

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно- інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри АТ
В.В. Поцєпаєв

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 2020 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розробка системи автоматичного керування рівнем киплячого шару в котлі

Виконав : студент 4 курсу, групи АКТ-16
(шифр групи)

спеціальності

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Севальнєв Д.С.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник зав.каф., к.т.н., доц Поцєпаєв В.В.

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

(підпис)

Рецензент

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

(підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Покровськ – 2020 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно- інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____
секретар ДЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розробка системи автоматичного керування рівнем киплячого шару в котлі

Виконав студент групи АКТ-16 _____
(підпис, дата) (ініціали, прізвище) Д.С. Севальнєв

Керівник _____
(підпис, дата) (ініціали, прізвище) В.В.Поцєпаєв

Зав. каф. автоматики та телекомунікацій _____
(підпис, дата) (ініціали, прізвище) В.В.Поцєпаєв

Консультанти _____
(підпис, дата) (ініціали, прізвище) Є.В. Лєсіна

(підпис, дата) (ініціали, прізвище) С.А. Жовтобрух

(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Нормоконтролер _____
(підпис, дата) (ініціали, прізвище) асистент. Д.О.Жуковська

Покровськ – 2020 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

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

Кафедра автоматика та телекомунікації

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____/ В.В.Поцєпаєв
“ ____ ” ____ 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Севальнєву Данилу Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматичного керування рівнем
Киплячого шару в котлі

керівник роботи: Поцєпаєв В.В., к.т.н., доц

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

затверджені наказом від “ ____ ” 2020 року № ____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: НДРС, практика _____

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

- 1) Аналіз котла як об'єкта керування.
- 2) Обґрунтування напрямку автоматизації.
- 3) Розробка алгоритму, структурної та принципової схеми системи автоматичного керування рівнем киплячого шару.
- 4) Заходи з охорони праці.
- 5) Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Лесіна Є.В., доцент.		
	Жовтобрух С.А., ст.. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз об'єкта	05.05.2020	
2	Огляд існуючих рішень	08.05.2020	
3	Розробка функціональної схеми	11.05.2020	
4	Вибір технічних засобів	16.05.2020	
5	Отримання математичної моделі	21.05.2020	
6	Синтез регулятора	26.05.2020	
7	Моделювання системи	02.06.2020	
8	Охорона праці	09.06.2020	
9	Оформлення	12.06.2020	

Студент _____ Севальнєв Д.С.

Керівник _____ Поцєпасєв В.В.

Лист зауважень

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Севальнєв Данило Сергійович «Розробка системи автоматичного керування рівнем киплячого шару в котлі» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2020.

Пояснювальна записка: 68 сторінок, 28 рисунків, 1 таблиця, 18 посилань.

Об'єкт розробки - система автоматичного керування рівнем киплячого шару в котлі ТЕС.

Мета роботи - підвищення ефективності функціонування котла з циркулюючим киплячим шаром за рахунок розробки системи автоматичного керування, що дозволить підвищити ефективність спалювання палива, продовжити термін служби технологічного обладнання, а також зменшити експлуатаційні витрати.

Методи й засоби розробки: методи системного аналізу та декомпозиції, теорії автоматичного керування, комп'ютерного моделювання, аналізу результатів експерименту.

Розроблено моделі контурів регулювання витрати палива, витрати первинного повітря та рівня киплячого шару. Виконано синтез типових регуляторів за відповідними контурами керування. Технічна реалізація системи керування здійснена з використанням спеціалізованої телекомунікаційної мережі Modbus та контролера SIMATIC. Отримані показники якості в розробленій системі керування задовольняють вимогам, що висувають нормативні документи та технологічні регламенти ТЕС.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, КОТЕЛ, ЦИРКУЛЮЮЧИЙ
КИПЛЯЧИЙ ШАР, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ТИРИСТОРНИЙ
ПЕРЕТВОРЮВАЧ, КОНТРОЛЕР

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 Котел АЦСК-670 з циркулюючим киплячим шаром як об'єкт керування.....	11
1.1 Опис технології циркулюючого киплячого шару.....	11
1.2 Характеристика технологічного процесу й основного обладнання котла АЦКС-670.....	14
1.3 Функції САК котлом із циркулюючим киплячим шаром.....	20
1.4 Огляд САК технологічним процесом горіння котла з киплячим шаром	20
Висновки до розділу 1	23
2 Проектування САК рівнем киплячого шару.....	24
2.1 Обґрунтування прийнятого напрямку розробки САК рівнем киплячого шару.....	24
2.2 Вибір технологічних датчиків.....	28
2.3. Вибір виконавчих механізмів - тиристорних перетворювачів частоти	30
2.4 Вибір програмованого логічного контролера.....	31
2.5 Вибір модулів вводу аналогових сигналів.....	34
2.6 Вибір комунікаційних модулів	35
2.7 Розробка функціональної схеми САК.....	37
Висновки до розділу 2.....	40
3 Синтез САК рівнем киплячого шару котла АЦКС- 670.....	41
3.1. Структурна схема САК.....	41
3.2. Синтез регулятора в контурі керування витратою палива.....	42
3.3. Синтез регулятора в контурі керування витратою повітря	47
3.4. Синтез регулятора в контурі керування рівнем киплячого шару...	51
Висновки до розділу 3.....	54

4 Розробка заходів з охорони праці та безпеки.....	56
4.1 Характеристика ділянки котлоагрегатів	56
4.2 Основні шкідливі виробничі фактори, що впливають на умови праці робітників операторського пункту	56
4.3 Заходи щодо поліпшення умов праці робітників.....	57
4.4 Розрахунок кондиціонування та вентиляції у приміщенні.....	59
4.5 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання.....	61
4.6 Пожежна безпека.....	63
4.7 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	64
Висновки до розділу 4.....	65
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТОК А. Характеристики обраного обладнання.....	69

ВСТУП

Велика частина вугіль українських родовищ належить до категорії низькоякісних і використання їх в енергетиці вимагає застосування спеціальних технологій.

Світовий досвід свідчить не тільки про принципову можливість спалювання низьких сортів палива, але й про високу ефективність і екологічну чистоту цих технологій.

Сьогодні твердопаливна енергетика знаходиться у важкому становищі, що обумовлено, з одного боку, недостатнім видобутком і високою зольністю енергетичного вугілля, з іншого боку - фізичним зношенням і моральним старінням обладнання. Котлоагрегати теплових електростанцій (ТЕС), побудовані в основному в 60 - 70-х роках двадцятого століття за технологією пилоподібного спалювання з рідким шлаковидаленням, здатні працювати на вугіллі з підвищеною зольністю лише у випадку його спалювання разом із природним газом або мазутом, частка яких збільшується зі збільшенням зольності твердого палива. Крім того, вони не відповідають сучасним екологічним нормам (відсутні або малоефективні системи сірко - і азото очищення). Тому актуальним є завдання реконструкції котлоагрегатів, які вичерпали свій ресурс, з використанням сучасних високоефективних і екологічно чистих методів термічної переробки енергетичного вугілля. До таких методів відноситься технологія спалювання в циркулюючому киплячому шарі (ЦКШ).

До безумовних переваг технології ЦКШ належить: екологічна чистота, можливість використання палив з високою зольністю (40-55 %) і низькою теплотою згоряння, широкий діапазон регулювання потужності установок (30-100 % $N_{ном}$), можливість роботи в маневреному режимі.

Одним зі стримуючих факторів при впровадженні технології циркулюючого киплячого шару є недосконалість наявної в цей час системи керування топкою, при розробці якої зігнорований ряд особливостей об'єкта в порівнянні зі звичайною котельною установкою.

Впровадження систем автоматичного керування котлами з технологією ЦКШ, побудованих на основі програмованих контролерів, дозволяє автоматизувати процес виробництва теплової енергії в котлах і значно спростити контроль і керування цим процесом. Застосування такої системи підвищує ефективність функціонування котлоагрегату за рахунок зниження споживання енергоресурсів, раціонального спалювання палива, оперативного керування обладнанням і технологічним процесом, Таким чином, мета розробки - підвищення ефективності функціонування котла з циркулюючим киплячим шаром за рахунок розробки системи автоматичного керування, що дозволить підвищити ефективність спалювання палива, подовжити термін служби технологічного обладнання, а також зменшити експлуатаційні витрати.

1 КОТЕЛ АЦСК-670 З ЦИРКУЛЮЮЧИМ КИПЛЯЧИМ ШАРОМ ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ

1.1 Опис технології циркулюючого киплячого шару

При використанні твердого палива для сучасних енергоблоків головним є його ефективне спалювання. Ефективність спалювання означає, що воно має бути повним, тобто економічним, і забезпечувати мінімум шкідливих викидів оксидів сірки й азоту.

Традиційним для спалювання був й продовжує використовуватися факельний метод, при якому суміш дрібнодисперсного вугілля й гарячого повітря безупинно подається в зону горіння, підтримуючи палаючий факел, що є джерелом нагрівання робочого тіла. Для досягнення ефективності факельного методу розроблено і впроваджено цілу низку режимних і конструктивних рішень, які, проте, не вирішують проблему на достатньому рівні. Результатом пошуків ефективних та екологічно чистих технологій спалювання твердих низько енергетичних палив стала технологія спалювання у циркулюючому киплячому шарі (ЦКШ) [1,2].

Основою функціонування котлів з ЦКШ є технологія киплячого шару (рис. 1.1). В топку котла (рис. 1.1,а) встановлюється решітка, на якій поміщено шар вугілля, і знизу до решітки подається в невеликій кількості гаряче повітря. Горіння палива іде на поверхні вугілля і на решітці буде підтримуватися палаючий фіксований шар. Так здійснюється шарове спалювання твердого палива. При збільшенні подачі повітря під решітку на частки палива, що знаходиться на решітці, діє швидкісний напір, який піднімає кожен частинку палива. При деякій швидкості повітря частки палива опиняються у зваженому стані в підйомному потоці повітря, що приводить до зростання товщини палаючого шару (рис. 1.1,б).

Подальше зростанні швидкості приводить до появи в шарі окремих міхурів повітря (рис. 1.1,в) з ще більшим зростанням товщини шару. Це так званий міхуровий киплячий шар, що подібний киплячій рідині. Звідси метод і отримав назву — спалювання в киплячому шарі.

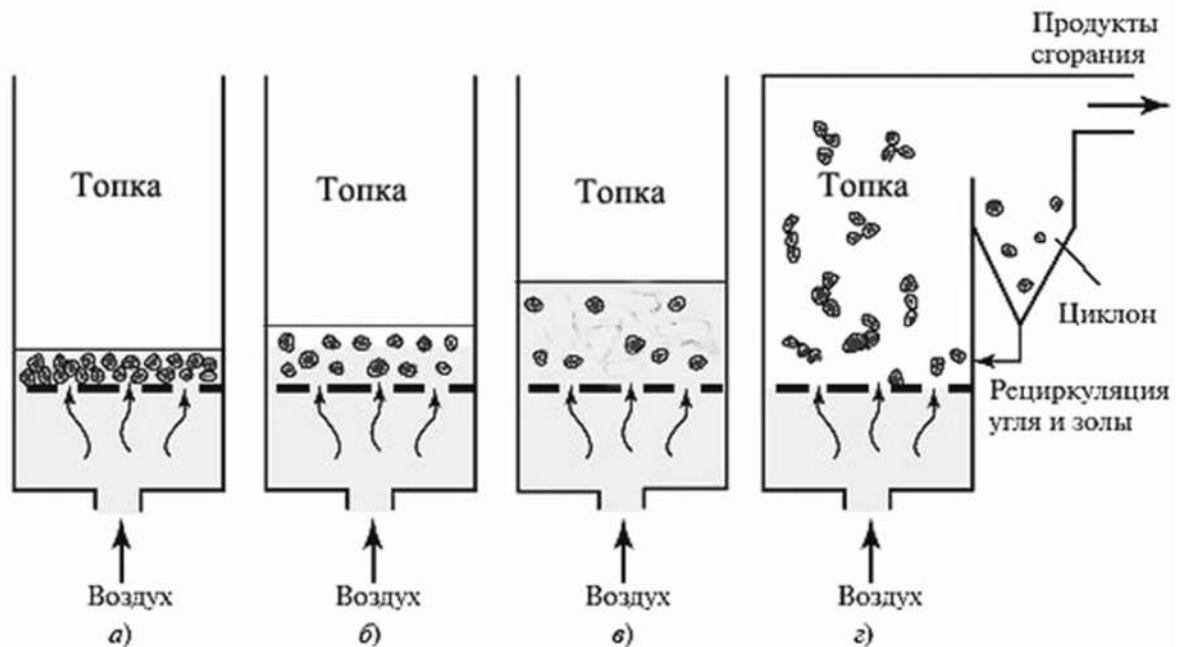


Рисунок 1.1 - Зміни киплячого шару при різних кількостях повітря

При ще більшій витраті повітря підйомна сила, що діє на частки палива, виявляється настільки великою, що вони не встигають згоріти й викидаються з киплячого шару. Подальше зростання витрати повітря приводить до зникнення видимого шару і відбувається горіння скупчень часток палива в повному об'ємі камери з інтенсивним перемішуванням (рис. 1.1,г). Велика кількість часток палива не встигає згоріти й виноситься з камери в циклон. Циклон — циліндрична ємність, у якій продукти згорання відділяються від незгорілих часток. Продукти згорання направляються в іншу частину котла — конвективну шахту, де відбувається нагрівання води й пари, а незгорілі частки рухаються в закрученому потоці, відкидаються від стінок та знову падають в камеру горіння. Це і є циркулюючий киплячий шар [2,3].

Є цілий ряд схем, що реалізують технологію ЦКШ, одна з них приведена на рис 1.2. Вугілля з бункера 2 направляється на повітророзподільну решітку 10 топки 3, під якою підведене гаряче повітря. На неї ж з бункера 1 подається вапняк, що вступає в хімічну реакцію із сіркою, зв'язує її й надалі разом із сухою золою виводиться з котла. Тому сірка не попадає в димові гази і, отже, у навколишнє повітря. Киплячий шар, що утворюється, передає частину своєї теплоти робочому тілу, що рухається в екранах, якими облицьовані стіни топки. З верхньої частини топки суміш продуктів згоряння й часток палива, що не згоріли в киплячому шарі, направляється в циклон 4, де частки незгорілого палива відділяються від продуктів згоряння. Незгорілі гарячі частки змішуються із частками свіжого палива, і ця суміш надходить у палаючий киплячий шар топки.

Розжарені гази згоряння надходять у конвективну шахту 5, у якій розташовані інші поверхні нагрівання 6 робочого тіла: конвективний первинний і проміжний пароперегрівники, економайзер, повітронагрівач. На виході з конвективної шахти із продуктів згоряння виводиться летюча зола, яка відфільтровується в електрофільтрах 7, після чого очищені гази направляються в димар 8, де розсіюються в атмосфері.

На рис.1.2 римськими цифрами показаний рух матеріальних потоків: I - подача в топку гарячого повітря; II - випуск сірчистої золи; III - суміш із продуктів згоряння IV і незгорілих часток палива V.

Одна з основних ідей, реалізованих у котлах з ЦКШ, полягає в тому, що температура киплячого шару є відносно невисокою – 820 – 900°C. При таких температурах реакція утворення окислів азоту йде багатократно повільніше ніж смолоскипових пиловугільних топках, де температура горіння досягає 2000°C [4,5]. Низька температура горіння визначається більшим розміром часток вугілля (від 2 до 25 мм) і їхньою роз'єднаністю в киплячому шарі, на відміну від пиловугільного спалювання, де розмір пилових часток палива 200 мкм.

