

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут «
Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна

Кафедра _____ АМтаЕТ _____

До захисту допущено
Завідувач кафедри


 (підпис)

_____ д.т.н., професор Канюк Г.І.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« _____ » _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

рівень вищої освіти _____ _магістр_____

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

освітньо-професійна програма _____

тема **«Аналіз та удосконалення системи регулювання парокотельної
 установки»**

Виконав (ла)

студент (ка) групи ДЕА-23мг _____
 (шифр групи)

_____ **ЄРМОЛЕНКО Нікіта Євгенович**
 (ім'я, прізвище)


 (підпис)

Керівник роботи

_____ к.т.н., Близниченко О.М.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)


 (підпис)

Рецензент роботи

_____ к.т.н., Буданов П.Ф.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)


 (підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

_____ (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій роботі
 немає цитат та вилучень з
 праць інших авторів без відповідних
 посилань

студент(ка) _____
 (підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна
академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

Кафедра __АМтаЕТ__
 Спеціальність __174__
 Освітньо-професійна програма __магістр__

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., професор Канюк Г.І._____
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
 _____ **рівня вищої освіти**

студенту (ці) __ЄРМОЛЕНКО Нікіта Євгенович__
 (ім'я, прізвище)

1. Тема ____ **Аналіз та удосконалення системи регулювання парокотельної установки**

затверджена наказом по академії №_4801-5/3704_від «21»__11__ 2024р.

2. Термін здачі закінченої роботи «_28__»__11__ 2024__р.

3. Вихідні дані до роботи ____ Існуючі схеми автоматичного системи регулювання парокотельної установки та їх конструкції, методи керування парокотельної установки, математичні моделі _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які належить розробити):
 ____ Аналіз сучасного обладнання парокотельної установки, аналіз недоліків та переваг існуючих систем регулювання парокотельної установки. Дослідження режимів роботи парокотельної установки, дослідження перспективних напрямків розвитку, висновки

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):
 Актуальність теми, існуюче обладнання парокотельної установки, недоліки та переваги існуючих систем регулювання парокотельної установки, порівняльний аналіз систем керування, висновки.

6. Консультант:

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

7. Дата видачі завдання « 14 » 09 2024 р.

Керівник


 (підпис)

Близниченко О.М.

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання


 (підпис)

Єрмоленко Н.Є.

(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	Аналіз існуючих систем керування	14.10-28.10	виконано
2	Аналіз характеристик систем керування в різних режимах роботи	28.10-05.11	виконано
3	Порівняльний аналіз	05.11-14.11	виконано
4	Експериментальні дослідження	14.11-28.11	виконано
5	Висновки	28.11	виконано

Студент (ка)


 (підпис)

_ Єрмоленко Н.Є.

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль


 (підпис)

_ Ключка Є.П.

(ім'я, прізвище)

Зміст

Розділ 1. Вступ, короткий аналіз котельного агрегату, як об'єкта керування	7
1.1. Конструкція теплового котла	7
1.2. Постановка завдання досліджень.....	12
Розділ 2. Дослідження систем автоматизації.....	14
2.1. Котельня установка як об'єкт автоматизації.....	14
2.2. Вплив співвідношення «газ/повітря» на продуктивність котельні ..	16
Розділ 3. Математичне моделювання котельної установки	18
3.1. Ідентифікація котельної установки як об'єкта керування	18
3.1.1. Ідентифікація об'єктів за перехідною характеристикою	18
3.1.2. Загальна модель системи керування котельної установки	20
3.1.3. Модель $P_r=f(P_n)$	22
3.1.4. Співвідношення «газ/повітря»	23
3.1.5. Модель об'єкта по каналу регулювання тиску пари	24
3.1.6. Модель об'єкта по каналу регулювання тиску повітря	25
3.1.7. Модель об'єкта по каналу регулювання розрідження	26
3.1.8. Модель об'єкта по каналу регулювання рівня.....	27
Розділ 4. Дослідження системи управління котельної установки.....	28
4.1. Розробка моделі у MATLAB Simulink	28
4.2. Розрахунок коефіцієнтів регуляторів методом Циглера-Нікольса ..	29
4.2.1. Перший спосіб	30
4.2.2. Другий спосіб.....	30
4.3. Критерії оцінки якості регулювання	31
4.4. Канал регулювання пари.....	32
4.4.1. Канал регулювання пари з ПІ-регулятором.....	33

4.4.2 Канал регулювання пари з ПД-регулятором.....	34
4.5. Канал регулювання тиску повітря	34
4.5.1 Канал регулювання тиску повітря з ПД-регулятором	35
4.5.2. Канал регулювання тиску повітря з ПД-регулятором.....	36
4.6. Канал регулювання розрідження в топці котла.....	37
4.6.1 Канал регулювання розрідження з ПД-регулятором	37
4.6.2 Канал регулювання розрідження з ПД-регулятором.....	38
4.7 Регулятор рівня	39
4.7.1 Канал регулювання рівня з ПД-регулятором.....	40
4.7.2 Канал регулювання розрідження з ПД-регулятором.....	41
4.8. Висновки до розділу 4.....	41
Розділ 5. Ресурсоефективність і ресурсозбіжність.....	42
5.1 Потенційні споживачі результатів дослідження	42
5.2 Аналіз конкурентних технічних рішень.....	42
5.3 Fast-аналіз.....	44
5.4 Swot-аналіз	47
5.5 Планування науково-дослідної роботи	49
5.5.1 Структура робіт	49
5.5.2 Розробка графіка проведення науково-технічного дослідження ...	50
5.6 Бюджет науково-технічного дослідження	54
5.6.1 Розрахунок матеріальних витрат	54
5.6.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	55
5.6.3 Розрахунок заробітної плати та відрахувань до позабюджетних фондів.....	56
5.6.4 Розрахунок загальної собівартості.....	57

5.7. Визначення ресурсної (ресурсозберігаючої), фінансової, бюджетної, соціальної та економічної ефективності дослідження	58
5.8. Висновок до розділу 5	60
Розділ 6. Охорона праці та навколишнього середовища.....	61
6.1 Правові та організаційні питання забезпечення безпеки	61
6.1.1 Правові норми трудового законодавства	61
6.1.2 Ергономічні вимоги до правильного розташування та компонування робочої зони.....	62
6.2 Виробнича безпека	62
6.2.1. Виробнича санітарія	63
6.2.1.1. Шум та вібрація	64
6.2.1.2 Електромагнітне випромінювання.....	65
6.2.1.3 Освітлення	66
6.2.1.4 Мікроклімат.....	68
6.2.1.5 Психофізіологічні фактори умов праці	70
6.2.2 Аналіз небезпечних факторів	70
6.2.2.1 електробезпека	70
6.2.2.2 Коротке замикання та статична електрика	71
6.3 Екологічна безпека	72
6.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	73
6.5. Висновок до розділу 6.....	74
Висновки.....	75

Розділ 1. Вступ, короткий аналіз котельного агрегату, як об'єкта керування

1.1. Конструкція теплового котла

Основна маса теплової енергії в Україні, та в світі в цілому, виробляється за допомогою котелень. Основним елементом будь-якої котельні є тепловий котел, сукупність пристроїв, які перетворює енергію палива, що спалюється, в енергію теплоносія. На вигляд теплоносія котли можна розділити на водогрійні та парові. У першому випадку теплоносієм є вода, а в другому – пара. Конструктивно такі пристрої відрізняються трохи. Існує ціла програма з переведення парових котлів, що виробили свій ресурс, у водогрійні. І саме під час перекладу такі відмінності усуваються.

Залежно від виду палива, що використовується, котли можна розділити на:

- твердопаливні;
- газові;
- рідинні.

В твердопаливних котлах як паливо виступають дрова, вугілля і так само інші, традиційні і нетрадиційні види твердого палива.

Котли на рідкому паливі як паливо можуть використовувати будь-яку рідину, що горить, але промислові установки орієнтовані на мазут, нафту або дизельне паливо.

Газові котельні установки як паливо використовують метан. Метан, що частіше зустрічається в даному контексті – природний газ, це легкий (вдвічі легший за повітря) безбарвний газ, без запаху і смаку. Розгалужена мережа газових трубопроводів, доступність та відносно низька вартість газу дають істотну перевагу газовим котельням. Завдяки програмам України та ПАТ «Центренерго» щодо газифікації всіх суб'єктів держави ця перевага стає більш відчутною.

Розглянемо конструкцію одного з найпоширеніших парових котлів ДКВР. І хоча цей котел може використовуватися як водогрійний, ми розглядатимемо його як паровий.

Слід зазначити, що розміри, які безпосередньо пов'язані з продуктивністю, вид палива та теплоносія впливатимуть як на конструкцію окремих елементів, так і на всю установку в цілому.

Паровий водотрубний котел ДКВР служить для виробництва вологого перегрітої пари ККД даного обладнання досягає 92%. В якості палива використовується вугілля, дрова, мазут.

Абревіатура ДКВР означає двобарабанний котел, водотрубний, реконструйований. Спільно з абревіатурою котла вказуються основні технічні характеристики, наприклад, ДКВР 10-13-250 ГМ, що означає:

10 - обсяг пари, що виробляється за одну годину;

13 – тиск пари в кгс/см^2 ;

250 – температура пари на виході після пароперегрівача $^{\circ}\text{C}$;

ГМ – вид палива – газомазутний.

Якщо третя цифра відсутня (в даному випадку 250), це означає, що в конструкції котла відсутній пароперегрівач і установка виробляє насичену пару, температура якої значно нижче перегрітого.

Переваги та недоліки

Котли даної конструкції мають деякі переваги, які відрізняють їх від інших подібних агрегатів.

Основна перевага котлів ДКВР полягає в їхній високій паропроductивності та високому ККД, що досягається навіть при невисокому тиску пари. Відсутність необхідності використовувати підготовлену води є ще однією істотною перевагою котлів цієї конструкції.

Відзначимо ряд переваг котлів цього типу, які відзначаються в літературі [1,2]:

- високий ККД до 92%;
- можливість переходу з парового на водогрійний режим для опалення та назад;
- можливість використання різних видів палива без будь-яких модифікацій, особливо у разі рідкого та газоподібного видів палива;

- висока економічність у роботі та обслуговуванні, надійність конструкції;
 - можливість встановлення у приміщенні практично будь-який ктельні завдяки збірної конструкції, нескладному підключення та запуску в експлуатацію;
 - висока паропроductивність;
 - великий термін служби та хороша ремонтпридатність обладнання котла.
- З недоліків у літературі відзначаються завищені присоси холодного повітря газоходи від камери згоряння до крайньої поверхні нагріву.

На рис. 1.1 представлено конструкцію котла ДКВР.

Всі конструкції котла даного типу забезпечені двома барабанами – сепараторами: верхнім (поз. 2) та нижнім (поз. 12). Верхній барабан може бути довгим чи коротким. У старих модифікаціях котлів, які ще активно використовуються, з продуктивністю до 10 т/год використовуються довгі барабани, а модернізовані моделі з продуктивність вище 10 т/год короткі барабани. Нижній барабан коротший за верхній на величину камери згоряння.

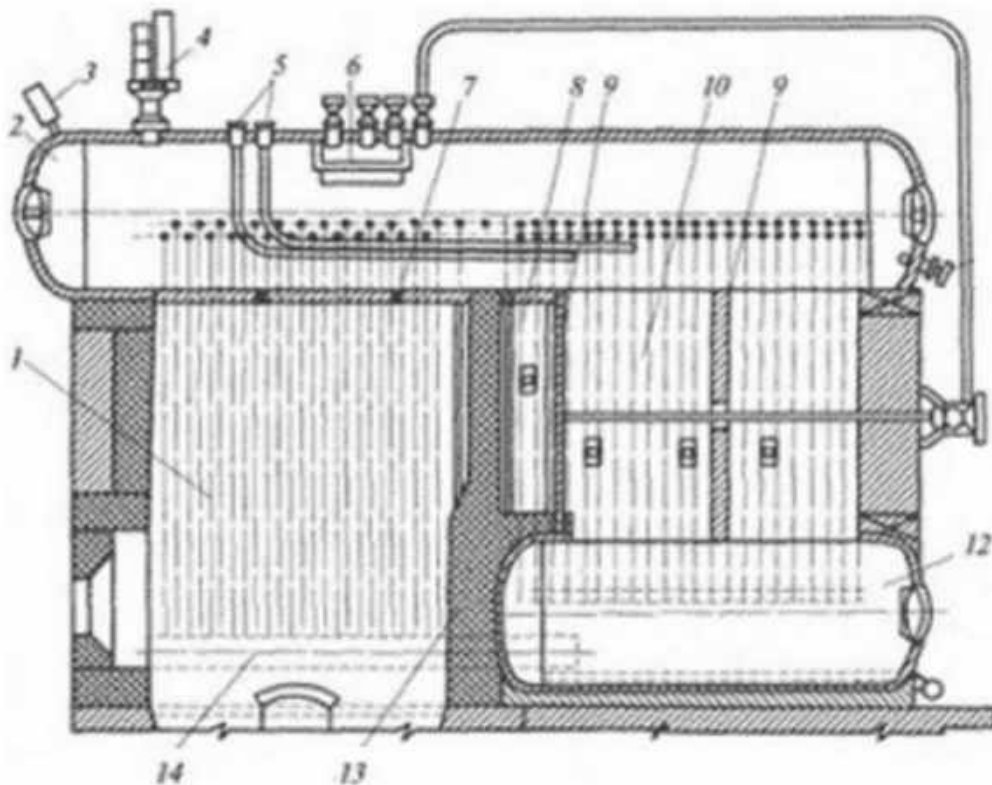


Рисунок 1.1.1 – Конструкція котла ДКВР

1-топкова камера; 2-верхній барабан; 3 - датчик тиску пари (манометр) у барабані; 4 - запобіжний клапан; 5 – поживні трубопроводи; 6 – сепарційний

пристрій; 7 – легкоплавка пробка; 8 – камера догоряння; 9 – перегородка; 10 – кип'ятильний пучок труб; 12 – нижній барабан; 13 – цегляна стіна; 14 – колектор

Топка поділена цегляною кладкою на дві секції. Перша секція топки – камера згоряння, у якій відбувається безпосереднє згоряння палива. По бічних поверхнях камери згоряння з верхнього барабана опускаються два екрани (бічні екрани), що складаються з набору труб діаметром 51 мм і товщиною стінки 2,5...3,0 мм, які об'єднуються в нижній частині колектором.



Рисунок 1.1.2 – Фізична конструкція котла ДКВ.

У другій секції знаходиться потужний кип'ятильний пучок, утворений набором труб (51x2,5), що з'єднують верхній і нижній барабани.

Димові гази, утворені в результаті згоряння палива, переміщаються газоходами, які утворені цегляною та чавунною перегородками (див. малюнок 1.1.1, поз. 9 і 13), і далі через кип'ятильний пучок труб, залишають котел через отвір, розташованого на його задній поверхні.

Бічні екрани, що з'єднують верхній барабан з колектором, і кип'ятильний пучок, що з'єднує верхній та нижній барабани, утворюють величезну конвективну зону нагрівання.

Підживлювальна вода заповнює всю систему, включаючи верхній барабан до певного рівня. При нагріванні води виникає циркуляція: холодна вода опускається зверху, нагрівається і вже суміш води та пари піднімається вгору в барабан, де ці середовища поділяються. Для того, щоб позбутися зайвих солей та інших домішок, передбачені спеціальні пристрої сепарації.

Для отримання перегрітої пари замість частини труб окропу встановлюють пароперегрівач. Для тиск менше 24 кгс/см² перегрівач має форму вертикальної петлі, проходячи через яку насичена водяна пара (про тиск 13 кгс/см² температура пари дорівнює 195⁰С) додатково нагрівається, що призводить до відповідного зростання тиску.

Технічні характеристики котлів типу ДКВР, що використовують газомазутне паливо, представлені у таблиці 1.1.1

Таблиця 1.1.1 – Технічні характеристики котлів типу ДКВР ГМ

Найменування показників	ДКВР	ДКВР	ДКВР	ДКВР	ДКВР
Продуктивність пари ,т/год	2,5	4,0	6,5	10	20
Робочий тиск, МПа	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Температура,°С	До195	До195	До195	До195	До195
Витрата газу, куб.м/год	188	312	445	735	1465
Витрата мазуту, кг/год	176	305	425	765	1405
Коефіцієнт корисного дії,%	89	89	88	88	92
-довжина	4185	5520	5780	8850	11500
-ширина	2100	2100	3250	5830	5970
-висота	3985	3986	3990	7100	7660
Вага, кг	6887	9200	11446	15397	44635

1.2. Постановка завдання досліджень

Нормативний термін служби котлів ДКВР становить 20 років, а після технічної модернізації його може бути продовжено ще як мінімум на п'ять, те й більше, років. За цей час система автоматизації може двічі морально та технічно застаріти. Але якщо за оглядом котельної установки стежить спеціалізована державна організація - Котлонадзор і це безпосередньо пов'язано з безпекою експлуатації, то до автоматизації немає таких жорстких вимог і рівень автоматизації, по суті, визначається організацією, яка експлуатує дану котельну установку.

Як об'єкт автоматизації, котел являє собою досить складний технічний об'єкт із взаємозалежними параметрами. Стабільна робота установки полягає у підтримці певного режиму, що визначається знаходженням параметрів установки у заданих діапазонах. Якщо з якихось причин параметр виходить за встановлені межі, без додаткового зовнішнього втручання установка може:

- знизити ККД;
- вимкнутись (припинити горіння);
- аварійно зупинитись, аж до руйнування.

Взаємний вплив параметрів установки один на одного добре описаний у літературі [2], і зв'язки у цій роботі прийняті за базові.

Метою роботи є моделювання системи регулювання парокотельної установки серед MATLAB. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити модель системи регулювання;
- зняти перехідні характеристики по окремих каналах регулювання;
- ідентифікувати передавальні функції каналів регулювання за перехідними характеристиками;
- визначити взаємні зв'язки каналів регулювання;
- виконати налаштування регуляторів методом Циглера-Нікольса;
- визначити якісні показники регулювання.

