	6.45	80.7	94.3	106.3	117	127	137	145	181	216	221	-245	-260

Висновок: За критерієм Найквіста система є стійкою.

4.3. Визначення запасів стійкості

Перетворюємо взявши в розгляд роз'єднану систему МНК і визначаємо резерв стійкості по фазі $\Delta\varphi$ і резерв стійкості по амплітуді ΔA , $\Delta\varphi \approx 69^\circ$, $\Delta A \approx 0,7$ які задовольняють вимоги щодо обох видів стійкості. Для системи керування розрідження в топці котла $\Delta\varphi$ і ΔA повністю задовольняє бажаним величинам запасів стійкості по фазі та амплітуді.

РОЗДІЛ 5. АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ СТАТИЧНОЇ ПОМИЛКИ СИСТЕМИ ВІД ЗМІНИ КЕРУЮЧОГО ВПЛИВУ НА СИСТЕМУ

Передатна функція для похибки керуючого впливу.

$$W_{3e}(p) = \frac{e_3}{P_{T3}} = \frac{1}{1 + \frac{(5 \cdot \kappa_\delta \cdot \kappa_p \cdot \kappa_\epsilon \cdot \kappa_1)}{(0,31 \cdot P^2 + 1,042 \cdot P + 1) \cdot (T_1 \cdot P + 1)(T_\delta \cdot P + 1)}};$$

у статиці Р перетворюється в нуль, тобто:

$$\frac{e_3}{P_{T3}} = \frac{1}{1 + (5 \cdot \kappa_\delta \cdot \kappa_p \cdot \kappa_\epsilon \cdot \kappa_1)} = \frac{1}{1 + \kappa};$$

де κ - коефіцієнт передавання розімкнутої системи.

Таким чином,
$$e_3 = \frac{1}{1 + \kappa} \cdot P_{T3};$$

$$e_3 = 0,33P_{T3}.$$

Система, яка розглядається має статичну помилку, яка пропорційно залежить від застосуванню керуючого впливу на систему.

З виразу випливає, що величина статичної похибки тим більше, чим більший коефіцієнт передавання розімкнутої системи керування.

РОЗДІЛ 6. АНАЛІЗ ЗМІНИ КЕРОВАНОЇ ВЕЛИЧИНИ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ ТА СИСТЕМИ ЗБУРЮЮЧОГО ВПЛИВУ У СТАТИЦІ

З метою аналізу будемо користуватись передавальними функціями об'єкта управління та системи з збурювальної дії. Крім цього, передатною функцією системи для похибки із збурювальної дії.

$$W_F(p) = \frac{P_T(p)}{Q_H(p)} = \frac{\kappa_2}{T_1 P + 1};$$

$$W_{F_y}(p) = \frac{P_T(p)}{Q_H(p)} = \frac{\kappa_2(0,31P^2 + 1,042P + 1)(T_o P + 1)}{(0,31P^2 + 1,042P + 1)(T_1 P + 1)(T_o P + 1) + 5 \cdot \kappa_o \cdot \kappa_e \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_p};$$

У статиці $P \rightarrow 0$, тому:

$$\frac{P_T}{Q_H} = \kappa_2;$$

$$P_T = \kappa_2 \cdot Q_H;$$

Для системи

$$\frac{P_T}{Q_H} = \frac{\kappa_2}{1 + \kappa}; \quad P_T = \frac{\kappa_2}{1 + \kappa} \cdot Q_H;$$

де κ_o - коефіцієнт передавання розімкнутої системи керування.

Після підстановки чисельних параметрів, можна отримати залежність застосування розрідження в топці від зміни витрати горячого (підігрітого) повітря $P_T = Q_H$ для об'єкта без регулятора.

$P_T = 0,13Q_H$ - для об'єкта, з регулятором (САР).

Передатна функція системи для помилки по збурюючому впливу:

$$W_{Fe} = \frac{W_F(p)}{1 + W_p(p)} = -W_{Fy}(p);$$

Тому для нашого прикладу: $e_{ст} = -0,13 \cdot Q_H$;

Таким чином, розрідження в топці, що не обладнана регулятором, застосовуються також як і зміна витрати повітря в топку.