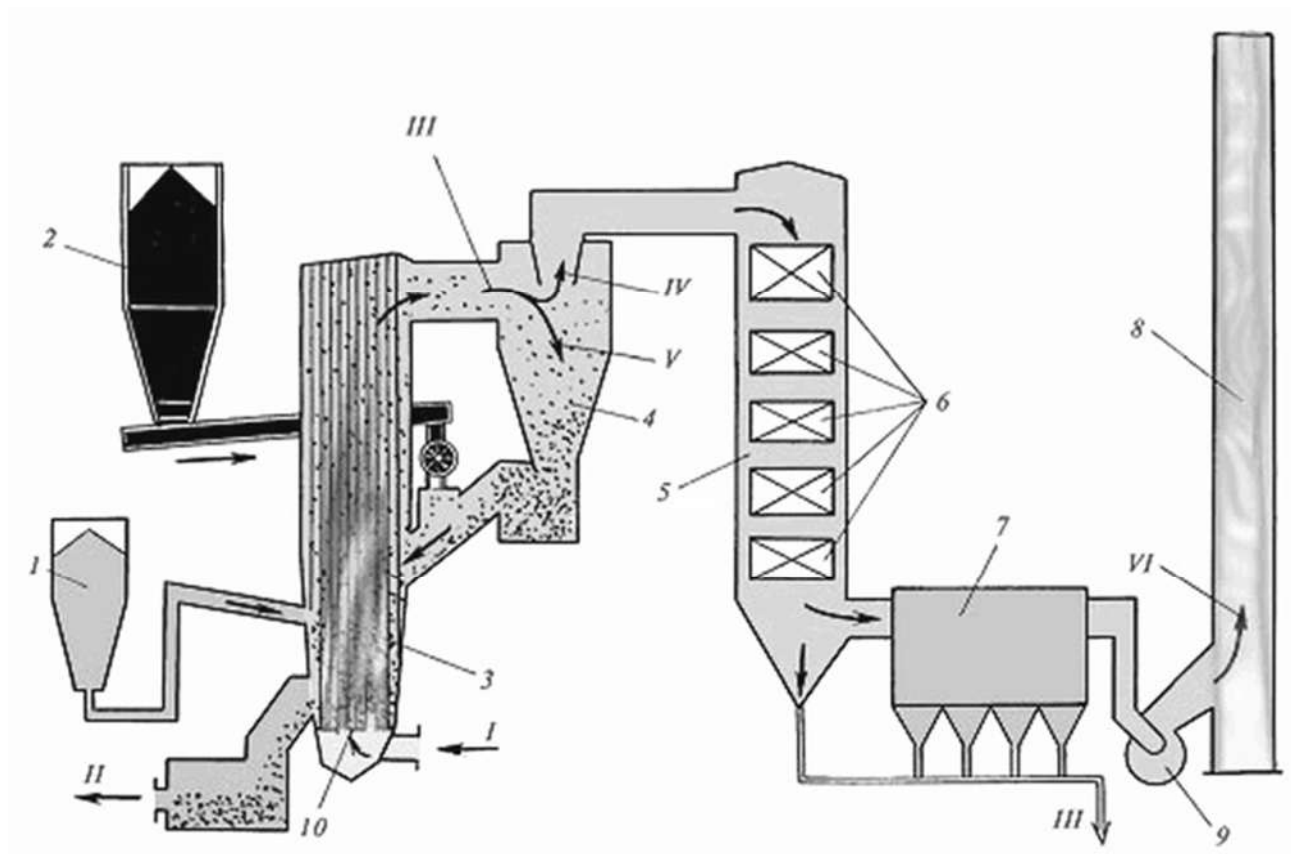


Рисунок 1.2 - Схема котла ЦКШ

Інша важлива реалізована ідея — багаторазова циркуляція гарячої суміші золи, вапняку й порівняно невеликої кількості свіжого палива. Це забезпечує не тільки добре сіркоочищення продуктів згорання, але й істотно інтенсифікує процес спалювання [2,3].

В теперішній час у світі експлуатується більше 200 енергетичних котлів із технологією ЦКШ у складі енергоблоків потужністю до 250 МВт.

1.2 Характеристика технологічного процесу й основного обладнання котла АЦКС-670

Паровий котел (рис. 1.3) з природною циркуляцією пароводяної суміші з мембранними стінами й киплячою топкою. Камера згорання разом з охолоджувачами киплячого шару й затворами киплячого шару опирається за допомогою пружинних пучків на бетонних п'ятах. Циклони й конвективна шахта підвішені на несучій конструкції котла.

Повітропідігрівник за допомогою ковзних опор установлений на несучій конструкції. Корпус котла встановлений над камерою згоряння.

Випарник котла утворений газоплотними стінами камери згоряння, охолоджувача киплячого шару й затвора киплячого шару.

Пароперегрівник складається із трьох частин.

Пароперегрівник 1 складається з підвішених труб, настінного перегрівника, утвореного газоплотними стінами конвективної шахти й пучка розташованого в конвективній шахті як третя поверхня нагрівання в напрямку потоку продуктів згоряння. Пучок складається з п'яти змійовиків із протиточним включенням.

Пароперегрівник 2 - це горизонтальний блок, який складається із двох частин. Пароперегрівник 2/1 розташований в охолоджувачі киплячого шару №3. Складається із шести змійовиків. Пароперегрівник 2/2 розташований в охолоджувачі киплячого шару №4. Складається із шести змійовиків.

Випускний перегрівник 3 - це горизонтальний блок, який розташований у конвективній шахті як перша поверхня нагрівання в напрямку потоку продуктів згоряння. Пучок складається з п'яти змійовиків із прямоточним включенням.

Проміжний перегрівник складається із двох частин. Проміжний перегрівник 1 - це горизонтальний блок і складається із двох частин. Проміжний перегрівник 1/1 розташований в охолоджувачі киплячого шару №1. Складається із шести змійовиків. Проміжний перегрівник 1/2 розташований в охолоджувачі киплячого шару №2. Складається із шести змійовиків.

Випускний проміжний перегрівник 2 - це горизонтальний блок розташований у конвективній шахті як друга поверхня нагрівання в напрямку потоку продуктів згоряння. Пучок складається із шести змійовиків із прямоточним включенням.

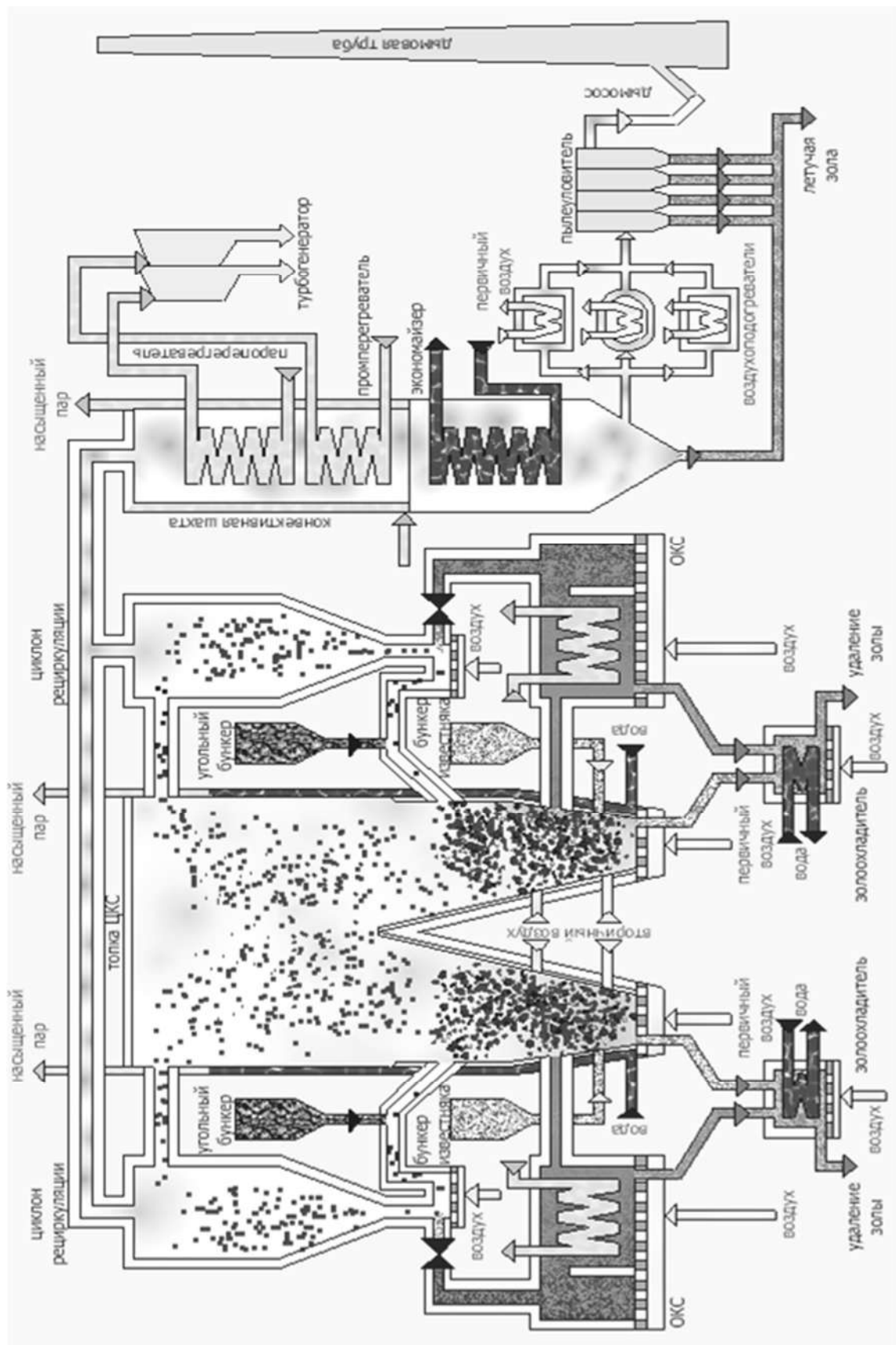


Рисунок 1.3 – Схема технологічного процесу котла АЦКС-670

Регулювання температури перегрітої пари здійснюється упорскуванням живильної води в пару за допомогою ежекторів, що впорскують.

Упорскування ВЗ установлені в сполучних трубопроводах між випускними камерами проміжного перегрівника 1/1 і проміжного перегрівника 1/2 і впускною камерою проміжного перегрівника 2.

Котел має один підігрівник живильної води (економайзер), що складається із двох блоків. Складається із двох змійовиків із протиточним включенням. Перебуває в конвективній шахті за перегрівником 1.

Наступною теплообмінною поверхнею є трубчастий повітропідігрівник, який розташований за економайзером у напрямку потоку продуктів згоряння. Продукти згоряння передають тепло первинному й вторинному повітрю. З повітропідігрівника надходять продукти згоряння через вирву й димовий канал в електрофільтр.

Під решіткою камери згоряння розташовані повітряні коробки, у які підводиться первинне повітря, що надходить через форсунки решітки камери згоряння й у комбіновані форсунки, які призначені для пуску котла. Для подачі повітря, що спалюється, призначені одна первинна й одна вторинна повітродувки. Первинна повітродувка подає повітря під флюїдну решітку камери згоряння. Вторинна повітродувка подає повітря в камеру згоряння й у комбіновані пальники.

Котел обладнаний чотирма комбінованими пальниками й шістьома комбінованими форсунками, які можуть спалювати природний газ або мазут.

Флюїдизаційне повітря для охолоджувачів киплячого шару, флюїдні затвори й охолоджувачі золи забезпечують 14 повітродувок. Для охолоджувачів киплячого шару буде застосовуватися 8 повітродувок, для флюїдних затворів - 4 повітродувки й для охолоджувачів золи - 2 повітродувки.

Для керованої циркуляції золи котел оснащений 10-ю комплектами відпускних арматур (SPIESS). Дві арматури розташовані над дном камери згоряння й призначені для спуска золи в охолоджувач золи.

Захист напірної системи забезпечений за допомогою запобіжних клапанів - два на стороні перегрітої пари й два - на стороні проміжної перегрітої пари. Вони керовані за допомогою стисненого повітря із шафи керування.

Тонкі арматури включають арматури напірної системи - арматури живильної головки, дренажна, повітряновипускна й продувна арматури, крім того арматура регулювання упорскування, зливальна арматура барабана, арматура для продувки барабана й арматура для відбору проб. Крім того сюди входить арматура відборів для виміру тиску (крани), патрубки, гільзи, чашки, контрольні термометри, манометри, показчики рівня й ін.

Нижня частина днища, екрани киплячої топки до висоти 12 м від киплячої решітки, циклони, затвори киплячого шару, охолоджувачі киплячого шару й охолоджувачі золи облицьовані.

Стіни котла, трубопроводи гарячого повітря, димоходи й інші частини котла з температурою поверхні металу більше ніж 50 °C покриті ізоляцією й обшиванням з листового металу.

У поверхнях нагрівання економайзера протікає живильна вода в протитоці продуктів згоряння й після її підігріву пропускними трубами подається в барабан котла. З барабана котла вода подається опускними трубами в нижній і верхній колектор камери згоряння й нижнім і верхнім колекторам заднього екрана.

Пароводяна суміш рухається в барабан котла, де у внутрішнім устаткуванні барабана здійснюється сепарація насиченої пари.

У нижній частині киплячої камери згоряння на лівій і правій стороні розташовані голчасті затвори „SPIESS“, які служать для спуска великих, частин золи. Зола випускається в охолоджувачі золи й за допомогою повітря та охолоджувальної води проохолоджується до температури 120–180 °C.

Первинне повітря подається під решітку камери згоряння, у газомазутні форсунки, які встановлені на висоті 1,2 м над решітками киплячого шару, у газомазутні пальники (для охолодження) і в обдувочні апарати (як ущільнююче повітря).

Вторинне повітря подається в газові пальники, в 12 форсунок повітря - 8 встановлені на внутрішніх бічних стінах і 4 - на зовнішніх бічних стінах і до конвеєрів палива (як ущільнююче повітря).

Розміщення конвективної шахти виходить із практики конвекційних пиловугільних котлів. Продукти згоряння поступово проходять через пароперегрівник 3, проміжний пароперегрівник 2, пароперегрівник 1 і пучки водяного економайзера. Випускний пароперегрівник 3 розташований у конвективній шахті в якості першої теплообмінної поверхні. Проміжний пароперегрівник 2 розташований у конвективній шахті в якості другої теплообмінної поверхні, що забезпечує рівномірні умови при експлуатації на малих рівнях потужності, а також у випадку, коли охолоджувач киплячого шару не використовується.

Горизонтальний трубчастий повітропідігрівник призначений для підігріву повітря, подаваного від одного первинного й одного вторинного вентилятора повітря. Повітря рухається в трубках і продукти згоряння в міжтрубному просторі. Трубки повітропідігрівника створюють блоки, які встановлені над собою й з'єднані роздільними повітряними каналами - окремо первинне й вторинне повітря. Весь повітропідігрівник являє собою самостійний цілий пристрій, з'єднаний з котлом і електрофільтром димоходами.

Основні параметри котла АЦКС - 670 приведені нижче.

1.	Витрата перегрітої пари на виході котла при 100% потужності	670 т/год
2.	Температура перегрітої пари на виході котла при 100% потужності	545 °С
3.	Тиск перегрітої пари на виході котла при 100% потужності	13,2 МПа
4.	Витрата проміжної перегрітої пари на виході котла при 100% потужності	538 т/год
5.	Витрата для упорскування в пароперегрівник при 100% потужності	6452 кг/год
6.	Витрата для упорскування в проміжний перегрівник при 100% потужності	5472 кг/год
7.	Основна витрата палива при 100% потужності	159233 кг/год
8.	Основна витрата палива при 50% потужності	83985 кг/год

1.3 Функції САК котлом із циркулюючим киплячим шаром

Виконаний аналіз технічних характеристик і особливостей котла із циркулюючим киплячим шаром АЦКС-670 дозволив сформулювати необхідні функції контролю й керування розроблювальної САК:

- автоматичне керування рівнем киплячого шару відповідно до зміни навантаження енергосистеми;
- автоматичне керування витратою палива відповідно до зміни рівня киплячого шару;
- автоматичне керування витратою повітря відповідно до зміни рівня киплячого шару;
- автоматичне керування витратою вапняку відповідно до зміни витрати подаваного в топку палива;
- контроль кількості (витрати) подаваного в топку повітря;
- контроль кількості (витрати) подаваного в топку палива;
- контроль кількості (витрати) подаваного в топку вапняку;
- контроль рівня киплячого шару;

1.4 Огляд САК технологічним процесом горіння котла з киплячим шаром

В 2012 році зроблена повна реконструкція енергоблоку й впровадження повноцінної АСУ ТП 9 енергоблоку Бурштинської ТЕС (м.Бурштин). Розроблювач САК - ЛьвовОРГРЕС. У ході реконструкції робота котла переводиться на модульне керування окремими вузлами. Одним з таких вузлів є САК технологічного процесу горіння котла з киплячим шаром, що містить у собі наступні функції:

- керування системою паливозабезпечення котла;
- керування системою золовидалення;
- керування системою постачання первинного повітря;
- керування температурним режимом котла;
- керування системою живлення котла водою;

- контроль за хімічним складом у топці котла.

