

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГИЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ АВТОМАТИЧНОГО
РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ»**

Виконав: студент VI курсу

групи Ен – 62 із спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Лотоцький Ю. Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: Бабич М. І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Тригуба А. М.

(прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ім. С.З.ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)
к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(вч. звання, прізвище, ініціали)
“ ____ ” _____ 202__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лотоцькому Юрію Григоровичу .

1. Тема роботи: «Дослідження способів та обґрунтування електричної схеми пристрою автоматичного регулювання режимів роботи котельного агрегату»

Керівник роботи: к. т. н., доцент Бабич М.І.

затверджені наказом по університету № 140/к-с. від 28.02.2025 року

2. Термін подання студентом завершеної кваліфікаційної роботи 08.12.2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали літературного огляду, патентного пошуку та аналізу існуючих схем систем енергопостачання, довідкова та спеціальна література, аналіз останніх досягнень науки і техніки, передових методів роботи новаторів виробництва.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які необхідно розробити)____
Вступ

1. Характеристика об'єкта дослідження

2 Дослідження способів систем автоматичного регулювання

3 Обґрунтування електричної схеми пристрою автоматичного регулювання режимів роботи котельного агрегату

4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5 Техніко-економічне обґрунтування розробок кваліфікаційної роботи

Висновки та пропозиції

Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти з розділів:

Розділ, №_	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки	28.02.25р.	28.02.25р.

7. Дата видачі завдання: 28 лютого 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання першого розділу	28.02.25-25.04.25	
2	Виконання другого розділу	26.04.25-20.06.25	
3	Виконання третього розділу	21.06.25-29.08.25	
4	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	30.08.25-26.09.25	
5	Розрахунок економічної ефективності розробок кваліфікаційної роботи	27.09.25-31.10.25	
6	Завершення оформлення графічної частини кваліфікаційної роботи	01.11.25-21.11.25	
7	Завершення кваліфікаційної роботи в цілому	22.11.25-08.12.25	

Студент

(підпис) Лотоцький Ю. Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис) Бабиш М. І.
(прізвище та ініціали)

УДК 397.4 (075.8)

Лотоцький Ю. Г. Дослідження способів та обґрунтування електричної схеми пристрою автоматичного регулювання режимів роботи котельного агрегату. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, 2025 р. 53 с. текстової частини, 2 таблиці, 12 рисунків, 25 джерел.

Проведені дослідження системи та обладнання автоматичного регулювання параметрів технологічних процесів котлоагрегатів, на основі якого запропоновано систему автоматизованого регулювання (САР) теплових процесів котельного агрегату та обґрунтовано електричну схему пристрою автоматизації. Запропонована функціонально-технологічна схема автоматичного регулювання котельного агрегату. Розроблена електрична схема пристрою автоматичного регулювання режимів роботи котельного агрегату. Проведено необхідні інженерні розрахунки параметрів та підбір необхідного обладнання для системи автоматизації. Приклад техніко-економічного обґрунтування показав доцільність впровадження розробок кваліфікаційної роботи.

КОТЕЛЬНИЙ АГРЕГАТ, СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ, ПРИСТРІЙ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА, ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ГАЗОВИЙ КЛАПАН, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Теплові характеристики котлоагрегату та їх вплив на режими роботи	8
1.2 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	12
2 ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	13
2.1 Основні поняття та визначення теорії автоматичного регулювання	13
2.2 Стійкість та якість систем регулювання	21
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ	26
3.1 Запропонована функціонально-технологічна схема системи автоматичного регулювання котельного агрегату	26
3.2 Запропонована принципова електрична схема системи автоматичного регулювання котельного агрегату	29
3.3 Обґрунтування системи регулювання параметрів електромагнітного газового клапана	33
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	43
4.1 Розроблені моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій	43

4.2 Безпека праці при обслуговування технічного обладнання теплових мереж і пунктів	44
4.3 Протипожежна профілактика	45
4.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях	46
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	
РОЗРОБОК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	47
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	52

ВСТУП

Автоматизація являє собою найвищий рівень складних систем керування тепловими та технічними виробничими процесами.

Коли робоча машина виконує всі рухи, необхідні для обробки сировини, без втручання людини та вимагає лише керування від працівника, ми маємо справу з автоматизованою машинною системою, яку, однак, можна детально вдосконалити.

Автоматизація відкриває необмежені можливості для підвищення продуктивності праці, ще швидших темпів виробництва, збільшення кількості продукції та подальшого підвищення добробуту людей, усуваючи безпосередню участь працівників у складних та шкідливих процесах. Автоматизація робить працю більш ефективною та творчою.

Сучасні котельні оснащені високоскладним котельним обладнанням, включаючи контрольно-вимірювальну апаратуру (КВП), автоматику (АВ) та дистанційне керування.

Надійна та економічна експлуатація такого обладнання значною мірою залежить від підготовки та кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Сучасне обладнання керування та автоматизації характеризується складною конструкцією. Воно повинно бути високонадійним, що перевищує надійність технологічного обладнання, що автоматизується. Отже, до знань, навичок та компетенцій персоналу, що обслуговує обладнання керування та автоматизації, пред'являються високі вимоги.

Працівники відділів вимірювання та автоматизації повинні бути знайомі з будовою приладів, що використовуються в процесах теплової автоматизації, основними принципами теорії автоматичного керування та принципами побудови монтажних схем систем вимірювань та керування, щоб швидко знаходити та локалізувати місця відмов.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження системи та обладнання автоматичного регулювання параметрів технологічних процесів котлоагрегату, аналіз його роботи, обґрунтування електричної схеми пристрою автоматизації та його теплотехнічних, гідравлічних і конструктивних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання**:

1. Провести аналіз режимів роботи газових та парових котлів різних конструкцій;
2. Розглянути основні технологічні параметри, що визначають режими роботи котлів;
3. Проаналізувати основні закони, способи та методи автоматичного регулювання параметрів роботи котлоагрегату;
4. Розробити функціонально-технологічну схему системи автоматичного регулювання котельного агрегату
5. Побудувати принципову електричну схему системи автоматичного регулювання параметрів роботи котла;
6. Здійснити техніко-економічні обчислення розробок кваліфікаційної роботи.

Об'єктом кваліфікаційної роботи є котельний агрегат із пристроєм автоматичного регулювання.

Предметом кваліфікаційної роботи є процеси автоматизованого регулювання режимів роботи котельного агрегату.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Теплові характеристики котлоагрегату та їх вплив на режими роботи

Режим роботи котла характеризується навантаженням та набором значень параметрів, що визначають ефективність процесу виробництва теплоносія. Кожному режиму роботи котла відповідає певне значення параметрів теплоносія відповідно в газовому та паровому каналах [7, 24, 28, 30].

Якщо значення всіх параметрів, що визначають режим роботи котла, залишаються незмінними, то такий режим називається стаціонарним або усталеним. Змінні режими роботи котла складаються з послідовних усталених режимів. Під час переходу від одного усталеного режиму до іншого параметри, що характеризують роботу котла, змінюються від одного усталеного значення до іншого. Процеси, що відбуваються при цьому, називаються перехідними або нестаціонарними.

Зміна параметрів у перехідному режимі залежить від динамічних характеристик котла. Динамічні характеристики мають вирішальне значення для розробки систем автоматичного керування та вибору параметрів для саморегуляторів.

З точки зору експлуатації та організації котла, стаціонарні режими мають першорядне значення. У таких режимах зв'язок між вихідними та вхідними параметрами котла визначається тепловими або статичними характеристиками.

Основними вихідними параметрами котла є температура перегрітої первинної та вторинної пари та коефіцієнт корисної дії. Вхідні параметри включають: навантаження, температуру живильної води, режим роботи

повітря, показники якості палива (зольність, вологість), характеристики золи та пилу.

Зміна навантаження котла є постійним робочим фактором, який суттєво визначає його ефективність та надійність. Теплопередача випромінюванням залежить від поглинання тепла газовим шаром, яке є постійним для цієї печі при підтримці надлишку повітря, та від різниці температур між газами та теплоносієм у четвертому ступені. Тому кількість тепла, що передається на екрани котла, залежить майже виключно від середньої (ефективної) температури газу, яка визначається теоретичною температурою горіння та температурою газу на виході з печі [7, 24, 30].

Зі збільшенням навантаження теоретична температура горіння практично не змінюється, оскільки ККД котла змінюється відносно мало, а вплив температури гарячого повітря незначний. Водночас досвід показує, що зі збільшенням навантаження котла відбувається значне збільшення температури та ентальпії газів на виході з печі. Тому, хоча загальна теплота, що передається до печі, дещо збільшується зі збільшенням навантаження котла, збільшення ентальпії газів на виході з печі означає зменшення питомої теплоємності випромінюючих поверхонь.

Через зменшення питомого теплопоглинання поверхнями нагріву, їх загальне теплопоглинання не встигає за збільшенням навантаження. Оскільки загальне теплопоглинання всіма поверхнями нагріву в котлі пропорційне навантаженню, затримка поглинання тепла топкою відносно збільшення навантаження призводить до надмірного збільшення теплопоглинання конвекційними поверхнями. З фізичної точки зору це пояснюється збільшенням тиску на цих поверхнях внаслідок підвищення температури газу в будь-якій ділянці газопроводу, а також коефіцієнтом теплопередачі внаслідок збільшення температури та швидкості газу.

Значне падіння температури живильної води відбувається під час аварійного відключення паропідігрівача високого тиску, а також при зменшенні витрати пари.

При падінні температури живильної води та незмінній тепловій потужності котла його паропродуктивність зменшується, напір та питома теплота, що поглинається водяним економайзером, збільшуються. Тому при постійній витраті палива температура вихлопних газів знижується, а валовий ККД котла збільшується. Падіння температури вихлопних газів за однакового падіння температури живильної води варіюється між котлами, залежно від питомої ваги водяного економайзера в тепловому балансі котла та його конструкції, і становить $1-4^{\circ}\text{C}$ на кожні 10°C зміни температури живильної води [7, 30].

Зі зниженням температури живильної води та постійним споживанням пари витрата палива має зростати. При цьому температура вихлопних газів та ККД котла залишаються практично незмінними.

Під зміною якості палива розуміють зміну його складу (зольності, вологості), а також теплоти згоряння, фракційного складу пилу та температурних характеристик золи [7, 24, 28, 30]. Збільшення зольності зменшує відсоток горючої речовини та теплоту згоряння палива. Отже, теоретичні об'єми повітря та продуктів згоряння на 1 кг палива зменшуються. При постійній природній витраті палива зменшується загальна кількість тепла, що виділяється піччю, та температура газу на виході з печі. Збільшується частка тепла, що передається випромінюванням, а конвективне поглинання тепла зменшується через зменшення об'єму газу та температурного тиску. Відносне зниження температури газу поступово зменшується вздовж шляху потоку газу до кінця.

Збільшення робочої вологості палива також спричиняє зниження теплоти згоряння палива, але більшою мірою, ніж це пов'язано з відповідним зменшенням вмісту горючих компонентів, оскільки збільшується теплота,

необхідна для випаровування вологи. Зміна теплоти згоряння палива є результатом змін у його складі. Це зменшення теплоти згоряння спричиняє збільшення вмісту баласту у відхідних газах та збільшення їх об'єму. Вторинні ефекти можуть включати погіршення процесу горіння та збільшення втрат у топці. Фракційний склад палива визначається на основі характеристик гранульованого вугілля. Характеристиками палива в першу чергу вважаються залишки, що залишаються після просіювання пило-вугілля на ситах 90 та 200 мікрон. Чим менший розмір частинок пилу, тим менша кількість механічно незгорілого палива, але водночас більше електричної енергії витрачається на подрібнення. Оптимальний ступінь подрібнення повинен відповідати мінімальній сумі цих втрат.

Надлишок повітря в топці є найважливішим експлуатаційним показником, що має значний та багатогранний вплив на ефективність та надійність котла [2, 7, 24, 30]. Збільшення надлишку повітря в топці не викликає помітної зміни температури газів перед конвекційними поверхнями, але їх об'єм та ентальпія значно зростають. Отже, температурні тиски не змінюються, а коефіцієнт теплопередачі збільшується в зоні домінантної конвективної теплопередачі, тобто в перегрівачі, водонагрівачі та повітрянагрівачі.

Система димоходів незаряджених котлів працює під вакуумом. Цей вакуум становить 50-20 Н/м² у камері згоряння та 2-3 кН/м² перед димоходами. Тому будь-який витік у системі димоходів служить джерелом зовнішнього забору повітря. Найбільш схильні до витоків ділянки, це стики між окремими елементами кладки та металевими компонентами, а також труби котла, зварні шви корпусу, а також компоненти та труби повітрянагрівача.

Зміна температури гарячого повітря є результатом зміни режиму роботи повітрянагрівача, спричиненої такими факторами, як зміни напору, коефіцієнта теплопередачі та витрати газу або повітря. Збільшення

температури гарячого повітря збільшує, хоча й незначно, швидкість виділення тепла в печі [7, 24, 28, 30].

1.2 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

Порушення режиму роботи котла може призвести не тільки до неприйнятних змін параметрів води або пари, що подається до ресивера, та зниження ККД котла, але й до серйозних несправностей, що призводять до зупинки агрегату, а також до загрози безпеці обслуговуючого персоналу.