- узагальнити отримані результати.

Об'єктом автоматизації є моделювання системи регулювання парокотельної установки.

Результаті досліджень дають уявлення про поведінку такого складного та багатозв'язного об'єкта як паровий котел. Отримана багатозв'язкова модель має багато напрямів для вдосконалення.

Розділ 2. Дослідження систем автоматизації

2.1. Котельня установка як об'єкт автоматизації

Котельня установка є складним взаємопов'язаним об'єктом. Функціональна схема установки наведена на рис. 2.1.1. Рівень автоматизації, представлений малюнку, відповідає базовому рівню. Усі параметри установки, що не задіяні в цій моделі, не показані.

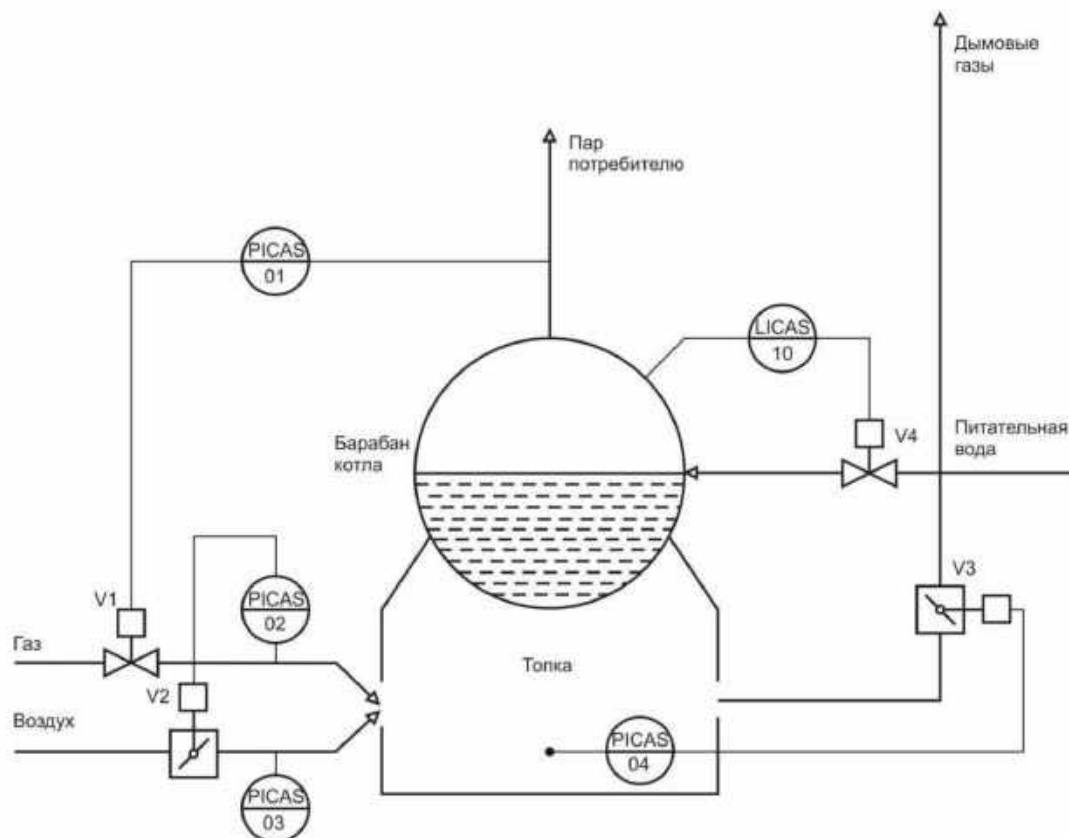


Рисунок 2.1.1 – Функціональна схема автоматизації котельної установки

Загальні відомості.

Тиск пари в барабані котла контролюється датчиком (поз. PICAS 01).

Природний газ, як паливо, у топку колу подається під невеликим надлишковим тиском. Тиск безпосередньо перед топкою контролюється датчиком (поз. PICAS 02), подача газу регулюється клапаном електричним приводом V1.

Повітря в топку котла по повітропроводу нагнітається вентилятором для дуття. Тиск безпосередньо перед топкою контролюється датчиком (поз. PICAS 03), регулюється подача шибер з електричним приводом V2.

Розрідження в топці котла контролюється датчиком (поз. PICAS 04), регулюється шибером електричним приводом V3.

Рівень води в барабані котла контролюється датчиком (поз. LICAS 10), регулюється подачею живильної води через клапан з електричним приводом V4.

В якості електричного приводу (виконавчого механізму - ІМ) у всіх випадках використовуються МЕО - механізми електричні однооборотні, що забезпечують переміщення регулюючого органу з положення відкрито в положення закрито, і назад за один оборот ІМ.

В таблиці 2.1 наведено довідкову інформацію про вимірювані параметри, уставки сигналізації та захисту парокотельної установки ДКВР-10-3 №2, що знаходиться в експлуатації.

Таблиця 2.1 - Уставки сигналізації та захисту парокотельної установки

	Найменування параметра	Позначення	Шкала	Одиниці вимірювань	Уставка сигналізації	Уставка захисту
	Тиск пара в барабані котла	PICAS 01	0...16	кгс/см ²	>11	>12
	Тиск газу перед пальником	PICAS 02	0...600	кгс/м ²	<26	<10
	Тиск повітря	PICAS 03	0...160	кгс/м ²	<2,0	<1,0
	Розрідження у топці котла	PICAS 04	-125 ... 125	кгс/м ²	> -20,0	>-25,0

Розглянемо роботу системи автоматизації. Припустимо, всі параметри установки встановилися і відповідають технологічним нормам.

У якийсь момент відбулося збільшення навантаження на теплосистему, що виразилося у збільшенні витрати теплової води, що позначилося на збільшенні витрати пари (поз. PICAS 01). Збільшення витрати пари наводить зниження його тиску, що є причиною «набухання рівня» води в барабані (процес посиленого виділення газу) і вимагає негайної реакції регулятора рівня, який прикриває клапан V4 на подачі поживної води в котел.

Для усунення обурення, викликаного збільшенням навантаження, необхідно збільшити подачу газу через клапан V1, що дозволить прискорити нагрівання та компенсувати втрату тиску пари. Зміна тиску газу, що подається в топку котла (поз. PICAS 02), призведе до зміни режиму оптимального горіння, який визначається співвідношенням «газ-повітря».

Для цього тиску газу (поз. PICAS 02) відбувається корекція тиску повітря (поз. PICAS 03), зміною керуючого впливу на шиберну заслінку V2, встановлену на повітропроводі в топку котла. Корекція тиску повітря виконується за кривою співвідношення "газ-повітря", яка є оригінальною для кожної котельної установки (див. п. 2.2).

Зміна об'ємів палива, що спалюється, призводить до збільшення димових газів і, як наслідок, зміни розрідження (поз. PICAS 04) у топці котла.

2.2. Вплив співвідношення «газ/повітря» на продуктивність котельні

Для повного згоряння газу, що надходить у топку котла, необхідна конкретна кількість кисню, який подається в топку в складі повітря.

Можливі варіанти співвідношення.

Варіант 1

Кисню недостатньо для повного згоряння палива. Газ відлітає в атмосферу, при цьому збільшується вартість виробленої одиниці тепла, виникають проблеми з безпекою тощо.

Варіант 2

Надмірна подача кисню. Газ повністю згоряє, але частина тепла йде на нагрівання зайвого повітря, яке згодом гріє атмосферу. Втрати у разі можуть досягати 5 і більше відсотків. У цьому зростають викиди шкідливі речовини,

основну масу яких становлять оксиди азоту. Надмірна подача повітря може створити проблеми з горінням, наприклад, відрив полум'я на початковому етапі горіння.

Варіант 3

Подача кисню оптимальна. Газ повністю згоряє, втрати тепла із надмірно поданим повітрям мінімальні. Шкідливі викиди знижуються в межах 20...40%.

Для отримання оптимального співвідношення «газ/повітря» проводять режимно-налагоджувальні випробування, в ході яких складають режимні карти, в яких, крім іншого, визначають оптимальне співвідношення.

Для побудови кривої співвідношення (саме кривий) газ/повітря на етапі режимно-налагоджувальних випробувань проводять низку наступних експериментів. Задають тиск газу в топку і, змінюючи тиск повітря, досягають мінімальної концентрації чадного газу димових викидах. Ця величина жорстко контролюється. Заданий тиск газу та отриманий тиск повітря дають координати точки, що лежить на кривій співвідношення. Потім змінюють тиск газу та отримують наступну точку і т. д. Кількість точок у робочій зоні має бути більшою, що дозволить підвищити точність відтворення кривої та якість регулювання.

Але навіть якщо крива відтворена з особливою ретельністю, є безліч факторів, які негативно впливають на повторюваність цієї кривої в різних умовах, а саме:

- зміна температури повітря +30 °C до -30 °C викликає зміну густини на 24%: від 1,1644 кг/м³ до 1,4511 кг/м³;
- нестабільний склад газу, або палива загалом;
- знос обладнання; наявність присосів повітря;

Усі ці чинники негативно впливають на ККД установки. Для того, щоб зменшити їх вплив, необхідно частіше проводити режимно-налагоджувальні випробування, не рідше одного разу на рік, а також мати можливість коригувати криву співвідношення залежно від пори року.

Розділ 3. Математичне моделювання котельної установки

3.1. Ідентифікація котельної установки як об'єкта керування

Для ідентифікації котельної установки як об'єкта управління розглянемо контури регулювання, взаємозв'язку між ними та виконаємо ідентифікацію об'єкта по кожному контуру.

Аналіз динаміки об'єкта показує, що по всіх каналах регулювання об'єкт може бути ідентифікований як аперіодична ланка першого порядку з чистим запізненням.

3.1.1. Ідентифікація об'єктів за перехідною характеристикою

Одним з поширених способів ідентифікації об'єктів управління є графічний спосіб перехідної характеристики або кривої розгону. Крива розгону – це крива, отримана результаті реакції об'єкта на вхідний ступінчастий вплив.

Визначення параметрів об'єкта першого порядку із запізненням.

Розглянемо об'єкт, що описується диференціальним рівнянням першого порядку із запізненням [3]

$$\begin{aligned} T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) &= K_0 u(t - \tau), \\ y(0) &= 0. \end{aligned} \quad (3.1.1.1)$$

Реакція на вхідну ступінчасту дію:

$$u(t) = U * 1(t),$$

де U - амплітуда одиничного ступінчастого впливу, матиме вигляд, представлений на рис. 3.1.1.1. Потрібно визначити параметри τ , K_0 , T об'єкта.

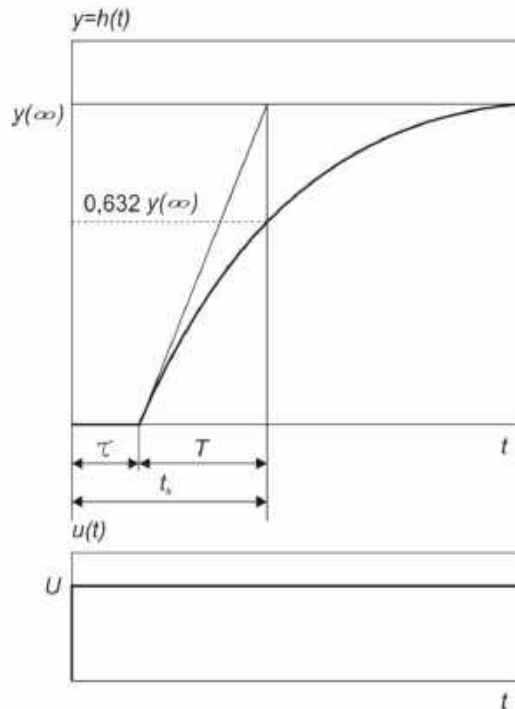


Рисунок 3.1.1.1 – Реакція об'єкта з передатною функцією першого порядку із запізненням на ступінчасту дію

Рішення рівняння (1) матиме такий вигляд

$$y(t) = h(t) = K_0 \left(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}}\right), t \geq \tau. \quad (3.1.1.2)$$

Безпосередньо за рис. 3.1 можна визначити цікаві для нас параметри об'єкта.

Час запізнення - це інтервал часу від моменту подачі вхідного ступінчастого впливу до початку руху сигналу $y(t)$. Тобто це інтервал часу, протягом якого $u(t) = 0$, а $y(t) = 0$.

Постійна часу T - це час який визначається по перехідній характеристики як різниця $t_k - \tau$, протягом якого $y(t)$ досягає значення $(1 - e^{-1}) y(\infty)$, що приблизно дорівнює 63,2% від встановленого значення $y(\infty)$.

Коефіцієнт посилення K_0 визначається ставленням

$$K_0 = \frac{y(\infty)}{u(\infty)}, \quad (3.1.1.3)$$

Тобто ставленням виходу до входу в режимі, що встановився.

Реальний об'єкт з передатною функцією першого порядку із запізненням

$$W_o(s) = \frac{k}{Ts+1} e^{-\tau s},$$

має дещо відмінну перехідну характеристику (рис. 3.1.1.2), проте може бути з досить високою точністю ідентифікований за викладеним вище способом.

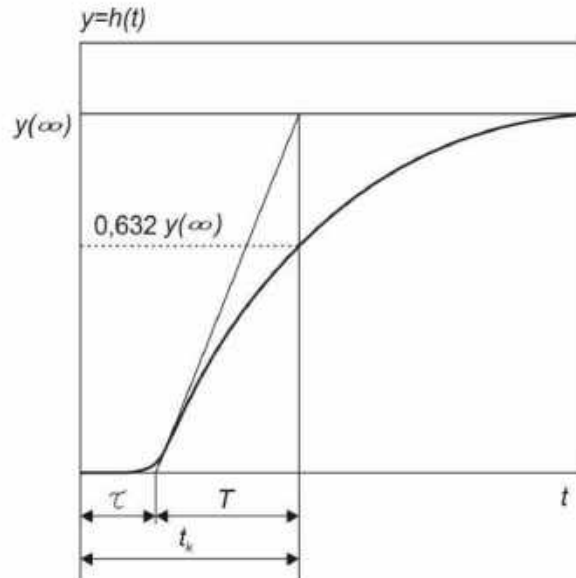


Рисунок 3.1.1.2 – Перехідна характеристика реального об'єкту з передатною функцією першого порядку із запізненням

3.1.2. Загальна модель системи керування котельної установки

На рис. 3.1.2.1 представлена структурна схема системи управління.

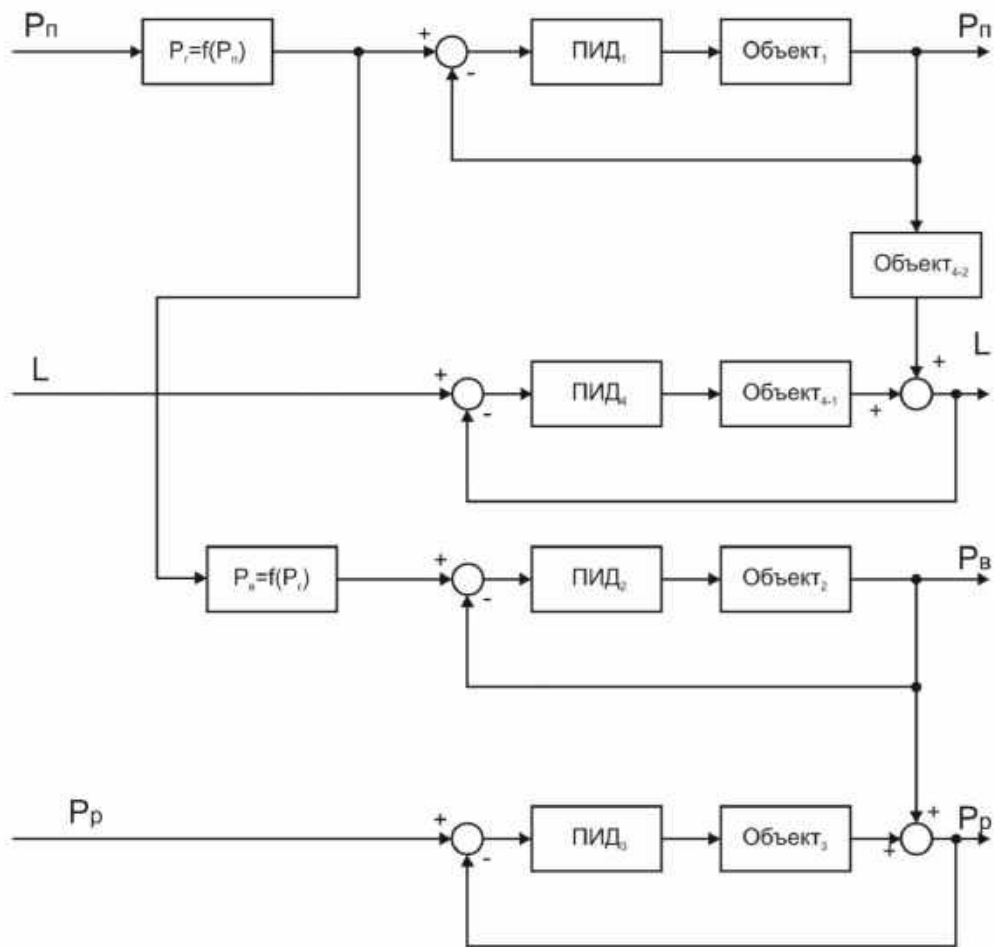


Рисунок 3.1.2.1 – Структура моделі системи управління

Використання на рис. позначення:

P_{Π} – тиск пари;

L – рівень у барабані котла;

P_{Γ} – Тиск газу;

$P_{\text{В}}$ – Тиск повітря;

$P_{\text{Р}}$ – Розрідження в топці котла;

ПІД_{1,2,3,4} – ПІД-регулятори;

$P_{\Gamma}=f(P_{\Pi})$ – залежність тиску пари від тиску газу;

$P_{\text{В}}=f(P_{\Gamma})$ – залежність тиску повітря від тиску газу (крива співвідношення «газ/повітря»);

Об'єкт 1,2,3,4 – передавальні функції об'єктів каналами регулювання.