Кожний вузол управляється власним контролером сімейства MELSEC SYSTEM ([Mitsubishi](http://www.mitsubishielectric.com)Electric). САК технологічного процесу горіння котла також зібрана на контролерах цієї групи - модульний програмувальний контролер MELSEC SYSTEM Q (рис.1.4).

Серія MELSEC System Q компанія Mitsubishi Electric представляє свій самий потужний й компактний модульний ПЛК із мультипроцесорною технологією для поточних і майбутніх запитів.

Модульні ПЛК монтуються на базовому шасі й складаються з окремого блоку живлення, центрального процесора, а також модулів вводу-виводу й спеціальних модулів.



Рисунок 1.4 - Контролер «MELSEC System Q»

Переваги програмувальних контролерів Mitsubishi Electric:

- відповідність українським і міжнародним стандартам;
- гнучкість розширення;
- простота програмування;
- висока продуктивність;
- наявність багатопроцесорного режиму;
- можливість дублювання систем і синхронізації даних.

Розглянутий вище варіант автоматизації роботи системи горіння має свої переваги й недоліки.

Система контролю й керування підсистемою горіння котла є модульною системою й сприяє збільшенню кількості сигналів і виконавчих механізмів. Для надійності роботи системи горіння котла необхідне впровадження сучасних засобів автоматизації, здатних ефективно управляти технологічним процесом із застосуванням вимірювальної апаратури і виконавчих механізмів, що мають можливість впровадження в сучасну систему керування. Більшу роль при виборі потрібно віддати датчикам з уніфікованим сигналом 4-20 мА.

При реалізації САК застосована дволінійна схема з дублюванням контролерів і датчиків. При експлуатації обладнання це значно збільшує ступінь надійності всієї системи в цілому й зменшує ймовірність відмов.

Програмований логічний контролер має функцію апаратного резервування, що дозволяє будувати локальні системи регулювання й контролю. Також існує можливість запису в контролер підготовлених налаштувань після попередньої підготовки в певному програмному середовищі й компіляції на симуляторі.

Scada система всього енергоблоку в цілому з легкістю обробляє інформацію від даного контролера і використані протоколи обробляються головним комп'ютером АСУ ТП.

Стосовно до котла АЦКС-670 ТЕС розглянута вище САК не може ефективно використовуватися, тому що частина виробництва даної ТЕС уже автоматизована сучасними засобами, причому для побудови САК було використано обладнання фірми Siemens. Об'єднувати САК окремими процесами в єдину АСУ ТП підприємства зручно й ефективно, якщо вони виконані на єдиній елементній базі.

Виконаний огляд існуючих систем автоматичного керування котлами, у тому числі й із циркулюючим киплячим шаром дозволив виділити наступні особливості. По-перше, не існує серійних уніфікованих систем автоматичного керування котлами із циркулюючим киплячим шаром - у кожному випадку САК розробляється індивідуально. По-друге, розроблені САК або АСУ ТП являють собою загальні системи автоматизації всього котла в цілому, і

найчастіше не дозволяють ефективно управляти окремими технологічними операціями й процесами.

Таким чином, основне завдання роботи - розробити й додати в існуючу АСУ ТП ТЕС підсистему керування рівнем киплячого шару, забезпечивши виконання нею необхідних функцій контролю й керування, а також взаємодію з іншими підсистемами АСУ ТП.

Висновки до розділу 1

1. Проаналізовано принцип дії та схема технологічного процесу котла з спалюванням в циркулюючому киплячому шарі.

2. Виконано критичний аналіз САК С технологічним процесом горіння котла з киплячим шаром.

3. Визначено функції САК С технологічним процесом горіння котла з киплячим шаром.

4. Розроблені САК являють собою загальні системи автоматизації котла в цілому, і тому не дозволяють ефективно управляти окремими технологічними операціями й процесами.

Висновки дозволяють сформулювати основне завдання роботи – розробити підсистему керування рівнем киплячого шару, забезпечивши виконання нею необхідних функцій керування й контролю, а також взаємодію з іншими підсистемами АСУ ТП.

2 ПРОЕКТУВАННЯ САК РІВНЕМ КИПЛЯЧОГО ШАРУ

2.1 Обґрунтування прийнятого напрямку розробки САК рівнем киплячого шару

Головним недоліком топок із киплячим шаром є складність регулювання продуктивності котла, що обумовлено вузьким діапазоном робочих температур топки НТКШ, тому що при збільшенні температури киплячого шару вище 900 - 950⁰С відбувається шлакування шару, що є аварійною ситуацією й викликає необхідність зупинки котла. При зниженні температури шару до 750⁰С горіння стає нестійким і можливо його припинення, що викликає необхідність повторного запуску котла.

Коли потрібно знизити навантаження, необхідно одночасно знижувати витрату вугілля й повітря для підтримки ефективної роботи топки у всьому діапазоні регулювання.

Метод регулювання навантаження, заснований на використанні взаємозв'язку між ступенем розширення киплячого шару й швидкістю зрідження для зміни висоти шару й, таким чином, зануреної величини поверхні, яка сприймає тепло, забезпечує можливість одержання широкого діапазону регулювання навантаження з коротким перехідним процесом, тому що тепловий потік до занурених труб приблизно в 4 рази перевищує тепловий потік до труб, що знаходяться над киплячим шаром. При регулюванні навантаження зміною висоти киплячого шару, охолоджувані труби розміщаються таким чином, щоб їхній контакт із киплячим шаром поступово збільшувався в міру зміни швидкості ожигаючого повітря й щоб сприйняття тепла їх було погоджено зі зміною навантаження. Так як температура в шарі не змінюється, то тривалість перехідного процесу невелика (швидкість зміни навантаження 10% в 1 хв). Даний спосіб використовується в більшості котлів з топками киплячого шару.

Таким чином, для зміни теплової потужності котла відповідно до навантаження енергосистеми необхідно змінювати рівень киплячого шару за рахунок регулювання витрати вугілля й повітря. Крім того, для якісного видалення сірки з газів, що відходять, необхідно регулювати кількість подаваного в топку вапняку залежно від зміни кількості подаваного в топку палива.

Для реалізації необхідних функцій контролю й керування в САК киплячим шаром з урахуванням прийнятого вище способу керування тепловою потужністю котла необхідний наступний набір технологічних датчиків: датчик витрати палива, датчик витрати повітря, датчик витрати вапняку, датчик рівня киплячого шару.

Датчик витрати палива й датчик витрати вапняку являють собою конвеєрні ваги, що встановлювані на відповідних стрічкових живильниках - живильник подачі палива й живильник подачі вапняку. Датчик витрати повітря встановлюється на трубопроводі, що подає первинне повітря в топку. Датчик рівня киплячого шару встановлюється у верхній частині топки і являє собою датчик гідростатичного тиску, по величині якого й контролюють рівень киплячого шару.

Виконавчими механізмами виступають електроприводи стрічкових живильників (регулювання витрати палива й витрати вапняку), а також електропривод повітрорудки (регулювання витрати первинного повітря).

На стрічкових живильниках ТЕС використовуються трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором. Регулювання витрати палива й вапняку, що подається в топку здійснюється зміною швидкості руху стрічки живильника. Для зміни швидкості руху стрічки необхідно відповідно змінювати частоту обертання приводного електродвигуна живильника. У розроблювальній САК рівнем киплячого шару з урахуванням використовуваних у живильниках типів електродвигунів найбільш ефективним способом регулювання частоти обертання електродвигуна є зміна частоти живлячої напруги за допомогою тиристорних перетворювачів частоти.

Основою повітродувки, що подає первинне повітря в топку є гвинтовий компресор необхідної продуктивності. Для регулювання витрати повітря подаваного в топку, необхідно змінювати продуктивність компресора. Існують наступні методи регулювання продуктивності гвинтового компресора: пуск-зупинка компресорної установки; скидання зайвого повітря в атмосферу; байпасне регулювання; робота «на холостому ході»; дроселювання; використання частотного перетворювача для регулювання частоти обертання приводного електродвигуна. Проведений аналіз способів керування робочим режимом гвинтових компресорних установок показав, що найбільш прийнятним є регулювання частоти обертання електродвигуна за допомогою використання частотного перетворювача. Стосовно до цього способу керування й будемо здійснювати синтез алгоритму регулювання витрати повітря, що подається в топку.

Вищевикладене дозволяє розробити схему автоматичного керування рівнем киплячого шару, що приведена на рисунку 2.1.

У контурі регулювання витрати палива об'єктом керування є стрічковий живильник Ж1. У даний контур входять наступні елементи: датчик витрати палива ДВП, регулятор палива РП, тиристорний перетворювач частоти ТПЧ1, приводний електродвигун живильника ЕД. Необхідне значення витрати палива визначається залежно від необхідного рівня киплячого шару й задається регулятором рівня РР.

Контур регулювання витрати повітря призначений для зміни кількості подаваного в топку повітря, що залежить від необхідного рівня киплячого шару. У даний контур входять наступні елементи: датчик витрати первинного повітря ДВПП, регулятор витрати первинного повітря РПП, тиристорний перетворювач частоти ТПЧ3, приводний електродвигун повітродувки ЕД. Необхідне значення витрати первинного повітря визначається залежно від необхідного рівня киплячого шару й задається регулятором рівня РР.

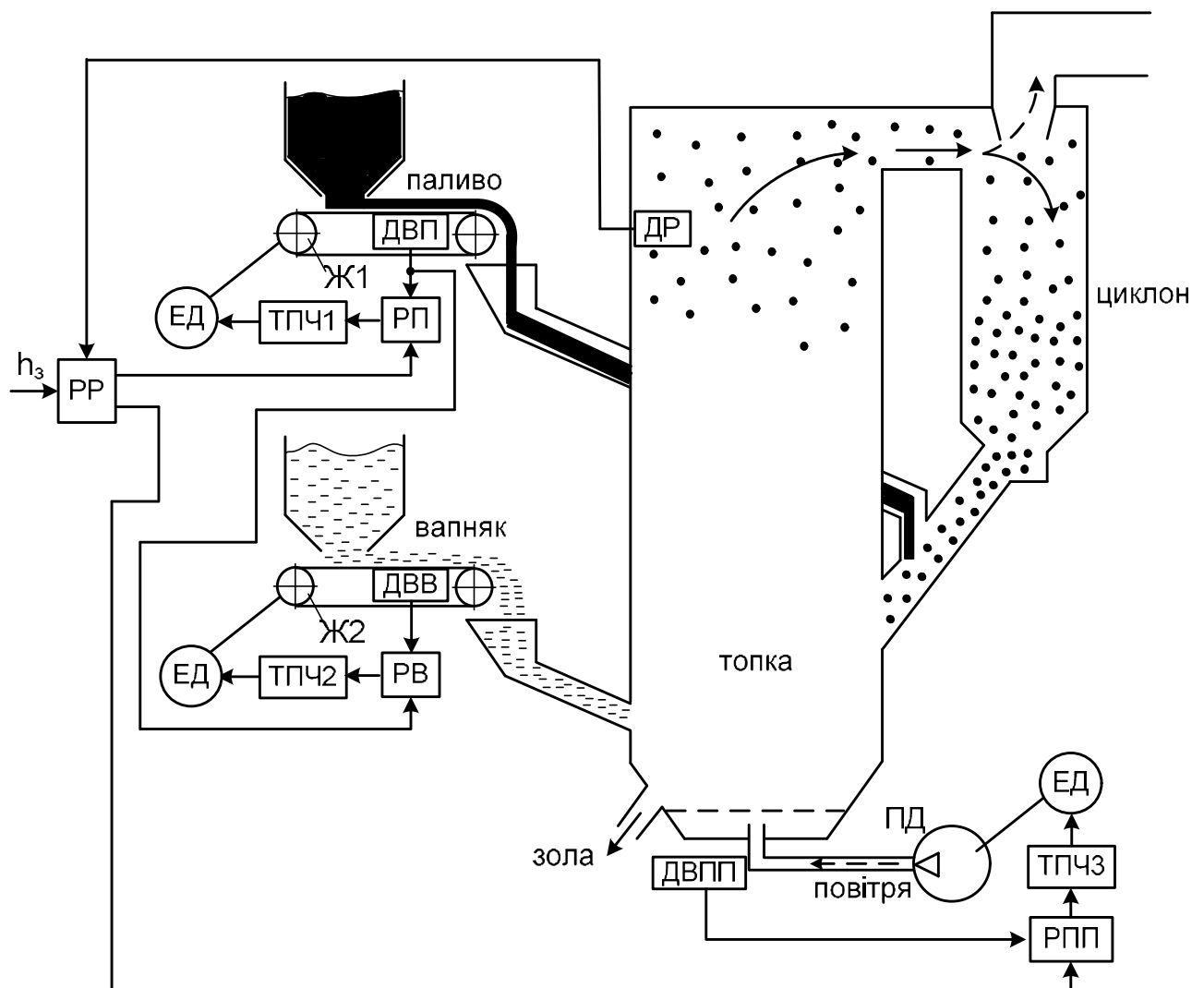


Рисунок 2.1 – Автоматичне керування рівнем киплячого шару

У контур регулювання вапняку входять наступні елементи: датчик витрати вапняку ДВВ, регулятор витрати вапняку РВ, тиристорний перетворювач частоти ТПЧ2, приводний електродвигун живильника ЕД. Необхідне значення витрати вапняку визначається залежно від поточного значення витрати палива й надходить від датчика витрати палива.

Контур керування рівнем киплячого шару призначений для зміни рівня киплячого шару в топці, що залежить від необхідного навантаження на енергоблок.

2.2 Вибір технологічних датчиків

Для контролю витрати палива й витрати вапняку в розроблювальній САК рівня киплячого шару застосовуються датчик витрати палива ДВП і датчик витрати вапняку ДВВ (рис.2.1), які встановлюються на відповідні стрічкові живильники бункера палива й бункера вапняку. Контроль продуктивності стрічкових живильників здійснюється спеціальними датчиками - конвеєрними вагами. Різні виробники пропонують різні конвеєрні ваги, що відрізняються технічними характеристиками, областю застосування, вартістю.

Конвеєрні ваги DynaTex BSG1 (рис. 2.2) являють собою систему виміру масової витрати сипучих матеріалів на основі конвеєрних ваг для застосування в підземних виробках шахт і рудників.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд конвеєрних ваг DynaTex BSG1

Система виміру масової витрати сипучих матеріалів складається з конвеєрних ваг з однією роликовою опорою, датчика швидкості й електронного блоку у вибухобезпечному корпусі.

Технічні характеристики конвеєрних ваг DynaTex BSG1 [6] наведені в додатку А.

Аналіз приведених технічних характеристик конвеєрних ваг DynaTex BSG1 показує, що даний тип датчиків ваги підходить як для контролю витрати палива, так і для контролю витрати вапняку.

Для контролю витрати первинного повітря в розроблювальній САК використовується датчик витрати первинного повітря ДВПП (рис. 2.1). Для контролю рівня киплячого шару в топці в розроблювальній САК

використовується датчик рівня ДР (рис. 2.1). Для виміру витрати й рівня були обрані датчики «Метран 100» виробництва Emerson Process Management Промислова група “Метран” (рис. 2.3) [7].