Наприклад, через низьке завантаження палива в топку, переривання подачі палива або повітря, навіть на дуже короткий час, призводить до гасіння пальника. Згодом відновлення їх подачі в топку призводить до накопичення великої кількості паливо-повітряної суміші в згаслому топці та вибуху під час розпалювання. Збільшення споживання пари ресивером при постійній подачі живильної води призводить до швидкого падіння рівня води в барабані котла з природною циркуляцією, спорожнення вхідного перерізу водовідвідних труб. Це перериває подачу котлової води до корпусних труб, порушує внутрішнє охолодження цих труб, призводить до їх перегріву та руйнування.

На всі процеси, що відбуваються в котлі, впливає регулювання рівнів палива, повітря, живильної води та вакууму (тиску) в котлі. Виконання цих завдань вручну (ручне регулювання) затримує цільовий процес і вимагає значної уваги та зусиль. Автоматичне регулювання підвищує безпеку, надійність та економічну ефективність експлуатації котла, зменшує кількість обслуговуючого персоналу та покращує умови праці.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є вирішення задач автоматизації теплових процесів систем теплопостачання та обґрунтування теплових, конструктивних параметрів та електричної схеми пристрою автоматичного регулювання режимів роботи котельного агрегату.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

2.1 Основні поняття та визначення теорії автоматичного регулювання

На рисунку 2.1 зображено просту систему автоматичного керування. Енергія будь-якого типу подається на об'єкт 2 через контролер 1. В об'єкті 2 енергія перетворюється та подається на приймач. У точці 3 частина енергії, що подається на приймач, або сигнал, пропорційний значенню цієї енергії, приймається та передається на контролер 4. Контролер отримує команду від уставки 5 [13, 15].

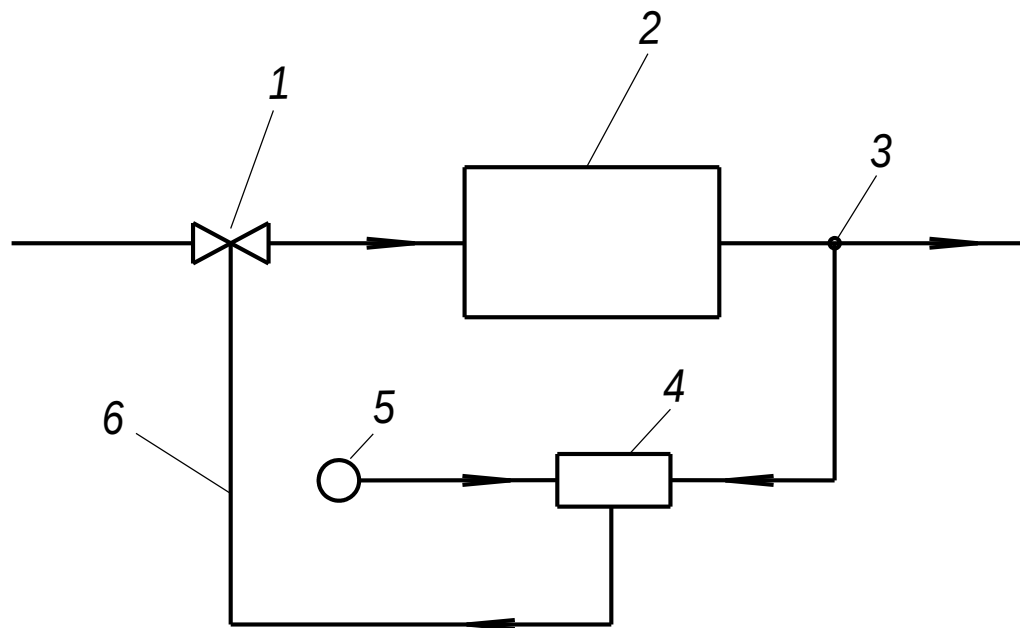


Рисунок 2.1 - Система автоматичного регулювання:

- 1 - регулюючий орган;*
- 2 - об'єкт регулювання;*
- 3 - вихідний параметр;*
- 4 - регулятор;*
- 5 - задавач;*
- 6 - команда регулятора.*

Значення цільового сигналу та сигналу, що характеризує вихідний параметр об'єкта, порівнюються. Якщо вони не рівні, команда, що генерується в результаті нерівності цих двох значень, надсилається до контролера 1. Контролер рухається таким чином, щоб різниця між вихідним параметром об'єкта та цільовим параметром контролера зменшувалася. Команда 6 обробляється контролером відповідно до одного з математичних законів автоматичного керування.

Процес керування представленою системою може відбуватися у двох станах – сталому та перехідному. Якщо значення сигналів керованого параметра та цільового параметра рівні, що призводить до нульової команди до контролера та відсутності впливу на процес, такий стан системи називається стаціонарним.

Збурення в системі керування – це дії, які призводять до відхилення контрольованого параметра від його заданого значення.

Збурення, що виявляються системою керування, поділяються на внутрішні та зовнішні. Основним зовнішнім збуренням для системи є зміна навантаження установки, тобто зміна споживання енергії керованою установкою, наприклад, зміна витрати пари, що генерується котлом, або зміна рівня води в барабані котла, що вимагає зміни кількості споживаної живильної води.

До внутрішніх збурень належать збурення, що виникають у контурі керування. До таких збурень належать, наприклад, зміна складу палива, що спалюється в печі, стрибок напруги в контролері тощо [3, 10, 17, 20].

Внаслідок збурення в системі параметр відхиляється від заданого значення, і на вході контролера з'являється сигнал, що вказує на різницю між заданим значенням і фактичним значенням керованого параметра. Цей сигнал називається сигналом невідповідності (помилкою керування). Сигнал невідповідності активує контролер, команда якого впливає на елемент керування. При появі сигналу невідповідності система виходить зі

стаціонарного стану. Починається процес керування, який називається перехідним процесом. Перехідний процес завершується наступним стаціонарним станом системи.

Залежно від властивостей об'єкта керування та характеристик контролера, перехідний процес може протікати в різних режимах.

На рисунку 2.2 показано можливі криві перехідного процесу.

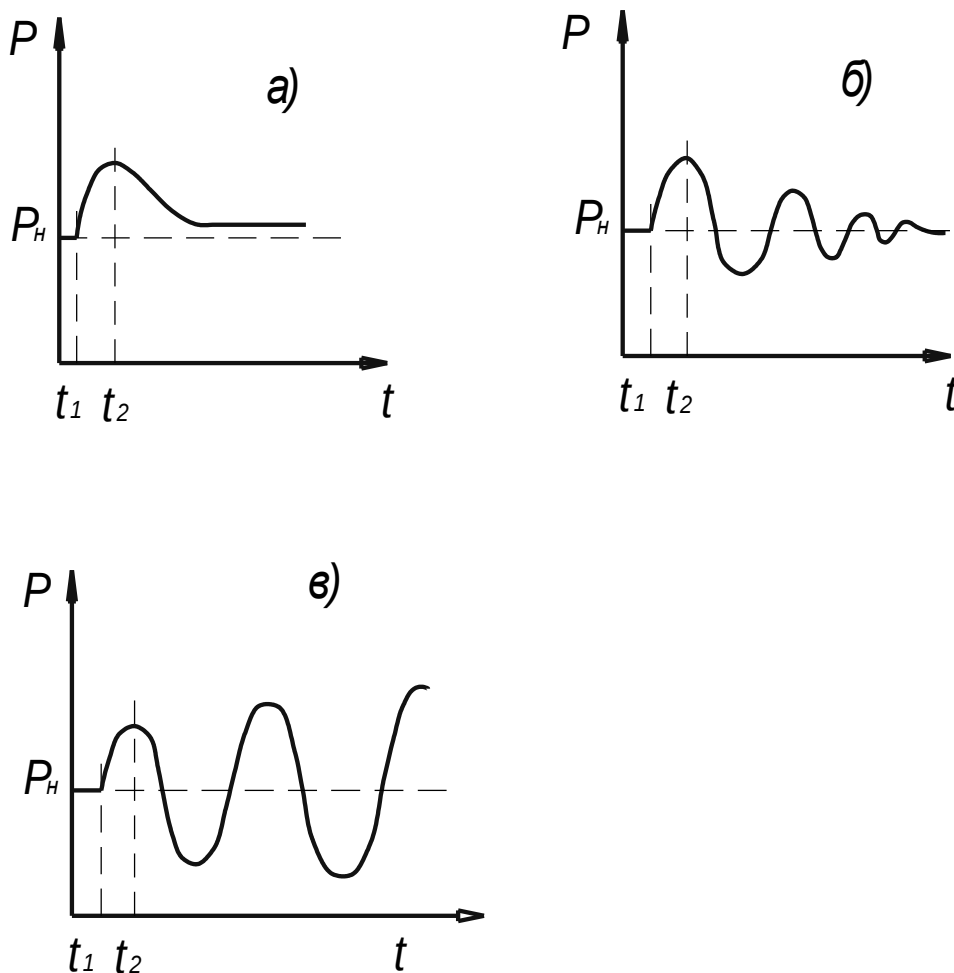


Рисунок 2.2 - Графіки перехідних процесів регулювання:

а - монотонний;

б - коливний затухаючий;

в - коливний розхідний.

Ордината графіків відображає значення керованого параметра, а абсциса – час керування. У момент часу t_1 виникає збурення, що призводить до відхилення керованого параметра P від номінального значення P_n . У момент часу t_2 регулятор починає впливати на керовану систему.

Крива на рисунку 2.2,а відображає так званий монотонний, збіжний процес керування. У цьому випадку після виникнення збурення регулятор поступово приводить кероване значення до нового стаціонарного стану, зменшуючи його до номінального значення.

На рисунку 2.2,б показано криву, що характеризує коливальний, затухаючий процес керування. Такий перехідний характер найчастіше зустрічається в складних системах керування.

Оскільки сама система керування може мати інерцію, виникає незначне перерегулювання та коливальний процес. Під час коливального процесу відхилення параметра від заданого значення стає все меншим і меншим, поки перехідний процес остаточно не завершиться.

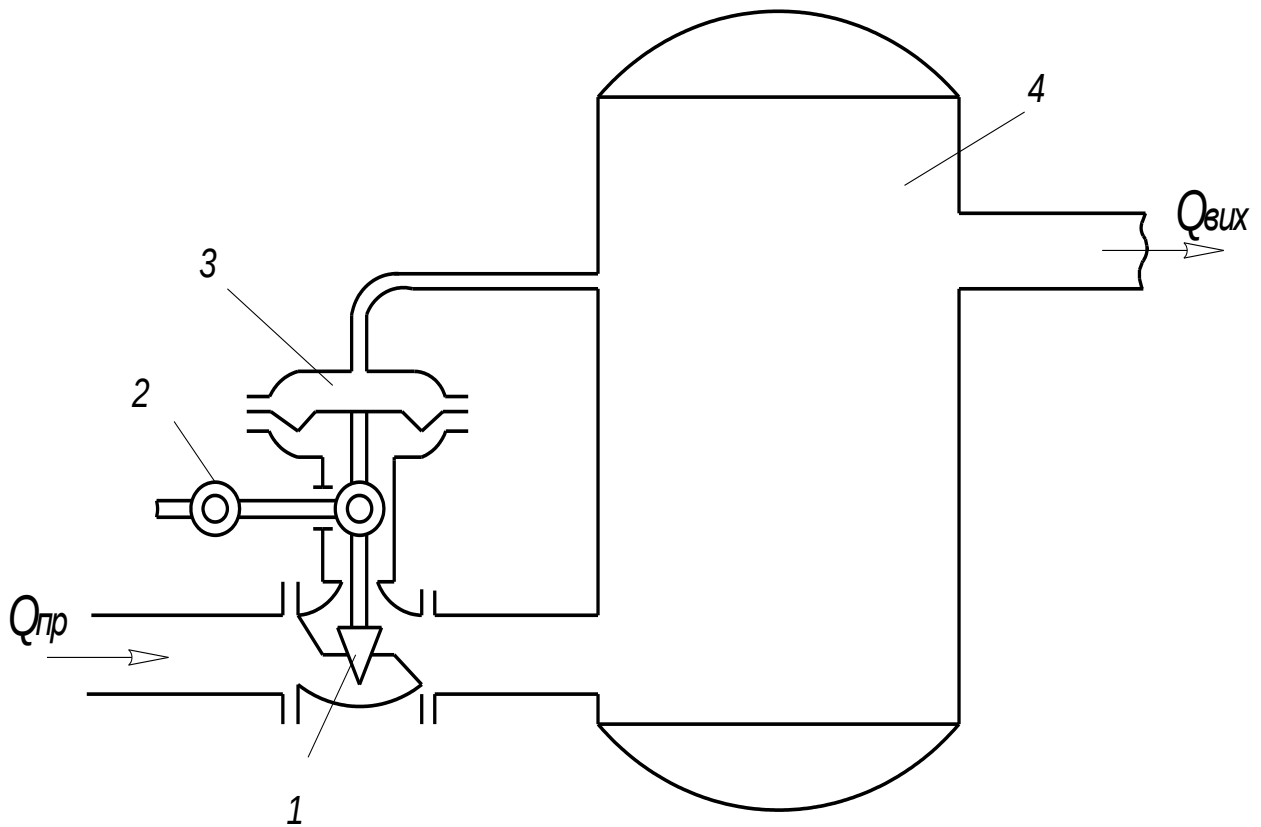
У разі неправильного проектування або налаштування системи керування (перехідний процес може бути дивергентним, при якому амплітуда параметра з часом збільшується (графік на рисунку 2.2,в)).