3.1.3. Модель $P_{\Gamma}=f(P_{\Pi})$

При цьому тиск пари є провідним параметром. Для того, щоб встановити зв'язок $P_{\Gamma}=f(P_{\Pi})$ виконано ряд експериментів, сенс яких полягає у визначенні реакції тиску пари на зміну тиску газу.

Суть експерименту.

При відносно постійному оптимальному навантаженні, що визначається витратою пари, та постійному тиску пари ($P_{\Pi} = \text{const}$) змінюється тиск газу. Усі системи регулювання, пов'язані з витратою газу, працюють штатно. Через певний час, який визначається тривалістю перехідного процесу і в даному випадку становить близько 500 секунд, вимірюється тиск пари.

Зважаючи на те, що експерименти на працюючій установці проводити небезпечно, знято лише дві точки для оптимального навантаження. Дані експериментів наведено у таблиці 3.1.3.1.

Таблиця 3.1.3.1 – Залежність тиску пари від тиску газу

N	Найменування параметра	Одиниці вимірювання	Вимірювання	
			150	190
1	Тиск газу перед пальником	кгс/м ²	150	190
2	Тиск пари в барабані	кгс/см ²	9,35	9,83

Приймемо, що зв'язок між тисками описується лінійним виразом

$$P_{\Pi} = A + B * P_{\Gamma} . \quad (3.1.3.1)$$

Прості обчислення дозволяють розрахувати величини А і В.

$$A = 7,55; B = 0,012.$$

Таким чином зв'язок між тиском пари та тиск газу визначатиметься наступним виразом

$$P_n = 7,55 + 0,012 * P_r. \quad (3.1.3.2)$$

Для узагальненої моделі потрібен зворотний вираз, який пов'язує тиск пари з тиском газу

$$P_r = 83,33 * (P_n - 7,55). \quad (3.1.3.3)$$

3.1.4. Співвідношення «газ/повітря»

Як зазначалося раніше, оптимальне співвідношення «газ/повітря» визначається процесі режимно-налагоджувальних випробувань установки. На рис. 3.1.4.1 представлено графічну залежність $P_v = f(P_g)$ для парокотельної установки ДКВР-10-3 №2, що знаходиться в експлуатації.

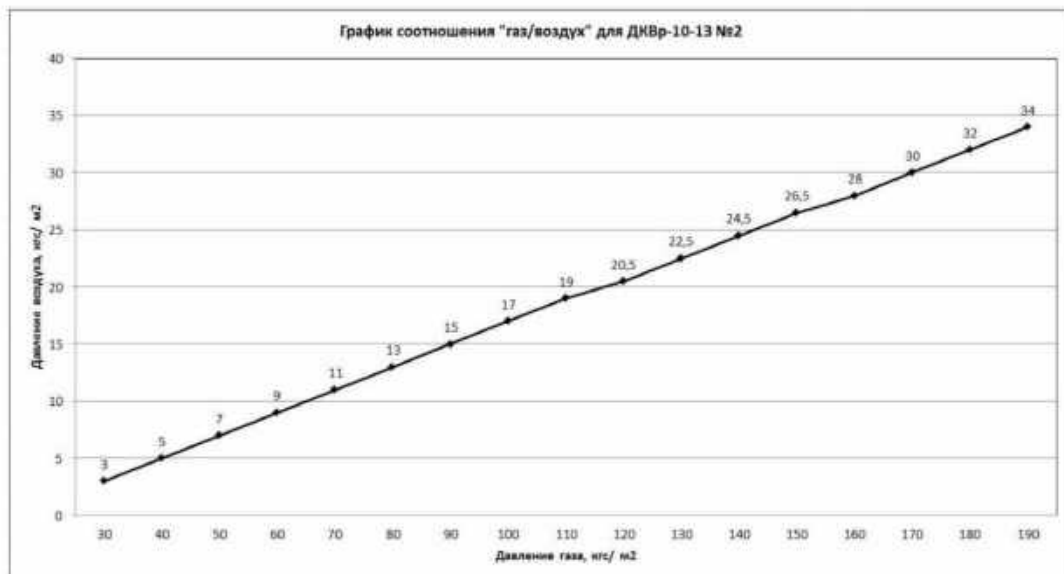


Рисунок 3.1.4.1 – Крива співвідношення «газ/повітря»

В області робочих тисків повітря (26 ... 34) доне співвідношення може бути з досить високою точністю апроксимовано прямою лінією

$$P_v = -1,625 + 0,1875 * P_r. \quad (3.1.4.1)$$

3.1.5. Модель об'єкта по каналу регулювання тиску пари

Ідентифікація моделі об'єкта каналом регулювання тиску пари (Об'єкт₁) виконується графічним способом за перехідною характеристикою або кривою розгону у відповідність до п. 3.1.1.

Перехідна характеристика знімається у виконання п. 3.1.3. При відносно постійному оптимальному навантаженні, що визначається витратою пари, та постійному тиску пари ($P_n = \text{const}$) змінюється тиск газу. Усі системи регулювання, пов'язані з витратою газу, працюють штатно.

Характеристика представлена на рис. 3.1.5.1.

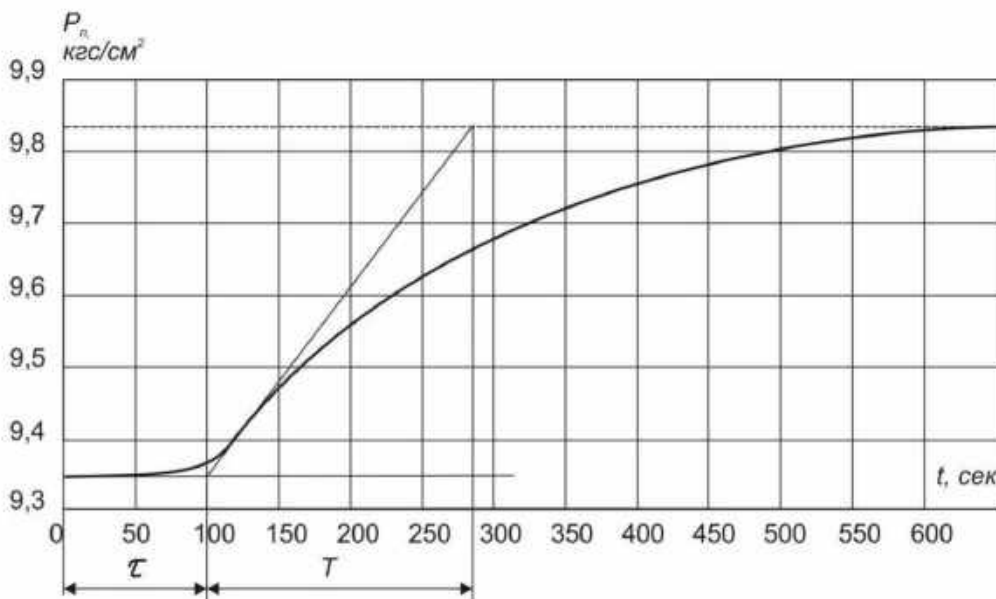


Рисунок 3.1.5.1 – Крива розгону каналом регулювання газу

За методикою, викладеною у п.3.1.1 графічним методом визначаємо величини τ , T об'єкта. По відношенню зміни вихідної величини до зміни вхідний визначаємо коефіцієнт передачі об'єкта K_0 . З урахуванням вищевикладеного передатна функція об'єкта по каналу регулювання газу матиме такий вигляд

$$W_e(s) = \frac{0,533}{180s + 1} e^{-100s}. \quad (3.1.5.1)$$

3.1.6. Модель об'єкта по каналу регулювання тиску повітря

Ідентифікація моделі об'єкта каналом регулювання тиску повітря (Об'єкт K_2) виконується графічним способом за перехідною характеристикою або кривою розгону у відповідність до п. 3.1.1.

На час проведення експерименту регулятор переводиться в ручне положення, зворотний зв'язок розмикається і на вхід об'єкта подається ступінчаста дія зміною тиску газу з 150 до 190 кгс/м² що відповідає зміні тиску повітря з 26,5 до 34 кгс/м². На рис. 3.1.6.1 представлено перехідну характеристику об'єкта регулювання.

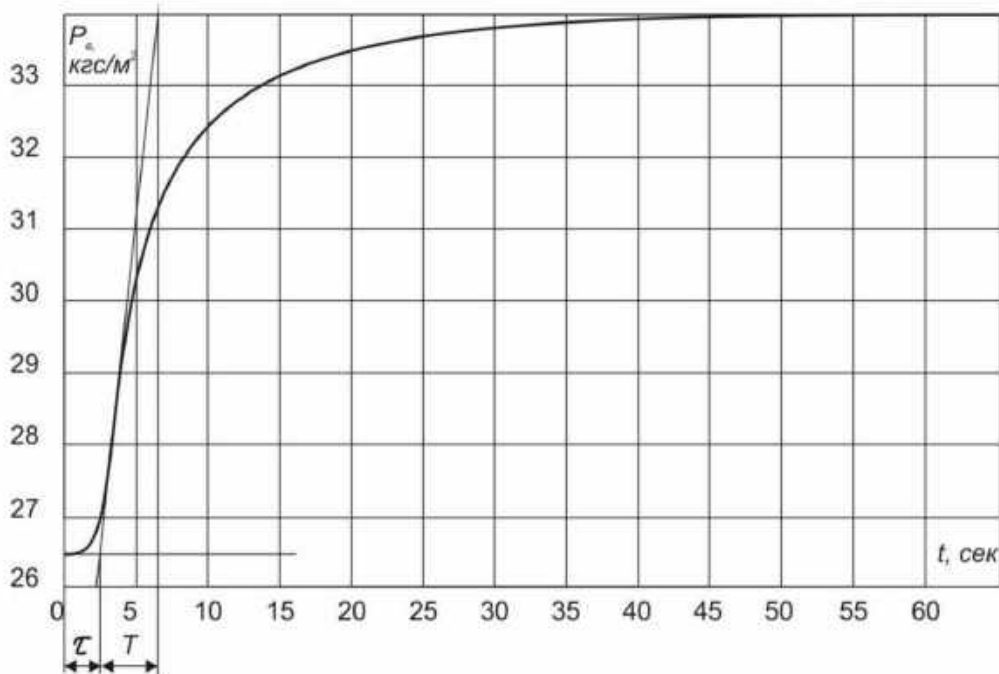


Рисунок 3.1.6.1 - Перехідна характеристика об'єкта регулювання повітря

Аналогічно пункту 3.1.5 графічним методом визначаємо величини τ , T об'єкта K_0 . З урахуванням вищевикладеного передатну функцію об'єкта по каналу регулювання повітря матиме такий вигляд

$$W_0(s) = \frac{0,1875}{4,3s + 1} e^{-2,4s}. \quad (3.1.6.1)$$

3.1.7. Модель об'єкта по каналу регулювання розрідження

Ідентифікація об'єкта каналом розрідження (Об'єкт3) виконується перед розпалюванням котла. Включаються димосос та дутьовий вентилятор. Шибром V2 встановлюється тиск повітря 25 кгс/м^2 . Зміною положення шиберу V3 домагаються розрідження в топці, що відповідає номінальному режиму (-12 кгс/м^2). Регулятор розрідження знаходиться в ручному режимі і на роботу шиберу V3 не впливає. Збільшується тиск повітря до 35 кгс/м^2 . Спостерігається зміна розрідження і знімається криву розгону.

Крива розгону представлена на рис. 3.1.7.1.

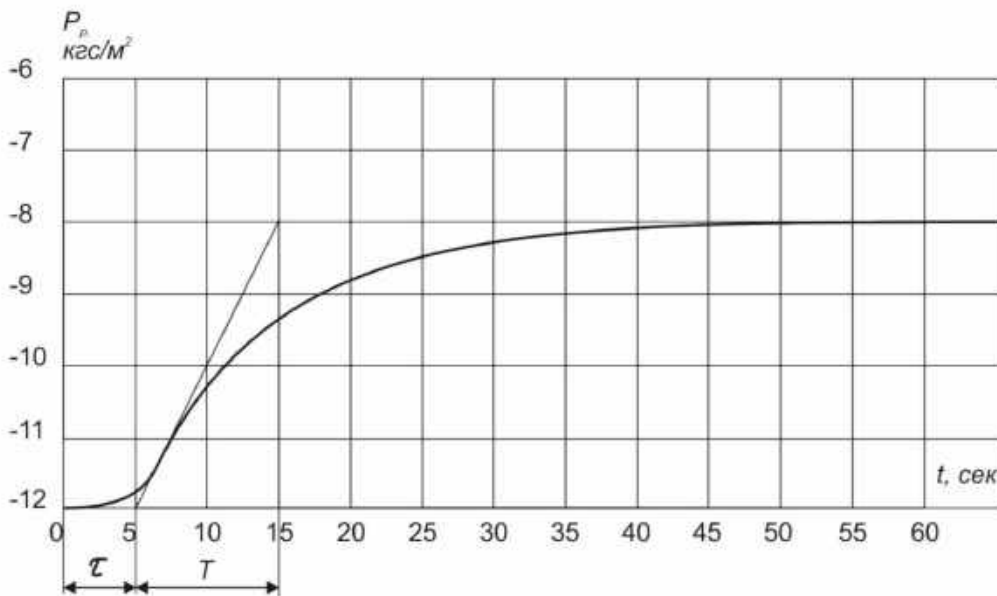


Рисунок 3.1.7.1 - Крива розгону каналом розрідження

За графіком визначаємо величини τ , T об'єкта. По відношенню зміни вихідної величини до зміни вхідний визначаємо коефіцієнт передачі об'єкта ρ . З урахуванням вищевикладеного передатну функцію об'єкта по каналу регулювання розрідження матиме такий вигляд

$$W_{\text{в}}(s) = \frac{0,4}{10s + 1} e^{-5s}. \quad (3.1.7.1)$$

3.1.8. Модель об'єкта по каналу регулювання рівня

Регулятор рівня це відносно незалежний регулятор в котельній установці, що впливає на який змінює тиск пари (навантаження). Регулятор працює як класичний регулятор відхилення. Керуючий вплив на регулюючий орган формується таким чином, щоб зменшити різницю між завданням та сигналом зворотного зв'язку.

Модель барабана (Об'єкт₄₋₁) відповідно до [3] представлена у вигляді аперіодичного ланки із запізненням:

$$W_{\sigma}(s) = \frac{12}{100s + 1} e^{-3s}. \quad (3.1.8.1)$$

Модель також включає ланку, що імітує явище "набухання" рівня (Об'єкт₄₋₂). Відповідно до довідкових даних модель по цьому каналу виглядає так:

$$W_{\sigma}(s) = \frac{k_H}{T_H s + 1}, \quad (3.1.8.2)$$

де k_H - Швидкість «набухання»;

T_H - Постійна часу "набухання".

Відповідно до [4]

$$W_{\sigma}(s) = \frac{0,046}{s + 1} \quad (3.1.8.3)$$

Розділ 4. Дослідження системи управління котельною установкою

Моделювання системи керування котельною установкою виконується у пакеті програм MATLAB SimuLink. Налаштування регуляторів виконується методом Циглера – Нікольса.

4.1. Розробка моделі у MATLAB Simulink

Для вивчення поведінки багатозв'язкової системи управління котельною установкою використовується пакет програмування MATLAB SimuLink.

Пакет SimuLink дозволяє моделювати системи практично будь-якої складності у реальному масштабі часу. Модель досліджуваної системи формується методом графічного складання окремих елементів, представлених у бібліотеці програми.

Однією з переваг цього пакета є висока достовірність одержуваних результатів, які відповідають закладеній моделі.

На рис. 4.1.1 представлено модель системи керування котельною установкою.

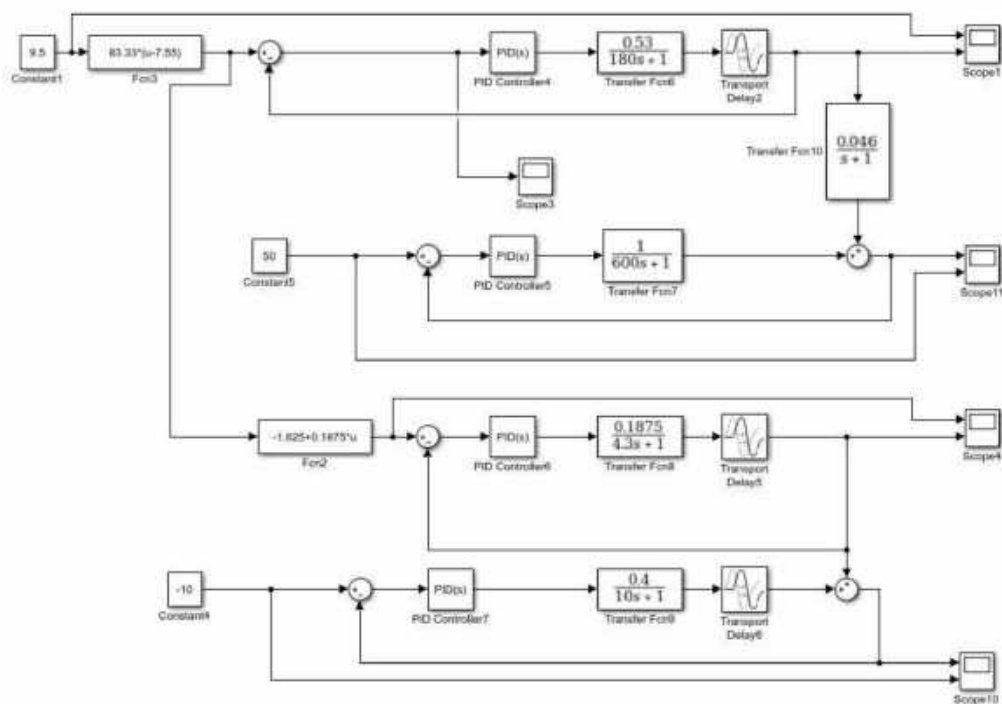


Рисунок 4.1.1 - Модель системи керування котельною установкою у Simulink

4.2. Розрахунок коефіцієнтів регуляторів методом Циглера-Нікольса

В класичній теорії автоматичного управління структура регулятора вибирається з моделі об'єкта управління. У цьому складні об'єкти управління вимагають застосування складних регуляторів.