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд датчику Метран-100

Інтелектуальні датчики тиску серії Метран-100 призначені для виміру й безперервного перетворення в уніфікований аналоговий струмовий сигнал, а також у цифровий сигнал у стандарті протоколу HART, або цифровий сигнал на базі інтерфейсу RS485 наступних входних величин [7]:

- надлишкового тиску (Метран-100-Ди)
- абсолютного тиску (Метран-100-Да)
- розрідження (Метран-100-Дв)
- тиску розрідження (Метран-100-Див)
- різниці тисків (Метран-100-Дд)
- гідростатичного тиску (Метран-100-Дг)

Керування параметрами датчика:

- кнопкове з вбудованої панелі;
- за допомогою HART-комунікатора або комп'ютера;
- за допомогою програми ICP-Master або Modbus-Master і комп'ютера або програмних засобів АСУ ТП.

Вимірювані середовища: рідина, пара, газ, у тому числі газоподібний кисень і кисневмісні газові суміші; харчові продукти.

Всі звужуючі пристрої в трубних магістралях на ТЕС розраховані на перепад 63 кПа. З огляду на тиск у топковій камері (до 18 кг/см²), визначено що

для функції контролю рівня підходять датчики «Метран 100-ДГ» модель 1050 (надлишковий тиск до 100 кг/см²), для функції контролю витрати первинного повітря підходять датчики «Метран 100-ДД» модель 1420 (надлишковий тиск до 100 кг/см²).

Електронне живлення датчиків «Метран 100» здійснюється від джерел постійного струму напругою 12-42 В. У зв'язку з тим, що датчики будуть підключатися до програмувального логічного контролера (ПЛК) Simatic фірми Siemens, то напругу живлення датчика приймаємо +24 В. Споживана потужність - 0,8 Вт (для датчиків з вихідним сигналом 4...20 мА). Схема зовнішнього підключення датчика із блоком живлення по двупроводній схемі приведена на рисунку 2.4 [7].

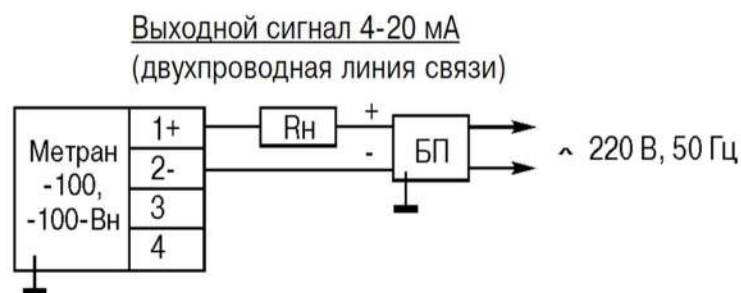


Рисунок 2.4 – Схема підключення датчиків «Метран-100»

2.3 Вибір виконавчих механізмів - тиристорних перетворювачів частоти

Виконавчими пристроями в розроблювальній САК рівнем киплячого шару виступає тиристорний перетворювач частоти (ТПЧ), що дозволяє управляти асинхронними електродвигунами стрічкових живильників подачі палива й вапняку, а також електроприводом повітродувки.

Тиристорний перетворювач частоти Unidrive VTC спеціально призначений для керування роботою насосів, компресорів і вентиляторів, але вбудований "спрощений алгоритм векторного керування" уможливорює

використання даного привода для всіляких альтернативних застосувань, таких як конвеєри, центрифуги й т.д.[8].

Керування в Unidrive VTC може здійснюватися як через убудований модуль керування, так і за допомогою мережних з'єднань.

Технічні характеристики ТПЧ Unidrive VTC приведені в таблиці 2.1 [8] додатку А.

Підключення тиристорного перетворювача частоти Unidrive VTC до приводних електродвигунів стрічкових живильників і повітродувки здійснюється згідно схеми, що приведена на рис.2.10 [10]. Взаємодія тиристорного перетворювача частоти Unidrive VTC із ПЛК Simatic фірми Siemens буде здійснюватися через телекомунікаційну мережу Modbus, інтерфейс підключення до якої розташований на панелі інтерфейсів ТПЧ (рис. 2.5).

2.4 Вибір програмованого логічного контролера

Виконаний аналіз основних характеристик програмувальних логічних контролерів сімейства Simatic фірми Siemens показав, що найбільш доцільним для автоматизації розглянутого об'єкта буде застосування ПЛК SIMATIC S7-200 [9].

Програмовані контролери SIMATIC S7-200 призначені для побудови простих систем автоматичного керування та відрізняються мінімальними витратами на придбання апаратури і розробку системи. Контролери здатні працювати в реальному масштабі часу й можуть бути використані як для побудови вузлів локальної автоматики, так і вузлів, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Industrial Ethernet, Profibus-DP, AS-Interface, MPI, PPI, Modbus, системи телеметрії.

Контролери S7-200 характеризуються наступними показниками:

- ефективне програмування на мовах STL, LAD і FBD;

- висока швидкодія: час виконання 1К логічних інструкцій не перевищує 0,22мс;

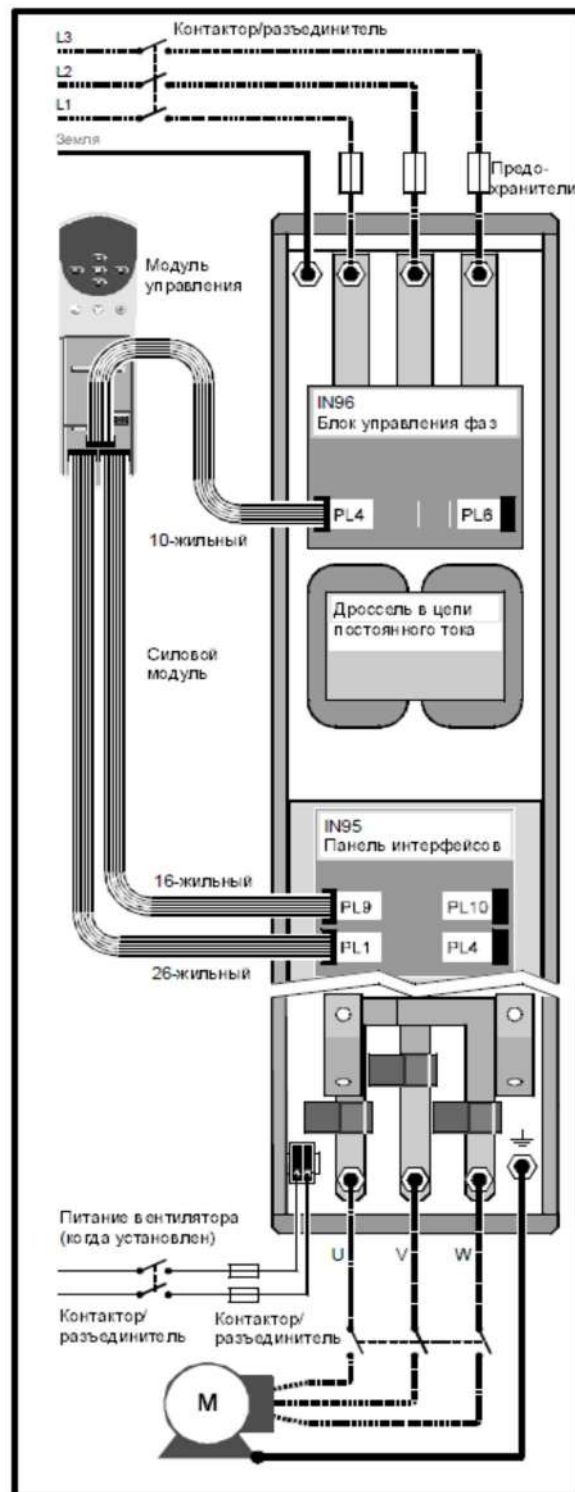


Рисунок 2.5 – Схема підключення тиристорного перетворювача частоти Unidrive VTC

- наявність конфігурованих областей пам'яті для збереження даних при перебоях у живленні контролера;
- універсальність входів і виходів центральних процесорів: стандартні дискретні входи й виходи, входи швидкісного рахунку, імпульсні виходи;
- нарощування кількості входів, що обслуговують, і виходів за рахунок використання модулів розширення й/або систем розподіленого вводу-виводу на основі AS-Interface.
- універсальність убудованого інтерфейсу центральних процесорів: підтримка протоколів PPI/MPI/USS/MODBUS;
- наявність знімних клемних блоків для підключення зовнішніх ланцюгів, що спрощують виконання операцій монтажу й заміни модулів, що вийшли з ладу;
- підтримка обробки рецептурних даних.
- використання сторінкової адресації блоків даних.

Сімейство SIMATIC S7-200 (рис.2.6) об'єднує у своєму составі модулі центральних процесорів; комунікаційні модулі; модуль позиціювання EM 253; модуль ваговимірювання, модулі вводу-виводу дискретних і аналогових сигналів; модулі блоків живлення. Максимально може бути використано 7 різних модулів розширення [9].



Рисунок 2.6 – Програмований логічний контролер SIMATIC S7-200

У розроблювальній САК рівнем киплячого шару пропонується використовувати центральний процесор CPU 224XP (6ES7 214-2BD23-0XB0).

Технічні характеристики процесора CPU 224XP (6ES7 214-2BD23-0XB0) [9, 10] наведені в додатку А.

Як видно з характеристик центрального процесора CPU 224XP, для повної реалізації необхідних функцій контролю й керування в САК рівнем киплячого шару недостатньо аналогових входів. Відповідно до схеми автоматичного керування (рис.2.6) у САК 4 аналогових датчики з вихідним струмовим сигналом 4...20 мА, а процесор CPU 224XP має тільки два аналогових входи. Таким чином, необхідно в ПЛК додати необхідну кількість модулів вводу аналогових сигналів з кількістю портів не менше 2.

Ще один модуль необхідно додати в ПЛК - комунікаційний модуль із інтерфейсом Modbus для взаємодії ПЛК із тиристорними перетворювачами частоти.

2.5 Вибір модулів вводу аналогових сигналів

Для вводу аналогових сигналів 4...20 мА від датчиків витрати палива, витрати вапняку, витрати повітря та рівня киплячого шару вибрано модулі аналогового вводу EM 231 (6ES7 231-0HC22-0XA0) [9].

Технічні характеристики модуля аналогового вводу EM 231 [9] наведені в додатку А.

Один модуль EM 231 дозволяє підключити 4 аналогових датчики – рівно стільки, скільки використовується датчиків в розроблювальній САК рівнем киплячого шару.

2.6 Вибір комунікаційних модулів

Центральний процесор CPU 224XP не містить необхідних інтерфейсів для підключення до промислових телекомунікаційних мереж (Profibus, Modbus) для взаємодії ПЛК із тиристорними перетворювачами частоти.

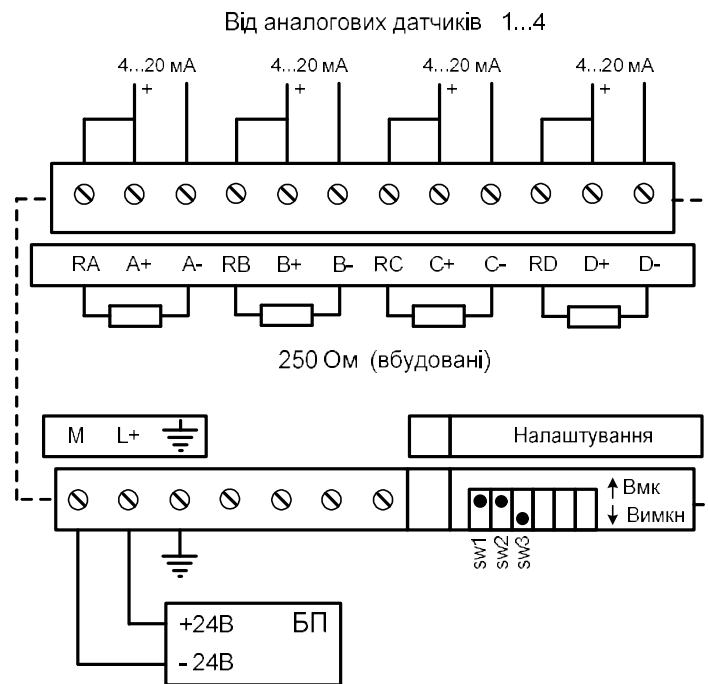


Рисунок 2.7 – Схема підключення аналогових датчиків до модуля вводу EM 231

До складу ПЛК SIMATIC S7-200 можуть входити наступні комунікаційні модулі [9]:

- CP 243-1: для підключення до мережі Industrial Ethernet, 10/100 Мбіт/с;
- CP 243-1 IT: для підключення до мережі Ethernet, 10/100 Мбіт/с, TCP/IP. Підтримка функцій HTTP/FTP-сервера, FTP-клієнта. Flash пам'ять об'ємом 8 Мбайт для зберігання файлової системи;
- CP 243-2: комунікаційний процесор ведучого пристрою AS-Interface, здатний обслуговувати до 62 ведених пристроїв;
- EM 277: для підключення до мережі Profibus-DP і виконання функцій веденого пристрою, до 12 Мбіт/с;

- EM 241: для підключення до мережі Modbus та підтримки функцій ведучого/веденого пристрою Modbus;
- SINAUT MD 720-3 для організації бездротового зв'язку через GSM мережі.

Для взаємодії з тиристорними перетворювачами частоти вибираємо комунікаційний модуль EM 241, що підтримує функції ведучого/веденого пристрою мережі Modbus. Так як ПЛК повинен виконувати функції ведучого пристрою промислової телекомунікаційної мережі, то використання модуля EM 277 неможливо, тому що даний модуль надає тільки функції веденого пристрою мережі Profibus-DP.

Зовнішній вигляд комунікаційного модуля EM 241 приведений на рис.2.8. Модуль EM 241 може бути використаний для дистанційного програмування й діагностики, організації зв'язку між центральними процесорами контролерів і периферійним обладнанням САК, організації зв'язку з комп'ютером, підтримки функцій ведучого/веденого пристрою Modbus.



Рисунок 2.8 - Зовнішній вигляд комунікаційного модуля EM 241

Функції модуля EM 241:

- 3 режими роботи з підтримкою вбудованих протоколів:

Режим 1: Teleservice - дистанційне програмування й налагодження програми з віддаленого комп'ютера, оснащеного модемом і програмним забезпеченням STEP 7 Micro/WIN.

Режим 2: ведучий або ведений пристрій Modbus - обмін даними через мережу Modbus у режимі ведучого або веденого мережного пристрою.

Режим 3: зв'язок між двома CPU з використанням протоколу Modbus або по PPI-інтерфейсу.

- автоматичне визначення швидкості передачі (від 300 до 33600 біт/с) і настроювання на цю швидкість.

Протоколи передачі даних інтегровані в операційну систему EM 241.

Технічні характеристики комунікаційного модуля EM 241 (6ES7 241-1AA22-0XA0) [9]:

- напруга живлення - ≈ 24 В;
- споживаний струм – 70 мА;
- промислові протоколи – PPI, MODBUS;
- діапазон робочих температур - $-20...+60^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість – не більше 95%.

Модуль EM 241 встановлюється на стандартну 35мм профільну рейку DIN і підключається до сусіднього модуля за допомогою гнучкого кабелю.

2.7 Розробка інформаційної схеми САК

На рисунку 2.9 наведена інформаційна функціональна схема системи автоматичного керування рівнем киплячого шару котла АЦСК-670. Схема передбачає наступні локальні системи керування: САК витратою палива; САК витратою повітря; САК витратою вапняку; САК рівнем киплячого шару в котлі.

САК витратою палива. На стрічковому живильнику Ж1, що з бункера подає паливо до топки котла, встановлений датчик витрати палива (1-2). Від нього аналоговий сигнал через модуль вводу EM 231 надходить до ЦПП CPU 224 XR промислового контролера Simatic S7-200, де порівнюється із сигналом, що відповідає необхідному значенню рівня киплячого шару, який в д САК паливом є впливом завдання. При їх нерівності формується сигнал неузгодженості, який з виходу контролера подається на комунікаційний модуль EM 241, який посиляє керуючий вплив через промислову телекомунікаційну

мережу Modbus на виконавчий механізм (1-1), котрий змінює витрату палива, що подається в топку котла (рис.2.9).