Як приклад коливального процесу розглянемо процес регулювання тиску стисненого повітря в резервуарі (див. рисунок 2.3). У резервуар 4 вводиться певна кількість повітря Q_{np} . Оскільки ця кількість повітря дорівнює кількості повітря, що виходить з резервуара $Q_{вих}$, тиск повітря в резервуарі знаходиться на заданому рівні.

Тиск повітря передається через імпульсну трубку до діафрагми 3 регулювального елемента. Діафрагма клапана з'єднана з регулювальним елементом 1 штоком, який змінює потік повітря. Тиск, що діє на діафрагму, врівноважується навантаженням 2, механічно з'єднаним зі штоком клапана.

У момент часу t_0 (див. рисунок 2.4,а,б) витрата повітря, що відсмоктується ресивером з резервуара, швидко зменшилася (крива 1). Коли

витрата повітря в резервуарі починає перевищувати витрату повітря, тиск у резервуарі починає зростати (крива 2 в області ОА). Збільшення тиску, що передається через імпульсну трубку до діафрагми 3 (див. рисунок 2.3), порушує рівноважний стан системи.



*Рисунок 2.3 - Система регулювання:
1 - регулюючий орган; 2 - зрівноважувальний
вантаж; 3 - чутливий елемент регулятора
(мембрана); 4 - ємкість.*

Коли тиск на діафрагму перевищує вагу навантаження, що діє на шток клапана, клапан починає закриватися. Кількість повітря, що надходить у резервуар, починає зменшуватися (крива 3, сегмент O_1A_1). У момент часу t_1 кількість повітря, що надходить, дорівнюватиме кількості повітря, що всмоктується споживачем, тому тиск у резервуарі більше не зростатиме

(точка А на кривій 2). Однак, оскільки тиск у резервуарі вищий за початковий тиск, на який було налаштовано регулятор за допомогою навантаження 2 (див. рисунок 2.3), діафрагма продовжує згинатися вниз, ще більше зменшуючи потік повітря в резервуар (крива 3 від точки A_1 до B_1).

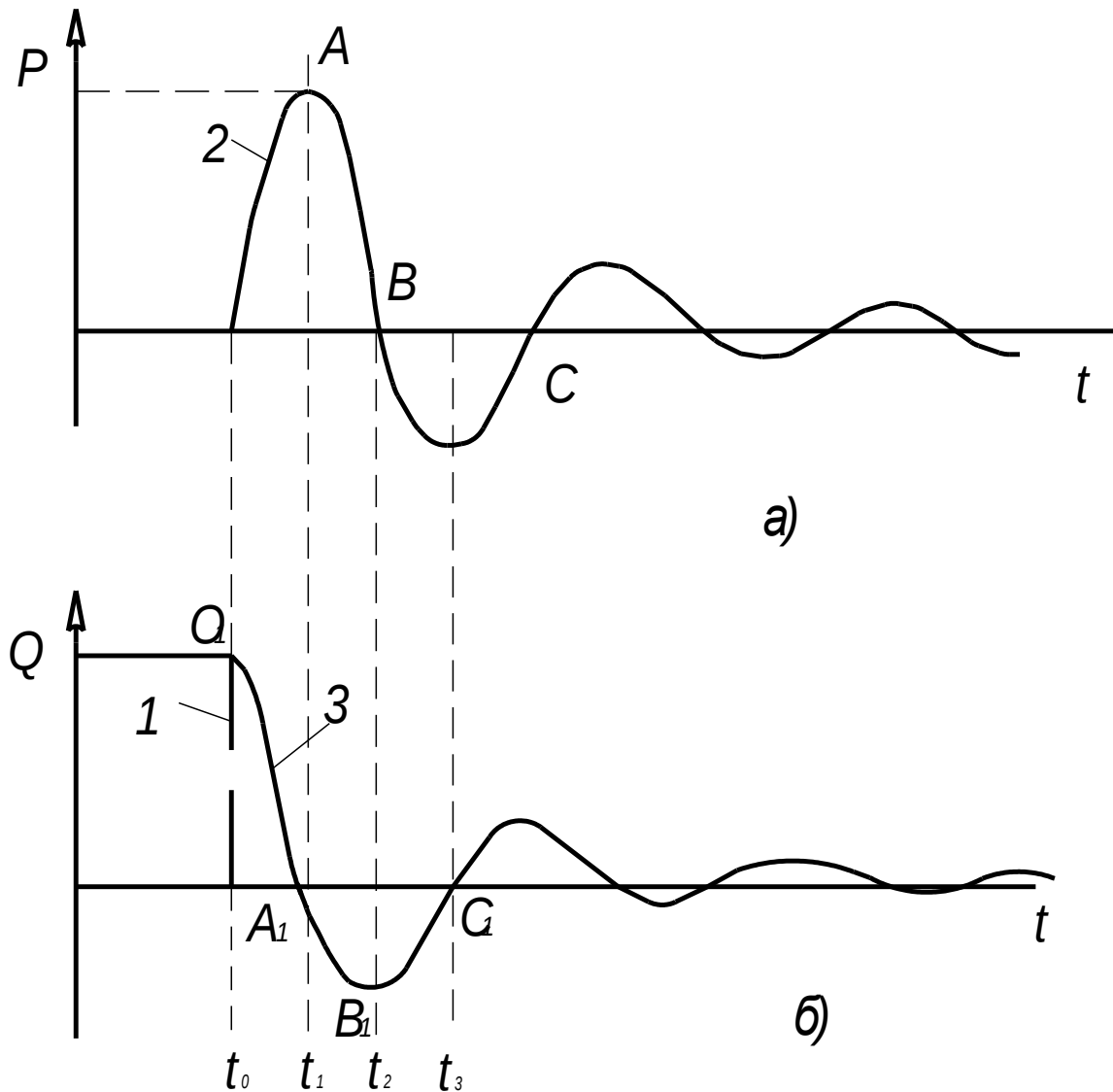


Рисунок 2.4 - Коливний перехідний процес:
а- графік коливання тиску в ємності;
б- графік витрати повітря

У свою чергу, зменшення припливу призведе до зменшення тиску в резервуарі (крива 2, відрізок АВ). У момент часу t_2 тиск у резервуарі дорівнюватиме номінальному тиску, і шток клапана перестане рухатися. Однак, оскільки кількість повітря, що надходить у резервуар (точка B_1 на кривій 3), менша за потік повітря з резервуара (точка B_1^1 на лінії 1), тиск у резервуарі також почне зменшуватися. В результаті навантаження змусить клапан відкритися, збільшуючи потік повітря. Це створює перехідний коливальний процес [3, 10, 13, 15, 17, 20].

У системі керування, зображеній на рисунку 2.1, завданням контролера було підтримувати заданий вихідний параметр. Цільове значення, встановлене контролером, залишається постійним у будь-який момент часу, незалежно від часу або зміни значення будь-якого іншого параметра. Такий тип керування називається стабілізацією точки керування технологічним процесом. Такий тип керування є найпоширенішим.

Прикладом процесу стабілізації є процес регулювання тиску пари в барабані котла, в системі без коригувального контролера, де тиск пари повинен підтримуватися на постійному рівні в будь-який момент часу. У практиці регулювання технологічних процесів часто виникає необхідність регулювати один параметр залежно від зміни значення іншого параметра. Прикладом такого регулювання є регулювання витрати повітря в топку залежно від витрати палива, що надходить у топку. Такі системи керування називаються системами стеження [13, 15, 17, 23].

Система, в якій завдання контролера змінюються відповідно до заздалегідь визначеної програми, називається програмним керуванням. Прикладом такого керування є регулювання подачі тепла від опалювального приладу до системи опалення будівлі. Протягом дня, протягом заданого періоду, кількість гарячої води для побутових потреб повинна підтримуватися на номінальному рівні. Після закінчення робочого дня інтенсивність опалення можна зменшити. Потім, перед початком робочого

дня, опалювальне навантаження має досягти свого максимуму, щоб температура в приміщенні повернулася до нормального рівня. Протягом робочого дня опалювальне навантаження має повернутися до нормального рівня. У цьому випадку завдання контролера на день встановлюються за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Система пошуку є більш складною та розширеною. У цьому типі регулювання оптимальне (найкраще з найкращих) значення параметра підтримується з усіх можливих значень цього параметра.

Наприклад, якби регульованим параметром був ККД парового котла, завданням регулятора було б забезпечення максимальної ефективності горіння шляхом керування подачею палива та повітря, тобто підтримка всіх необхідних параметрів виходу котла (тиску та витрати пари) на такому рівні, щоб у топку подавалася оптимальна кількість палива, що відповідає мінімальній витраті палива та максимальному ККД котла. Виходячи з характеру їхньої роботи, регулятори можна розділити на дві групи: прямі та непрямі.

Регулятор, зображений на рисунку 2.3, є регулятором прямої дії. У цих регуляторах для переміщення регульовального елемента використовується енергія, що отримується безпосередньо від вимірювального пристрою регулятора. У цьому випадку тиск у резервуарі передається безпосередньо від діафрагми до штока регулюючого клапана. До переваг регуляторів прямої дії належать проста конструкція та надійність експлуатації; до недоліків – відносно великі похибки регулювання та недостатньо швидка реакція на відхилення регульованої величини. Крім того, сили, що створюються регуляторами прямої дії, у багатьох випадках недостатні для переміщення регульовальних елементів. Для переміщення регульовальних елементів (клапанів, засувки та дросельних заслінок великого діаметра) необхідно створювати сили, які регулятори прямої дії не можуть забезпечити.

Регулятори бічної дії використовують енергію із зовнішнього джерела, яка подається до виконавчого механізму. Регулятори бічної дії класифікуються та називаються залежно від типу використовуваної енергії: електричні, пневматичні та гідравлічні.

2.2 Стійкість та якість систем регулювання

Як уже зазначалося, перехідні процеси керування можуть бути збіжними або розбіжними. Залежно від цього розрізняють стійкі та нестійкі системи керування [8, 10, 13]. Об'єкти, що підлягають керуванню, також можуть мати різні характеристики. У деяких об'єктах після збурення керований параметр повертається до початкового стану без зовнішнього втручання. Такі об'єкти називаються самовирівнювальними або статичними об'єктами.

Прикладом такого об'єкта є куля, що котиться по внутрішній поверхні труби. Будь-яке відхилення кулі від її прямолінійної траєкторії піднімає її вгору по стінці, змушуючи її котитися назад на дно труби. Отже, прямолінійний рух кулі по дну труби є стійким, а будь-яке відхилення від прямолінійної траєкторії кулі призводить до самовирівнювального руху.

Іншим прикладом стійкої системи є рівень води у водосховищі, куди вода тече з кількох річок та каналів. Збільшення припливу води призведе до підняття рівня води у водосховищі, що, у свою чергу, збільшить потік води з водосховища. Таким чином, рівень води у водосховищі після незначних коливань прийме нове, стійке положення, що відповідає новому припливу та відпливу води.

Слід зазначити, що нове положення рівня води не обов'язково відповідатиме старому, але воно може стати новим, стійким.

Об'єкти, які не мають самовирівнювання, називаються нестійкими або астатичними. Прикладом такого об'єкта є куля, що котиться по зовнішній поверхні труби. Будь-яке збурення у вигляді сили, спрямованої протилежно

руху кулі, призведе до того, що куля скотиться з труби і не повернеться на пряму траєкторію. У цьому випадку прямолінійний рух кулі є нестійким.

Також, прикладом нестійкої системи є резервуар, з якого вода не тече самопливом, а видаляється насосами. У такій системі під час весняної повені рівень води підніматиметься, доки продуктивність насоса не зміниться під впливом зовнішніх факторів.

До несамовирівнювальних об'єктів також належать об'єкти, які можуть перебувати в стані нейтральної рівноваги [15]. Це системи, які не розходяться і не збігаються. Наприклад, куля, що котиться по плоскій поверхні, є нейтральною системою, оскільки після усунення збурення вона перестає відхилятися від своєї траєкторії, але не повертається до прямої лінії, від якої відхилилася.

Іншим прикладом є система подачі повітря до котла. Коли навантаження котла або подача палива до печі змінюється без втручання спеціального регулятора, кількість повітря, що подається до печі, не змінюється.

Однією з характеристик об'єкта є його ємність. Ємність об'єкта – це його здатність накопичувати та вивільняти речовину або енергію. Наприклад, під час регулювання рівня води в барабані котла ємність барабана впливає на швидкість відновлення рівня.

Під час регулювання напруги на об'єктах, що живляться довгим кабелем, електрична ємність кабелю впливає на процес регулювання.