Однак на практиці, в переважній більшості випадків, регулювання зводиться до використання ПД-регуляторів, що мають такий вигляд:

$$u(t) = k_n e(t) + k_u \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (4.2.1)$$

де K_p - коефіцієнт пропорційності;

K_i - інтегральний коефіцієнт (Зворотній постійною інтегрування);

K_d - диференціальний коефіцієнт (прямопропорційний) постійного часу диференціювання).

ПД-регулятори не завжди забезпечують необхідну якість регулювання, але завдяки простоті своєї структури та великій кількості теоретичних та практичних методів їх налаштування ПД-регулятори є основними у практичному застосуванні [6].

Метод налаштування Циглера – Нікольса – це евристичний метод налаштування ПД-регулятора. Його розробили Джон Г. Ціглер і Натаніель Б. Нікольс. Це виконується шляхом встановлення коефіцієнтів посилення І (інтеграл) та D (похідна) на нуль. Потім коефіцієнт посилення «Р» (пропорційний) збільшується (з нуля) доти, доки він не досягне граничного коефіцієнта посилення, при якому на виході контуру управління будуть стабільні та послідовні коливання. Потім період коливань використовується для встановлення коефіцієнтів посилення Р, І та D залежно від типу використовуваного контролера та бажаної поведінки.

Найбільшу популярність здобули два варіанти налаштування параметрів регулятора за методом Циглера-Нікольса.

4.2.1. Перший спосіб

Спосіб налаштування коефіцієнтів регулятора використання запасу стійкості системи.

Налаштування регулятора починається з повільного збільшення коефіцієнта пропорційності П-регулятора до появи на виході системи коливань, що встановилися, з постійною амплітудою. Поява таких коливань у системі свідчить про її вихід на кордон стійкості. Для такого стану системи фіксується коефіцієнт пропорційності і період коливань, що встановилися. Значення параметрів регулятора розраховуються за формулами, представленим у таблиці 4.2.1.1.

Таблиця 4.2.1.1 – Параметри типових регуляторів

Тип регулятора	K_p	K_i	K_d
П-регулятор	0,5		
ПІ-регулятор	0,45	0,54	
ПІД-регулятор	0,60	1,2	0,075

Недоліком цього варіанта є необхідність виводити реальний об'єкт на межу стійкості, що у багатьох випадках робити не рекомендується.

4.2.2. Другий спосіб

Спосіб налаштування параметрів регулятора використовує реакцію об'єкта на ступінчасту керуючу дію. Цей спосіб теж негативно впливає стан об'єкта, особливо коли він багатозв'язковий, але наслідки таких експериментів для об'єкта менш значущі, ніж у першому випадку.

Реакцією об'єкта такий вплив є перехідна характеристика чи крива розгону. Об'єкти управління, що мають аперіодичну криву розгону, як на малюнку 4.2.2.1, подаються у вигляді послідовного з'єднання аперіодичного та запізнювального ланок.

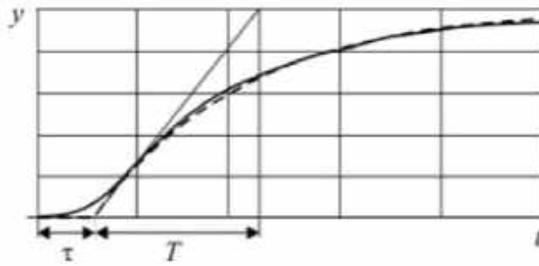


Рисунок 4.2.2.1 – Реакція об'єкта управління на ступінчасту дію

Формула для розрахунку коефіцієнтів ПД – регулятора зведені до таблиці 4.2.2.1.

Таблиця 4.2.2.1 – Параметри типових регуляторів за другим методом Циглера-Нікольса.

Тип регулятора	K_p	K_i	K_d
П-регулятор	$T/$		
ПІ-регулятор	$0,9T/$	$3T/$	
ПІД-регулятор	$1,2T/$	$0,9T/$	$0,5T/$

Регулятори, параметри яких розраховані за методом Циглера – Нікольса, не завжди забезпечують необхідну якість процесу регулювання. налаштування регуляторів [5].

4.3. Критерії оцінки якості регулювання

Паровий котел, як об'єкт регулювання, поєднує все як швидкодіючі канали регулювання, і досить повільнодействующие. По виду передавальної функції об'єкта до швидкодіючих каналів регулювання відносяться канали регулювання:

- розрідження;
- повітря;
- рівня.

До повільнодіючих регуляторів відноситься регулятор пари. Проведемо налаштування регуляторів для всіх каналів, причому розглянемо випадки використання ПІ та ПІД регуляторів.

Для оцінки якості регулювання приймемо такі критерії:

- перерегулювання σ , відношення різниці максимального вибігу вихідної величини $Y_{\max}$ та встановленого значення $Y_{уст}$ до встановленого значення, виражене у відсотках

$$\sigma = \frac{Y_{\max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} * 100\%;$$

- час регулювання t_p - мінімальний час, від моменту дії вхідного сигналу до моменту, після якого вихідний сигнал не виходить із заздалегідь заданої зони.

Перший показник характеризує стійкість системи, а другий її швидкодію.

4.4. Канал регулювання пари

Розрахунок коефіцієнтів виконаємо відповідно до другого способу, заснованого на використанні коефіцієнтів об'єкта, отриманих за перехідною характеристикою.

Модель каналу тиску пари, отримана в п. 3.1.5 має такий вигляд

$$W_o(s) = \frac{0,533}{180s + 1} e^{-100s}, \quad (4.4.1)$$

де K_o - коефіцієнт передачі об'єкта; T - постійна часу об'єкта; τ - час запізнення об'єкта.

У таблиці 4.4.1 наведено коефіцієнти ПІ та ПІД регуляторів.

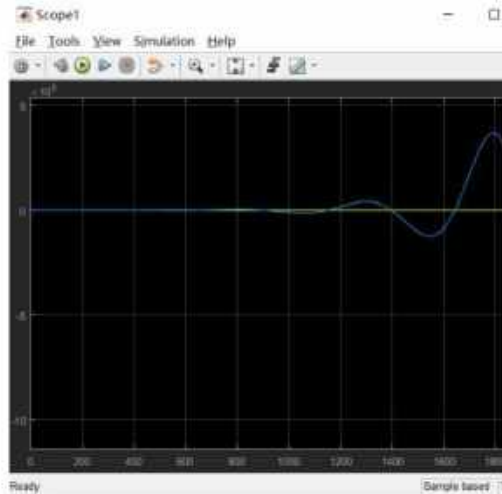
Таблиця 4.4.1 – Коефіцієнти регуляторів для каналу пари

Тип регулятора	K_p	K_i	K_d
П-регулятор	3,4		
ПІ-регулятор	3,0	0,101	

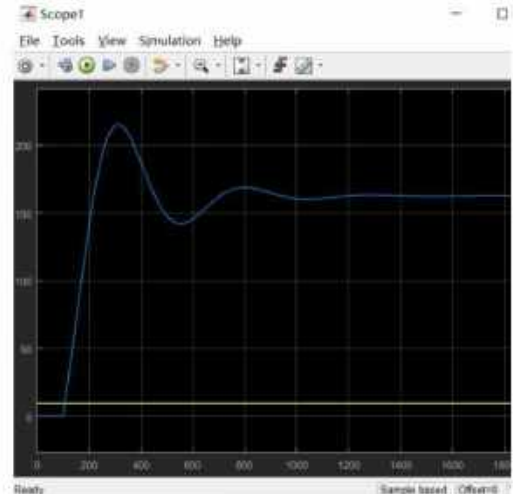
ПД-регулятор	4,1	0,03	168,9
--------------	-----	------	-------

4.4.1. Канал регулювання пари з ПД-регулятором

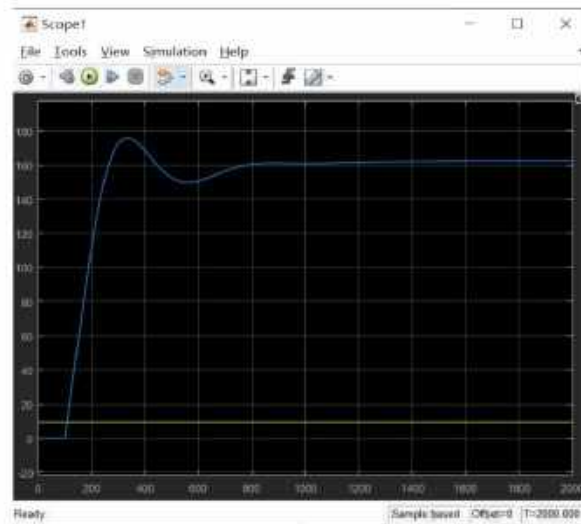
Виконаємо моделювання об'єкта управління по каналу регулювання тиску пари ПД-регулятором.



а) $K_p = 3,039$, $K_i = 0,101$



б) $K_p = 3,039$, $K_i = 0,015$

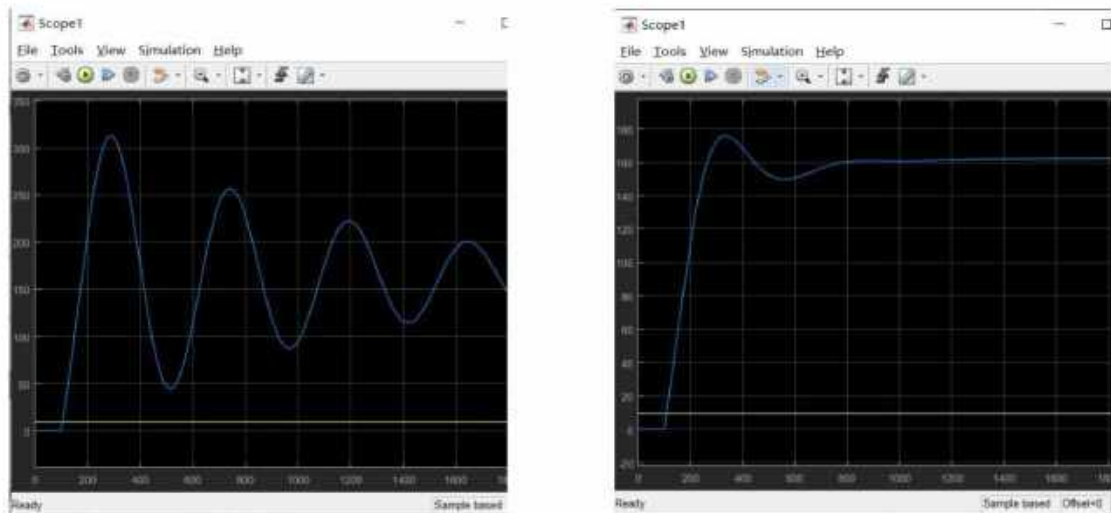


в) $K_p = 3,039$, $K_i = 0,01$

Рисунок 4.4.1.1 – Перехідна характеристика системи каналу регулювання пари з ПД-регулятором

4.4.2 Канал регулювання пари з ПД-регулятором

Виконаємо аналогічне моделювання об'єкта управління каналом регулювання тиску пари ПД-регулятором. Результати моделювання представлені на рис. 4.4.2.1 а, б.



а) $K_p = 4,1$, $K_i = 0,03$, $K_d = 168,9$

б) $K_p = 2,5$, $K_i = 0,01$, $K_d = 168,9$

Рисунок 4.4.2.1 - Перехідна характеристика системи каналом регулювання тиску пари з ПД-регулятором

Висновок

Зважаючи на те, що процес зміни тиску в барабані котла при нагріванні досить повільний ПІ та ПД – регулятор показують досить добрі результати. Але слід зазначити, що після розрахунку коефіцієнтів методом Циглера-Нікольса виконано інтуїтивну корекцію коефіцієнта інтегрування у бік зменшення (постійна часу інтегрування збільшується). Також варто відзначити, що через монотонність процесу коефіцієнт диференціювання практично не впливає на форму перехідного процесу.

4.5. Канал регулювання тиску повітря

Модель по каналу регулювання тиску повітря, одержана в п. 3.1.6 має такий вигляд

$$W(s) = \frac{0,1875}{4,3s + 1} e^{-2,4s} \quad (4.5.1)$$

де K_o - Коефіцієнт передачі об'єкта;

T - Постійна часу об'єкта; τ – час запізнення об'єкта.

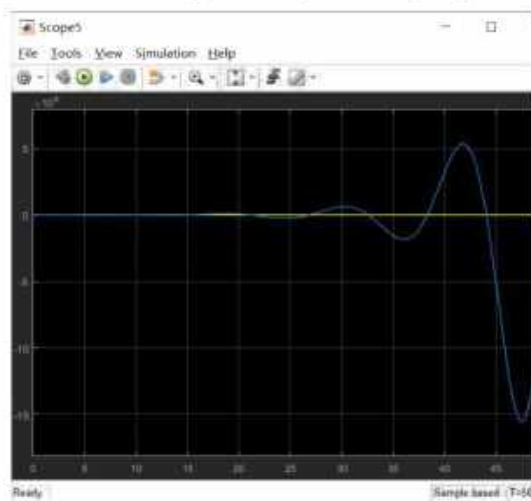
У таблиці 4.5.1 наведено коефіцієнти ПІ та ПІД регуляторів, розраховані у відповідність з другим способом Циглера-Нікольса.

Таблиця 4.5.1 – Коефіцієнти регуляторів для каналу регулювання тиску повітря

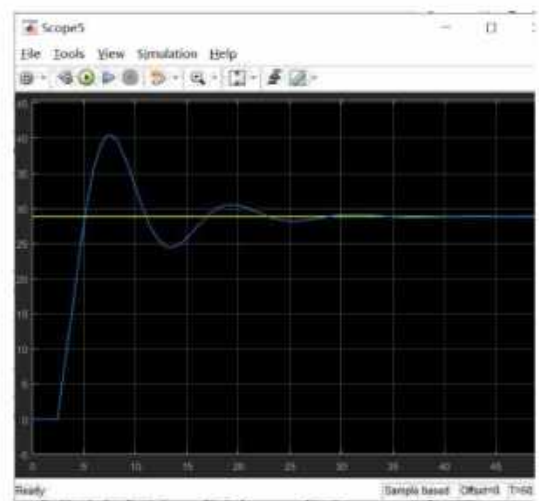
Тип регулятора	K_p	K_i	K_d
П-регулятор	9,5		
ПІ-регулятор	8,6	11,9	
ПІД-регулятор	11,5	3,6	11,5

4.5.1 Канал регулювання тиску повітря з ПІ-регулятором

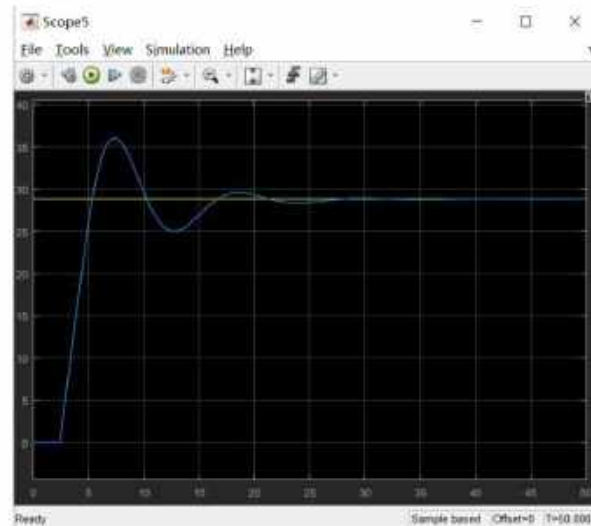
На рисунках 4.5.1.1 а, б, представлені результати моделювання системи регулювання тиску повітря з ПІ-регулятором.



а) $K_p=8,6$, $K_i=11,9$



б) $K_p=8,6$, $K_i=2,0$

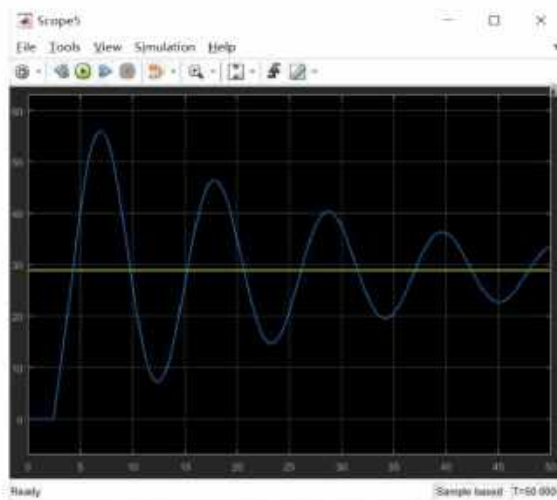


в) $K_p = 8,6$, $K_i = 1,5$

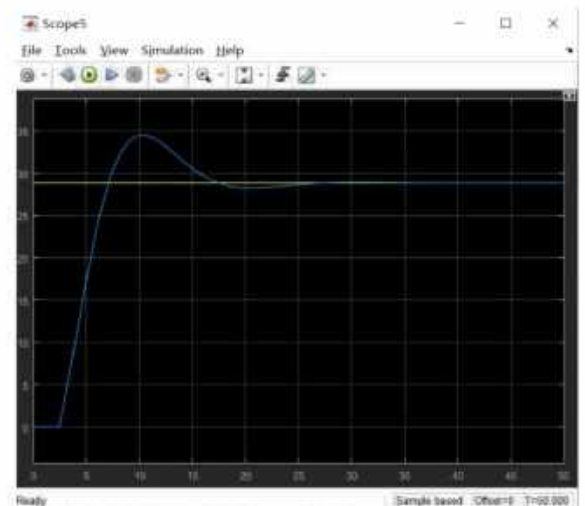
Рисунок 4.5.1.1 – Перехідна характеристика системи каналу регулювання тиску повітря з ПІ-регулятором

4.5.2. Канал регулювання тиску повітря з ПД-регулятором

Аналогічне моделювання виконано для об'єкта з ПД - регулятором. Результати моделювання представлені на рис. 4.5.2.1 а, б.