У топці, обладнаній регулятором, зміна розрідження зменшилася порівняно із застосуванням зовнішньої температури $\kappa+1$ разів. У прикладі застосування розрідження в топці становить близько 13,3% від зміни зовнішньої температури. Можна зробити висновок, що параметри автоматичної підтримки бажаного розрідження покращились.

РОЗДІЛ 7. ОЦІНКА ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ЗА ПЕРЕХІДНИМИ ФУНКЦІЯМИ

Оцінка якості управління за перехідними функціями дозволяє оцінити рівень ефективності та продуктивності системи керування. Цей метод аналізу дозволяє інженерам підбирати та налаштовувати параметри системи для досягнення оптимальних результатів в управлінні процесами.

7.1. Відхилення регульованої величини від свого значення

Для перехідної функції з керуючого впливу визначається перерегулювання:

$$\sigma = \frac{h_{\max 1} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\% ;$$

де $h_{\max 1}$ – максимальне значення регульованої величини у перехідному процесі.

$h_{уст}$ - значення регульованої величини.

$$\sigma = \frac{Q_{\max 1} - Q_{уст}}{Q_{уст}} \cdot 100\% = \frac{8,71 - 6,7}{6,7} = 30\% ;$$

Для перехідних процесів по впливу, що збурює, визначається максимальне відхилення регульованої величини від встановленого значення, що припадає на одиницю впливу, що збурює σ :

$$\sigma_F = \frac{h_{\max 1} - h_{уст}}{F(t)} \cdot 100\% ;$$

де $F(t) = l(t)$

$$\sigma_F = \frac{Q_{\max 1} - Q_{уст}}{l(t)} = -1,8 \cdot 10^{-1} + 1,33 \cdot 10^{-1} = -0,47 \cdot 10^{-1} = -0,047$$

7.2. Швидкодія системи

Час регулювання $t_{рег}$ визначається як інтервал часу від початку перехідної функції до моменту, коли відхилення вихідної величини від її нового значення стає менше певної досить малої величини Δ :

$$|h(t) - h_{уст}| \leq \Delta ;$$

де $\Delta = 1 \dots 5\%$, від нового встановленого значення регульованої величини для перехідної функції з керуючого впливу, або від 1 до 5% від максимального відхилення регульованої величини встановленого для перехідної функції по впливу, що обурює.

Причому $\Delta = 0,05h_{уст}$.

У нашому випадку для перехідної функції з керуючого впливу:

$$\Delta = 0,05(Q_{\max} - Q_{уст}) = 0,05 \cdot (-0,47) \cdot 10^{-1} = -0,235 \cdot 10^{-2} ;$$

$$t_{pez} = 0,913 \cdot 10c$$

7.3. Коливання перехідного процесу

Коливальність перехідного процесу визначається числом N перерегулюванні для перехідної функції з керуючого впливу або числом N коливань для перехідної функції з впливу, що збурює, за час перехідного процесу.

Для аналізованого процесу $N = 2$, що у межах норми.

Коливання щодо сусідніх відхилень.

Для переходу процесу з керуючого впливу (рис.7).

$$C_y = \frac{Q_{\max 2} - Q_{уст}}{Q_{\max 1} - Q_{уст}} = \frac{6,96 - 6,7}{8,71 - 6,7} = 0,129 ;$$

Для перехідного процесу по впливу, що збурює (рис.8).

$$C_F = \frac{Q_{\max 2} - Q_{уст}}{Q_{\max 1} - Q_{уст}} = \frac{(-1.42 + 1.33) \cdot 10^{-1}}{(-1.8 + 1.33) \cdot 10^{-1}} = 0.129 ;$$