Ємність має суттєвий вплив на характер перехідних процесів у системах керування, спричиняючи затримки та вивільнення енергії, накопиченої через збурення та відхилення від заданого значення. Ємність об'єкта характеризується коефіцієнтом ємності та характером зміни параметра з часом після збурення. Коефіцієнт ємності – це кількість енергії або речовини, яка повинна бути подана до ємності, щоб змінити контрольований параметр на одиницю вимірювання.

Наприклад, у випадку керування рівнем це буде кількість рідини, необхідна для зміни рівня на 1 см, тоді як у випадку керування напругою це буде кількість електричної енергії, необхідна для збільшення напруги на конденсаторі на 1 В.

Графік зміни параметра після одиничного збурення називається кривою прискорення або характеристикою прискорення об'єкта. Чим більша ємність об'єкта, тим повільніше змінюється параметр.

На рисунку 2.5 показано криві прискорення об'єктів з різною ємністю. У момент часу t_0 на об'єкт вплинуло збурення. В об'єкті з малою ємністю новий стаціонарний стан P_2 виникає раніше (крива 1), ніж в об'єкті з великою ємністю (крива 2).

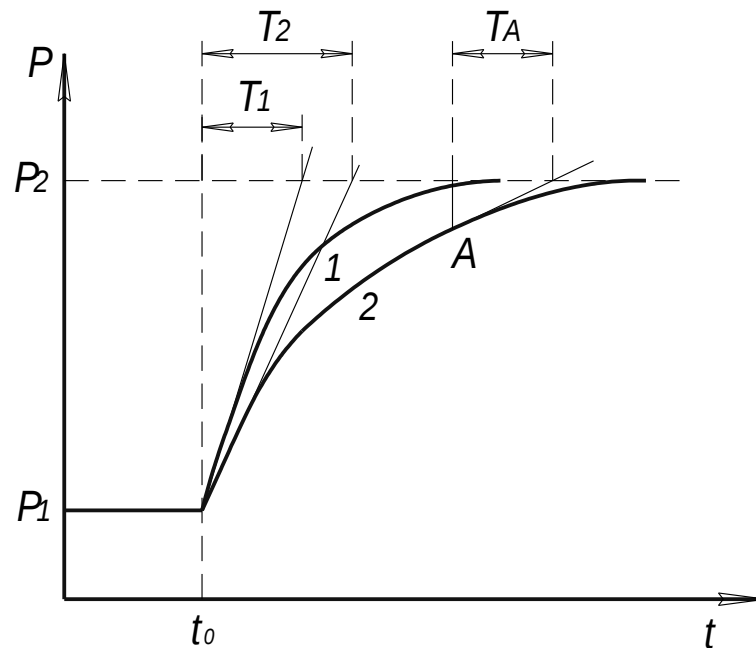


Рисунок 2.5 - Криві розгону ємкісних об'єктів з різною величиною ємності: 1 - крива розгону малоемкісного об'єкту; 2 - крива розгону великоемкісного об'єкту; P_1 - початкове значення параметра; P_2 - усталене значення параметра; T_1 , T_2 , T_A - постійні часу розгону.

Для кожного об'єкта, для якого будується система автоматичного керування, визначаються криві прискорення. Ці криві дозволяють

розрахувати процес керування об'єктом та правильно налаштувати контролер. Криві прискорення об'єкта являють собою математичну криву, яка називається експонентою. Ця крива має таку властивість: дотична, проведена через початкову точку кривої, характеризує швидкість зміни параметра.

На лінії P_2 , новому постійному значенні параметра, дотична перетинає відрізок $T_1(T_2)$, який є часом, необхідним для зміни параметра від значення P_1 до значення P_2 при постійній швидкості, отриманій у початковий момент. Цей відрізок називається постійною часу процесу. Дотична, проведена через будь-яку точку А, характеризує швидкість зміни параметра в цій точці, і стала часу завжди залишається незмінною. Для характеристики цього процесу використовується поняття часу прискорення.

Час прискорення T_0 – це час від моменту застосування збурення до моменту досягнення керованим параметром свого нового постійного значення. За умови, що інші фактори залишаються постійними, час прискорення залежить від коефіцієнта корисної дії об'єкта. Чим вищий цей коефіцієнт, тим довший процес прискорення. Іноді замість часу прискорення використовується обернена величина, яка називається швидкістю прискорення та дорівнює одиниці, поділеній на час прискорення.

Ще однією характеристикою процесу керування цим об'єктом є затримка процесу. Затримка визначається як затримка в часі, необхідному для зміни регульованого параметра після виникнення збурення. Прикладом затримки транспортування є затримка підвищення тиску на кінці довгого трубопроводу після збільшення продуктивності насосного агрегату регулятором. У цьому випадку значення затримки залежать від довжини лінії. У тій самій лінії, але з більшим діаметром, затримка буде ще більшою, оскільки значення затримки відобразиться, порівняно з першим випадком, на збільшенні продуктивності лінії. Ця затримка називається ємнісною.

Окрім характеристик прискорення, для дослідження та оцінки процесу керування також використовуються частотні характеристики об'єкта. Під час побудови характеристик прискорення на керований об'єкт подавалося одиничне збурення, тоді як під час побудови частотних характеристик на вхід об'єкта подавалося періодичне збурення у вигляді синусоїдальних коливань.

Частотні характеристики визначають залежність коливань вихідного параметра від заданих коливань, що подаються на вхід об'єкта. Коливання, отримані на виході керованого об'єкта, можуть відрізнятися від коливань, що подаються на вхід, як за фазою, так і за амплітудою. Залежність відношення амплітуди коливань на виході керованого об'єкта до амплітуди коливань на вході від частоти називається амплітудно-частотною характеристикою.

Залежність фазового зсуву від частоти при зміні частоти збурень, що подаються на вхід, називається фазо-частотною характеристикою.

Частотні характеристики в першу чергу використовуються в математичному аналізі процесів керування. Характеристика об'єкта має вирішальне значення при виборі контролера для системи керування. Окрім стабільності, система керування повинна відповідати певним вимогам до якості процесу керування.

Якість процесу керування оцінюється на основі двох основних показників: точності вихідного сигналу параметра після виникнення збурення на заданому значенні та швидкості відновлення усталеного режиму процесу керування. У кожному окремому випадку вимоги до якості процесу керування вибираються з урахуванням технологічних характеристик об'єкта керування. Якість процесу керування залежить як від властивостей самого об'єкта керування, так і від властивостей автоматичного регулятора. Властивості об'єкта керування визначаються його конструкцією та режимом роботи. Властивості регулятора визначаються його типом та налаштуваннями.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ

3.1 Запропонована функціонально-технологічна схема системи автоматичного регулювання котельного агрегату

Котельний агрегат – це складний комплекс машин і механізмів, що працюють в одній технологічній лінії [7, 24, 26, 30].

Окрім основного виробництва, котельня може включати кілька цехів: підготовки води, підготовки та транспортування палива, постачання тепла споживачеві через водопостачання централізованого опалення та гаряче водопостачання тощо.

Кожен з цих цехів містить генератори та двигуни, багато з яких автоматизовані, взаємопов'язані або інтегровані в систему автоматичного керування (САК).

Однак усі ці допоміжні споруди та установки призначені для забезпечення безперебійної роботи котла та турбін ТЕЦ, або ж є пристроями, призначеними для розподілу енергії, що виробляється теплоелектростанцією. Котел залишається основним енергоємним елементом, вирішальним для економічної роботи теплоелектростанції. Тому особливе значення надається системі керування тепловими процесами котла.

На рисунку 3.1 показано запропоновану схему котла з системою автоматичного керування (САК) основними технологічними параметрами. Паливо, що спалюється в топці 1, виділяє певну кількість тепла, яке поглинається активними поверхнями нагріву котла. Зазвичай це екрановані водонагрівальні труби, що спускаються з барабана котла, оточуючи паливний простір і створюючи замкнутий контур циркуляції води.

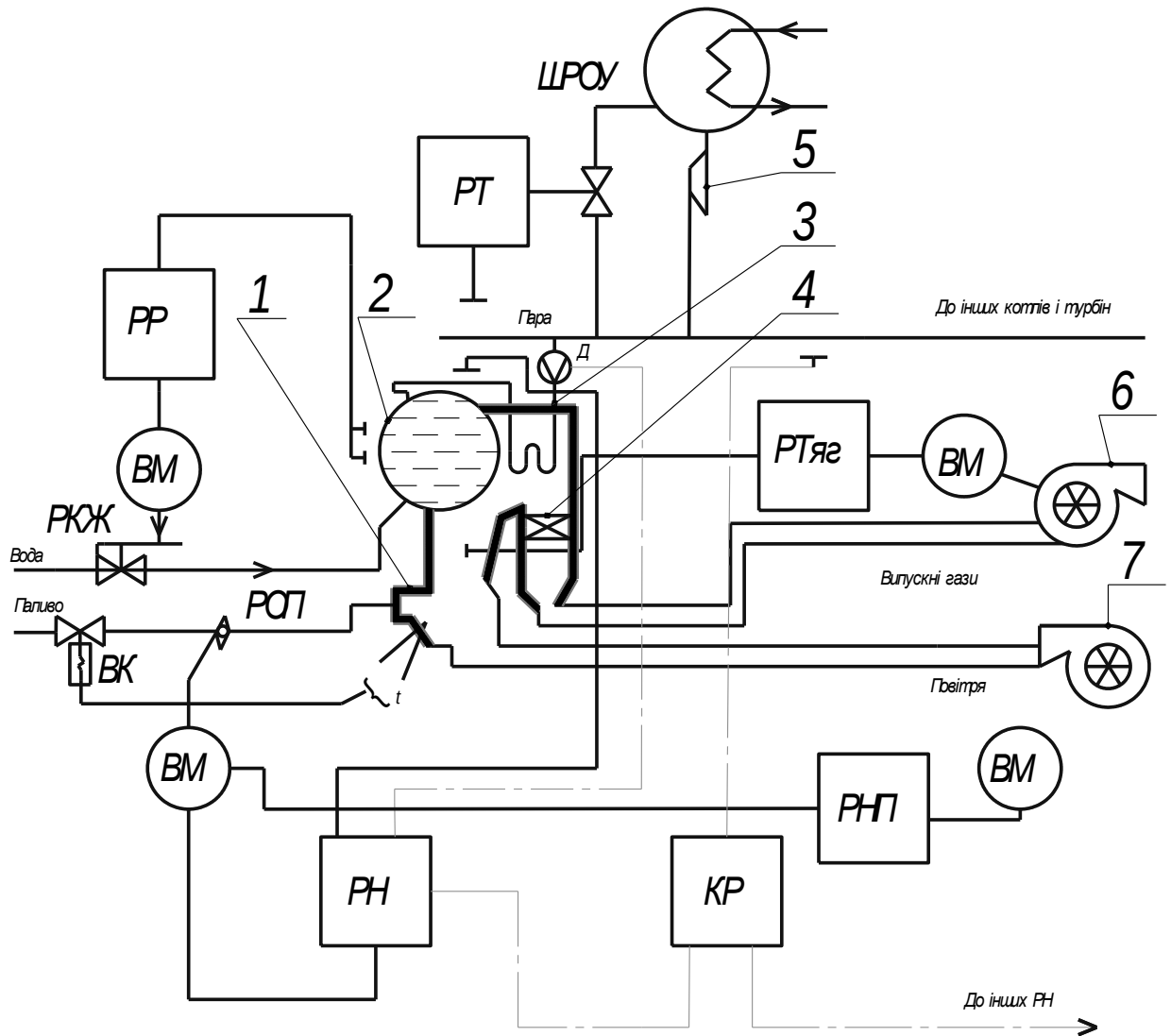


Рис.унок 3.1 - Схема котельного агрегата з основними точками регулювання: 1 - топка котла; 2 - барабан котла; 3 - пароперегрівник; 4 - економайзер; 5 - турбіна; 6 - димосос; 7 - вентилятор; ВК - відсічний клапан; РОП - регулюючий орган палива; РКЖ - регулюючий клапан живильної води; ВМ - виконавчий механізм; РР - регулятор рівня; РТ - регулятор тиску; ЩРОУ - швидкодіюча редуційно-охолоджувальна установка; Д - діафрагма; РТяг - регулятор тяги; РНП - регулятор надлишку повітря; КР - коректуючий регулятор; РН - регулятор навантаження; t - термопара.

Тепло, що передається трубкам гарячими газами, призводить до кипіння води в трубах, створюючи суміш пари та води. Густина цієї суміші нижча, ніж у води, тому нагріта парова емульсія піднімається по трубах у барабан котла, де пара відділяється від води та займає верхню частину барабана. Через ненагріті водостічні труби, з'єднані з нагрітими трубами в нижній частині котла, нова вода надходить, щоб замінити емульсію, яка потрапила в барабан котла, переформовуючи емульсію, піднімаючись вгору. Це створює постійну циркуляцію води в котлі.

Утворена пара накопичується в барабані котла 2 і надходить через перегрівач 3 до парової турбіни 5. Продукти згоряння палива (у вигляді газів) відводяться димотягом 6. По дорозі відхідні гази проходять через труби перегрівача 3 та водяного економайзера 4. Повторне використання тепла відхідних газів підвищує ефективність, оскільки тепло використовується для підвищення енергетичної ефективності пари, а нагріта живильна вода, що надходить у барабан, не охолоджує воду, що міститься в ньому. Нагріта вода після водяного економайзера надходить у барабан через клапан живлення котла, поповнюючи втрати води парою.