а) $K_p = 11,5$, $K_i = 3,6$, $K_d = 11,5$



б) $K_p = 5$, $K_i = 1,5$, $K_d = 11,5$

Рисунок 4.5.2.1 - Перехідна характеристика системи каналом регулювання тиску повітря з ПД-регулятором

Висновок

ПІ та ПД – регулятори показують досить хороші результати. Після розрахунку коефіцієнтів методом Циглера-Нікольса виконано інтуїтивну

корекцію коефіцієнта пропорційності та інтегрування у бік зменшення (постійна часу інтегрування збільшується).

4.6. Канал регулювання розрідження в топці котла

Модель по каналу регулювання розрідження, має такий вигляд

$$W_o(s) = \frac{0,4}{10s + 1} e^{-5s} \quad (4.6.1)$$

де K_o - коефіцієнт передачі об'єкта

T - постійна часу об'єкта; τ – час запізнення об'єкта.

У таблиці 4.6.1 наведено коефіцієнти ПІ та ПІД регуляторів, розраховані у відповідність з другим способом Циглера-Нікольса.

Таблиця 4.6.1 – Коефіцієнти регуляторів для каналу розрідження у топці котла

Тип регулятора	K_P	K_I	K_D
П-регулятор	5		
ПІ-регулятор	4,5	3	
ПІД-регулятор	6	0,9	12,5

4.6.1 Канал регулювання розрідження з ПІ-регулятором

На рисунках 4.6.1.1 а, б, представлені результати моделювання системи регулювання розрідження в топці котла з ПІ-регулятором.

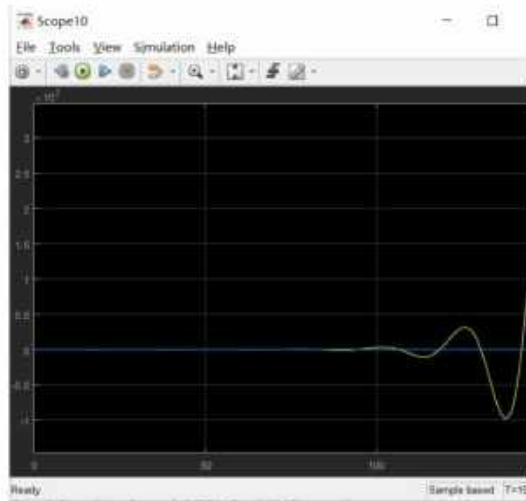
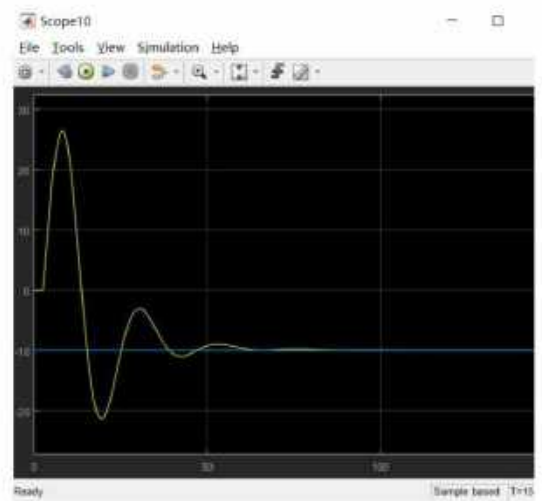
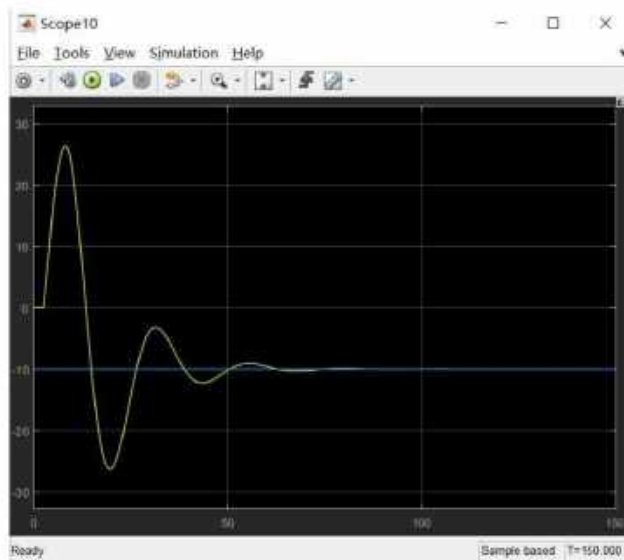
а) $K_P = 4,5$, $K_I = 3,0$ б) $K_P = 4,5$, $K_I = 0,4$ в) $K_P = 4,5$, $K_I = 0,3$

Рисунок 4.6.1.1 – Перехідна характеристика системи каналу регулювання розрідження з ПІ-регулятором

4.6.2 Канал регулювання розрідження з ПІД-регулятором

Аналогічне моделювання виконано для об'єкта з ПІД – регулятором. Результати моделювання представлені на рис. 4.6.2.1 а, б.

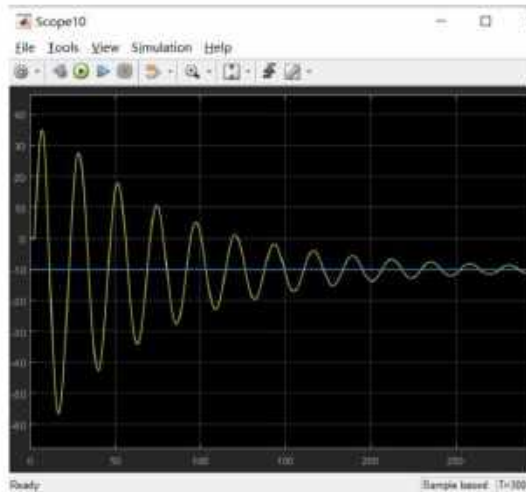
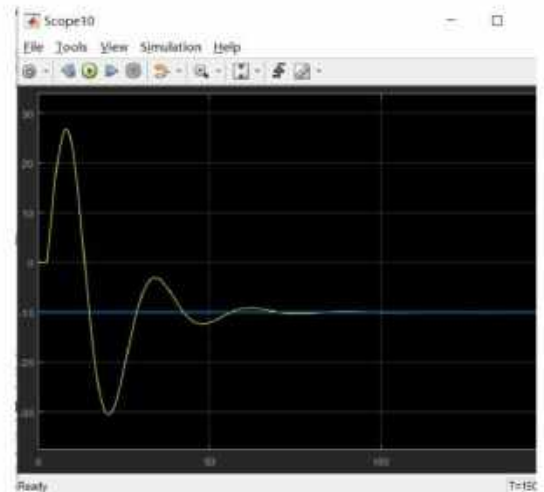
а) $K_p = 6, K_i = 0,9, K_d = 12,5$ б) $K_p = 3, K_i = 0,45, K_d = 12,5$

Рисунок 4.6.2.1 - Перехідна характеристика системи каналу регулювання розрідження з ПІД-регулятором

Висновок

Як і в попередньому випадку ПІ та ПІД – регулятори показують досить добрі результати, але за умови корекції коефіцієнтів після розрахунків, отриманих методом Циглера-Нікольса.

4.7 Регулятор рівня

Модель каналом регулювання розрідження, отримана в п. 3.1.7 має такий вигляд

$$W_o(s) = \frac{12}{100s + 1} e^{-3s} \quad (4.7.1)$$

де K_o - Коефіцієнт передачі об'єкта;

T - постійна часу об'єкта; τ – час запізнення об'єкта.

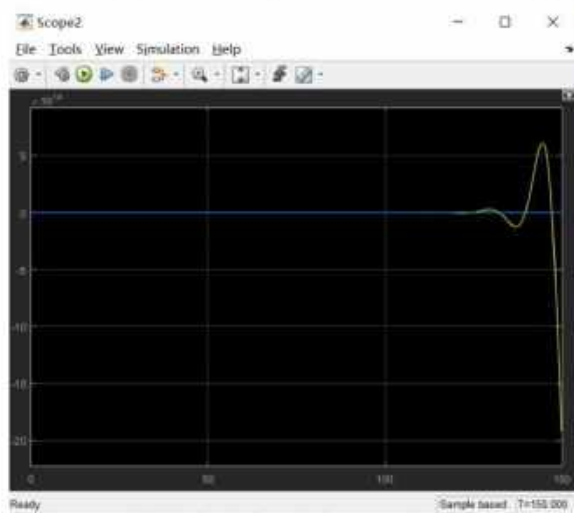
У таблиці 4.6 наведені коефіцієнти ПІ та ПІД регуляторів, розраховані у відповідність з другим способом Циглера-Нікольса.

Таблиця 4.6 – Коефіцієнти регуляторів для каналу регулювання рівня барабана котла

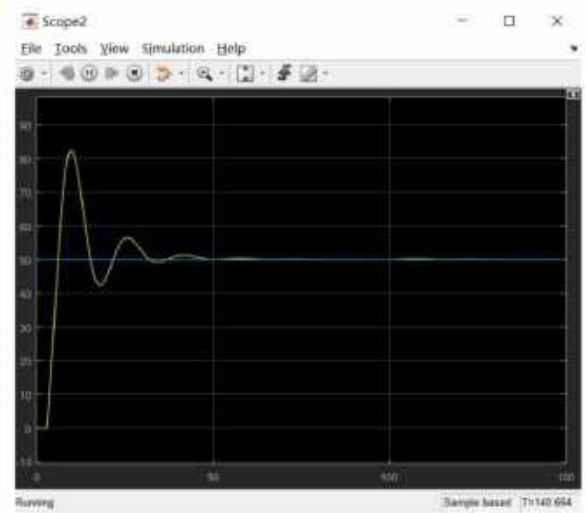
Тип регулятора	K_p	K_i	K_d
П-регулятор	2,7		
ПІ-регулятор	2,5	2,8	
ПІД-регулятор	3,33	0,8	4,2

4.7.1 Канал регулювання рівня з ПІ-регулятором

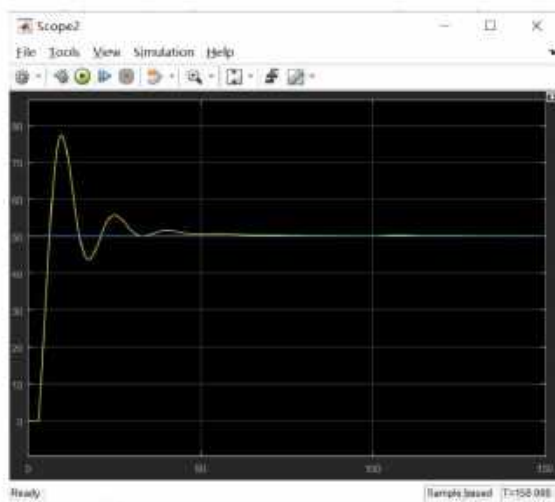
На рисунках 4.7.1.1 а, б, представлені результати моделювання системи регулювання рівня в барабані котла з ПІ-регулятором.



а) $K_p = 2,5$, $K_i = 2,8$



б) $K_p = 2,5$, $K_i = 0,15$

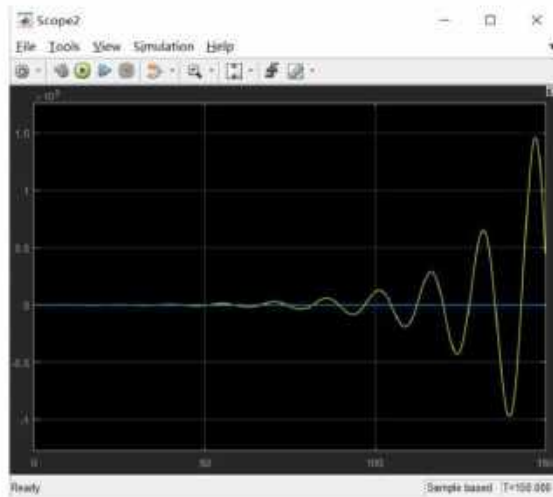


в) $K_p = 2,5$, $K_i = 0,1$

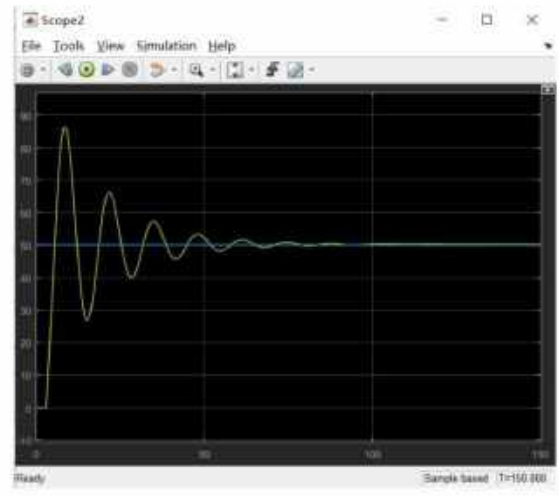
Рисунок 4.7.1.1 – Перехідна характеристика системи каналом регулювання рівня з ПІ-регулятором

4.7.2 Канал регулювання розрідження з ПІД-регулятором

Аналогічний моделювання виконано для об'єкта з ПІД - регулятором. Результати моделювання представлені на рис. 4.7.2.1 а, б.



а) $K_p = 3,33$, $K_i = 0,8$, $K_d = 4,2$



б) $K_p = 3,33$, $K_i = 0,05$, $K_d = 4,2$

Рисунок 4.7.2.1 - Перехідна характеристика системи каналом регулювання рівня з ПІД-регулятором

Висновок

Як і в попередньому випадку ПІ та ПІД – регулятори можуть бути використані для регулювання рівня відповідної налаштування коефіцієнтів.

4.8. Висновки до розділу 4

Результати моделювання показують досить хорошу керованість об'єкта. Усі регулятори мають запас за якісними показниками, можуть удосконалюватися.

Основний вплив на показники якості мають коефіцієнт пропорційності та інтегральний коефіцієнт, тоді як коефіцієнт диференціювання практично не впливає на якість.

Цей факт дає можливість рекомендувати для практичного використання ПІ-регуляторів.

Розділ 5. Ресурсоефективність і ресурсозбіжність

Цей розділ призначений для аналізу конкурентоспроможності, ресурсоефективності та розрахунку бюджету проведеної розробки. Застосування програмного пакету MATLAB як засіб для моделювання системи регулювання парокотельної установки (ПКУ) в середовищі MATLAB. Оцінка перспективності, планування та формування бюджету наукового дослідження дозволяють аналізувати його економічну ефективність.

5.1 Потенційні споживачі результатів дослідження

Об'єктом розробки є система регулювання парокотельної установки (ПКУ) у середовищі MATLAB. Потенційними споживачами системи регулювання парокотельної установки можуть бути промислові підприємства (виробництво продуктів харчування, хімічних речовин), об'єкти житлово-комунальної сфери (котельні), лабораторії. Сегментування ринку проводиться за сферою використання та за розміром компанії-замовника. Карта сегментування наведена у таблиці 5.1.1.

Таблиця 5.1.1 – Карта сегментування

		Сфера використання		
		Промислові підприємства	Об'єкти ЖКГ	Лабораторії
Розмір організації	Великі			
	Середні			
	Дрібні			

Наведеній карті сегментування показано, що для реалізації розробки підходять середні підприємства харчової та хімічної промисловості, об'єкти ЖКГ, дрібні лабораторії.

5.2 Аналіз конкурентних технічних рішень

Детальний аналіз конкуруючих розробок, що існують на ринку, необхідно проводити систематично, оскільки ринки перебувають у постійному русі. Такий

аналіз допомагає вносити корективи до наукового дослідження, щоб успішніше протистояти своїм суперникам. Важливо реалістично оцінити сильні та слабкі сторони розробок конкурентів.

Порівняльна таблиця конкуруючих технічних рішень наведено у табл. 5.2.1.

Таблиця 5.2.1 - Порівняння конкуруючих технічних рішень

Критерії оцінки		Б		Конкурентоздатність	
		али			
	Вага критерію	Ф	к1	Ф	Кк1
Технічні критерії оцінки ресурсоефективності					
Підвищення продуктивності праці	0,09	5	4	0,45	0,36
2. Зручність в експлуатації	0,07	5	5	0,35	0,35
3. Надійність	0,03	5	5	0,15	0,15
4. Рівень шуму	0,07	5	5	0,35	0,35
5. Безпека	0,07	5	3	0,35	0,21
6. Точність вимірів	0,05	5	5	0,25	0,25
7. Швидкодія	0,02	5	4	0,25	0,2
8. Можливість підключення до мережі ЕОМ	0,07	5	5	0,35	0,35
Економічні критерії оцінки ефективності					
Ціна	0,2	5	3	1	0,6
Передбачуваний термін експлуатації	0,1	4	4	0,4	0,4
Конкурентоспроможність продукту	0,1	5	5	0,5	0,5
Рівень проникнення ринку	0,07	5		0,35	0,35
Післяпродажне обслуговування	0,05	5	5	0,25	0,25
Доступність	0,1	5	5	0,5	0,5
Разом	1	48	43	4,6	4,15

В оціночній карті для порівняння конкурентних технічних рішень (розробок). З розрахунків, зроблених вище, можна дійти невтішного висновку, що технологія має високий рівень конкурентоспроможності.

Позиції конкурентів особливо вразливі у міру проникнення ринку. Крім того, вразливістю є передбачуваний термін експлуатації. Конкурентна перевага пристрою у функціональній потужності, терміні виходу на ринок та конкурентоспроможності.