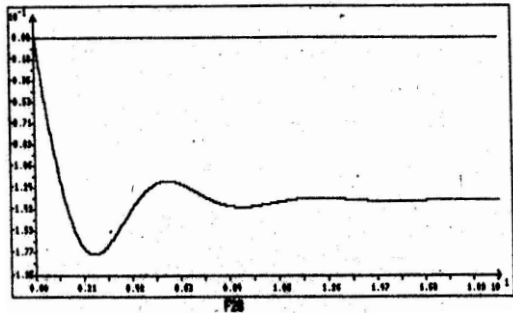


Рис. 7.1. Коливальність перехідного процесу з керуючого впливу

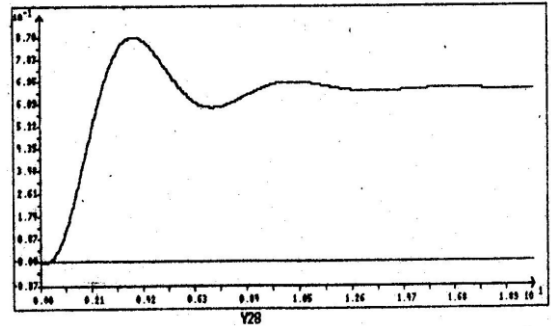


Рис. 7.2 Коливальність перехідного процесу по збурюючому впливу

Для аналізованої системи перерегулювання σ становить 30%, число перерегулювання та коливань системи за час перехідного процесу $N = 2$. Якість системи за цими показниками слід вважати задовільною.

Час регулювання складає близько 11,9 сек. $-0.235 \cdot 10^{-2}$,
коливання системи близько 0,04:

$$e_{3T} = 7 - 6.7 + 0.3; \quad e_{3T} = Q_3 - Q_{уст};$$

$$e_F = -0.3; \quad e_F = Q_3 - Q_{уст};$$

$e_F = -3$ оскільки функція отримана при $Q_3 = 0$.

РОЗДІЛ 8. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ ПРОМИСЛОВИХ КОТЛІВ

Підвищення якості роботи промислових котлів є важливою задачею для забезпечення ефективності та безпеки енергетичних систем. Пропонуються

наступні рекомендації для підвищення якості експлуатації промислових котлів:

1. Збір даних і моніторинг. Включає збір даних про роботу котлів і регулювання тиску пари. Використовуйте датчики тиску, температури та інші параметри, щоб отримати повний образ процесу.

2. Аналіз працездатності. Використовуйте отримані дані для аналізу ефективності регулювання тиску пари. Це може включати виявлення паттернів, аномалій та можливих проблем.

3. Моделювання та оптимізація. Використовуйте моделі для симуляції різних сценаріїв регулювання тиску пари. Це дозволить зрозуміти, як різні параметри впливають на роботу котла та як можна оптимізувати процес.

4. Вдосконалення систем управління. На основі результатів аналізу та моделювання розробіть та впровадьте вдосконалені алгоритми управління тиском пари. Ці алгоритми можуть бути базовані на регуляторах PID або складніших методах штучного інтелекту.

5. Навчання персоналу. Забезпечте, що персонал, який працює з котлами, отримує відповідну підготовку щодо нових процедур та алгоритмів управління.

6. Перевірка та вдосконалення. Постійно перевіряйте та вдосконалюйте процес регулювання тиску пари на основі нових даних та відгуків.

Ці кроки допоможуть покращити якість роботи промислових котлів і забезпечити більш ефективне та безпечне виробництво.

Для підвищення результативності згорання інферіорних палив використовують різноманітні підходи та засоби. Широке поширення отримав використання активаторів згорання, які підвищують ефективність згорання інферіорних палив. Такі активатори можуть включати традиційні вуглеводні, такі як газ і мазут, а також спеціальні синтетичні хімічні сполуки, наприклад, аноклорид.

Очікуваний економічний ефект від застосування активаторів горіння різного типу в масштабах України може скласти майже декілька мільярдів

гривень на рік. Але без точного обліку витрати активаторів, кількості і якості палива їх застосування може призвести до негативного ефекту. Крім того, витрати активаторів горіння не визначаються жодними існуючими нормативно-технічними документами та не враховуються в методах розрахунку і оптимізації режимів роботи котельних агрегатів.