Паливо (в даному випадку горючий газ) надходить у піч через запірний клапан ВК та регулятор палива РОП. Нормальне горіння палива забезпечується подачею повітря в піч від вентилятора 7. Для підтримки економічної та стабільної роботи котла необхідно насамперед вибрати параметр, який слугуватиме основою для регулювання подачі палива в піч.

В окремих котлах, кожен з яких працює на свою турбіну, цим параметром є тиск пари в барабані. Дійсно, якщо кількості палива, що спалюється в печі, достатньо для вироблення пари, що покриває її споживання, тиск у барабані залишатиметься незмінним. Іншими словами, тепловий потік до котла від спаленого палива, враховуючи ККД, повинен відповідати втратам тепла при вибраній парі [15, 18].

Якщо кількість палива, що подається в піч, перевищує теплоспоживання пари, то виробництво пари в котлі збільшиться, а тиск у барабані котла збільшиться. Якщо кількість тепла, що відводиться з парою, перевищує тепло, що підводиться з паливом, тиск у барабані котла зменшиться. Кількість тепла, що подається в піч, може змінюватися через зміни складу та калорійності палива. Однак, якщо припустити, що склад палива, що подається, залишається постійним, що справедливо для газоподібного та рідкого палива, то зміна подачі палива в піч може бути викликана лише зміною кількості відведеної пари. Тому процес регулювання подачі палива називається регулюванням навантаження котла, а контролер, який реалізує цей процес, називається контролером навантаження РН.

Регулятор РН отримує імпульс тиску в барабані котла та передає команду на ВМ – виконавчий механізм, який переміщує елемент керування паливом РОП. Регулятор не тільки передає команду на елемент керування, але й обробляє її відповідно до законів керування. Річ у тім, що процес пароутворення в котлі характеризується певною інерцією, тобто зі зміною подачі палива кількість виробленої пари змінюється не миттєво. Це пов'язано з тим, що сам процес пароутворення відбувається з часом, і, крім того, деяка кількість тепла витрачається на нагрівання паливних мас котла [13, 15, 18].

3.2 Запропонована принципова електрична схема системи автоматичного регулювання котельного агрегату

Принципова електрична схема – це тип електричної схеми, яка забезпечує найповніше розуміння структури та принципів роботи пристрою. Цей тип схеми зазвичай використовується при проектуванні цифрового комп'ютерного обладнання. Однак вона не враховує загальні розміри або фактичне розташування компонентів пристрою. За рівнем деталізації схеми знаходяться між функціональними та складальними схемами.

Схему електричних схем було розроблено на основі аналізу функціональних та структурних схем з урахуванням конструктивних особливостей та рекомендованих механізмів. Запропонована принципова електрична схема системи автоматичного регулювання котельного агрегату показана на рисунку 3.2.

На електричній схемі (див. рисунок 3.2) показано такі компоненти:

- LO – електромагнітний клапан;
- SL-G – газовий датчик;
- QF1-6 – автоматичні вимикачі;
- PDS – датчик тиску;
- SPDT – датчик тяги;
- KM – магнітний контактор;
- M1 – циркуляційний насос;
- M2 – живильний насос;
- MIK-51 – мікроконтролер;
- Газоаналізатор – пристрій контролю газу;
- Пальник – газовий пальник;
- t° – датчик температури;
- GSM-модуль – пристрій для передачі інформації на диспетчерський пульт.

Виконавчі механізми та датчики:

- Термометри розширення. Вони працюють за принципом теплового розширення рідин або твердих тіл.
- Термометри опору. Вони використовують взаємозв'язок між електричним опором металів або напівпровідників та температурою.

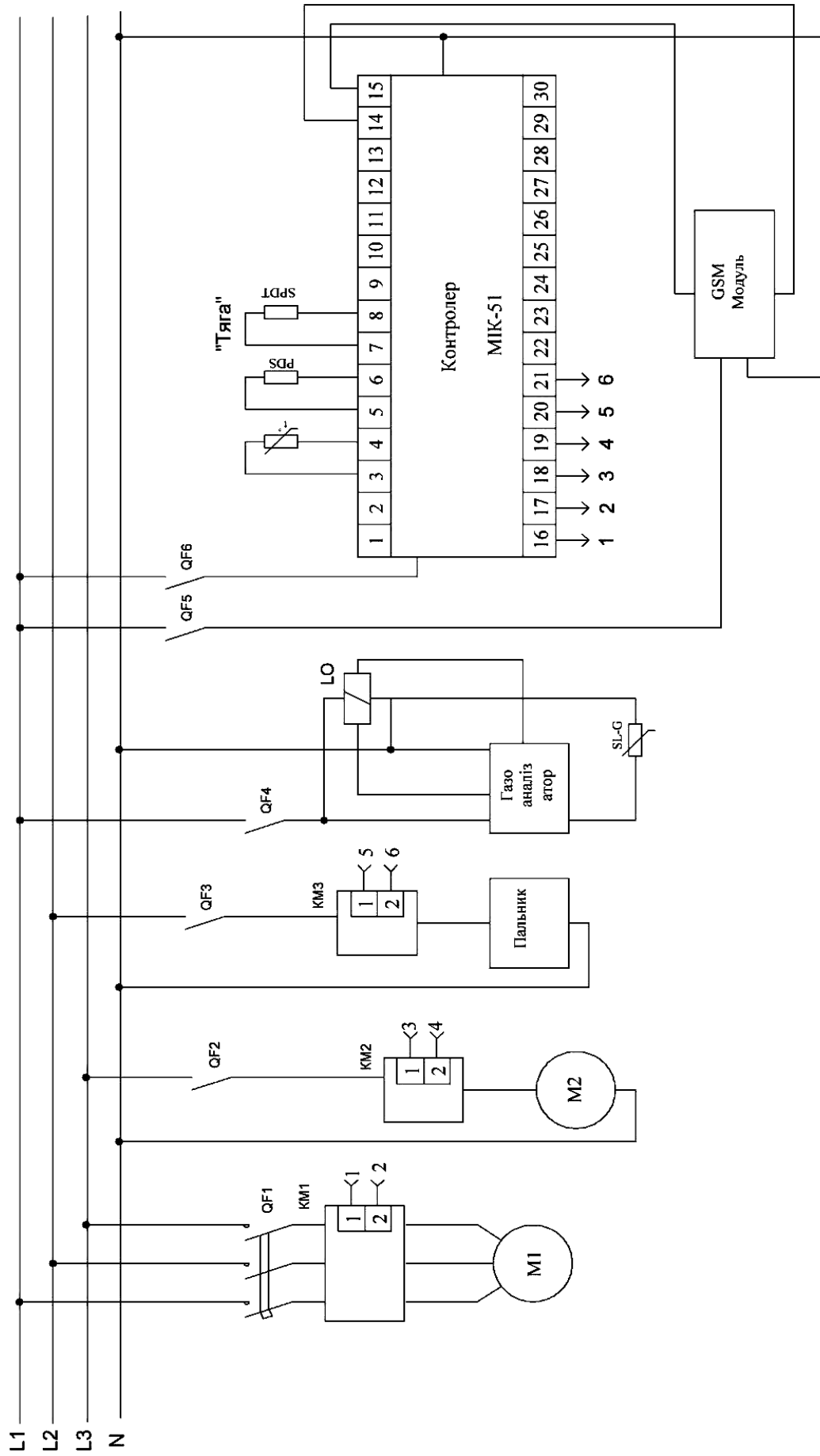


Рисунок 3.2 - Запропонована принципова електрична схема системи автоматичного регулювання котельного агрегату

- Термопари. Термоелектричні пристрої, засновані на взаємозв'язку між електрорушійною силою в замкнутому колі двох різнорідних металів та різницею температур між їхніми спаями.

- Манометричні термометри. Вони використовують взаємозв'язок між тиском рідини або газу при постійному об'ємі та температурі.

- Контроль та регулювання температури охолоджувальної рідини. Для вимірювання температури використовуються різні типи термометрів:

Тип датчика та виконавчого механізму вибирається відповідно до технічних характеристик (залежно від аналізованих параметрів, їх діапазону зміни, вимог до точності та чутливості тощо).

У нашому випадку датчик температури визначає температуру холодоагенту на виході з котла.

Система, що керується програмованим логічним контролером (ПЛК), починає роботу із замикання контакту перемикача QF6. Потім контролер МІК-51 активує систему, яка може працювати як в автоматичному, так і в ручному режимах.

Система включає два електродвигуни (М1) для циркуляційного насоса та (М2) для живильного насоса, якщо необхідно. Вони активуються магнітними пускачами КМ1 та КМ2. МІК-51 подає сигнал на пальники та, після перевірки всіх параметрів, починає роботу. Датчики температури (t°), тяги (SPDT), тиску (PDS) та газифікації (SL-G) постійно контролюють їхні параметри. Якщо параметри відхиляються від норми, сигнал з датчиків передається на контролер МІК-51, який, у свою чергу, подає сигнал на електромагнітний клапан LO для відключення подачі газу до пальника котла. Для повного відключення системи необхідно розімкнути контакти вимикача QF1-6.

Ця схема забезпечує наочність у роботі системи та допомагає ефективно організувати керування пристроєм. Тому ми використовуватимемо датчик температури ТСПУ-002 з уніфікованим

вихідним сигналом, призначений для вимірювання та перетворення вимірюваного значення в сигнал 4-20 мА, 0-10 В або RS-485. Датчики ТСПУ-002 використовуються для вимірювання температури навколишнього повітря, рідких, газоподібних та сипучих середовищ у різних галузях промисловості.

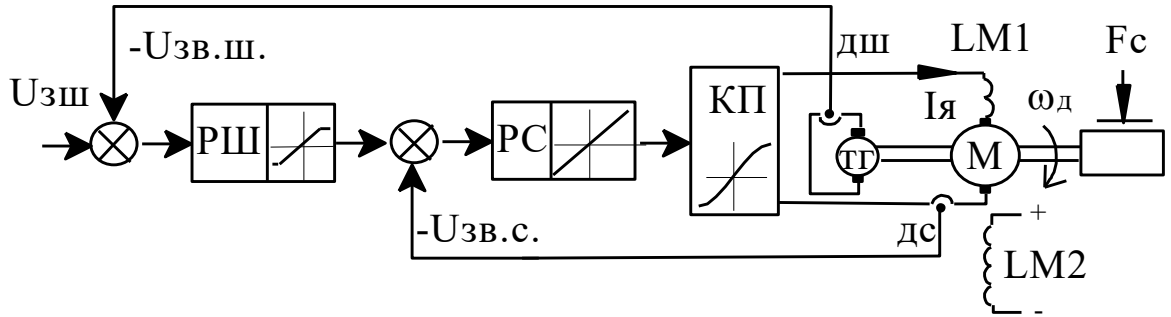
3.3 Обґрунтування системи регулювання параметрів електромагнітного газового клапана

Для регулювання параметрів електроприводу електромагнітного клапана ми використовуватимемо ведену систему керування (СПР).

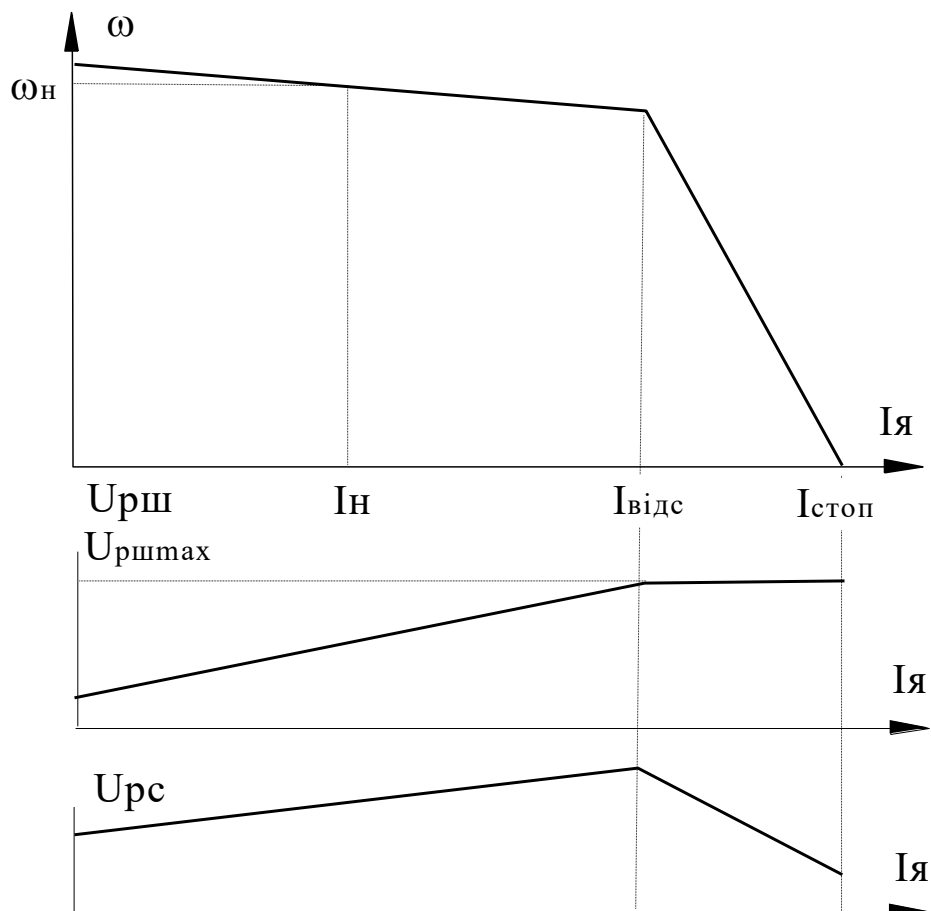
У цьому типі системи кожна керована координата керується окремим контролером. Усі контролери для окремих координат з'єднані послідовно, і на вході кожного контролера порівнюються сигнали, пропорційні заданому та фактичному значенням керованої координати. Вихідний сигнал контролера є сигналом заданого значення для контролера внутрішнього контуру керування, а обмеження керованої координати досягається шляхом обмеження сигналу заданого значення для цієї координати.