5.3 Fast-аналіз

Як об'єкт FAST - аналізу виступає регулятор з предиктором сміта для об'єктів із запізненням.

Опис головних, основних та допоміжних функцій, що виконуються об'єктом наведено в таблиці 5.3.1.

Таблиця 5.3.1 - Класифікація функцій, що виконуються об'єктом дослідження.

Найменування деталі	Кількостей про деталі	Виконувана функція	Ранг функції		
			Головна	Основна	Допоміжна
Блок живлення	1	Надано живлення			X
Перетворювач	1	Вимірювання товщини стінки труби	X		
Підсилювач потужності	1	Посилення потужності сигналу		X	
Мікроконтролер	1	Обробка даних вимірювання		X	
РКІ та клавіатура	2	Введення та виведення інформації			X

У першому етапі необхідно побудувати матрицю суміжності функції (табл. 5.3.2).

Таблиця 5.3.2 – Матриця суміжності функцій.

	Надавання живлення	Вимірювання товщини стінки труби	Посилення потужності сигналу	Обробка даних вимірювання	Введення та висновок інформації
Надання живлення	=	<	<	<	<
Вимірювання товщини	>	=	>	>	>
Посилення потужності сигналу	>	<	=	<	>
Обробка даних вимірювання	>	<	>	=	>
Введення та виведення інформації	>	<	<	<	=

Далі відбувається визначення значущості функції шляхом розподілу бала, отриманого за кожною функцією, на загальну суму балів за всіма функціями (табл. 5.3.3).

Таблиця 5.3.3 – Значення функції.

Функція	Бал	Значення функції
Надання живлення для блоку збору даних та підсилювача потужності	4	0,162
Вимірювання товщини стінки труби	7	0,286
Генерація сигналу та збір даних	6	0,244

Обробка даних вимірювання	6	0,244
Посилення потужності сигналу	3,5	0,144

Завдання даної стадії у тому, що з допомогою спеціальних методів оцінити рівень витрат за виконання кожної функції. Зробити це можна за допомогою застосування нормативного методу. Розрахунок вартості функцій наведено у таблиці 5.3.4.

Таблиця 5.3.4 - Розрахунок вартості функцій

Найменування деталі (вузла, процес)	Кількість деталі на вузол	Виконувана функція	Норма витрат, кг	Трудоміст кістка деталі, нормо-г	Вартість матеріалу, грн.	Заробітна плата, грн.	Собівартість, грн.
Блок живлення	1	Надання живлення	-	-	-	-	250
Перетворювач	1	Вимірювання товщини труби	0,5	-	-	-	350
Підсилювач потужності	1	Посилення потужності сигналу	-	-	-	-	200
Мікроконтролер	1	Обробка даних вимірювання	-	-	-	-	300
РКІ та клавіатура	2	Введення та виведення інформації	-	-	-	-	500

За допомогою вищезгаданих таблиць та побудована функціональновартісна діаграма дозволяє виявити диспропорції між важливістю функцій та витратами на них.

5.4 Swot-аналіз

SWOT– Strengths (сильні сторони), Weaknesses (слабкі сторони), Opportunities (можливості) та Threats (загрози) – є комплексним аналізом науково-дослідного проекту. SWOT-аналіз застосовують для дослідження зовнішнього та внутрішнього середовища проекту.

Підсумкова матриця SWOT-аналізу наведена у табл. 5.4.1.

Таблиця 5.4.1 – Матриця SWOT

	Сильні сторони науково-дослідницького проекту: С1.Зручність у експлуатації (відповідає вимогам споживачів). С2.Функціональна	Слабкі сторони науково-дослідницького проекту: Сл1. Відсутність прототипу наукового розробки. Сл2.Відсутність у потенційних споживачів кваліфікованих
	потужність (Надавані можливості). С3. Конкурентоспроможність продукту. С4. Термін виходу ринку. С5.Високо кваліфікований ий науковий працю.	55 кадрів. Сл3.Відсутність необхідно борошнен проведен для випро бування ПЗ. Сл4. проникнення ринку. Сл5. Великий термін поставок плат, використовуються для проведення наукового дослідже ння.
Можливості: В1.Використання інноваційної інфраструктури ТПУ для	Використання інноваційної структури ТПУ дозволить підвищити конкурентоспроможніст	Поява додаткового попиту на новий продукт може

швидкого впровадження ПЗ	на	ПЗ та прискорити вихід	призвести до
ринку.		ринку. Так само	відсутності у
B2. Використання		використання	потенційн
розвиненою	розвиненої		споживач
міжнародною		міжнародною	кваліфікованих
інфраструктури для	допоможе	інфраструктури	кадрів. Зниження
швидшою		прискорити вихід на	мит на
доставки плат.		ринку.	сировина та матеріали,
B3. Поява		Можлива поява	використовуються при
додаткового попиту		додаткового попиту на	наукових
на новий		новий продукт завдяки	дослідженнях може
продукт.			призвести до
B4.		використання високо	збільшення
мит на		кваліфікованого	строку поставки плат,
сировина та		наукової праці. Завдяки	використовуються для
матеріали,		зниження митних	проведення наукового
використовуються при		мит на плати	дослідже
наукові дослідження.	ті	можливе підвищення	ння.
B5. Підвищення		конкурентоспроможнос	
вартості		ПЗ.	
конкурентних			
розробок.			

Продовження таблиці 5.4.1 – Матриця SWOT

Загрози:	нові	Відсутність попиту на	Відсутність попиту на
U1. Відсутність попиту		технології виробництва	нові
на		може уповільнити	технології
нові технології	термін	виходу	виробництва та
виробництва.			висока вартість
U2. Розвинена		ПЗ на ринок та знизити	обладнання та плат
конкуренція		кваліфікацію наукового	може
виробників ПЗ.		праці. Розвинена	призвести до
U3. Обмеження пам'яті	конкуренція		відсутності
регулятора та		виробників ПЗ може	прототипу наукового
контролера.			розробки, відсутності
			потенційн
U4. Обмеження	та	призвести до зниження	споживачів,
регулятора	ті	конкурентоспроможнос	необхідного
контролера.		продукту. Обмеження	обладнання

	пам'яті плати ICP DAS. і висока вартість обладнання та плат вимагає вище кваліфікований наукова праця та затягує термін виходу ринку.	для проведення випробування ПЗ, погіршити рівень проникнення на ринок збільшити строки постачання плат. Випуск новіших чіпів для ICP DAS. сприяти до відсутності необхідного обладнання для проведення випробування ПЗ.
--	---	---

За підсумками SWOT-аналізу виявлено можливості для подальшого розвитку як справжньої системи автоматичного регулювання, так і загалом підходу до створення таких систем.

Для протидії загрозі У1 у систему слід ввести підсистему автоматичної ідентифікації та автоматичного налаштування параметрів регулятора.

У разі пред'явлення підвищених вимог до безпеки даних (загроза У2), розробка може отримати конкурентне відставання, оскільки вітчизняних аналогів програмному пакету MATLAB не існує. У цьому випадку слід відмовитися від використання MATLAB та перенести керуючі функції на рівень SCADA-системи (наприклад,

MasterSCADA), або використовувати більш дорогі контролери та реалізовувати складні алгоритми управління в них.

5.5 Планування науково-дослідної роботи

5.5.1 Структура робіт

Перш ніж розпочати роботу над проектом, необхідно провести планування етапів роботи, позначивши при цьому зайнятість кожного з учасників, а також навести терміни виконання кожного етапу. Структура робіт та розподіл зайнятості виконавців наведено у табл. 5.5.1.1.

Етапи роботи	Завантаження виконавців
1. Постановка цілей та завдань дослідження	НР - 80% І – 20%
2. Огляд літератури	І – 100%
3. Розробка технічного завдання	НР – 20% До – 10% І – 70%
4. Розробка календарного плану робіт	НР – 20% І – 80%
5. Ідентифікація об'єкта	І – 100%
6. Створення моделі регулювання парокотельної установки	І – 100%
7. Розрахунок параметрів PID	І – 100%
8. Налаштування програми matlab	До – 20% І – 80%
9. Отриманих результатів	До – 10% І – 90%
10. Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	І – 100%
11. Підбиття підсумків	НР - 100%

5.5.2 Розробка графіка проведення науково-технічного дослідження

Трудомісткість виконання дослідження оцінюється експертним шляхом з ймовірнісного характеру величини. За одиницю виміру трудомісткості приймаються людино-дні. Очікувана трудомісткість розраховується за формулою:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (5.5.2.1)$$

де $t_{ож}$ - Очікувана трудомісткість виконання роботи чол.дн;

$t_{\min}$ - мінімально можлива трудомісткість виконання заданої роботи, чол.дн;

$t_{\max}$ - максимально можлива трудомісткість виконання заданої роботи, чол.дн.

Для побудови графіка проведення наукових праць у формі діаграми Ганта тривалість кожного з етапів робіт у робочих днях переводиться у календарні дні за формулою:

$$T_{KD} = T_{RD} \cdot K_{KD}, \quad (5.5.2.2)$$

T_{KD} - тривалість виконання роботи у календарних днях; T_{RD} - тривалість виконання роботи у робочих днях; K_{KD} - коефіцієнт календарності. Коефіцієнт календарності розраховується за такою формулою:

$$K_{KD} = \frac{T_{KD}}{T_{KD} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (5.5.2.3)$$

де T_{KD} - кількість календарних днів на рік;

$T_{ВД}$ - кількість вихідних днів на рік;

$T_{ПД}$ - кількість святкових днів на рік;

Значення коефіцієнта календарності для 2024 [18]:

$$K_{KD} = \frac{365}{365 - 63} = \frac{365}{302} = 1.21 \quad (5.5.2.4)$$

з урахуванням даних таблиці 5.5.1.1 та наведених вище формул складається розрахункова таблиця 5.5.2.1. Діаграма Ганта, що є календарним графіком робіт, наведено на рис. 5.5.2.1.

Таблица 5.5.2.1– Розрахунок трудозатрат на виконання робіт

Наименование работы	Исполнители работы	Длительность работ, дн.			Трудоёмкость работ по исполнителям, чел.дн					
		$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	T_{PD}			T_{KD}		
					НР	К	И	НР	К	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Постановка целей и задач исследования	НР, И	3	5	3,8	2,83	0	0,7	3,42	0	0,85
2. Обзор литературы	И	4	7	5,2	0	0	6	0	0	7,26
3. Разработка технического задания	НР, К, И	10	20	14	3,41	1,66	10,12	4,13	2,01	12,25
4. Разработка календарного плана работ	НР, И	2	4	2,8	0,75	0	3,45	0,91	0	4,17
5. Идентификация объекта	И	5	10	7	0	0	8,1	0	0	9,8
6. Создание модели регулирования парокотельной установки	И	8	16	11,2	0	0	13,9	0	0	16,82
7. Расчет параметров PID	И	5	11	7,4	0	0	7,7	0	0	9,32
8. Наладка программы matlab	К, И	5	9	6,6	0	0,68	6,72	0	0,82	8,13
9. Полученных результатов	К, И	5	10	7	0	1,49	6,21	0	1,8	7,51
10. Оформление расчётно-пояснительной записки	И	10	18	13,2	0	0	13,99	0	0	16,93
11. Подведение итогов	НР	2	5	3,2	2,9	0	0		0	0
Итого				81,4	9,89	3,83	76,89	11,97	4,63	93,04



Рисунок 5.5.2.1 – Диаграмма Ганта

З діаграми на рис. 5.5.2.1 видно, що практична частина всього дослідження займає близько двох календарних місяців. Порівняно великий проміжок часу створення моделі регулювання парокотельної установки та розрахунок параметрів PID для кращого його опрацювання.

5.6 Бюджет науково-технічного дослідження

При плануванні бюджету НТІ має бути забезпечене повне та достовірне відображення всіх видів видатків, пов'язаних з його виконанням. У процесі формування бюджету НТІ використовується таке угруповання витрат за статтями:

- матеріальні витрати НТІ;
- витрати на спеціальне обладнання для наукових (експериментальних) робіт;
- основна вести виконавців теми;
- додаткова вести виконавців теми;
- відрахування до позабюджетних фондів (страхові відрахування);
- витрати на наукові та виробничі відрядження;
- контрагентні витрати;
- накладні витрати.

5.6.1 Розрахунок матеріальних витрат

В цьому підрозділі оцінюється вартість всіх матеріальних цінностей, що безпосередньо витрачаються в процесі виконання робіт.

Теоретичні дослідження, і навіть моделювання системи вимагають ряд програмних продуктів: MicrosoftOffice, Excel, MATLAB та інших. Більшість із них надаються безкоштовно для студентів ТПУ, інші перебувають у вільному доступі до мережі «Інтернет». Таким чином, витрати на матеріали включають витрати на канцелярське приладдя . Для досліджень використовується персональний комп'ютер із безкоштовним доступом до ліцензії MATLAB. До матеріальних витрат також включаються транспортно-заготівельні витрати (ТЗР) у межах від 5% до 20% від загальної ціни матеріалів.

Матеріальні витрати, необхідні для цієї розробки, заносяться до таблиці 5.6.1.1

Таблиця 5.6.1.1 - Матеріальні витрати

Найменування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн.
Зошит	4	50	200
Папір для офісної техніки	3	150	450
Тонер для лазерного принтера HP LJ 1200 AQC	3	110	330
Електроенергія	400	2,76	1104
Разом			2084
Разом з урахуванням ТЗР (15%)			2396,6

5.6.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Написання випускної кваліфікаційної роботи за планом триває 5 місяців. Для моделювання та проведення розрахунків використовується персональний комп'ютер початковою вартістю 70 000 грн. Термін корисного використання для офісної техніки становить від 4 до 5 років.

Норма амортизації H_A розраховується як:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\%, \quad (5.6.2.1)$$

де T - Термін корисного використання, років.

Якщо прийняти термін корисного використання рівним 3 рокам, тоді норма амортизації H_A :

$$H_A = \frac{1}{4} \cdot 100\% = 25\%. \quad (5.6.2.2)$$

Річні амортизаційні відрахування:

$$A_{\text{год}} = 70000 \cdot 0,25 = 17500 \text{ грн.} \quad (5.6.2.3)$$

Щомісячні амортизаційні відрахування:

$$A_{\text{мес}} = \frac{17500}{12} = 1458 \text{ грн.} \quad (5.6.2.4)$$

Підсумкова сума амортизації основних засобів:

$$A = 1458 \cdot 5 = 7292 \text{ грн.} \quad (5.6.2.5)$$

5.6.3 Розрахунок заробітної плати та відрахувань до позабюджетних фондів

Оклад наукового керівника (на посаді доцента) становить 33664 (36174) грн, оклад консультанта (на посаді помічника) - 26820 грн. Оклад студента (інженера) приймається рівним окладу відповідного спеціаліста нижчої кваліфікації, тобто. помічника і становить 12664(18426) грн. У 2023 році з урахуванням 55-денної відпустки 247 робочих днів. Середня кількість робочих днів на місяць становитиме 20,6 день. Середньоденна заробітна плата для керівника складе 1756,02 грн на день, для консультанта та інженера – 1301,94 та 894,47 грн на день.

Заробітна плата включає основну і додаткову частини.

При цьому основна заробітна плата розраховується за такою формулою:

$$ЗП_{\text{осн}} = ЗП_{\text{дн}} \cdot ТРД \cdot (1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{д}}) \cdot K_{\text{р}}, \quad (5.6.3.1)$$

де $ЗП_{\text{дн}}$ - середньоденна заробітна плата, грн.;

$ТРД$ – тривалість виконання роботи у робочих днях;

$K_{\text{пр}}$ - коефіцієнт преміювання;

$K_{\text{д}}$ - коефіцієнт доплат;

$K_{\text{р}}$ - районний коефіцієнт.

Результати розрахунку основної заробітної плати за формулою 5.6.3.1 наведені у таблиці 5.6.3.1.

Таблиця 5.6.3.1 - Розрахунок основної заробітної плати

Виконавці	$ЗП_{\text{дн}}$	K_p	$K_{\text{д}}$	$K_{\text{пр}}$	$T_{\text{РД}}$	$ЗП_{\text{осн}}$, грн
Керівник	1756,02	0,2	0,1	1,3	9,72	28845,8
Консультант	1301,94	0,2	0	1,3	3,96	8042,86
Інженер	894,47	0,2	0	1,3	79,32	110681
Разом						147570

Додаткова заробітна плата розраховується за такою формулою:

$$ЗП_{\text{доп}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,12, \quad (5.6.3.2)$$

де $ЗП_{\text{осн}}$ - Основна заробітна плата, грн.; $ЗП_{\text{доп}}$ - Додаткова заробітна плата, грн.

Відрахування до позабюджетних фондів відповідно до Податкового кодексу України розраховуються за формулою:

$$ЗП_{\text{внеб}} = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) \cdot 0,3, \quad (5.6.3.3)$$

Результати розрахунків за формулами 5.6.3.2 та 5.6.3.3 наведені в табл. 5.6.3.2.

Таблиця 5.6.3.2 – Розрахунок додаткової заробітної плати та відрахувань

Виконавці	$ЗП_{\text{доп}}$	$ЗП_{\text{позаб}}$
Керівник	3461,49	9692,19
Консультант	965,144	2702,4
Інженер	13281,7	37188,8
Разом	17708,4	49583,4

Накладні витрати приймаються у розмірі 10% від величини всіх інших витрат.

5.6.4 Розрахунок загальної собівартості

Розраховані у пунктах 5.6.1-5.6.3 витрати зведено до таблиці 5.6.4.1.

Таблиця 5.6.4.1 – Сумарні витрати

Найменування	сума, грн.	Питома вага, %
Матеріальні витрати	2396,6	0.97
Витрати на амортизацію	7292	2.95
Основна заробітна плата	147570	59.74
Додаткова заробітна плата	17708,4	7.17
Страхові внески	49583,4	20.07
Накладні витрати	22455	9.09
Разом	247005	100

У результаті підрахунку витрат на розробку проекту виявлено, що основна частина (66%) коштів витрачається на заробітну плату виконавців.