Відомості щодо застосування активаторів горіння можна знайти у роботі [16]. Розроблено екстремальні адаптивні алгоритми керування режимами роботи котельних установок при спалюванні низькосортних палив, що забезпечують визначення та мінімізацію енергетичних втрат у реальному часу на основних експлуатаційних режимах. Сформовано еталонні моделі котелень, які дозволяють визначати в реальному часі режимні технологічні параметри котлів, функції енергетичних втрат та функції мінімуму енергетичних втрат, що дає можливість формувати оптимальні (з погляду мінімуму втрат) керуючі дії для систем автоматичного управління.

РОЗДІЛ 9. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Метою економічної частини цього проекту є розрахунок економічної ефективності модернізації системи автоматичного регулювання розрідження в топці парового котла. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити декілька завдань:

- 1) визначити капітальні вкладення на розробку проекту з модернізації автоматичної системи регулювання;
- 2) визначити одноразові капітальні вкладення на придбання засобів автоматизації, їх монтаж та налагодження, які визначаються або за фактичними витратами, або за проектними кошторисами;

3) визначити той приріст економічного ефекту, що отримує виробництво від цього застосування.

Розрахунок економічної ефективності модернізації варіюється в залежності від конкретних умов, потреб і характеристик системи. Потрібно проводити детальний аналіз витрат та очікуваних вигод для прийняття обґрунтованого рішення про модернізацію системи регулювання.

9.1. Капітальні вкладення на розробку проекту з модернізації автоматичної системи регулювання

Для виконання робіт із розробки системи управління, регулювання та захисту системи з урахуванням наведених завдань необхідний наступний персонал:

- науковий співробітник – 1 особа;
- інженер 10 розряду – 1 особа.

Для визначення капітальних вкладень на розробку системи визначимо обсяг та тривалість необхідних робіт. Перелік та строки виконання робіт наведено у таблиці 9.1.

Таблиця 9.1

Перелік робіт та їх тривалість за часом

№ п/п	Найменування робіт	Кількість співробітників	Розряд	Тривалість, дні
----------	--------------------	-----------------------------	--------	--------------------

1	Вибір та вивчення науково-технічної літератури	Інженер	10	1
2	Інноваційний аналіз	Інженер	10	3
3	Огляд і вибір керуючої системи автоматизації	Інженер	10	2
4	Розробка функціональної схеми САУРiЗ	Інженер	10	2
5	Складання заказної специфікації на прибори контролю та захисту	Інженер	10	7
6	Ідентифікація ТОУ	Інженер	10	4
7	Розрахунок динамічних характеристик елементів системи	Інженер	10	1
8	Розробка електричної схеми з'єднань	Інженер	10	1
9	Охорона праці і безпека життєдіяльності	Інженер	10	2
10	Техніко-економічне обґрунтування	Інженер	10	2
11	Перевірка документації	Керівник	12	3
		Інженер	10	
Графічна частина				
12	Схема функціональна	Інженер	10	2

13	Схема структуран	Інженер	10	2
14	Схема електрична з'єднань	Інженер	10	3
15	Схема трубних електричних проводок	Інженер	10	5
16	Схема монтажна електрична	Інженер	10	5
17	Перевірка документації	Керівник	12	2
		Інженер	10	
Взагалі:		Керівник		5
		Інженер		48

Зробимо розрахунок кошторису витрат за розробку проекту, куди входять такі елементи:

- матеріальні витрати;
- витрати на оплату заробітної плати;
- соціальні відрахування;
- відрахування на амортизацію основних фондів та нематеріальних активів;
- інші витрати;
- накладні витрати.

Вартість витратних матеріалів на канцелярські товари наведена у таблиці 8.2.