САК витрати повітря. На трубопроводі, який подає первинне повітря до топки котла встановлений датчик витрати повітря (3-1). Від нього аналоговий сигнал через модуль вводу EM 231 надходить до ЦПП CPU 224 XR промислового контролеру Simatic S7-200, де порівнюється із сигналом, що відповідає необхідному значенню рівня киплячого шару, який в даній САК є впливом завдання. Сигнал неузгодженості, який з виходу контролера подається на комунікаційний модуль EM 241, який посиляє керуючий вплив через промислову телекомунікаційну мережу Modbus на виконавчий механізм (3-2), що змінює витрату первинного повітря, яке подається в топку котла (рис.2.9).

САК витрати вапняку. На стрічковому живильнику Ж2, що з бункера подає вапняк до топки котла встановлений датчик витрати вапняку (2-2). Від нього аналоговий сигнал через модуль вводу EM 231 надходить до ЦПП CPU 224 XR промислового контролеру Simatic S7-200, де порівнюється із сигналом, що надходить від датчика витрати палива (1-2), який в даній САК формує задаючий вплив. При їх невідповідності один одному, формується сигнал неузгодженості, який з виходу контролера подається на комунікаційний модуль EM 241, який посиляє керуючий вплив через промислову телекомунікаційну мережу Modbus на виконавчий механізм (2-1), що змінює витрату вапняку, який подається в топку котла (рис.2.9).

САК рівнем киплячого шару в котлі. Аналоговий сигнал датчика рівня (4-1) (рис.2.9) подається через модуль вводу EM 231 до ЦПП CPU 224 XR промислового контролеру Simatic S7-200, де порівнюється із сигналом, що відповідає необхідному значенню навантаження котла, який для цієї САК є впливом завдання. При їх нерівності формується сигнал неузгодженості, який подається в САК витратою палива та САК витратою повітря в якості впливу завдання.

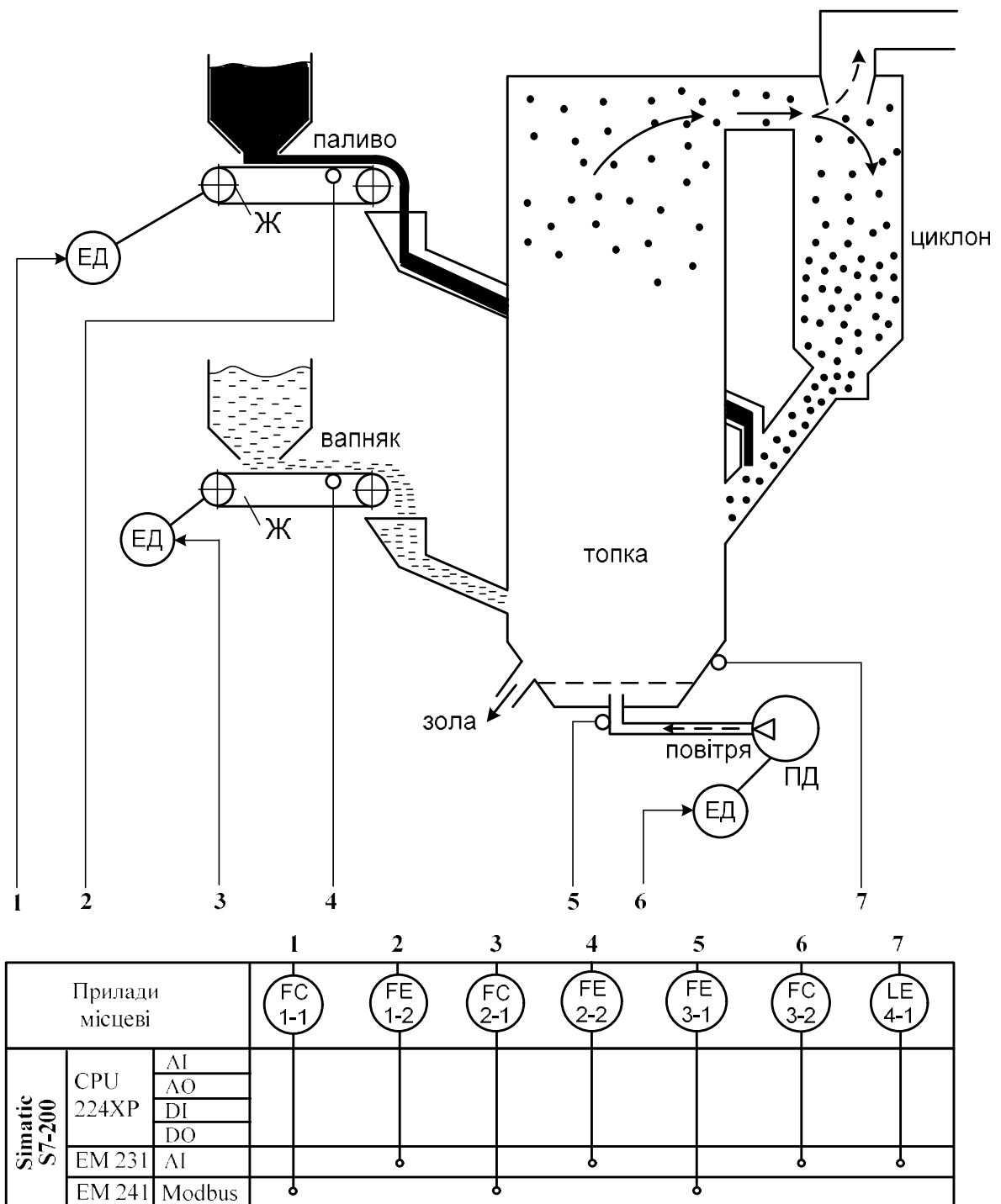


Рисунок 2.9 – Інформаційна схема САК рівнем киплячого шару

Висновки до розділу 2

1. В розділі обґрунтовано зміст розробки САК рівнем киплячого шару.
2. Розроблено схему автоматичного керування рівнем киплячого шару.
3. Обрано необхідний комплекс сучасних технічних засобів для реалізації сформульованих функцій контролю та керування.
4. Розроблено інформаційну схему САК рівнем киплячого шару.

3. СИНТЕЗ САК РІВНЕМ КИПЛЯЧОГО ШАРУ КОТЛА АЦКС-670

3.1. Структурна схема САК

На рисунку 3.1. показана структурна схема системи автоматичного керування рівнем циркулюючого киплячого шару котла АЦКС-670, що припускає керування, як функцію навантаження енергоблоку.

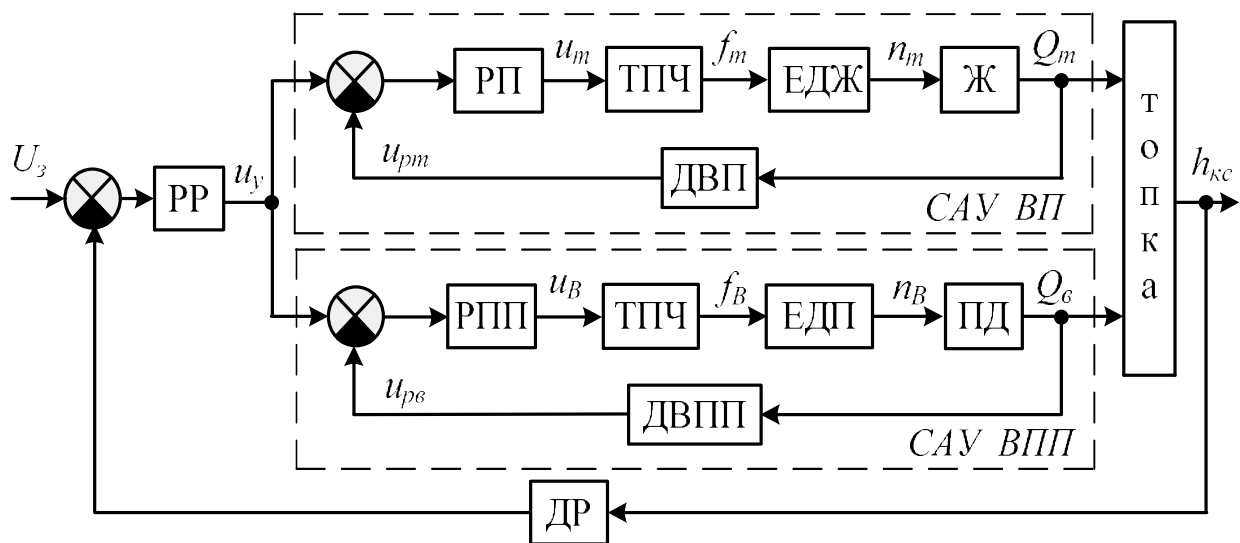


Рисунок 3.1 - Структурна схема системи автоматичного керування рівнем киплячого шару котла АЦКС-670

САК рівнем киплячого шару складається із зовнішнього контуру керування рівнем киплячого шару й двох внутрішніх контурів - САК витратою повітря (САК ВПП) і САК витратою палива (САК ВП) - рис.3.1.

У контур керування витратою палива входить живильник Ж с датчиком витрати палива ДВП, регулятор витрати палива РП, тиристорний перетворювач частоти ТПЧ, приводний електродвигун живильника ЕДЖ. Даний контур змінює подачу палива в топку котла по сигналу зовнішнього регулятора рівня РР, який є впливом завдання в цьому контурі.

Контур керування витратою первинного повітря складається з датчика витрати первинного повітря ДВПП, регулятора витрати повітря РПП, тиристорного перетворювача частоти ТПЧ, приводного електродвигуна повітродувки ЕДП і повітродувки ПД гвинтового типу. Даний контур змінює подачу повітря в топку котла по сигналу зовнішнього регулятора рівня РР, який є впливом, що задає у даному контурі.

Зовнішній контур працює по відхиленню рівня киплячого шару в топці від заданого. Заданий рівень киплячого шару визначається по необхідному навантаженню котла.

Таким чином, відповідно до структурної схеми САК (рис.3.1) необхідно виконати синтез трьох алгоритмів керування, які реалізуються регуляторами РП, РПП і РР.

3.2 Синтез регулятора в контурі керування витратою палива

За схемою (рис.3.1) складена структурна схема контуру керування витратою палива, що приведена на рис.3.2.

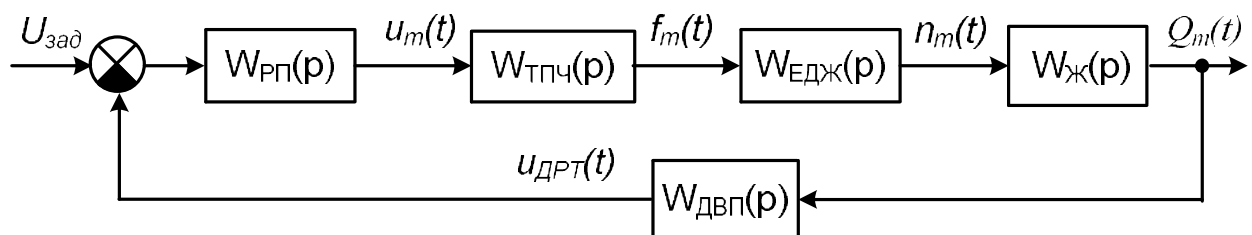


Рисунок 3.2 - Структурна схема контуру керування витратою палива

Об'єктом регулювання виступає стрічковий живильник (рис. 3.2) $W_{Ж}(p)$, вхід якого – частота обертання вала двигуна $n_m(t)$, вихід – витрата палива $Q_m(t)$. Передатна функція ланки $W_{Ж}(p)$ може бути представлена в такому виді [11]:

$$W_{Ж}(p) = \frac{Q_m(p)}{n_m(p)} = \frac{k_{Ж}}{T_{Ж}p + 1}. \quad (3.1)$$

Значення параметрів передатної функції $k_{ж}$ й $T_{ж}$ залежить від типу стрічкового живильника, його довжини й продуктивності. Для застосовуваного живильника маємо наступні параметри [11]: $k_{ж} = 0,9$; $T_{ж} = 4,5$ с.

Приводним електродвигуном живильника $W_{ЕДЖ}(p)$ є асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором, вхід якого – частота живлячої напруги $f_m(t)$, а вихід – частота обертання вала двигуна $n_m(t)$. Найбільш прийнятним способом керування асинхронним електродвигуном виступає зміна частоти живлячої напруги. Для даного способу керування можна отримати передатну функцію асинхронного електродвигуна по керуючому впливу [12]:

$$W_{ЕДЖ}(p) = \left(\frac{\gamma}{\nu}\right)^2 \frac{1}{(T_{ЭМ} p + 1)T_M p + \left(\frac{\gamma}{\nu}\right)^2} = \frac{k_{АД}}{T_{ЭМ} T_M p^2 + T_M p + k_{АД}}, \quad (3.2)$$

де T_M — механічна постійна часу двигуна,

$T_{ЭМ}$ — електромагнітна постійна часу двигуна,

$\gamma = U_{1a} / U_{1ан}$ - відносна напруга статора (до номінального),

$\nu = \Omega_1 / \Omega_{1н}$ - відносна частота напруги статора (до номінального).

Дана передатна функція справедлива для випадку, коли потокощеплення статора є величина постійна, тобто одночасно зі зміною частоти живлячої напруги змінюється і її величина відповідно до виразу: $U_{1a} / \omega_1 = const$; що забезпечується сучасними перетворювачами частоти.

Маючи конструктивні параметри приводного електродвигуна, можна обчислити коефіцієнт $(\gamma/\nu)^2$. Згідно з довідковими даними, розглянутий двигун розрахований на напругу 380В с частотою 50Гц. Тоді, переходячи до абсолютних величин:

$$\left(\frac{\gamma}{\nu}\right)^2 = \left(\frac{U}{f}\right)^2 = \left(\frac{380}{50}\right)^2 = 57,8 \text{ В}^2 \text{ с}^2. \quad (3.3)$$

Таким чином, з урахуванням виразів (3.2) і (3.3) отримана передатна функція приводного асинхронного електродвигуна живильника:

$$W_{\text{ЕДЖ}}(p) = \frac{57,8}{(0,24p + 1)9,5p + 57,8} = \frac{57,8}{2,2p^2 + 9,5p + 57,8}. \quad (3.4)$$

Тиристорний перетворювач частоти по своїх динамічних властивостях відповідає аперіодичній ланці першого порядку з передатною функцією [12]:

$$W_{\text{ТПЧ}}(p) = \frac{k_{\text{ТПЧ}}}{T_{\text{ТПЧ}}p + 1} = \frac{5,8}{0,09p + 1}. \quad (3.5)$$

Датчик витрати палива може бути представлений у вигляді безінерційної ланки:

$$W_{\text{ДВП}}(p) = k_{\text{ДВП}}. \quad (3.6)$$

Підставивши в структурну схему САК (рис. 3.2) приведені вище моделі елементів, отримана модель замкнутої САК витратою палива без регулятора, що приведена на рис. 3.3.

Виконавши моделювання, отримано перехідний процес у замкнутій САК при східчастій зміні задаючого впливу - заданої витрати палива, графік якого наведений на рис.3.4.

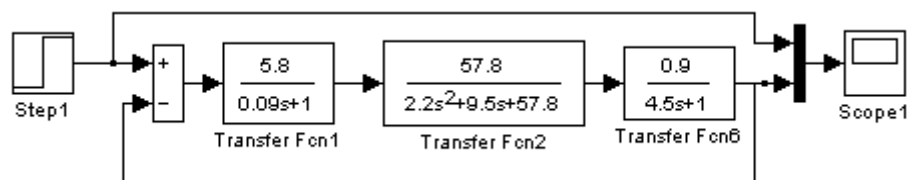


Рисунок 3.3 - Модель замкнутої САК витратою палива без регулятора

Аналіз рис. 3.4 показує незадовільні показники якості: неприйнятне перерегулювання ($\sigma = 39\%$) і велика стала помилка. Неприпустима

коливальність і велике перерегулювання помітно збільшують зношення елементів живильника й електродвигуна.