5.7. Визначення ресурсної (ресурсозберігаючої), фінансової, бюджетної, соціальної та економічної ефективності дослідження

Ефективність розробки порівнюється аналогічними системами:

Система на основі програмованого логічного контролера "ОВЕН ПЛК 160" виробництва компанії "ОВЕН" загальною вартістю 197152,98 грн.

Система на основі ПТК Контар (ПЛК "МС 12.3") виробництва "МЗТА" загальною вартістю 185441,11 грн.

Ефективність розробки визначається шляхом розрахунку інтегрального фінансового показника:

$$I_{fin}^i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}}, \quad (5.7.1)$$

де I_{fin}^i - інтегральний фінансовий показник розробки;

Φ_i - вартість і-го варіанту виконання;

Φ_{max} — максимальна вартість виконання проекту (залежить від складності АСУ).

$$I_{\text{фин}} = \frac{181571}{197152.98} = 0.921, \quad (5.7.2)$$

$$I_{\text{фин}}^1 = \frac{197152.98}{197152.98} = 1, \quad (5.7.3)$$

$$I_{\text{фин}}^2 = \frac{185441.11}{197152.98} = 0.941, \quad (5.7.4)$$

Порівняльна оцінка аналогів наведено у табл. 5.7.1.

Таблиця 5.7.1 - Порівняльна оцінка ресурсоефективності

Критерії оцінки	Вага критерію	Бали		Конкурентність	
		Ф	Бк1	КФ	Кк1
Технічні критерії оцінки ресурсоефективності					
1. Підвищення продуктивності праці	0,09	5	4	0,45	0,36
2. Зручність в експлуатації	0,07	5	5	0,35	0,35
3. Надійність	0,03	5	5	0,15	0,15
4. Рівень шуму	0,07	5	5	0,35	0,35
5. Безпека	0,07	5	3	0,35	0,21
6. Точність вимірів	0,05	5	5	0,25	0,25
7. Швидкодія	0,02	5	4	0,25	0,2
8. Можливість підключення до мережі ЕОМ	0,07	5	5	0,35	0,35
Разом	1	0	21	3,85	3,9

Порівняльна ефективність системи, що розробляється, з аналогами наведена в табл. 5.7.2.

Таблиця 5.7.2 – Порівняльна ефективність розробки

№ п/п	Показники	Розробка	Аналог №1	Аналог №2
1	Інтегральний фінансовий показник I_{fin}	0,921	1	0,941
2	Інтегральний показник ресурсоефективності I_p	3,85	3,9	4,0
3	Інтегральний показник ефективності I	4,18	3,9	4,25
4	Порівняльна ефективність E розробки до аналогів		1,072	0,984

Порівняння значень інтегральних показників ефективності показало, що система регулювання парокотельної установки, що розробляється, і поступається аналогу №1 по ресурсоефективності, проте перевершує його за інтегральним показником ефективності за рахунок меншої вартості розробки.

5.8. Висновок до розділу 5

В даному розділі було розглянуто перелік питань, що підлягають дослідженню, проектуванню.

Розроблено перелік етапів, робіт та розподіл виконавців. Було виконано визначення трудомісткості виконання. На основі отриманих даних раніше було складено графік проведення наукового дослідження та календарний план-графік проведення

У плануванні управління науково-технічним проектом було розглянуто витрати за статтями:

- витрати на спеціальне обладнання для наукових (експериментальних) робіт;
- основна вести виконавців теми;
- відрахування до позабюджетних фондів (страхові відрахування);
- накладні витрати.

В результаті розгляду даних статей, зроблено відповідні висновки.

Розділ 6. Охорона праці та навколишнього середовища

У роботі представлено дослідження роботи реального об'єкта, який складається з датчика температури, нагрівачі, вентилятора.

У поточному розділі вказані основні шкідливі та небезпечні фактори робочої зони, їх аналіз та способи захисту від них, аспекти охорони навколишнього середовища, захисту від надзвичайних ситуацій, а також правові та організаційні питання безпеки.

6.1 Правові та організаційні питання забезпечення безпеки

6.1.1 Правові норми трудового законодавства

Правовий основою законодавства у сфері забезпечення БЖД є Конституція – основний закон держави Закони та інші правові акти, прийняті України, нічого не винні суперечити Конституції України.

Екологічна безпека.

Закон «Про охорону навколишнього середовища» у комплексі з заходами організаційного, правового, економічного та виховного впливу, який містить зведення правил охорони навколишнього середовища та регулює природоохоронні відносини у сфері всього природного середовища, не виділяючи її окремі об'єкти, охороні яких присвячено спеціальне законодавство. Завданнями цього законодавства є: охорона природного середовища, попередження шкідливого впливу господарської чи іншої діяльності, оздоровлення навколишнього природного середовища, покращення його якості.

Охорона праці – це система забезпечення безпеки життя та здоров'я працівників у процесі трудової діяльності, що включає правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи.

6.1.2 Ергономічні вимоги до правильного розташування та компонування робочої зони.

Організація роботи з ПЕОМ має здійснюватися залежно від виду та категорії трудової діяльності. Для запобігання передчасній стомлюваності користувачів ПЕОМ рекомендується організовувати робочу зміну шляхом чергування робіт з використанням ПЕОМ і без нього. Під час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційної напруги, втоми зорової аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, запобігання втомі доцільно виконувати комплекси вправ.

Крім того, для мінімізації впливу шкідливих психофізіологічних факторів необхідно організувати робочі місця згідно з нормами та вимогами НТД.

Організація робочих місць користувачів ПК повинна здійснюватися відповідно до таких вимог:

- відстань між робочими столами з відеомоніторами має бути не менше 2,0 м, а відстань між бічними поверхнями відеомоніторів – не менше 1,2 м;
- екран відеомонітора повинен знаходитись від очей користувача на відстані від 600 до 700 мм, але не ближче 500 мм з урахуванням розмірів алфавітно-цифрових знаків та символів.
- конструкція робочого столу повинна забезпечувати оптимальне розміщення використовуваного устаткування з урахуванням характеру виконуваної роботи;
- Поверхня робочого столу повинна мати коефіцієнт відображення від 0,5 до 0,7.

6.2 Виробнича безпека

В даному пункті аналізуються шкідливі та небезпечні фактори, які можуть виникати при проведенні досліджень у лабораторії, при розробці або експлуатації рішення, що проектується. Для ідентифікації потенційних факторів необхідно використати ДСТУ 12.0.003-2015 «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

Класифікація». Перелік небезпечних та шкідливих факторів, характерних для проєктованого виробничого середовища необхідно подати у вигляді таблиці.

Таблиця 6.2.1 - Можливі небезпечні та шкідливі фактори

Чинники (ДСТУ 12.0.003-2015)	Етапи робіт			Нормативні документи
	Робота	Виготовлення	Експлуатація	
1. Відхилення показників мікроклімату		+	+	Наводяться Нормативні документи, які регламентують дію кожного виявленого фактора із зазначенням посилання на список літератури. Наприклад, вимоги до освітлення встановлюються СП52.13330.2016 Природне та штучне освітлення. Актуалізована редакція СНіП 23-05-95 * [59].
2. Перевищення рівня шуму		+		
3. Відсутність або недолік природного світла	+		+	
4. Недостатня освітленість робочої зони		+	+	
5. Підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може статися через тіло людини		+	+	

6.2.1. Виробнича санітарія

Робоча зона даного об'єкта характеризується такими шкідливими факторами:

- шум та вібрація;

- електромагнітне випромінювання;
- освітлення;
- мікроклімат;
- психофізичні фактори (нервово-психологічні, статичні,
- розумові, монотонність).

У зв'язку з тим, що сучасні РК монітори відповідають усім нормам з іонізуючого випромінювання, воно не розглядається.

6.2.1.1. Шум та вібрація

Документ, який покликаний регламентувати рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ.Шум. Загальні вимоги безпеки».

Допустимі рівні звукового тиску (еквівалентні рівні звукового тиску) в дБ в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку в дБ для житлових та громадських будівель та їх територій слід приймати відповідно до СНіП 23-03-2003, СН2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на робочих місцях, у приміщеннях житлових, громадських будівель та на території житлової, забудови».

Нормовані значення шуму представлені у таблиці 6.2.1.1.1. таблиця 6.2.1.1.1 – Нормовані значення шуму

	Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц								Рівень звуку і еквівалентний рівень звуку дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Робочі місця									
Приміщення КБ, лабораторій для теоретичних робіт	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Приміщення управлінь,	79	79	68	58	55	52	50	49	60

робітничі кімнати									
Кабіни дист. управління з телефонним зв'язком, приміщення точного складання	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Лабораторії для проведення експеримент. робіт	94	87			75	73	71	70	80
Постійні робочі місця і робочі зони на виробництві.	99	92	86	83	80	78	76	74	85

Виходячи з вищевказаної інформації, можна зробити висновок, що рівень шуму на робочому місці програмістів та операторів не повинен перевищувати 50дБА, а в залах обробки інформації на обчислювальних машинах – 65дБА. Рекомендація для зниження рівня шуму стіни та стеля приміщень, де встановлені комп'ютери, можуть бути облицьовані звукопоглинаючими матеріалами. Рівень вібрації у приміщеннях обчислювальних центрів може бути знижений шляхом встановлення обладнання на спеціальні віброізолятори.

6.2.1.2 Електромагнітне випромінювання

З урахуванням даних стандартів України розробив та з 1-го січня 1997 року ввів у дію обов'язкові санітарні правила та норми - СНіП 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги до відео дисплейним терміналам, персональним електронно-обчислювальним машинам та організації робіт». Нормовані значення рівнів ЕМП ПК наведені в таблиці 6.2.1.1.2:

Таблиця 6.2.1.1.2 - Допустимі рівні напруженості електромагнітних полів під час роботи з відеодисплейними терміналами та персональними електронно-обчислювальними машинами (СанПіН 2.2.2.542-96)

Параметри впливу, частота випромінювання	Допустимі значення
Статичне поле	20000В/м
На відстані 50 см навколо - Діапазон частот 5Гц - 2кГц - Діапазон частот 2 - 400кГц	25В/м 2,5В/м
Змінне поле на відстані 50 см навколо	0,25А/м
Магнітна індукція не більше - Діапазон частот 5Гц - 2кГц - Діапазон частот 2 - 400кГц	250нТл 25нТл
Поверхневий електростатичний потенціал не більше	500В

Основний спосіб захисту від електромагнітних полів - це збільшення відстані від їхнього джерела та зменшення часу знаходження людини у джерел випромінювання. До інженерно-технічних заходів належить раціональне розміщення обладнання, використання засобів, що обмежують надходження електромагнітної енергії на робочі місця персоналу (поглиначі потужності, встановлення відбивних та поглинаючих екранів). Для зниження рівня напруженості електромагнітного поля слід використовувати монітори зі зниженим рівнем випромінювання (MPR-II, TCO-92, TCO-99), встановлювати захисні екрани, усувати несправності.

6.2.1.3 Освітлення

За принципом організації штучне висвітлення можна поділити на два види: комбіноване та загальне.

Робота за комп'ютером відноситься до IV розряду зорової роботи середньої точності. Найменший розмір об'єкта розрізнення становить 0.5 – 1 мм.

Таблиця 6.2.1.3.1 – норми освітленості

Розряд зорової роботи	Характеристика	Підрозряд	Освітленість (комбінована система), Лк	Освітленість (загальна система), Лк
IV	Середній точності	Б	500	200

Вимоги до освітлення робочих місць, обладнаних персональним комп'ютером, наведено у таблиці 6.2.1.3.2 відповідно до норм.

Таблиця 6.2.1.3.2 - Вимоги до освітлення на робочих місцях.

Освітленість на робочому столі	300-500 лк
Освітленість на екрані ПК	не вище 300 лк
Блики на екрані	не вище 40 кд/м ²
Пряма блискучість джерела світла	200 кд/м ²
Показник засліплення	не більше 20
Показник дискомфорту	не більше 15
Відношення яскравості:	
-між робочими поверхнями	3:1–5:1
-між поверхнями стін і обладнання	10:1
Коефіцієнт пульсації:	не більше 5%

Робоче освітлення передбачається всім приміщень виробничих будівель, і навіть ділянок відкритих просторів, призначених до роботи, проходу покупців, безліч руху транспорту.

Для усунення негативного впливу недостатнього освітлення необхідно використовувати рівномірне освітлення та лампи з відповідними характеристиками, а також суміщене освітлення.

Наведемо перевірочний розрахунок штучного освітлення у приміщенні. Приміщення, де відбувається виконання дипломного проекту, висвітлюється 2 стельовими плафонами типу Л71Б03, у кожному з яких встановлено по 1 люмінесцентній лампі типу ЛХБ-30.

Найбільш прийнятними для приміщення, що розглядається, є люмінесцентні лампи ЛБ (білого світла) або ЛХБ (холодного-білого світла), потужністю 20 або 30 Вт. Світловий потік однієї лампи ЛБ40 становить менше $\Phi_{\text{л}}=1782$ лм. Таким чином, при використанні для освітлення двох ламп типу ЛХБ40 вимоги до освітленості на робочому місці згідно [14] виконуються.

Електрична потужність однієї лампи ЛХБ30 $W_{\text{л}} = 30$ Вт. Число ламп $N=2$. Потужність всієї освітлювальної системи: $W_{\text{общ}} = W_{\text{л}} * N = 30 * 2 = 60$ Вт.

6.2.1.4 Мікроклімат

Для створення сприятливих умов роботи, що відповідають фізіологічним потребам персоналу, санітарними нормами встановлені оптимальні та допустимі метеорологічні умови в робочій зоні. руху повітря (СНіП 2.2.4.548-96).

Оптимальні та допустимі показники мікроклімату на робочих місцях у приміщеннях повинні відповідати величинам, наведеним у табл.6.2.1.4.1.

Таблиця 6.2.1.4.1 - Оптимальні та допустимі норми мікроклімату.

Період року	Категорія робіт за рівнем енерговитрат, Вт	Температура повітря, °C	Температура поверхонь, °C	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря не більше, м/с
Холодний	Ia	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплий	Ia	23-35	22-26	60-40	0,1
	Iб	22-24	21-25	60-40	0,1

До заходів щодо оздоровлення повітряного середовища у виробничому приміщенні відносяться: правильна організація вентиляції кондиціонування повітря, опалення приміщень. Вентиляція може здійснюватися природним та

механічним шляхом. У приміщенні повинні подаватися такі об'єми зовнішнього повітря: при об'ємі приміщення до на особу – не менше 30 на годину на особу; при обсязі приміщення понад 40 на особу та відсутності виділення шкідливих речовин допускається природна вентиляція у використовуваному приміщенні відсутня примусова вентиляція.

Є лише природна, тобто. повітря надходить і видаляється через щілини, вікна, двері. Основний недолік такої вентиляції в тому, що припливне повітря надходить у приміщення без попереднього очищення та нагрівання. Природна вентиляція допускається за умови, що на одного працюючого припадає більше 40 обсягу повітря у приміщенні.

Оскільки у приміщенні не виконується вимога до обсягу повітря на одного працюючого (обсяг на одну особу - 22,4), то наявність примусової вентиляції просто потрібно.

Рекомендації щодо покращення макроклімату в приміщенні. У зимовий час у приміщенні необхідно передбачити систему опалення. Вона повинна забезпечувати достатнє, постійне та рівномірне нагрівання повітря. У приміщеннях з підвищеними вимогами до чистоти повітря має використовуватися водяне опалення.

При забезпеченні оптимальних показників мікроклімату температура внутрішніх поверхонь, що огорожують робочу зону конструкцій (стін, підлоги, стелі) або пристроїв, а також температура зовнішніх поверхонь технологічного обладнання чи його огорожувальних пристроїв відповідно СНіП 2.2.4.548–96 не повинні виходити більш ніж на 2°C за межі оптимальних величин температури повітря. При температурі внутрішніх поверхонь конструкцій, що захищають нижче або вище оптимальних величин температури повітря робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

У всіх випадках температура нагрітих поверхонь технологічного обладнання або його огорожувальних пристроїв для профілактики типових травм не повинна перевищувати 45°C.

У розглянутому приміщенні використовується водяне опалення із вбудованими нагрівальними елементами та стояками.

6.2.1.5 Психофізіологічні фактори умов праці

психофізіологічним шкідливим чинникам ставляться статичні фізичні навантаження, розумове перенапруга, перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційні навантаження. Необхідно мінімізувати їхній вплив на здоров'я та продуктивність праці працівника.

Правила збереження працездатності працівників та забезпечення ефективності діяльності:

До роботи входити поступово. Час, необхідне входження у процес праці, називається періодом вработовуваності.

Роботу розпочинати з виконання більш простих її елементів із поступовим переходом до більш складних.

Загальний час на відпочинок для працівника управлінської праці можна встановити:

Розрахунок часу на відпочинок за показником втоми, який визначається за даними фізіологічних досліджень і може змінюватися від 1 до 100 відн.

$T_{\text{ой}} = 0,58 \times Y = 0,58 \times (2,15 \times \Sigma B - 10,3)$ де: $T_{\text{ой}}$ - час на відпочинок працівника протягом зміни; Y – показник стомлення у отн. од.; B – оцінка впливу працівника тієї чи іншої чинника умов праці балах. На цей час всім працівникам додаються 10-15 хв. за зміну на особисті потреби.

6.2.2 Аналіз небезпечних факторів

6.2.2.1 електробезпека

В цієї роботи представлені наступні електротехнічні прилади:

- 1) програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК 150
- 2) Напруга живлення 90-264 в змінні струму (номінальна напруга 220В) частотою 47.63 Гц, споживана потужність 6 Вт
- 3) перетворювач частоти векторний ПЛВ ОВЕН живлення 1х220В (0,18...2,2 кВт) та 3х380В (0, 37...22кВт); [16]

Як захист використовується захисне заземлення та занулення електричних пристроїв. Крім того, у системі передбачено захисне відключення.