На рисунку 3.3.а показано функціональну схему двоконтурної системи стабілізації швидкості (СПР) з електроприводом КП-ДПС, з координатним керуванням струмом якоря $I_{\text{я}}$ та швидкістю двигуна $\omega_{\text{д}}$.

Внутрішній контур керування є петлею струму з регулятором РС, а зовнішній контур керування – петлею швидкості з регулятором РШ. Вихідна напруга регулятора РШ обмежена значенням $U_{\text{рш.мах}}$. Оскільки вихідний сигнал РШ є заданим значенням для регулятора РС, сигнал $U_{\text{рш.мах}} = U_{\text{з.рс.мах}}$ визначає максимально допустимий струм двигуна $I_{\text{я.мах}}$.



а)



б)

Рисунок 3.3 – Схема та характеристики системи з електроприводом КП-ДПС з регулюванням координат струму якорного кола $I_{\text{я}}$ та швидкості $\omega_{\text{д}}$ двигуна

На рисунку 3.3,б показано електромеханічну характеристику $\omega_d(I_a)$, а також характеристики регуляторів швидкості $U_{рш}=f(U_{зш}-U_{зв.ш})$ та струму $U_{рс}=f(I_a)$, які показують, що ділянка стабілізації швидкості АВ створюється одночасною роботою петель струму та швидкості, тоді як ділянка обмеження струму ВС створюється виключно петлею струму. Таким чином, створення сегмента стабілізації швидкості також вимагає компромісного налаштування контуру керування, подібного до того, що робиться в першому типі структури при створенні сегмента обмеження струму.

Однак, якщо в першому типі систем проблема розрахунку параметрів регулятора та їх регулювання в динамічних режимах є значно складною та не має інженерного методу розрахунку, то для розрахунку параметрів регулятора в СПР був розроблений інженерний метод розрахунку, який передбачає регулювання кіл за допомогою швидкості. Звичайно, через послідовне з'єднання кіл загальна швидкість системи знижується.

У третьому типі систем, так званих системах з паралельною активацією контролерів, подібно до ведених систем керування, кількість контролерів відповідає кількості керованих координат. Однак, на відміну від СПР, контролери в цій системі з'єднані не послідовно, а паралельно, і в будь-який момент часу може працювати лише один контролер, координата якого знаходиться на граничному рівні. Контролер, який у даний момент виконує керування, вибирається ланкою вибору режиму (ВР-ланка). У найпростішому варіанті функцію ВР-ланки може виконувати логічна ланка, яка «вибирає менший із сигналів».

Запропонована двоконтурна система керування веденим двигуном (СПР) з тиристорним перетворювачем показана на рисунку 3.4.

Система реалізує керування швидкістю в першій зоні з номінальним потоком двигуна ($\Phi_D = \Phi_{ДН}$) та забезпечує:

- формування статичних характеристик із заданим опором;

- заданий діапазон керування швидкістю;
- обмеження струмів (моментів) до допустимих значень.

Усі петлі зворотного зв'язку в колі є лінійними, тому для обмеження струму в режимах пуску, гальмування та навантаження до допустимих значень ($I_a \leq I_{a.\text{доп}}$) регулятор РШ спроектовано з обмеженням вихідного сигналу. Для цього регулятор РШ піддається нелінійному негативному зворотному зв'язку типу «мертвої зони».

У схемі, показаній на рисунку 3.4, це досягається за допомогою стабілітрона VD та потенціометра $P_{\text{рш}}$ на виході РШ. Потенціометр $P_{\text{рш}}$ дозволяє регулювати напругу відкриття стабілітрона VD і, таким чином, граничну напругу регулятора:

$$U_{\text{РШ.max}} = U_{\text{VD}}/\alpha \quad (3.1)$$

де $\alpha \leq 1$ – коефіцієнт потенціометра $P_{\text{рш}}$.

Характеристика регулятора РШ без урахування інверсії показана на рисунку 3.4, б. Ця характеристика забезпечує формування статичної характеристики $\omega_d(I_a)$ електроприводу типу «екскаватор», варіант якої показано на рисунку 3.4,б. Керуючий сигнал $U_{\text{зш}}$ на вході РШ вибирається виходячи з умови, що за відсутності сигналу зворотного зв'язку $U_{\text{зв.ш}}$, регулятор РШ знаходиться в стані насичення (ділянка В-С). У режимі роботи приводу на ділянці стабілізації швидкості (ділянка А-В) сигнал $U_{\text{зв.ш}}$ діє протилежно сигналу $U_{\text{зш}}$, і регулятор РШ працює на лінійній ділянці (А-В) характеристики $U_{\text{РШ}} = f(U_{\text{зш}} - U_{\text{зв.ш}})$.

Зі збільшенням навантаження швидкість двигуна зменшується, а отже, і $U_{\text{зв.ш}}$ зменшується. Оскільки сигнал $U_{\text{зш}}$ залишається незмінним, різниця сигналів $U_{\text{вх.ш}} = U_{\text{зш}} - U_{\text{зв.ш}}$ збільшується. Сигнал на виході регулятора РШ також збільшується, тим самим збільшуючи жорсткість стабілізаційної ділянки А-В. Якщо струм двигуна досягає $I_a = I_{\text{стоп}}$, то його швидкість досягає граничної швидкості $\omega_{\text{відс}}$, що відповідає точці В в характеристиці. Подальше

зниження швидкості переводить регулятор РШ у режим насичення, і струмообмежувальна ділянка В-С утворюється лише петлею струму, на вхід якої подається сигнал $U_{з.с.мах}=U_{р.с.мах}$.

Крутосхилий характер ділянки обмеження струму створюється інтегральною складовою пропорційно-інтегрального регулятора струму РС (ПІ-регулятора). При використанні пропорційного регулятора струму (П-регулятора) ділянка обмеження струму позначається індексом 4.

На рисунку 3.4,а також показано проміжні характеристики, позначені індексами 2 та 3, які відповідають сигналам заданого значення $U_{зш3}<U_{зш2}<U_{зш1}$ та задаються змінною кута повороту $\Delta\phi$ СКА. Характеристика 5 відповідає зменшенню межі РШ, тобто $-(\alpha_5>\alpha_1)$.

Вид та розрахунок параметрів регулятора контуру керування можна виконати за допомогою методу, описаного в [30]. Для цього, згідно зі схемою рисунку 3.4,а, запишемо динамічне рівняння силової частини у вигляді оператора:

$$\omega_d(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{c T_{ем}} \left[R_{як} I_{я}(p) - \frac{R_{як}}{c} M_c(p) \right]; \quad (3.2)$$

$$I_{я}(p) = [E_{d\alpha}(p) - E_d(p)];$$

$$E_{d\alpha}(p) = \frac{K_{тп}}{p T_{тп} + 1} U_{рс}(p);$$

$$E_d(p) = c \cdot \omega_d(p)$$

де, $c=(U_{дн}-I_{ян}R_{якд})/\omega_n$ – стала двигуна, яка визначається номінальними параметрами – напругою $U_{дн}$, струмом $I_{ян}$, опором кола якоря двигуна $R_{якд}$ та кутовою швидкістю ω_n ;

$T_{ем}=J_{\Sigma}R_{як}/c^2$ – стала часу електромеханічного приводу;

M_c – момент навантаження на валу двигуна;

$J_\Sigma = J_d + J_{\text{пм}}$ – повний момент інерції, складовими якого є момент інерції двигуна J_d та момент інерції механізму $J_{\text{пм}}$, що передається на вал двигуна;

$R_{\text{дп}}$ – активні опори ротора двигуна, компенсаційної обмотки та додаткових обмоток полюса двигуна;

$R_{\text{як}} = R_{\text{якд}} + R_{\text{тп}}$ – активний опір кола ТП-Д, складовими якого є активний опір кола якоря двигуна $R_{\text{якд}} = R_{\text{яд}} + R_{\text{ко}} + R_{\text{дп}}$ та еквівалентний опір кола живлення тиристорного перетворювача. $R_{\text{тп}} = k_r R_{\text{тр}} + k_x X_{\text{тр}} + R_d + R_{\text{др}} + R_{\text{зр}}$; $R_{\text{яд}}$; $R_{\text{ко}}$;

$k_r = 0.48$, $k_x = 1$ – коефіцієнти тиристорного перетворювача;

$L_{\text{тп}} = L_{\text{тр}} + L_{\text{др}}$ – індуктивність силового кола перетворювача ТР, що складається зі зменшеної індуктивності трансформатора та згладжувального дроселя;

$R_{\text{тр}}$, $X_{\text{тр}}$, R_d , $R_{\text{др}}$, $R_{\text{зр}}$ – активний та реактивний опір трансформатора, динамічний опір тиристора; згладжувальний дросель та опір згладжувального дроселя;

$T_{\text{як}} = L_{\text{як}} / R_{\text{як}}$ – стала часу силового кола схеми ТП-Д;

$L_{\text{якд}} = L_{\text{яд}} + L_{\text{ко}} + L_{\text{дп}}$ – індуктивність кола якоря двигуна, компенсаційних обмоток та додаткових полюсів;

$L_{\text{як}} + L_{\text{тп}}$ – загальна індуктивність силового кола схеми ТП-Д;

$T_{\text{тп}} = T_k + \tau$ – еквівалентна стала часу ТП, компонентами якої є стала часу СІФК T_k та час затримки $\tau = 1/(m_u f_m)$;

$k_{\text{тп}} = \Delta(E d \alpha) / \Delta U_k$ – коефіцієнт посилення за напругою ТП.

Структурна схема СПР з електроприводом, що враховує невідомі передавальні функції регуляторів $W_{\text{рш}}(p)$ і $W_{\text{рс}}(p)$ показана на рисунку 3.5.

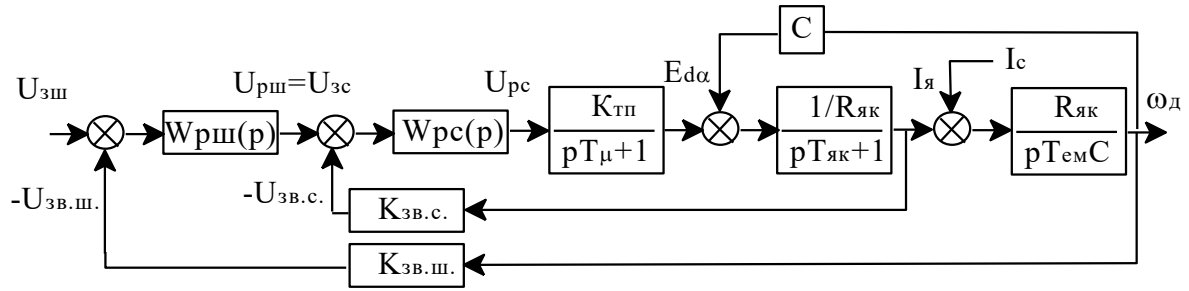


Рисунок 3.5 – Структурна схема СПР з електроприводом при урахуванні невідомих передавальних функцій регуляторів $W_{рш}(p)$ і $W_{рс}(p)$.

На діаграмі позначено:

$I_{шн}$ – номінальний струм шунта;

$U_{дсн}$ – номінальне значення вихідної напруги постійного струму;

$K_{зв.с.}=K_{дс}K_{ш}$ (В/А) – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом, компонентами якого є коефіцієнт посилення датчика струму $K_{дс}=U_{дс.н}/U_{ш.н}$ та коефіцієнт передачі шунта $K_{ш}=U_{ш.н}/I_{ш.н}$.

$U_{пш.н}$ – напруга на виході потенціометра $\Pi_{ш}$, що відповідає $\omega_{н.}$. Для більшості систем $U_{пш.н}<10\text{В}$;

$K_{зв.ш.}=U_{пш.н}/\omega_{дн}$ (Вс/рад) – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку по швидкості.

Вибір типу та розрахунок параметрів регулятора зазвичай виконується за спрощеною схемою, без урахування внутрішнього зворотного зв'язку по ЕРС двигуна. Похибка визначення запасу стійкості по фазі петлі струму не перевищує $\Delta\varphi\leq(10^\circ\div12^\circ)$.