Для поліпшення показників якості необхідно в даний контур керування ввести пропорційно-інтегральний закон керування, що реалізується ПІ-регулятором [13].

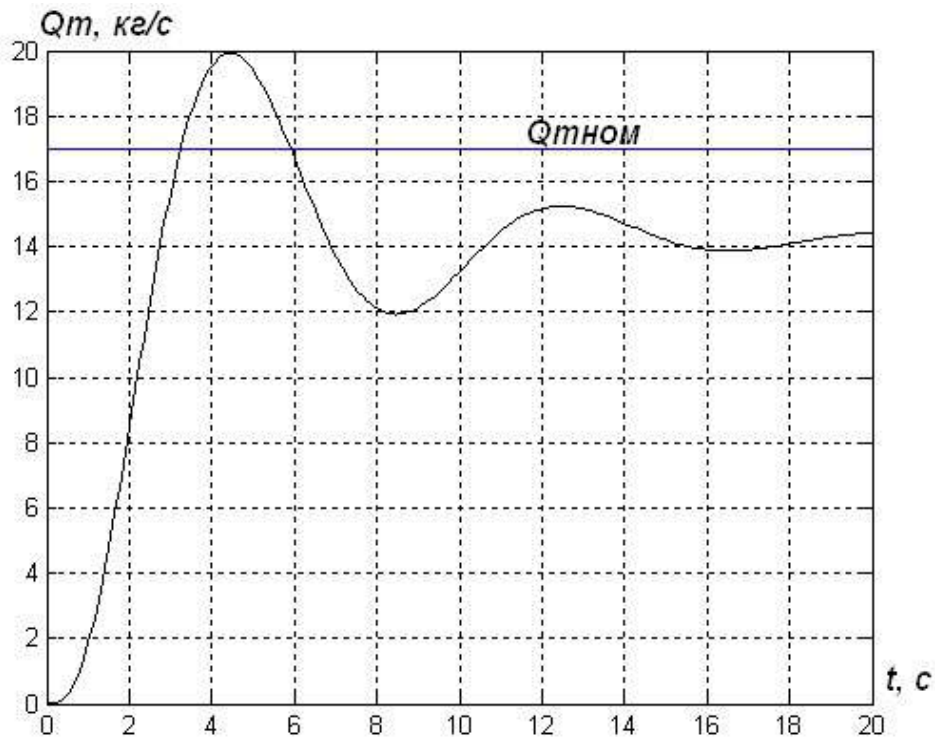


Рисунок 3.4 - Перехідний процес у замкнутій САК витратою палива без регулятора

Передатна функція пропорційно - інтегрального закону регулювання:

$$W_p(p) = k_{II} + \frac{k_{II}}{p} = \frac{k_P(T_{II}p + 1)}{T_{II}p}. \quad (3.7)$$

ПІ-регулятори, мають два параметри, які потрібно налаштувати - коефіцієнт передачі k_P і постійну часу інтегрування T_{II} .

Для визначення параметрів ПІ-регулятора застосовано метод Зіглера-Нікольса, що заснований на використанні кривої відгуку об'єкта [14]. У

результаті застосування методу отримані орієнтовні значення параметрів ПІ-регулятора, які були уточнені при дослідженні з використанням отриманої моделі:

$$W_{PI}(p) = 0,3 + \frac{0,06}{p}. \quad (3.8)$$

На рис.3.5 приведена структура замкнутої САК витратою палива з ПІ-регулятором.

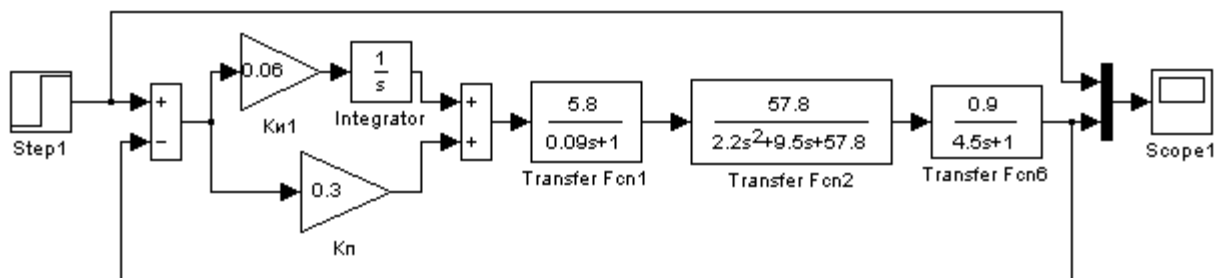


Рисунок 3.5 - Модель замкнутої САК витратою палива з ПІ-регулятором

Виконавши моделювання, отримали криву перехідного процесу в САК витратою палива з розрахованим ПІ-регулятором (рис.3.6). Як видно із графіка (рис.3.6) перехідний процес САК з ПІ-регулятором не має перерегулювання й сталої помилки при задовільному часі перехідного процесу.

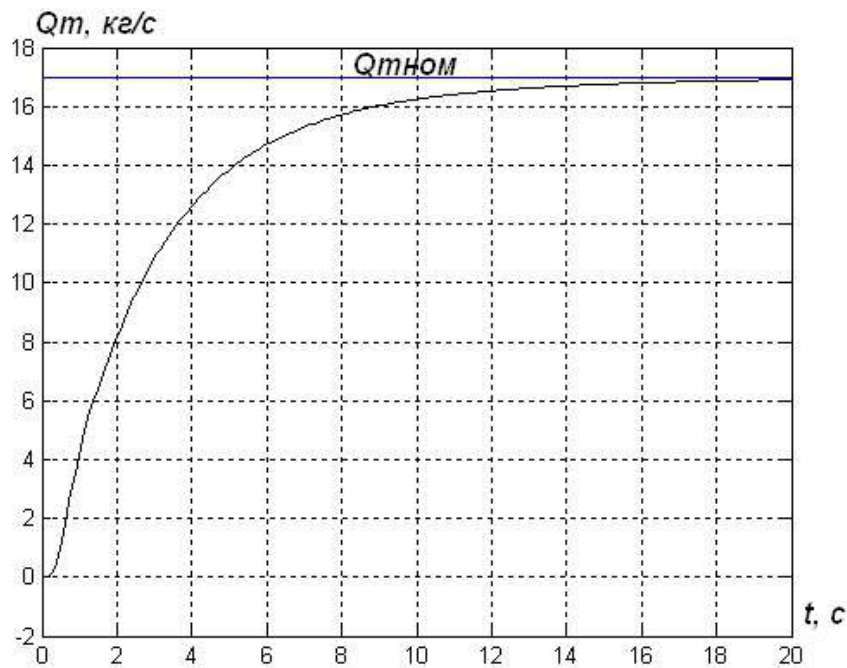


Рисунок 3.6 - Перехідний процес у замкнутій САК витратою палива з ПІ-регулятором

Таким чином, запропонований ПІ-регулятор з розрахованими параметрами дозволяє отримати необхідні показники якості в контурі керування витратою палива.

3.3 Синтез регулятора в контурі керування витратою повітря

За схемою (рис.3.1) складаємо структурну схему контуру керування витратою повітря, що приведена на рис.3.7.

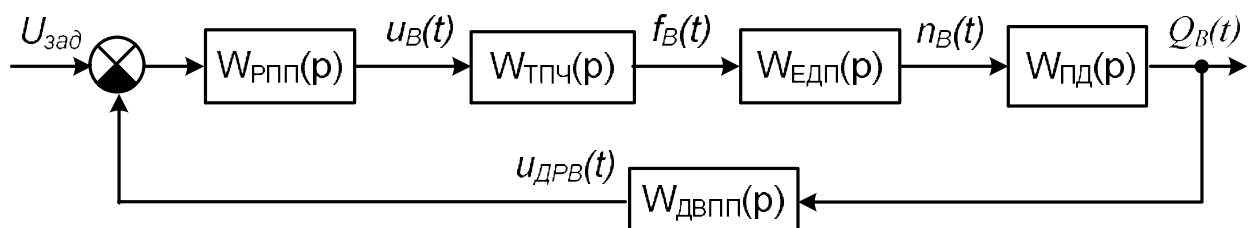


Рисунок 3.7 - Структурна схема контуру керування витратою повітря

Об'єктом регулювання виступає повітродувка (рис. 3.7) $W_{\text{ПД}}(p)$. Основним елементом застосовуваної повітродувки є гвинтовий компресор, який, як і поршневий, а також роторний компресор відноситься до групи об'ємних машин. Самий економічний спосіб регулювання продуктивності повітродувки - це регулювання частоти обертання електродвигуна. Таким чином, при обраному способі керування продуктивністю повітродувки входом ланки $W_{\text{ПД}}(p)$ є частота обертання вала двигуна $n_B(t)$, виходом – витрата повітря $Q_B(t)$. Повітродувка як динамічна ланка описується наступною передатною функцією [15]:

$$W_{\text{ПД}}(p) = \frac{k_{\text{ПД}}}{(T_{\text{ПД1}}p + 1)(T_{\text{ПД2}}p + 1)}, \quad (3.9)$$

де $k_{\text{ПД}}$ - коефіцієнт передачі повітродувки, $k_{\text{ПД}} = 0,4$ кПа/об;

$T_{\text{ПД1}}$ - постійна часу, що характеризує механічні процеси в повітродувці,

$T_{\text{ПД1}} = 3,5$ с;

$T_{\text{ПД2}}$ - постійна часу, що характеризує пневматичні процеси в повітродувці,

$T_{\text{ПД2}} = 1,9$ с.

Напірна характеристика повітродувки показує залежність між продуктивністю й тиском:

$$W_{\text{ПДН}}(p) = k_{\text{ПДН}}; \quad (3.10)$$

$$k_{\text{ПДН}} = \frac{Q^{\text{ном}}}{P^{\text{ном}}}, \quad (3.11)$$

$Q^{\text{ном}}$ – номінальна продуктивність, $Q^{\text{ном}} = 0,2$ м³/с (650 м³/год);

$P^{\text{ном}}$ – номінальний тиск, $P^{\text{ном}} = 10$ кПа.

В якості приводного електродвигуна повітродувки $W_{\text{ЕДП}}(p)$ застосовується трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором. Як і в контурі керування витратою палива (п. 3.2) керування частотою обертання здійснюється шляхом зміни частоти живлячої напруги. Тому всі закономірності й формули для приводного електродвигуна живильника (3.2), (3.3), що отримані в попередньому підрозділі справедливі для приводного електродвигуна повітродувки. Таким чином, з урахуванням виразів (3.2) і (34.3) отримана передатна функція $W_{\text{ЕДП}}(p)$ приводного асинхронного електродвигуна повітродувки:

$$W_{\text{ЕДП}}(p) = \frac{57,8}{(0,46p + 1)8,3p + 57,8} = \frac{57,8}{3,8p^2 + 8,3p + 57,8}. \quad (3.12)$$

Для необхідної зміни частоти живлячої напруги електродвигуна повітродувки застосовується тиристорний перетворювач частоти такий же, як і для приводного електродвигуна живильника палива. Тому передатна функція тиристорного перетворювача частоти $W_{\text{ТПЧ}}(p)$ відповідає формулі (3.5).

Датчик витрати повітря може бути представлений у вигляді безінерційної ланки:

$$W_{\text{ДВПП}}(p) = k_{\text{ДВПП}}. \quad (3.13)$$

Підставивши в структурну схему САК (рис. 3.7) приведені вище моделі елементів, отримана модель замкнутої САК витратою повітря без регулятора, що приведена на рис. 3.8.

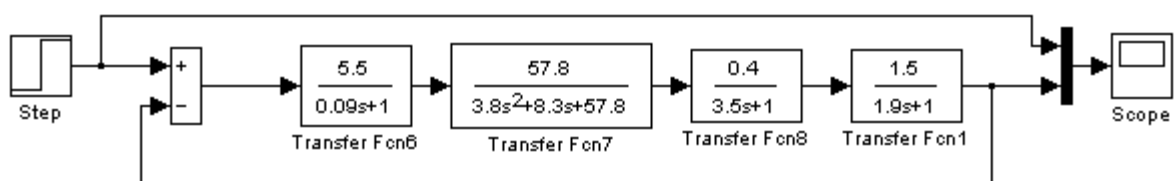


Рисунок 3.8 - Модель замкнутої САК витратою повітря без регулятора

Виконавши моделювання, отримано перехідний процес у замкнутій САК при східчастій зміні задаючого впливу - заданої витрати повітря, графік якого приведений на рис.3.9.

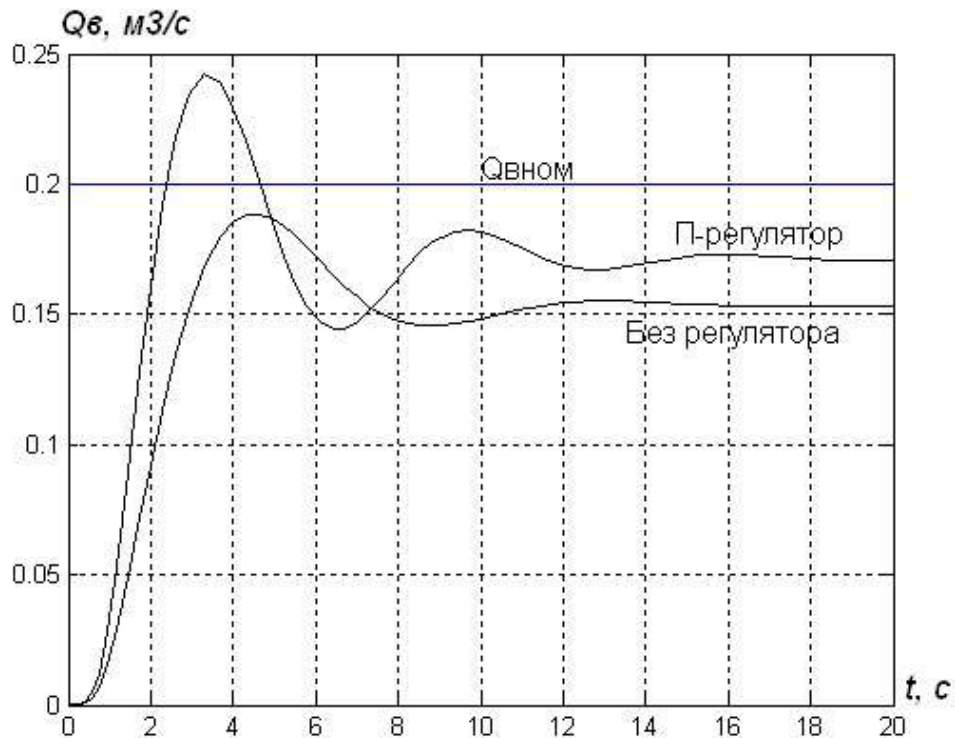


Рисунок 3.9 - Перехідний процес у замкнутій САК витратою повітря без регулятора й із пропорційним регулятором

Аналіз рис.3.9 показує незадовільні показники якості. Замкнута САК без регулятора має велику статичну помилку. У САК з П-регулятором при збільшенні коефіцієнта передачі регулятора помилка регулювання зменшується, а перерегулювання й коливальність помітно зростають.

Для одержання нульової сталої помилки й припустимого перерегулювання необхідно в закон керування додати інтегруючу складову, що перетворить пропорційний регулятор у пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор), передатна функція якого приведена вище - формула (3.7).

Для визначення параметрів налаштування ПІ-регулятора застосовано метод Зіглера-Нікольса, що заснований на використанні кривої відгуку об'єкта

[13, 14]. У результаті застосування методу отримані орієнтовні значення параметрів ПІ-регулятора, які були уточнені при дослідженні з використанням отриманої моделі САК витратою повітря:

$$W_{PB}(p) = 0,3 + \frac{0,07}{p}. \quad (3.14)$$

На рис.3.10 приведена модель замкнутої САК витратою повітря з ПІ-регулятором.