6.2.2.2 Коротке замикання та статична електрика

Короткі замикання в електропроводах найчастіше відбуваються через порушення ізоляції струмопровідних частин внаслідок механічних пошкоджень, старіння ізоляції, впливу на неї вологи та агресивних середовищ. При виникненні короткого замикання загальний опір 91 електричної мережі зменшується, це призводить до збільшення струму в порівнянні з нормальними умовами роботи. Струми короткого замикання можуть досягати сотень ампер, при цьому в короткий проміжок часу виділяється велика кількість тепла, температура різко підвищується.

Кількість теплоти, що виділяється, пропорційно квадрату сили струму. Так, якщо при короткому замиканні струм збільшується в 20 разів, то кількість тепла, що виділяється при цьому, зростає в 400 разів: якщо режим короткого замикання триває кілька секунд (10-20), може спалахнути ізоляція проводів. Причому займання ізоляції відбувається одночасно протягом аварійної ділянки. Від запаленої ізоляції проводів спалахують розташовані поруч горючі предмети та речовини.

При короткому замиканні утворюються розплавлені частинки металу, що розлітаються, температура яких становить 2050°C - 2700°C , і які здатні підпалити практично будь-який згоряється матеріал. Профілактикою КЗ служить правильний вибір, монтаж та експлуатація електроустановок. Все електроустаткування має відповідати особливостям навколишнього середовища, величині струму та напрузі, потужності навантаження. Експлуатація електрообладнання потребує регулярних планово-попереджувальних ремонтів та виміру опору ізоляції проводів. Для запобігання КЗ служать апарати захисту. Це швидкодіючі автомати та плавкі запобіжники. Вони відключають від електроживлення несправну ділянку до настання небезпечних наслідків короткого замикання.

Статична електрика — це сукупність явищ, пов'язаних із виникненням, збереженням та релаксацією вільного електричного заряду на поверхні та в обсязі діелектричних та напівпровідникових речовин, матеріалів виробів або на ізольованих провідниках. Заряди накопичуються на устаткуванні та матеріалах, а

супроводжуючі електричні розряди можуть стати причиною пожеж і вибухів, порушення технологічних процесів, точності показань електричних приладів та засобів автоматизації.

Шкідливий вплив на організм людини статична електрика надає не тільки при безпосередньому контакті з зарядом, але і за рахунок дії електричного поля, що виникає навколо заряджених поверхонь.

Основні способи захисту від статичної електрики: заземлення обладнання, судин і комунікацій, в яких накопичується статична електрика; збільшення поверхневої провідності діелектрика; зволоження навколишнього повітря; іонізація повітря чи середовища нейтралізатором статичної електрики; підбір контактних пар; зміна режимів технологічного процесу, використання операторами спецвзуття з електропровідною підошвою та ін.

6.3 Екологічна безпека

Охорона навколишнього середовища діяльність органів державної влади України, органів державної влади України, органів місцевого самоврядування, громадських об'єднань та некомерційних організацій, юридичних та фізичних осіб, спрямована на збереження та відновлення природного середовища, раціональне використання та відтворення природних ресурсів, запобігання негативному впливу господарської та іншої діяльності на довкілля та ліквідацію її наслідків. Найбільш активною формою захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу викидів промислових підприємств є повний перехід до безвідходних, маловідходних та енергозберігаючих технологій та виробництв.

За виконання даної кваліфікаційної роботі немає викидів шкідливих речовин у повітря. Забруднення атмосферного повітря може виникнути у разі виникнення пожежі у приміщенні, у разі дим і газів від пожежі будуть антропогенним забрудненням атмосферного повітря.

Забруднення гідросфери здійснюють виробничі відходи, в якості яких у цьому випадку виступають паперові відходи (макулатура) і несправні деталі персональних комп'ютерів, плат, контролерів. Паперові відходи повинні передаватися до відповідних організацій для подальшої переробки у вторинні

паперові вироби. Несправні комплектуючі персональних комп'ютерів повинні передаватись або державним організаціям, які здійснюють вивезення та знищення побутових та виробничих відходів, або організаціям, що займаються переробкою відходів. Найважливішим етапам поводження з відходами є їх збирання, а надалі переробка, утилізація та поховання. Ще одним із способів зниження паперових відходів є зберігання даних на електронних носіях.

Порядок утилізації. Основні вимоги та правила.

Відповідно до вимог і правил, порядок дій утилізації ламп розжарювання, що вийшли з ладу, повинен починатися з приміщення їх на зберігання до спеціальних контейнерів в обладнаних під ці потреби приміщеннях. При накопиченні певної кількості ртутьвмісних та інших небезпечних видів ламп їх сортують, поміщають в окремі осередки і відправляють до профільної компанії для подальшої нейтралізації та переробки. Правила збирання та утилізації люмінесцентних ламп обов'язкові для всіх громадян РФ. Підприємці зобов'язані укладати договори із спеціальною компанією, яка займається вивезенням таких відходів.

6.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях

У даному випадку на об'єкті (офіс) можуть виникати надзвичайні ситуації (НС) наступного характеру:

- техногенні;
- екологічні;
- природні.

Найбільш типовою НС для приміщення, яким провадиться виконання ВКР, є пожежа. Ця НС може статися у разі замикання електропроводки обладнання, обриву проводів, недотримання заходів пожежної безпеки тощо.

Для того, щоб уникнути виникнення пожежі, необхідно проводити наступні профілактичні роботи, спрямовані на усунення можливих джерел виникнення пожежі:

- періодична перевірка проводки;
- відключення обладнання при залишенні робочого місця;
- проведення інструктажу працівників щодо пожежної безпеки.

Щоб збільшити стійкість офісного приміщення до НС, необхідно встановлювати системи протипожежної сигналізації, що реагують на дим та інші продукти горіння, встановлення вогнегасників, забезпечити офіс та проінструктувати робітників про план евакуації з офісу, а також призначити відповідальних за ці заходи. Двічі на рік (у літній та зимовий період) проводити навчальні тривоги для відпрацювання дій під час пожежі. В ході огляду офісного приміщення були виявлені системи, що сигналізують про наявність пожежі чи задимленість приміщення та наявність вогнегасників.

у разі виникнення НС як пожежа, необхідно вжити заходів щодо евакуації персоналу з офісного приміщення відповідно до плану евакуації. За відсутності прямих загроз здоров'ю і життю зробити спробу гасіння спалаху вогнегасником. У разі втрати контролю над пожежею, необхідно евакуюватися за співробітниками за планом евакуації і чекати приїзду фахівців, пожежників.

При виникненні пожежі повинна спрацювати система пожежогасіння, видавши попереджувальні сигнали, і передавши на пункт пожежної станції сигнал про НС, якщо система не спрацювала, з якихось причин необхідно самостійно здійснити виклик пожежної служби за телефоном 101, повідомити місце виникнення НС та чекати на приїзд спеціалістів.

6.5. Висновок до розділу 6

У даному розділі розглянуті питання щодо забезпечення безпеки персоналу, що працює на обладнанні. На персонал можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори: підвищений рівень шуму на робочому місці; недостатня освітленість робочої зони; відхилення показників мікроклімату в приміщенні; нервово-психічні навантаження; електричний струм. Всі ці небезпечні та шкідливі фактори можуть негативно впливати на людину, і для виключення чи зменшення цього впливу необхідно використовувати засоби колективного та індивідуального захисту. У разі дотримання всіх необхідних заходів безпеки, у тому числі дотримання вимог до організації робочих місць, обладнання може експлуатуватися з найменшим ступенем ризику для здоров'я людини.

Висновки

У ході виконання досліджень проведено детальний аналіз роботи котельної установки, як багатозв'язного об'єкта регулювання, у результаті було виявлено зв'язок між технологічними параметрами установки та його взаємний вплив друг на друга.

За експериментальними даними проведена поканальна ідентифікація об'єкта, що дозволяє подати котельну установку як сукупність залежних один від одного об'єктів управління. Ідентифікація виконана найбільш простим і прийнятним у разі – графічним способом.

Побудовано структурну схему багатозв'язкової системи, що включає канали регулювання:

- тиску пари;
- тиск повітря; • розрідження; • рівня.

При побудові системи прийнято спрощення, наприклад, відсутність численних зовнішніх збурень, що дозволило скоротити обсяг моделювання.

Для налаштування регуляторів застосовувався еристичний метод Циглера-Нікольса. Метод досить простий, але не гарантує добрих результатів. Тому, після перших експериментів проведено інтуїтивну корекцію коефіцієнтів регуляторів з метою отримання задовільних показників якості.

Отримані в ході роботи результати дозволяють підвищити рівень автоматизації такого складного та багатозв'язного об'єкта, як паровий котел.

Отримана багатозв'язкова модель має безліч напрямів для удосконалення.

Література

1. Шаруда В. Г. Методи аналізу і синтезу систем автоматичного керування: навч. посіб. / В. Г. Шаруда, В. В. Ткачов, М. П. Фількін. – Дніпропетровськ : Нац. гірнич. ун-т., 2008. – 543 с.
2. Зеленський К. Х. Комп'ютерні методи прикладної математики / К. Х. Зеленський, В. М. Ігнатенко, О. П. Коц. — Київ: Академперіодика, 2002. – 480 с.
3. Нестеренко О.В., Ковтунець О.В., Фаловський О.О. Інтелектуальні системи і технології. Ввідний курс/ О.В.Нестеренко, О.В. Ковтунець, О.О. Фаловський. – Київ:Національна академія управління, 2017. – 90 с.
4. Островерхов М.Я. Методи дослідження електротехнічних комплексів і систем / М.Я. Островерхов, А.М. Сільвестров, К.Х. Зеленський/К.: ТАЛКОМ, 2019. - 300 с.
5. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: підручн. / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук – Київ : Либідь, 2007. – 656 с.
6. Галай В.М. Теорія оптимальних систем автоматичного керування технологічними процесами / В.М.Галай, К.Х.Зеленський, А.М. Сільвестров. – Полтава: ПНТУ, 2009. – 153 с.
7. Паламар М. І. Комп'ютерні технології штучного інтелекту для прецизійного управління у мехатронних системах : навч. посіб. / Михайло Паламар, Михайло Стрембіцький ; Тернопіл. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. Тернопіль : Тернопіл. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя, 2018. 127 с.
8. Самсонов В. В., Тачиніна О.М. Методологія наукових досліджень та приклади її використання/Київ, НУХТ, 2022. – 385 с.
9. Бідюк П.І. Методи прогнозування /П. Бідюк,О. Меньяйленко, О.Половцев. – Т 2. – Луганськ : Альма-матер, 2008. – 305 с.
10. Важинський С.Е., Щербак Т. І. Методика та організація наукових досліджень: Навч. посіб. /С. Е. Важинський, Т. І. Щербак. – Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. –260 с.
11. Канюк Г., Мезеря А., Василець Т., Чеботарьов А. Автоматизовані системи енергозберігаючого керування об'єктами паливно-енергетичного комплексу / Виробництво & мехатронні системи 2020: матеріали IV Міжнародної конференції, Харків, 22-23 жовтня 2020 р.: тези доповідей. -Харків [електронний друк], 2020. –С. 142-145.
12. Chebotarev Anton Information-metrological bases of the calculation worker travell about percent unit in process of its usages / Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення: [матеріали міжнародної науково-практичної конференції, Харків -25-26 січня 2022 року]. Українська інженерно-педагогічна академія. Харків: УІПА, 2022. –С.30-31
13. Bondarenko Yurii, Chebotarev Anton Increasing the efficiency of automated control systems of a low potential complex of power plants / Якість, стандартизація

та метрологічне забезпечення: [матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, Харків - 14-15 березня 2023 року]. Українська інженерно-педагогічна академія. Харків: УІПА, 2023. –С.101.

14. Канюк Г.І., Мезеря А.Ю., Чеботарьов А.М., Близниченко Г.С., Бондаренко Ю.О. Зниження динамічної складової похибки визначення середньоінтегральних значень вимірювальних параметрів / Збірник наукових праць «Машинобудування». –Харків, УІПА. 2021. № 28. –С. 66-74.

15. Удосконалення нормативної бази забезпечення енергоефективних режимів роботи насосних установок електричних та нафтоперекачувальних станцій / Г.І.Канюк, В.М.Князева, А.Ю.Мезеря, А.М.Чеботарьов. –Харків: Друкарня Мадрид, 2020. –126 с. :48 іл., 22 табл. ISBN 978-617-7875-55-2

16. Енергетична стратегія України на період до 2030 року// Інформаційно-аналітичний вісник «Відомості Міністерства палива та енергетики України». Спеціальний випуск. –2006. –113 с.

17. R. G. Sanfelice. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach // Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice / D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic. — CRC Press, 2016.

18. Lee E.A., Seshia S.A. Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition. MIT Press, 2017. 585 p. <https://griml.com/1HAut>

19. Matviienko J. Satisfying STEM Education Using the Arduino / Jurii Matviienko // The 8th International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC 2016). – Hong Kong: ICFCC – P. 205-210.

20. Jan Poesse Wireless challenges in the Ageing in Place Environment / Philips Research, 2015 – 37 с.

21. Jan Poesse Wireless challenges in the Ageing in Place Environment / Philips Research, 2015 – 37 с.

22. Бабак В.П., Бабак С.В., Єременко В.С. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: Підручник за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / 2-е вид., перероб. і доп.-К.: Університет новітніх технологій; НАУ, 2017. -496 с.

23. Sushabhan Choudhury. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System [Електронний ресурс] / Sushabhan Choudhury, Piyush Kuchhal, Rajesh Singh. – doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.195 – P. 367-372.

24. Kyung Sup Kwak. An Overview of IEEE 802.15.6 Standard" [Electronic resource] / Kyung Sup Kwak, Sana Ullah, Niamat Ullah // 2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 2010), 7-10 Nov., 2010. – Rome, Italy. – DOI: 10.1109/ISABEL.2010.5702867.

25. Sushabhan Choudhury. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System [Електронний ресурс] / Sushabhan Choudhury, Piyush Kuchhal, Rajesh Singh. – doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.195 –P. 367-372.

26. IEEE 802.11 ad: A standard for TV white space spectrum sharing / Flores, A. B., Guerra, R. E., Knightly, E. W., Ecclesine, P., & Pandey, S. // IEEE Communications Magazine. – 2013. – 51 (10). – Pp. 92-100.

27. Шаруда В. Г. Методи аналізу і синтезу систем автоматичного керування: навч. посіб. / В. Г. Шаруда, В. В. Ткачов, М. П. Фількін. – Дніпропетровськ : Нац. гірнич. ун-т., 2008. – 543 с.

28. Зеленський К. Х. Комп'ютерні методи прикладної математики / К. Х. Зеленський, В. М. Ігнатенко, О. П. Коц. — Київ: Академперіодика, 2002. – 480 с.

29. Островерхов М.Я. Методи дослідження електротехнічних комплексів і систем / М.Я. Островерхов, А.М. Сільвестров, К.Х. Зеленський/К.: ТАЛКОМ, 2019. - 300 с.

30. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: підручн. / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук – Київ : Либідь, 2007. – 656 с.

ВІДГУК
наукового керівника кваліфікаційної роботи
рівня вищої освіти “магістр”

виконаного на тему: **Аналіз та удосконалення системи регулювання парокотельної установки**

студентом (кою) **ЄРМОЛЕНКО Нікіта Євгенович**

(прізвище, ім'я)

Студент Єрмоленко Н.Є. виконав магістерську роботу на тему “Аналіз та удосконалення системи регулювання парокотельної установки” повністю відповідно до завдання. Робота присвячена актуальному питанню дослідження та удосконалення систем регулювання парокотельної установки та дослідженню питання їх ефективності в різних режимах роботи. Студент Єрмоленко Н.Є. працював над роботою систематично, докладно вивчав рекомендуєму літературу, і правильно застосовував отримані знання. Графічна частина роботи виконана відповідно до норм і вимогами. Всі елементи схем в записці і кресленнях відповідають вимогам ЕСКД до розмірів умовних графічних позначень в електричних системах.

Робота має практичну значимість та наукову цінність

У цілому робота виконана грамотно, акуратно, основні цілі роботи досягнуті, а поставлені завдання виконані. Кваліфікаційна робота заслуговує оцінки “відмінно”.

Керівник кваліфікаційної роботи

__к.т.н., доцент __

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

__Близниченко О.М.

(ім'я, прізвище)

РЕЦЕНЗІЯ
на кваліфікаційну роботу
“__Магістр__” рівня вищої освіти

виконаний(у) на тему: Аналіз та удосконалення системи регулювання парокотельної установки

студентом (кою) ЄРМОЛЕНКО Нікіта Євгенович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Студент Єрмоленко Н.Є. виконав магістерську роботу на тему “Аналіз та удосконалення системи регулювання парокотельної установки” повністю відповідно до завдання.

В роботі проведено досить глибоке дослідження характеристик систем регулювання парокотельної установки. Визначені основні фактори, які впливають на поліпшення основних характеристик парокотельної установки. Визначені області застосування систем керування, а також критерії їх ефективного використання.

Робота присвячена актуальному питанню підвищення ефективності систем керування. Це питання має високу практичну значимість, тому що енергозбереження є на сьогодні основним напрямком розвитку енергетики України. Вирішення цього питання дозволяє не тільки заощаджувати кошти на додатковому виробництві електроенергії, но і поліпшити питання екології.

Робота має практичну значимість та наукову цінність.

Графічна частина роботи виконана відповідно до норм та вимог. Всі елементи схем в записці і кресленнях відповідають вимогам ЕСКД до розмірів умовних графічних позначень в електричних системах.

Робота виконана на актуальну тему і відбиває високу інженерну підготовку автора.

Па роботі є наступні зауваження:

Бажано провести аналіз роботи систем регулювання для котельних установок широкого діапазону потужностей

У цілому робота виконана акуратно, грамотно та заслуговує оцінки «відмінно».

Рецензент

__к.т.н., доцент__
 (посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

__Буданов П.Ф.__
 (ім'я, прізвище)