Таблиця 9.2

Вартість витратних матеріалів

Найменування	Ціна за 1 од. в грн.	Кількість	Загальна вартість
Ручка	15	2	30
Бумага	1	1 пачка	250
Ластик	5	4	20
Карандаш	45	3	135
Папка для бумаги	15	2	30
Скріпки	60	1 упаковка	40
Програмне забезпечення	500	4	2000
<i>Взагалі</i>			2505

Оскільки офісні меблі та комп'ютерна техніка використовується не весь період її експлуатації, розрахуємо відрахування на амортизацію за період використання її у проекті. Перелік офісних меблів та комп'ютерної техніки наведено у таблиці.

Перелік офісних меблів та комп'ютерної техніки

Найменування	Ціна за 1 од. в грн.	Кількість	Загальна вартість
Комп'ютер	20000	2	40000
Прінтер	5000	2	10000
Стол	2500	2	5000
Стул	1500	2	3000
<i>Взагалі</i>			<i>58000</i>

Амортизація офісного обладнання

$$I_{ам} = C_{оф} \cdot H_a \cdot \frac{T_{исп}}{365}$$

де $H_a = 1/T_{исп}$ - норма амортизації. З розрахунку, що середній термін служби офісного обладнання 10 років, тоді $H_a = 0,1$;

$T_{сл}$ - термін служби основних фондів, років;

$T_{исп}$ - час використання основних фондів, днів;

$C_{оф}$ - вартість основних фондів, грн.

$$I_{ам} = 58000 \cdot 0,1 \cdot \frac{48}{365} = 762,74$$

Заробітну плату інженерно-технічних працівників, які беруть участь у роботі, розрахуємо за формулами:

$$\begin{aligned}ЗП_u &= БО \cdot k_1 \cdot k_2; \\ЗП_{н.р.} &= (БО \cdot k_1 + D) \cdot k_2,\end{aligned}$$

де: БО - базовий оклад, грн.;

k_1 - коефіцієнт, що враховує невідпрацьований час (відпустки);

k_2 – районний коефіцієнт;

D – доплата за вчений ступінь.

Розрахуємо заробітну плату для наукового керівника проектом ($ЗП_{н.р.}$) та інженера ($ЗП_i$) згідно з формулою вище:

$$ЗП_{н.р.} = 23265 \cdot 1,1 + 2200 = 27792 \text{ грн.};$$

$$ЗП_u = 14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 20735 \text{ грн.}$$

Розрахуємо денну заробітну плату для розрахунку заробітної плати на виконання всього проекту, грн.:

$$ЗП_{\text{дн}} = \frac{ЗП_i}{N},$$

де: N = 21 – кількість робочих днів на місяць.

Денна заробітна плата наукового керівника:

$$ЗП_{\text{дн}} = \frac{ЗП_{н.р.}}{21} = \frac{27792}{21} = 1324 \text{ ₴}$$

$$ЗП_{н.р.}^{\text{мес}} = ЗП_{\text{дн}} \cdot 5 = 1324 \cdot 5 = 6620$$

Денна заробітна плата інженера:

$$ЗП_{\text{дн.}} = \frac{ЗП_{\text{н.}}}{21} = \frac{20735}{21} = 987$$

$$ЗП_{\text{н.}}^{\text{мес}} = ЗП_{\text{дн.}} \cdot 48 = 987 \cdot 48 = 47376$$

Заробітну плату учасників роботи зведемо до таблиці 8.4.

Таблиця 8.4

Розрахунок витрат за оплату праці

Виконавці	Заробітна плата (день), грн.	Працесмність, дні	Витрати
Керівник	1324	5	6620
Інженер	987	48	47376
Взагалі			53996

Відрахування на соціальні потреби

$$И_{\text{сн}} = 30\%И_{\text{зп}} = 0,3 \cdot 53996 = 16199 \text{ грн.}$$

Інші витрати

$$И_{\text{проч}} = 0,1 \cdot (И_{\text{рм}} + И_{\text{ам}} + И_{\text{зп}} + И_{\text{сн}});$$

$$И_{\text{проч}} = 0,1(10310 + 651 + 53996 + 16199) = 8115 \text{ грн.}$$

Накладні витрати становлять 200% від фонду заробітної плати

$$И_{\text{нр}} = 2 \cdot (И_{\text{зп}} + И_{\text{сн}});$$

$$I_{\text{нр}} = 2 \cdot (53996 + 16199) = 140390 \text{ грн.}$$

Витрати на роботу (собівартість роботи):

$$I_{\text{сб}} = I_{\text{зп}} + I_{\text{сн}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{рм}} + I_{\text{нр}} + I_{\text{проч}};$$

$$I_{\text{сб}} = 53996 + 16199 + 762,74 + 10310 + 140390 + 8115 = 229772.$$

На основі проведених розрахунків складемо кошторис витрат на розробку системи автоматизації (таблиця 8.5).