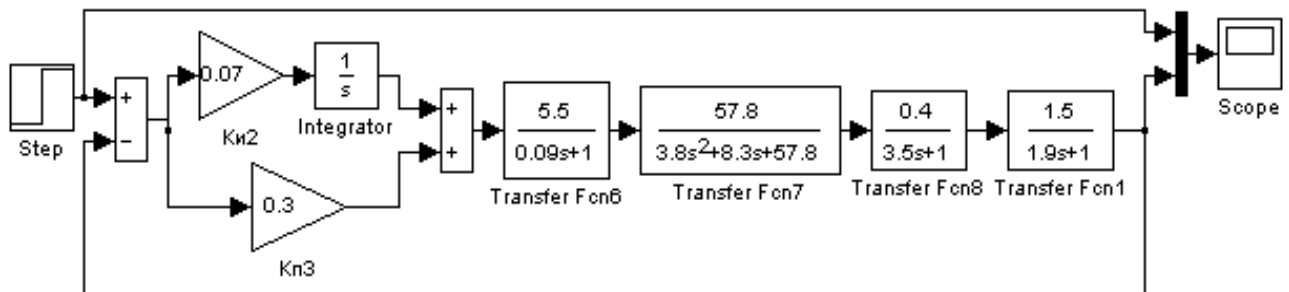


Рисунок 3.10 - Модель замкнутої САК витратою повітря з ПІ-регулятором

В результаті моделювання отримно криву перехідного процесу в САК витратою повітря з розрахованим ПІ-регулятором (рис.3.11).

Як видно із графіка (рис.3.11), в перехідному процесі САК з ПІ-регулятором відсутнє перерегулювання й усталена помилка при задовільному часі перехідного процесу.

Таким чином, запропонований ПІ-регулятор з розрахованими параметрами дозволяє отримати необхідну якість керування, показники якого задовольняють технічному регламенту та нормативним вимогам.

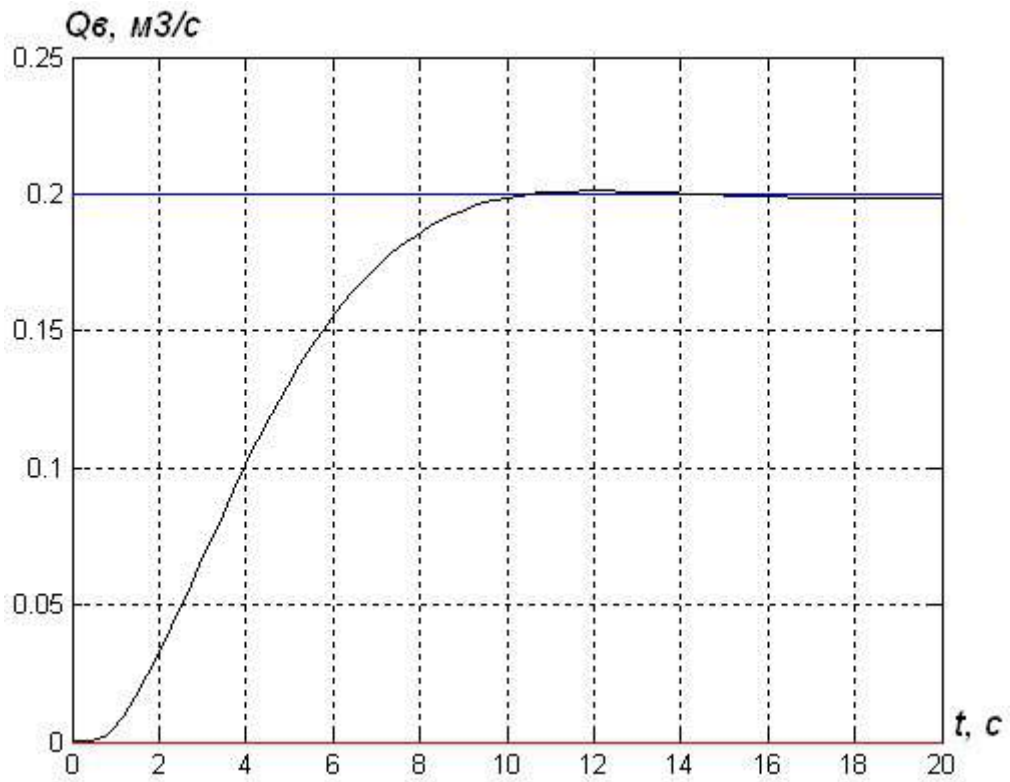


Рисунок 3.11 - Перехідний процес у замкнутій САК витратою повітря з ПІ-регулятором

3.4 Синтез регулятора в контурі керування рівнем киплячого шару

Згідно схеми САК (рис. 3.1), об'єктом керування в даному контурі є топка киплячого шару, вихідною величиною якої є рівень киплячого шару $h_{\text{КС}}(t)$, а вхідними величинами – витрата повітря $Q_{\text{в}}(t)$ і витрата палива $Q_{\text{м}}(t)$. Звідси можна отримати структурну схему моделі топки, що приведена на рис.3.12.

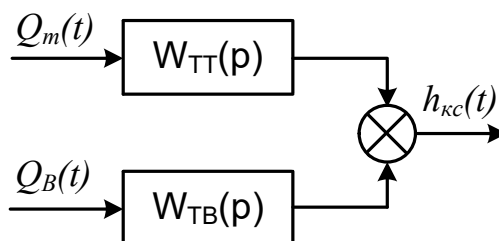


Рисунок 3.12 - Структура моделі топки з киплячим шаром

Динамічні властивості топки по каналах «витрата палива – рівень киплячого шару» $W_{TT}(p)$ і «витрата повітря – рівень киплячого шару» $W_{TB}(p)$ описуються реальними інтегруючими ланками наступного виду [16]:

$$W_{TT}(p) = \frac{k_{TT}}{p(T_{TT}p + 1)} = \frac{k_{TT}}{T_{TT}p^2 + p}, \quad (3.15)$$

$$W_{TB}(p) = \frac{k_{TB}}{p(T_{TB}p + 1)} = \frac{k_{TB}}{T_{TB}p^2 + p}. \quad (3.16)$$

Визначення параметрів передатних функцій наведене в [17].

При визначенні передатної функції регулятора рівня $W_{PP}(p)$ (рис. 3.1) необхідно враховувати інтегруючі властивості об'єкта керування – топку з киплячим шаром (3.15), (3.16). Відомо, що застосування законів регулювання, що містять інтегральну складову (І, ПІ, ПІД) на такому об'єкті неприйнятно за умовами стійкості [13]. Тому, для одержання заданих показників якості пропонується використовувати ПД-регулятор з наступною передатною функцією:

$$W_{PV}(p) = k_{\Pi} + k_D p, \quad (3.17)$$

де k_{Π} й k_D – параметри ПД-регулятора.

Вибір параметрів ПД-регулятора виконаний експериментально з використанням моделі САК рівнем киплячого шару, що приведена на рис.3.13.

Застосування методу послідовних наближень на моделі САК (рис.3.13) дозволило визначити передатну функцію ПД-регулятора, що забезпечує задані показники якості керування:

$$W_{PP}(p) = 0,07 + 2p. \quad (3.18)$$

При моделюванні отримано криву перехідного процесу в САК рівнем киплячого шару з розрахованим ПД-регулятором при довільній зміні завданого рівня, що відображає можливу зміну навантаження енергоблоку (рис.3.14).

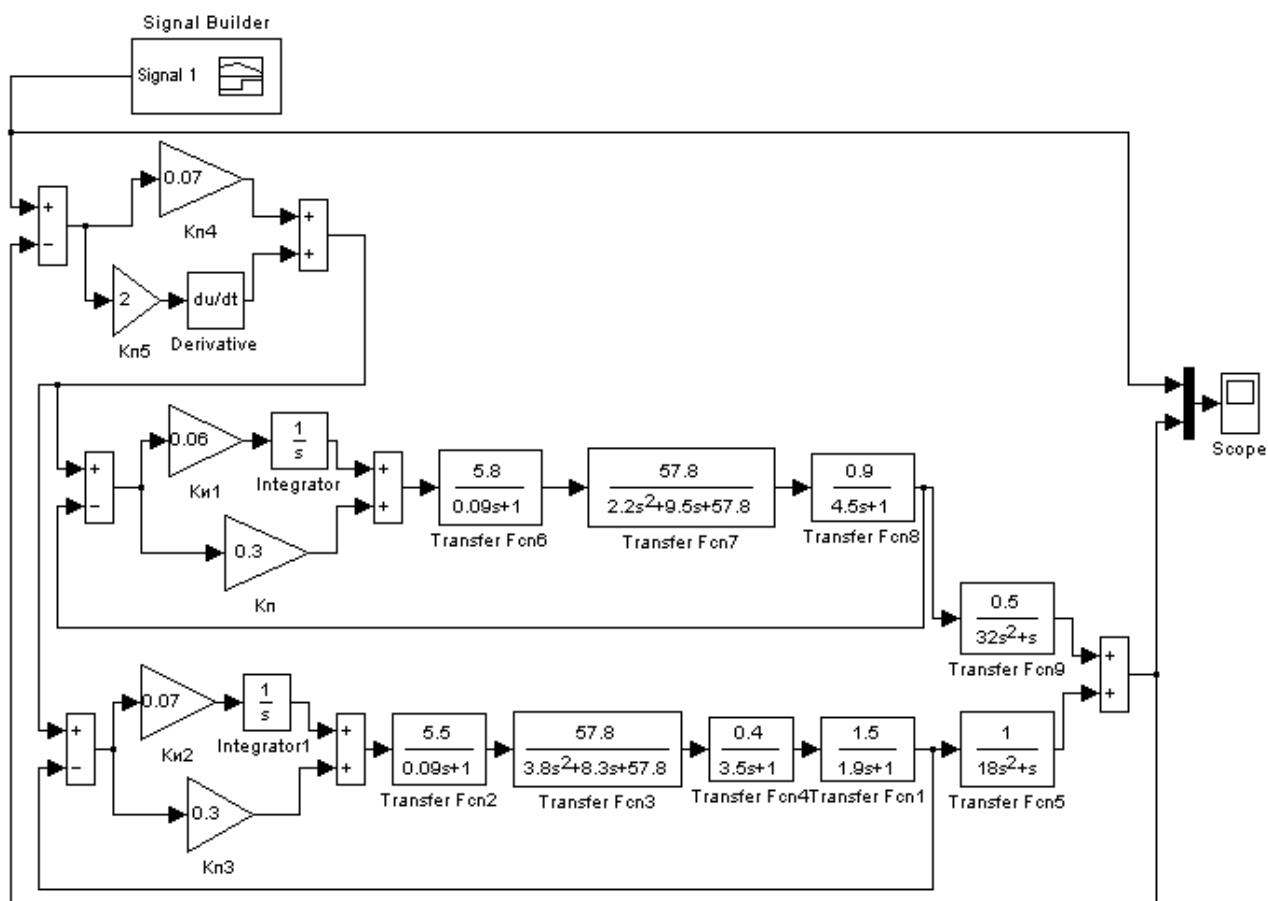


Рисунок 3.13 – Модель САК рівнем киплячого шару

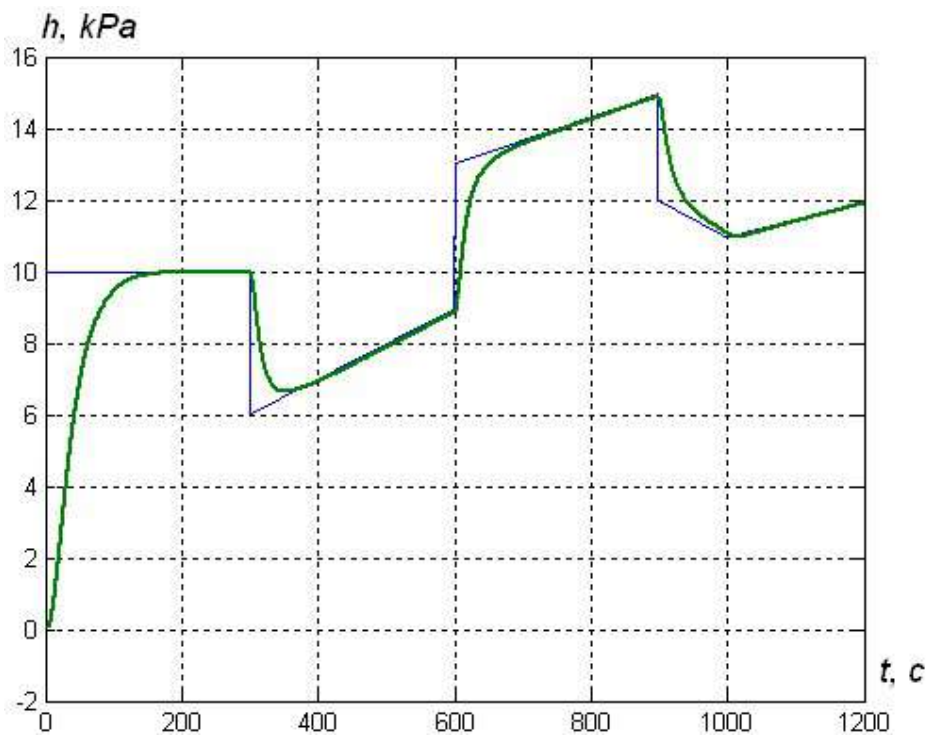


Рисунок 3.14 - Зміна рівня киплячого шару в замкнутій САК із ПД-регулятором при зміні заданого рівня відповідно до зміни навантаження енергоблоку

Як видно із графіка (рис.3.14) перехідний процес САК рівнем киплячого шару з ПД-регулятором зовнішнього контуру й з ПІ-регуляторами внутрішніх контурів не має перерегулювання й усталеної помилки при задовільному часі перехідного процесу.

Висновки до розділу 3

1. Виконано синтез двоконтурної САК рівнем киплячого шару. Розроблені моделі внутрішніх контурів регулювання витрати палива та витрати первинного повітря дозволили обрати та налаштувати ПІ-регулятори для обох контурів. Виконане моделювання підтвердило ефективність отриманих налаштувань типових регуляторів.

2. Розроблені математичні моделі контуру керування рівнем киплячого шару з урахуванням властивостей об'єкта керування – топки, контуру витрати палива й контуру витрати повітря.

3. Запропоновані регулятори зовнішнього контуру – ПД-регулятор рівня і внутрішніх контурів – ПІ-регулятор витрати палива й ПІ-регулятор витрати повітря з встановленими параметрами дозволяють отримати необхідну якість керування, показники якого задовольняють технологічному регламенту та нормативним документам функціонування ТЕС.

4 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ

4.1 Характеристика ділянки котлоагрегатів

Метою даної роботи є створення автоматичного керування рівнем киплячого шару котла АЦСК-670 для умов ТЕС.

До основних шкідливих та небезпечних факторів ділянки котлоагрегатів ТЕС можна віднести наявність у повітрі ділянки окису вуглецю (СО), дрібнодисперсного вугільного та вапнякового пилу.

Згідно з санітарними нормами ГДК норма СО становить 20 мг/м³. Він має специфічний запах, безбарвний. Присутність СО призводить до кисневого голоду організму, що при значних концентраціях СО в повітрі протягом тривалого часу може призвести до серйозного захворювання або смертельного випадку.

Пилові частинки можуть впливати на організм людини, проникаючи через органи дихання, шлунково-кишковий тракт та неущожену шкіру. Дрібнодисперсний пил за характером впливу на організм людини є подразнюючим, поранення пилинками слизових оболонок дихальних шляхів викликає болісне почервоніння, яке може перейти до запалення та катарального стану. Пил, що потрапляє до очей, викликає запальний процес їхніх слизових оболонок – кон'юктивіт. Дія пилу на шкіряний покрив викликає невеликий свербіж, або навіть запалення при розчісуванні.