Загальна теорія синтезу СПР передбачає, що вибір контролера починається з першого внутрішнього кола. Згідно зі схемою на рисунку 3.4, внутрішнім колом є коло струму. Відповідною постійною часу цього кола, що підлягає компенсації, є постійна часу кола якоря $T_{як}$ кола ТП-Д. Мала некомпенсована постійна часу кола вважається еквівалентною постійною часу тиристорного перетворювача $T_{\mu c}=T_{ТП}$.

Передавальна функція холостого ходу, оптимізована згідно з (3.13), з $T_{\mu 1}=T_{\mu c}$, має такий вигляд:

$$W_{\text{оптс}}^p(p) = \frac{1}{p \cdot a_c T_{\mu c} (p \cdot T_{\mu c} + 1)}, \quad (3.3)$$

де a_c – коефіцієнт оптимізації схеми.

Передана функція петлі струму, розімкнутої в точці між входом регулятора струму РС та датчиком постійного струму (унітарний зворотний зв'язок) ДС, з невідомою переданою функцією РС, має вигляд:

$$W_c^p(p) = \frac{U_{\text{дс}}(p)}{U_{\text{зс}}(p)} = W_{\text{рс}}(p) \cdot \frac{K_{\text{тп}}}{p T_{\mu c} + 1} \cdot \frac{1}{p T_{\text{як}} + 1} \cdot K_{\text{зв.с}}, \quad (3.4)$$

де $U_{\text{зс}}(z)$ – вхідна функція регулятора струму.

Порівнюючи передавальні функції (3.3) та (3.4), визначаємо передавальну функцію РС-регулятора, яка оптимізує контур струму.

$$W_{\text{рс}}(p) = \frac{(p T_{\text{як}} + 1) R_{\text{як}}}{p \cdot a_c T_{\mu c} K_{\text{зв.с}} K_{\text{тп}}} = \frac{T_{\text{як}}}{p T_{\text{іс}}} + \frac{1}{p T_{\text{іс}}}, \quad (3.5)$$

де $T_{\text{іс}} = a_c T_{\mu c} K_{\text{зв.с}} K_{\text{тп}} / R_{\text{як}}$ — стала часу інтегрування регулятора струму.

Отже, для стабілізації петлі струму необхідний ПІ-регулятор.

Значення його вихідної напруги $U_{\text{рс}}$ під впливом сигналів $U_{\text{зс}}$ та $U_{\text{зв.ш}}$ можна записати як:

$$U_{\text{рс}}(p) = -\frac{p T_{\text{як}} + 1}{p T_{\text{іс}}} [K_{\text{пр.с}} U_{\text{зс}}(p) - U_{\text{зв.ш}}(p)], \quad (3.6)$$

$$K_{\text{пр.с}} = K_{\text{зв.с}} I_{\text{стоп}} / U_{\text{зс.мах}} \quad (3.7)$$

де $K_{\text{пр.с}}$ – коефіцієнт зниження сигналу заданого значення до сигналу зворотного зв'язку.

Коефіцієнт (3.13) описує стан системи в режимі зупинки двигуна, коли сигнал заданого значення $U_{\text{зс.мах}}$ збалансований сигналом, що проходить через канал зворотного зв'язку за струмом.

Вирази (3.6) та (3.7) дозволяють визначити параметри вхідних елементів та елементів зворотного зв'язку регулятора РС, використовуючи коефіцієнти цих рівнянь.

$$R_{\text{ос}} C_{\text{ос}} = T_{\text{як}};$$

$$R_{2\text{с}} C_{\text{ос}} = T_{\text{іс}}; \quad (3.8)$$

$$R_{2\text{с}} / R_{1\text{с}} = K_{\text{пр.с}}.$$

Встановивши значення ємності $C_{\text{ос}}$, визначаємо інші параметри РС:

$$R_{\text{ос}} = T_{\text{як}} / C_{\text{як}}; R_{2\text{с}} = T_{\text{іс}} / C_{\text{ос}}; R_{1\text{с}} = R_{2\text{с}} / K_{\text{пр.с}}.$$

Оптимізована передавальна функція струму замкнутого циклу, з параметрами регулятора РС, обраними згідно з виразом (3.5), має вигляд:

$$W_{\text{оптс}}^3(p) = \frac{K_{\text{пр.с}} / K_{\text{зв.с}}}{p \cdot a_{\text{с}} T_{\text{мс}} (p \cdot T_{\text{мс}} + 1) + 1}. \quad (3.9)$$

У випадку оптимізації системи за умов «оптимального технічного стану» коефіцієнт $a_{\text{с}} = 1$.

У цьому випадку характеристика струмового перехідного процесу $I_{\text{я}}(t)$ демонструє перевищення $\sigma_{\text{с}} \% \cong 4.3\%$, а час регулювання $t_{\text{рс}} = 4.1 T_{\text{мс}}$.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Розроблені моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій

Розробка та використання ефективних засобів запобігання травмонебезпечних ситуацій можливі лише при своєчасному виявленні тих небезпек, з яких починаються процеси їх формування.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища, як травми, аварії та катастрофи мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому описуванні ці явища будуть описуватися паралельно (рис. 4.1). На схемі (рис. 4.1) видно, що працюючий, допускаючи небезпечну дію (*НД*), потрапляє у небезпечні обставини (*НО*), за яких на нього може діяти небезпечний виробничий фактор (*НВФ*), при небезпечній умові (*НУ*). Так створюється інша подія, що має назву небезпечної ситуації (*НС*). Усі явища, що формують небезпечну ситуацію мають певну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (*НУ*), небезпечні дії (*НД*), небезпечні ситуації (*НС*) і наслідки таких ситуацій: аварія (*А*), травма (*Т*) і сприятлива подія (подія без аварій і травм) належать до випадкових явищ.

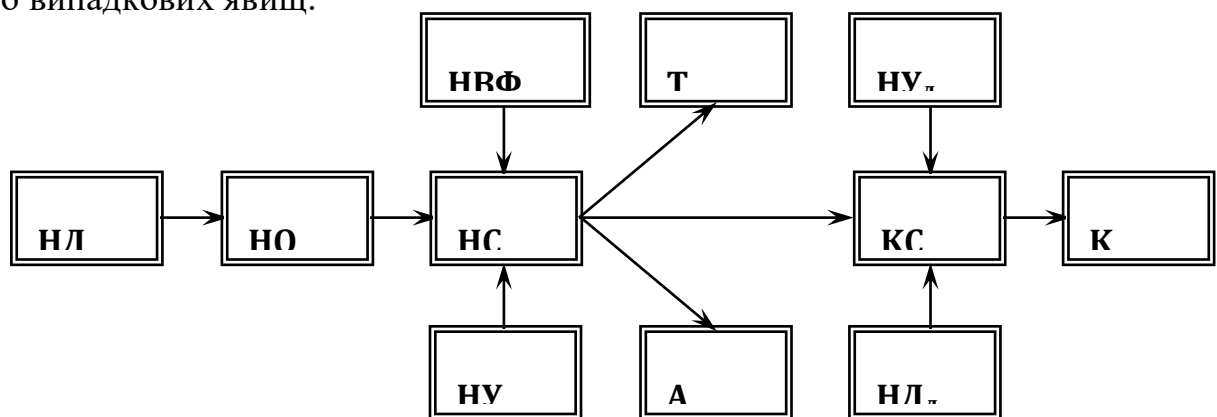


Рисунок 4.1 – Блок-схема процесу формування та виникнення травмонебезпечних, аварійних та катастрофічних ситуацій:

НВФ – небезпечний виробничий фактор; *НУ* – небезпечні умови; *НД* – небезпечні дії; *НО* – небезпечні обставини; *НС* – небезпечна ситуація; *А* – аварія; *Т* – травма; *КС* – критична ситуація; *НУ_д* – небезпечні умови додаткові; *НД_д* – небезпечні дії додаткові; *К* – катастрофа.

Схема процесу формування небезпечної ситуації та її можливих наслідків для випадків, коли пріоритетними є небезпечна умова або небезпечна дія, об'єднує найпростіші варіанти важливих подій (рис. 4.2).

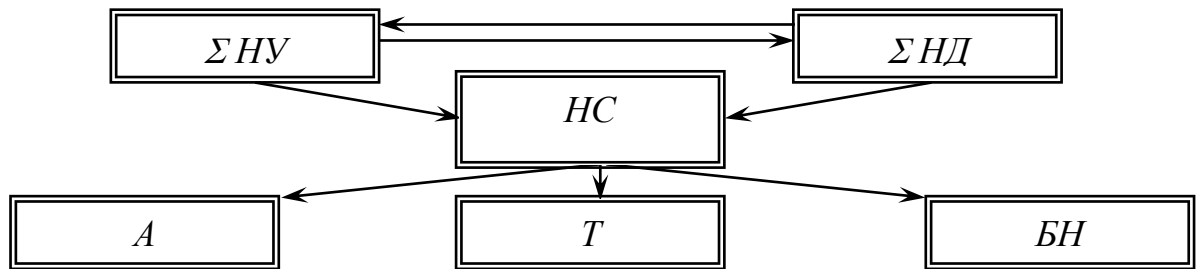


Рисунок 4.2 – Блок-схема взаємозв'язків між небезпечними подіями у процесі формування та виникнення небезпечних ситуацій: *НУ* – небезпечна умова; *НД* – небезпечна дія; *НС* – небезпечна ситуація; *А* – аварія; *Т* – травма; *БН* – наслідок без аварії і травми.

4.2 Безпека праці при обслуговування технічного обладнання теплових мереж і пунктів

Теплові мережі обслуговує бригада слюсарів-обхідників (не менше двох осіб на закріплених за ними ділянках мережі). Обхід теплопроводів проводиться за графіком не рідше одного разу в два тижні на протязі всього періоду роботи теплової мережі. При обході тепломережі перевіряють затяжку болтів всіх фланцевих з'єднань без особливих зусиль затягують сальникові компенсатори до усунення підтікань, змащують мастилом з графітом рухомі частини стаканів теплових компенсаторів, перевіряють стан дренажних, повітряних кранів, засувов, випускають повітря із мережі, перевіряють контрольно-вимірювальні прилади і правильність їх показів у зразкових контрольних приладах.

За результатами огляду обладнання теплової мережі і теплового пункту оцінюють стан обладнання теплопроводів, будівельно-ізоляційних конструкцій і призначають необхідні міроприємства з усунення виявлених дефектів або несправностей. Дефекти, які можуть викликати аварію в тепловій мережі, усувають терміново, а дефекти, які не можуть бути усунені

без відімкнення теплопроводу, але не представляють небезпеки для надійної експлуатації заносять в журнал ремонтів для їх ліквідації в період найближчої зупинки роботи теплопроводів або в період їх ремонту.

Працювати дозволяється тільки справним і перевіреним інструментом в брезентовому костюмі (плащі), окулярах і брезентових (гумових) рукавицях.

Трубопроводи, які підлягають ремонту перед початком робіт повинні бути надійно відімкненими від діючих теплопроводів, котлоагрегатів, теплообмінників і інших установок, що знаходяться під тиском.

4.3 Протипожежна профілактика

Пожежі виникають через недотримання правил пожежної безпеки при експлуатації теплогенеруючих установок і електронагрівальних приладів; при палінні і розведенні вогнищ; при користуванні відкритим полум'ям, паяльними лампами при відігрівання труб водопроводів, а також при газоелектрозварювальних роботах і фарбуванні [20, 21].

При дії пожежі на людей і тварин виникають наступні небезпечні фактори: відкритий вогонь і іскри; підвищена температура повітря і предметів; токсичні продукти горіння; дим, зниження концентрацій кисню; пошкодження будівель, споруд і установок.

У випадку виникнення пожежі необхідно негайно повідомити про це пожежну охорону, вжити заходів для евакуації людей і тварин і у разі необхідності викликати інші аварійно-рятувальні служби.

Для запобігання виникнення пожежі при обслуговуванні і ремонті теплових мереж і обладнання теплових пунктів забороняється:

- проводити ремонтні роботи з використанням газо-електрозварювальної апаратури в приміщенні теплового пункту без попередньої її вентиляції;
- проводити ремонтні роботи на газопроводах котельні без повного їх відключення і продування стиснутим повітрям або інертним газом;
- усувати нещільності газопроводів шляхом накладання хомутів;

- використовувати вибухонебезпечні лампи освітлення, а також інструменти при використанні яких може виникнути іскра в загазованих приміщеннях, оглядових колодязях тепломережі, траншеях, резервуарах, тощо;
- відігрівати газопроводи відкритим полум'ям для розморожування конденсату.

4.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Захист цивільного населення у разі виникнення надзвичайних ситуацій є одним із важливих завдань, які покладаються на службу охорони праці сільськогосподарського підприємства.