Таблиця 8.5

Кошторис витрат за проект

№ п/п	Елементи поточних витрат	Сума поточних витрат, грн
1	Матеріальні витрати	60505
2	Витрати на орлату праці	53996
3	Відрахування на соціальні потреби	16199
4	Амортизація основних фондів та нематеріальних активів	764,74
5	Інші витрати	8115
6	Накладні витрати	140390
7	Собівартість робіт	279969,74

9.2. Визначення одноразових капітальних вкладень на придбання засобів автоматизації та їх монтаж

Для визначення капітальних вкладень придбання коштів автоматизації складемо кошторис витрат (таблиця 8.6).

Таблиця 9.6

Кошторис витрат за систему автоматичного управління, регулювання та захисту системи

№	Найменування	Ціна за 1 од., грн.	Кількість	Сумарна ціна, грн
1	Датчик надлишкового тиску Метран – 55 – ДІ	7835	12	94020
2	Датчик перепаду тиску Метран – 150 – АС	10490	3	31470
3	Діафрагма камерна ДКС – 40 – 400	1020	1	1020
4	Посудина зрівняльна СУ – 40 – 2 – Б	3445	1	3445
5	Перетворювач відносних переміщень	25000	2	50000

	БК – 316ОС.04			
6	Диференціальний датчик числа оборотів Series A5S05B50	37000	3	111000
7	Механізм електровиконавчий однооборотний МЕО – 250/10 – 0,25У – 00	47900	2	95800
8	Механізм електровиконавчий однооборотний фланцевий МЕОФ – 2500/63 – 0,25У – 00	62000	2	124000
9	Багатофункціональний реверсивний безконтактний пускач БСТ - 12Р	15000	4	60000
10	Шафа «Rittal» у зборі	200000	1	200000
	<i>Взагалі</i>			<i>770775</i>

Витрати на демонтаж, транспортування, монтаж обладнання становитимуть 20 % від витрат на технічні засоби

$$I_{\text{монт}} = 0,2I_{\text{пса}};$$

$$I_{\text{монт}} = 0,2 \cdot 770755 = 154151 \text{ грн.}$$

9.3. Визначення річних експлуатаційних витрат на обслуговування системи автоматизації

Річні експлуатаційні витрати

$$I_{\text{рік}} = I_{\text{зп}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{сн}} + I_{\text{рем}}$$

Витрати на соціальні потреби

$$I_{\text{сн}} = 0,33P_{\text{перс}} = 0,3 \cdot 53996 = 16198,8 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт складають 10% від амортизації:

$$I_{\text{рем}} = 0,1I_{\text{ам}} = 0,1 \cdot 77075,5 = 7707,5 \text{ грн.}$$

Витрати на заробітну платню: посадовий оклад робочого складає 30000 гривень, тоді річні витрати на зарплатню обслуговуючому персоналу складають

$$ЗП_{\text{перс}} = 30000 \cdot \kappa_p \cdot n \cdot 12 \cdot 1,1,$$

де $\kappa_p = 1,3$ – районний коефіцієнт;

$n = 1$ – обслуговуючий персонал системи.

$$ЗП_{\text{перс}} = 30000 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 12 \cdot 1,1 = 514800 \text{ грн.}$$