Для успішного захисту населення необхідно строго дотримуватись виконання системи заходів, що передбачені на даному виробництві, а саме:

- організаційних і інженерно-технічних;
- санітарно-гігієнічних;
- протиепідемічних та інших заходів для запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

У випадку виникнення загрози та надзвичайної ситуації (епідемія, масове отруєння, пожежа, природні катаклізми і т.п. служба охорони праці та захисту населення повинна організувати евакуацію людей і тварин із небезпечної зони, забезпечити їх лікування та догляд, оголосити, в разі необхідності карантин, заборонити доступ по сторонніх в небезпечну зону, створити пропускні пункти, де передбачити дезинфекцію осіб і речей, що перебували у небезпечній зоні.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Основними техніко-економічними показниками є термін окупності капіталовкладень, економічна ефективність, і рівень рентабельності.

Термін окупності капіталовкладень визначається за формулою [12]:

$$T = K_{\text{кап}} / E_p, \quad (5.1)$$

де T – термін окупності капіталовкладень, роки;

$K_{\text{кап}}$ – капіталовкладення, грн.;

E_p – економічна ефективність експлуатації вузла регулювання, грн/рік.

Капіталовкладення визначаються за формулою [12]

$$K_{\text{кап}} = B_{\text{обл}} + B_{\text{тр.}} + B_{\text{буд}} + B_m, \quad (5.2)$$

де $B_{\text{обл}}$ – вартість обладнання вузла регулювання, тис.грн.;

$B_{\text{тр.}}$ – вартість трубопроводів вузла регулювання, тис.грн.;

$B_{\text{буд}}$ – вартість будівлі вузла регулювання, тис.грн.

B_m – вартість монтажу вузла регулювання, тис.грн.;

В обладнання запропонованого вузла регулювання входить обладнання, перелік якого наведено в таблиці 4.1. Загальна вартість цього обладнання становить 23,35 тис.грн., а його монтаж за даними фірми ГЕРЦ становить близько 17 тис.грн.

Вартість трубопроводів вузла регулювання визначимо за формулою:

$$B_{\text{тр.}} = L_{\text{тр.}} \cdot \Pi_{\text{н.м.}} \quad (5.3)$$

де $L_{\text{тр.}}$ – довжина трубопроводів від установки водопідготовки вузла регулювання №1, м, ($L_{\text{тр.}}$ 250 м);

$\Pi_{\text{н.м.}}$ – середня вартість одного погонного метра труб, грн./п.м.

($\Pi_{\text{н.м.}} = 53 \text{ грн./п.м.}$)

Отже:

$$B_{\text{тр.}} = 250 \cdot 0,053 \approx 13,25 \text{ тис.грн.}$$

Вартість споруди для вузлів регулювання визначиться за формулою:

$$B_{\text{буд}} = C_{\text{буд}} \cdot V_{\text{пр}} \quad (5.4)$$

де $C_{\text{буд}}$ – вартість 1 м^3 будівлі, (вартість 1 м^3 будівлі такого типу будівель і споруд за даними будівельних організацій, в середньому становить $C_{\text{буд}} = 3,4 \text{ тис.грн.}$), *тис.грн.*;

$V_{\text{пр}}$ – об’єм приміщення вузла регулювання, м^3 ;

Згідно рекомендацій [16] приміщення вузла регулювання повинне мати розміри $1,6 \times 4,0 \text{ м}$ висотою до $2,2 \text{ м}$.

Звідси:

$$V_{\text{пр}} = (1,6 \cdot 4,0) \cdot 2,2 = 14,08 \text{ м}^3$$

Отже, вартість приміщення вузла регулювання буде становити:

$$B_{\text{буд}} = 3,4 \cdot 14,08 \approx 47,9 \text{ тис.грн.}$$

За формулою (5.2) визначимо капіталовкладення:

$$K_{\text{кан}} = 23,35 + 13,25 + 47,9 + 17,0 = 101,5 \text{ тис.грн.}$$

Економічну ефективність експлуатації вузла регулювання визначимо за формулою [12]

$$E_p = K_{\text{зр}} - C \quad (5.5)$$

де $K_{\text{зр}}$ – сума грошових надходжень від експлуатації вузла регулювання, *тис.грн.*;

C – річна собівартість регулювання і розподілу теплоносія, *тис.грн.*

Суму грошових надходжень визначимо, користуючись формулою [12]:

$$K_{\text{зр}} = E_z \cdot C_e \quad (5.6)$$

де E_z – кількість зекономленої теплової енергії, $\text{кВт} \cdot \text{год.}$;

C_e – вартість однієї $\text{кВт} \cdot \text{год.}$ зекономленої теплової енергії, *грн.*

Виконаємо розрахунки економії теплової енергії, наприклад, врахувавши, що котли використовуються для системи опалення в зимовий період.

Розрахунок проведемо, враховуючи, що опалювальний сезон триває близько $n_d = 200$ діб за формулою:

$$Q = Q_{on.} \cdot n_d \cdot 24 \quad (5.7)$$

де 24 – тривалість доби, год.

Автоматизовані вузли регулювання температурного режиму парових котлів, наприклад ДКВР 20-13, теплова потужність кожного з них, згідно [2, 7] становить $Q_k = 15,0$ МВт. Втрати теплової енергії з димовими газами для таких котлів становить 4-6%, при спалювання в топках цих котлів газоподібного, рідкого і пиловидного палива. Ці втрати теплоти використовуються для підігріву повітря в повітропідігрівниках і живильної води.

Частка теплоти димових газів, що використовуються для підігріву живильної води, згідно [2, 7] становить біля 3 %.

Отже, виходячи із цих даних, можна визначити кількість теплоти, яка втрачається котлом із димовими газами за формулою:

$$Q_{d.g.} = 0,05 Q_k = 0,05 \times 15,0 = 0,75 \text{ МВт.}$$

З цієї кількості теплоти котел споживає тільки 3 %, отже, кількість теплоти буде становити:

$$Q_{ek.} = 0,03 Q_{d.g.} = 0,03 \times 0,75 = 0,0225 \text{ МВт} = 22,5 \text{ кВт.}$$

Використовуючи формулу (5.7), визначимо кількість зекономленої теплової енергії за опалювальний сезон:

$$Q = 22,5 \times 200 n_d \times 24 = 108000 \text{ кВт.}$$

Вартість 1 Гкал. теплової енергії, становить 432 грн., або, враховуючи те, що $1 \text{ Гкал.} = 1166 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$, то $1 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$ буде коштувати:

$$432 / 1166 \approx 0,26 \text{ грн.}/(\text{кВт} \cdot \text{год.})$$

Визначимо грошові надходження за рахунок зекономленої енергії (річний прибуток E_p), скориставшись формулою (5.6)

$$K_{\text{зр}} = E_p = 108000 \cdot 0,26 = 28080 \text{ грн.} \approx 28,1 \text{ тис.грн}$$

Термін окупності капіталовкладень визначимо за формулою (5.1):

$$T = 101,5 / 28,1 \approx 3,6 \text{ року}$$

Отримані основні розрахункові дані заносимо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники експлуатації автоматизованого пристрою регулювання режимів роботи котла.

<i>Показники</i>	<i>Позначення</i>	<i>Одиниці виміру</i>	<i>Значення</i>
Теплова потужність котла	$Q_{\text{к.}}$	<i>МВт</i>	15,0
Тривалість роботи котла	$n_{\text{д}}$	<i>доба</i>	200
Капітальні затрати	$K_{\text{кап.}}$	<i>тис. грн.</i>	101,5
Економія теплової енергії	$E_{\text{з}}$	<i>кВт·год.</i>	108000
Вартість зекономленої теплової енергії (прибуток)	$E_{\text{р.}}$	<i>тис. грн.</i>	28,1
Термін окупності	T	<i>роки</i>	3,6

Отже, як показали техніко-економічні розрахунки, використання автоматизованого вузла регулювання для парового котла економічно вигідне, бо досягається значна річна економія теплової енергії, біля 108 тис. кВт.год. на суму 28,1 тис.грн. і при капітальних затратах в сумі 101,5 тис.грн. тільки за рахунок економії теплової енергії запропонований вузол регулювання окупиться вже через 3,6 року.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Порушення режиму роботи котла може призвести не тільки до неприпустимих змін параметрів води або пари, що подається споживачеві, та зниження ККД котла, але й до серйозних несправностей, що виводять пристрій з ладу та ставлять під загрозу безпеку обслуговуючого персоналу.

Процеси, що відбуваються в котельні, повинні регулюватися та контролюватися.

Для досягнення цієї мети вона обладнується такими керуючими пристроями, як регулятор температури перегрітої пари, запірні, регулювальні та запобіжні пристрої, а також контрольно-вимірювальні прилади. При цьому в котельнях реалізується комплексна автоматизація всіх основних технологічних процесів. Автоматизація забезпечує більш точне та швидке регулювання процесів, що відбуваються в котельні, порівняно з ручним керуванням, та призводить до підвищення ККД.

В рамках кваліфікаційної роботи автори провели дослідження системи та пристроїв автоматичного регулювання параметрів технологічного процесу котлоагрегату. На основі цього запропонували систему автоматичного регулювання (САР) теплових процесів котлоагрегату та обґрунтували електричну схему пристрою САР.

Техніко-економічні розрахунки показали, що використання системи автоматичного регулювання парового котла є економічно доцільним, досягаючи значної річної економії теплової енергії приблизно 108 000 кВт·год (28 100 грн) та з інвестиційними витратами у розмірі 101 500 грн. Тільки завдяки цій економії теплової енергії запропонований блок керування окупиться протягом 3,6 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи екології : навч. посіб. / Н. М. Заверуха, В. В. Серебряков, Ю. А. Скиба; рец.: [та ін.]. – 3-тє вид. – К. : Каравела, 2013. – 288 с.
2. Богословський В.Н., Сканаві А.Н. Опалення і вентиляція.- К.: Урожай, 2008. 736 с.
3. Вербицький В.В., Земляний М.Г. Регіональна енергетична політика України: цілі та шляхи реалізації. Перепринт.- Дніпропетровськ, 2003.-64с.
4. Гольстрем В, А., Кузнецов Ю. Л. Довідник з економії паливно-енергетичних ресурсів. К.: Техніка, 2005. 383 с.
5. Гряник Г.М., Лахман С.Д., Будко Д.А. Охорона праці. К.: Урожай, 2004. 272 с.
6. Дипломне та курсове проектування / Д.Г.Войтюк, О.В.Дацишин, В.С.Колісник та ін.; За ред. О.В.Дацишина. К.: Урожай, 1996. 192 с.
7. Драганов Б.Х., Буляндра О.Ф., Міщенко А.В. Теплоенергетичні установки і системи в сільському господарстві. – К.: Урожай, 2005. – 223с.
8. ДСТУ 2155-13 «Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню».
9. Жуковский С.С., Лабай В.Й. Системи енергопостачання і забезпечення мікроклімату будинків та споруд: Навчальний посібник для ВЗО. Львів: Астрономо-геодезичне товариство, 2009. 259с.
10. Крупнов Б.А., Шарафудинов Н.С. Посібник з проектування систем опалення, вентиляції та кондиціювання повітря. - Київ – Відень: фірма «Herz Armaturen», 2023. – 127с.
11. Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. – К.: Урожай, 2008. – 272 с.
12. Луценков В.Л., Бутков Д.А., Воїнов М.Т. Критерії оцінки виробничих небезпек. – Сімферополь. Бізнес-Інформ, 2002 – 224с.
13. Мацибора В.І.. Економіка сільського господарства. – К.: Вища школа, 2004. – 258 с.

14. Каталог фірми "UNIVERSA". HEIZSYSTEME. Системи опалення. Відень, 2024, 158 с.
15. Кірюшатов А.І. Теплофікація у сільськогосподарському виробництві. К.: Урожай, 2006. 191с.
16. Котельні установки промислових підприємств: навч. посіб. / В.А. Волощук, А.К. Денісов, І.П. Трофимчук. – Рівне: НУВГП, 2013. – 227 с.
17. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль., 2011. 975 с.
18. Курсове проектування з теплотехніки та застосування теплоти в сільському господарстві. Под. ред. Драганова Б.Х. К.: Урожай, 2008, 176 с.
19. Орлов К.С. Санітарно-технічне обладнання сільських будівель: Підручник. К.: Урожай, 2007. 237 с.
20. Чекменьов В.В., Бендера І.М., Шолудько Я.В., Шолудько В.П., інш. Методика дипломного проектування з теплопостачання: навчальний посібник. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2013. 552с.
21. Цвірс Вільгельм Гідравлічні стрілки. // Будівельна техніка. 2016. №6 (Німеччина).
22. Шолудько В.П., Боярчук В.М., Шолудько Я.В. Проектування та розрахунок теплової мережі споживачів сільської місцевості. Навчальний посібник. Дубляни, 2005, 90 с.
23. Шолудько В.П., Боярчук В.М., Шолудько Я.В., Михалюк М.А. Теплотехніка та використання теплоти.: Навч. Посібник / За заг. ред. В.П. Шолудька. Львів: Сполом, 2007. 190 с.
24. Шолудько Я.В., Боярчук В.М., Шолудько В.П., Бендера І.М. Теплотехніка та використання теплоти : Практикум. / за ред. Шолудька Я. В. Львів : Сполом, 2010. 232с.
25. Щербатюк Б.І. Енергоощадні системи опалення будинків. – Львів.: Львівська політехніка, 2003. 111с.