Тоді

$$И_{\text{річ}} = 514800 + 77075,5 + 16199 + 7707,5 = 615782 \text{ грн.}$$

9.4. Розрахунок економічної ефективності

Витрата на власні потреби до впровадження проекту

$$E_{\text{в.п.}} = E_{\text{ц.н.}} + (E_{\text{жн}} + E_{\text{тд.п}} + E_{\text{ппр}} + E_{\text{гзв}} + E_{\text{ін}}) V_{\text{у.п.}} / V_p$$

де $E_{\text{ц.н.}}$ - витрата на циркуляційні насоси;

$E_{\text{жн}}$ – на живильні насоси;

$E_{\text{тд.п}}$ - на тягодуттьові пристрої;

$E_{\text{ппр}}$ - на паливоприготування;

$E_{\text{гзв}}$ - на гідрозоловидалення;

$E_{\text{ін}}$ - на інші потреби;

$V_{\text{у.п}}$ – витрата умовного палива;

$V_{\text{р}}$ - річна витрата палива.

Витрата на власні потреби до впровадження проекту:

$$E_{\text{вп1}} = 186693558 \text{ кВт/рік.}$$

Витрата на власні потреби після впровадження проекту:

$$E_{\text{вп2}} = 1866206500 \text{ кВт/рік.}$$

Тариф на електроенергію приймемо 2,93 грн/кВт:

до модернізації: $186693558 \cdot 2,93 = 547012125$ грн/рік;

після модернізації: $186206500 \cdot 2,93 = 545585045$ грн/рік;

Економічний ефект від впровадження системи автоматичного управління, регулювання та захисту поживного турбонасосу визначається як різниця витрат електроенергії на власні потреби до та після впровадження нової системи

$$E = E_{\text{сн1}} - E_{\text{сн2}},$$

$$E = 547012125 - 545585045 = 1427080 \text{ грн/рік.}$$

Термін окупності для САУРiЗ, що розробляється, знаходиться за формулою

$$T_{ок} = \frac{I_{сб} + I_{тса} + I_{монт}}{Э - I_{зод}},$$

де: $I_{сб}$ - собівартість;

$I_{тса}$ – витрати на придбання обладнання;

$I_{монт}$ - витрати на монтаж устаткування;

E – економічний ефект від впровадження системи управління та контролю;

$I_{рік}$ - річні експлуатаційні витрати:

$$T_{ок} = \frac{16199 + 770755 + 154151}{1427080 - 615782} = 1,16 \text{ года.}$$

Отже, проведено економічне обґрунтування розробленої системи автоматичного управління і системи автоматичного регулювання розрідження в топці парового котла промислової котельні та розраховані основні показники, що характеризують ефективність фінансових впливань у систему.

Встановлено, що строк окупності модернізації становить 1,16 року.

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи були вирішені наступні завдання:

1. Дана коротка характеристика об'єкта управління, описаний пристрій та робота системи, складена її функціональна та структурна схеми.
2. Визначений закон регулювання системи та передавальні функції з керуючого (задаючого) та збурювального впливу і для помилок щодо цих впливів.
3. Виконаний аналіз стійкості системи за критеріями Гурвіца та Найквіста. Визначений запас стійкості.
4. Проаналізовані залежність статичної помилки системи від зміни керуючого впливу на систему та зроблений висновок про характер цієї залежності.
5. Проведений спільний аналіз зміни керованої (регульованої) величини об'єкта управління та системи від впливу, що збурює, в статистиці. Дана їхня порівняльна оцінка. Визначена статична помилка системи по впливу, що збурює.
6. Оцінена якість регулювання за перехідними функціями та надати рекомендації щодо підвищення якості роботи САР.

Отже, закон регулювання системи – пропорційний закон.

Система стійка. Запас стійкості за амплітудою близько 0,7. Запас стійкості по фазі 690, що задовольняє запасам стійкості, що рекомендуються.

Визначені величини прямих показників якості управління. Вони складають такі величина: перерегулювання не більше 30%, кількість перерегулювання та коливань $N = 2$, що повністю задовольняє існуючим вимогам та підтверджує запас стійкості.

Час регулювання становить 11,9 сек, а показник коливальності системи складає 0,04.

Показники якості системи регулювання задовільні.