З метою захисту органів дихання від оксиду вуглецю та дрібнодисперсного вугільного та вапнякового пилу на ділянці котлоагрегатів ТЕС передбачена наявність респіраторів протигазів РШ-4 з гопкалітовим патроном ДП-1. Для захисту від пилу шкіри передбачений спецодяг, а для захисту очей – захисні окуляри ЗН11.

4.2 Основні шкідливі виробничі фактори, що впливають на умови праці робітників операторського пункту

Діяльність працівників операторського пункту ділянки котлоагрегатів ТЕС напряму пов'язана з роботою на комп'ютерному обладнанні (стаціонарний комп'ютер). До основних шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, пов'язаних з роботою на персональному комп'ютері належать: напруга зорових органів та перевтомлення очей; навантаження на кисті рук та пальці; тривале знаходження в статичному стані, що викликає застійні явища в організмі; випромінювання різного виду (рентгенівське, електромагнітне, інфрачервоне, електростатичні поля); механічні шуми, пов'язані з роботою кулера, дискового приводу, оргтехніки; іонізація повітря; виділення в повітря робочого приміщення різних хімічних речовин (озон, триметілфосфат, біфеніл); небезпека статичної електрики.

До психологічно шкідливих факторів можна віднести розумову напругу та нервово-емоційне перевантаження, які виникають внаслідок підвищеної концентрації уваги. Усі ці фактори негативно впливають на здоров'я працівників операторського пункту газоочисного тракту та сприяють виникненню професійних захворювань: комп'ютерний зоровий синдром; радіохвильова хвороба; синдром висихання рогівки ока (хвороба Сіка); кистьовий тунельний синдром; захворювання шкіри; захворювання кишкового тракту; серцево-судинні захворювання; комп'ютерна алергія.

4.3 Заходи щодо поліпшення умов праці робітників

Для зменшення шкідливого впливу негативних факторів виробничого середовища на працівників операторського пункту ділянки котлоагрегатів вжиті заходи:

- приміщення розташовано на першому поверсі цеху;

- приміщення обладнане системами опалення та кондиціонування повітря;
- відносна вологість повітря за допомогою кондиціонування підтримується на рівні 40-60%;
- для підлоги використано лінолеум з антистатичного матеріалу;
- площа на одного працюючого складає 12 м²;
- відстань від робочого місця з ПК до стіни з вікном становить 1,5 м, від інших стін – 1 м, а між столами – 1,5 м;
- для обробки приміщення використані матеріали, що не виділяють шкідливі хімічні речовини;
- розроблено графік роботи операторів ПК, згідно з яким час праці за ПК не перевищує 20 годин на тиждень, кожні 45 хв. передбачена перерва на 5 хв.

Всі вжиті заходи відповідають вимогам санітарних норм і правил.

Згідно з вжитими заходами розроблено схему необхідного розташування робочих місць (рис. 4.1).

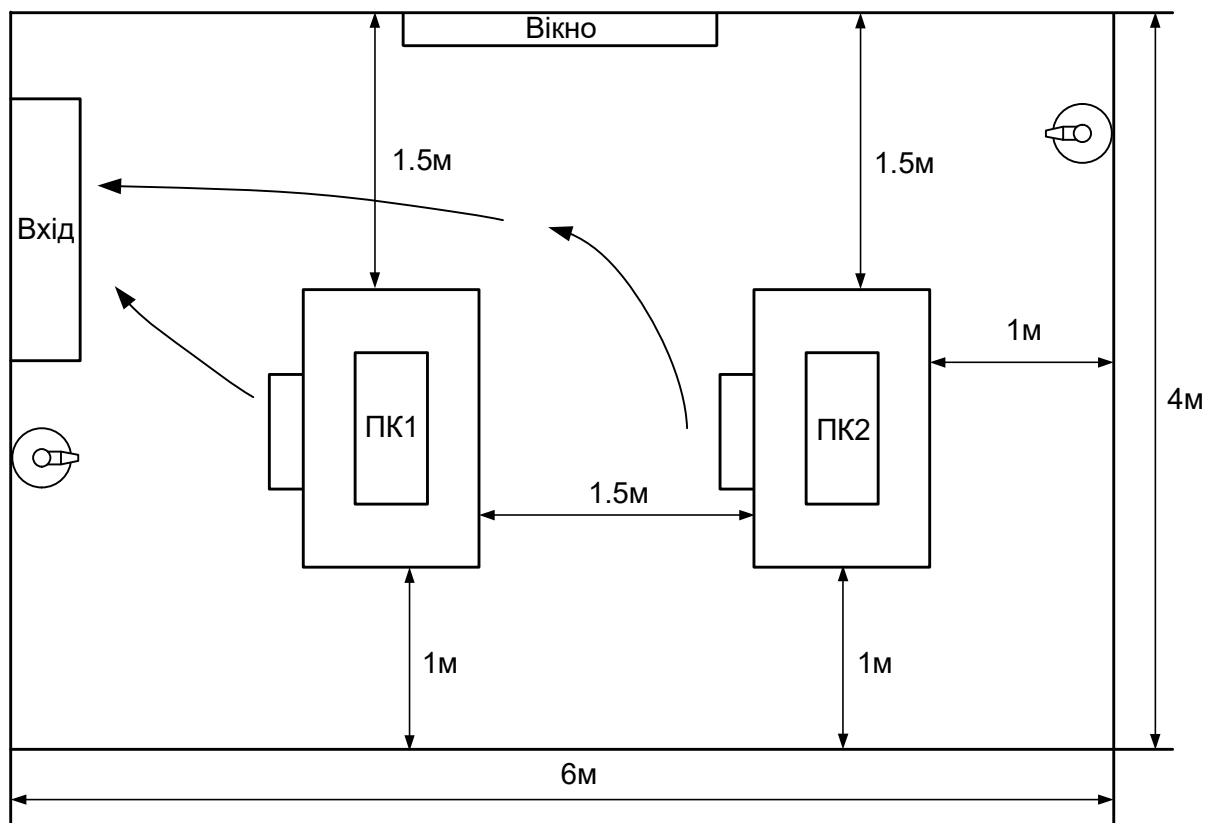


Рисунок 4.1 – Розташування робочих місць з ПК

4.4 Розрахунок кондиціонування та вентиляції у приміщенні

Розрахунок виконується згідно [18].

В операторському пункті ділянки котлоагрегатів є джерела екстремальних температур, тому потрібно визначити необхідні умови їх вентильовання. Витрату повітря у відділі з додатковим тепловиділенням визначаємо по формулі:

$$L = \frac{Q_{над}}{c \cdot p \cdot (t_в - t_н)}, \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (4.1)$$

де $Q_{над}$ - надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c - теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p - питома вага повітря (1,185 кг/м³ при +25 °С з табл. 2.33 [18]); $t_в$ - температура витяжного повітря (25 °С); $t_н$ - температура припливного повітря (20 °С).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла по формулі:

$$Q_{над} = Q_{уст} + Q_{пер} + Q_{осв} + Q_{ср}, \quad (4.2)$$

де $Q_{уст}$ - тепло, що виділяється устаткуванням; $Q_{пер}$ - тепло, що виділяється персоналом; $Q_{осв}$ - надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{ср}$ - надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$\begin{aligned} Q_{уст} &= P \cdot K_a \cdot K_b \cdot 860 = \\ &= (0.4 + 0.4) \cdot 0.95 \cdot 1 \cdot 860 = 653.6, \text{ ккал/год.}, \end{aligned} \quad (4.3)$$

де P - сумарна потужність устаткування (два комп'ютери по 0.4 кВт/год.); K_a - коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_b - коефіцієнт одночасної

роботи (1,0).

Визначимо тепло, що виділяється персоналом за формулою:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 145 = 290, \text{ ккал/год.}, \quad (4.4)$$

де n - кількість працюючих; g - кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (145 ккал/год. для фізично легкої роботи).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення:

$$Q_{осв} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 400 \cdot 0,05 \cdot 24 = 480, \text{ ккал/год.}, \quad (4.5)$$

де E_M - нормована освітленість (для зорової роботи середньої точності приймаємо рівним 400 лк згідно з [15]); g_1 - питома тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для люмінесцентних ламп - 0,05 ккал/год.); S - площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна:

$$Q_{cp} = F \cdot g_2 \cdot K_{осл} = 2,25 \cdot 65 \cdot 0,4 = 58,5, \text{ ккал/год.} \quad (4.6)$$

де F - площа віконних прорізів (2,25 м²); g_2 - кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{осл}$ - коефіцієнт ослаблення (приймаємо 0,4).

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{над} = 653,6 + 290 + 480 + 58,5 = 1482,1, \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{1482.1}{0.237 \cdot 1.185 \cdot (25 - 20)} = 1055.5, \text{ м}^3/\text{год.}$$

Згідно з визначеними витратами повітря в приміщенні вибираємо кондиціонер продуктивністю 1000 м³/год. Kentatsu KSGH61HFAN1. Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Відповідно до даних санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря і відносна вологість у холодний період року складає 22÷24 °С, 0,1 м/с і 40÷60 % відповідно. У теплий період року температура повітря складає 23÷25 °С, швидкість руху повітря 0,1÷0,2 м/с, вологість 40÷60 %. Температура може коливатися від 22 до 26 °С при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Фактичні параметри операторського пункту газоочисного тракту цілком відповідають вище зазначеним нормам.

4.5 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання

Розрахунок виконується згідно [18].

Розміри операторського пункту: довжина ($a = 6$ м), ширина ($b = 4$ м), висота ($h = 3.1$ м). Мінімальна освітленість за нормами $E = 400$ лк. Приміщення пофарбовано у світлу фарбу: коефіцієнт відбиття - $P_{стін} = 50\%$, $P_{стелі} = 70\%$. Висота робочих поверхонь (столів) - $h_p = 0.7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвішуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0.5$ м.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3.2 - 0.5 = 2.7, \text{ м.} \quad (4.7)$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до

[18] повинна бути у межах 2.5÷4.0 м, залежно від характеристики світильника. В нашому випадку висота відповідає цим вимогам.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею

$$h = h_0 - h_p = 2.7 - 0.7 = 2, \text{ м.} \quad (4.8)$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) і висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0.7 \cdot h = 0.7 \cdot 2 = 1.4, \text{ м.} \quad (4.9)$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 4}{1.4^2} = 6.12, \text{ шт.} \quad (4.10)$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у 2 ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника визначається за формулою:

$$\Phi_L = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta}, \text{ ккал/год.}, \quad (4.11)$$

де E - нормативна освітленість, лк; K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп (1,3 при робочому приміщенні з повітрям, що містить в робочій зоні менше 1 мг/ м³ пилу, диму кіптяви, взято з табл. [18]); S - площа приміщення, що освітлюється, м²; Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розжарювання (1,15); N - кількість світильників; n - кількість ламп у світильнику; η - коефіцієнт використання світлового потоку, який

визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення для кожної зони:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{4 \cdot 6}{2 \cdot (4 + 6)} = 1,2. \quad (4.12)$$

7) З таблиці [18] знаходимо коефіцієнт використання ($\eta = 0.52$) для світильників УПМ-15 (при $P_{стелі} = 70\%$, $P_{стін} = 50\%$).

8) Світловий потік одного світильника, а отже і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{л} = \frac{400 \cdot 1,3 \cdot 24 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,52} = 4600, \text{ лм.}$$

9) З таблиці [18] обираємо лампу розжарювання типу Б потужністю 300 Вт, світловий потік якої становить 4600 лм. Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$\Sigma P_{св} = P \cdot N = 300 \cdot 6 = 1.8, \text{ кВт.} \quad (4.13)$$

4.6 Пожежна безпека

Згідно з Правилами пожежної безпеки в Україні в приміщенні операторського пункту ділянки котлоагрегатів встановлено один тепловий сповіщувач типу ДТЛ [18] та два газових вогнегасники типу ОУ-5 (Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників).

У приміщенні операторського пункту ділянки котлоагрегатів розроблена «Інструкція про заходи пожежної безпеки для операторського пункту ділянки котлоагрегатів». Вона є обов'язковою для виконання всіма співробітниками. Електроживлення ПК виконано із заземленим дротом. Двері на шляхах евакуації відчиняються в напрямку виходу з приміщень. У кожному приміщенні на видному місці вивішено план евакуації при пожежі.

Будівля обладнана мережею протипожежного водозабезпечення, установками виявлення та гасіння пожеж газового типу МГП «Імпульс-20», а також має два евакуаційні виходи.

4.7 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Однією з ймовірних загроз може стати раптове виникнення пожежі внаслідок короткого замикання в електромережах або витoku та запалювання оксиду вуглецю, що може привести до пошкодження і руйнування будівлі, устаткування, комунікацій, виділення токсичних продуктів горіння.

З метою запобігання витoku великої кількості оксиду вуглецю ділянка газоочищення обладнана сигналізатором загазованості УКЗ-РУ-СО.

На ділянці котлоагрегатів розроблено оперативний план гасіння пожежі, який визначає порядок дії персоналу при пожежі, порядок її гасіння в електроустановках, взаємодію з власним складом пожежних підрозділів, а також застосування схем і засобів пожежогасіння з урахуванням заходів безпеки.

У випадку виявлення пожежі необхідно:

- негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище;
- повідомити про пожежу керівництво, а в нічний час чергового охоронця;

У разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі на початковій стадії її розвитку випромінюється тепло, токсичні продукти горіння, ймовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі.

При виникненні пожежі, після виклику пожежної охорони, необхідно попередити про це усіх, хто знаходиться поруч, після чого евакуюватися самому і по можливості допомогти евакуюватися іншим.

Висновки до розділу 4

Наведені основні шкідливі виробничі фактори, що впливають на умови праці робітників на ділянці котлоагрегатів, заходи щодо захисту від них, розрахунок кондиціонування та освітлювання операторського пункту, міри щодо пожежної безпеки, дії при надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

1. В роботі бакалавра розроблено та спроектовано систему автоматичного керування рівнем киплячого шару в котлі АЦСК-670 ТЕС.
2. Запропоновано керування рівнем киплячого шару в котлі здійснювати одночасною зміною витрати палива та витрати первинного повітря. Показано, що необхідна ефективність керування рівнем киплячого шару в котлі досягається використанням дворівневої САК.
3. Розроблені необхідні математичні моделі об'єкта керування – топки з циркулюючим киплячим шаром, контуру керування рівнем киплячого шару в котлі, витрати палива та витрати первинного повітря.
4. Виконано вибір алгоритмів за всіма контурами керування та підтверджена їх ефективність за результатами математичного моделювання.
5. Розроблено структурну схему системи, на основі якої обрані сучасні елементи системи САК рівнем киплячого шару в котлі: технологічні датчики, програмований логічний контролер Simatic S7-200 промислова мережа Modbus для взаємодії виконавчих механізмів з центральним процесорним пристроєм.
6. Розроблена система дозволяє підвищити ефективність процесу спалювання вугілля в циркулюючому киплячому шарі, а також здійснювати регулювання рівня киплячого шару в залежності від потрібного навантаження котла.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беляев А.А., Рогайлин М.И. Низкотемпературные методы сжигания угля в кипящем слое. М.: ЦНИЭИуголь, 1986. – 287 с.
2. Вискин Ж. В., Шелудченко В. И. Сжигание угля в кипящем слое и утилизация его отходов — Донецк: Типография “Новый мир”, 1997. – 284 с.
3. Махорин К. Е., Хинкис П. А. Сжигание топлива в псевдоожиженном слое. Киев: Наукова Думка, 1989 – 204с.
4. Александров В.Г. Вопросы проектирования паровых котлов средней и малой производительности. М.-Л., Госэнергоиздат, 1990. – 316 с.
5. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов., 3-е изд., перераб.-М.:Энергоатомиздат, 1988. – 345 с.
6. Конвейерные весы DynaTex BSG1. Паспорт (Инструкция по монтажу и эксплуатации). – 2012.- 19 с.
7. Интеллектуальные преобразователи давления, уровня, расхода Метран-100. Инструкция по эксплуатации РИЮУ.406233.001 ТУ, 2013. – 28 с.
8. Unidrive VTC - универсальный электропривод с регулируемой скоростью вращения асинхронных и исполнительных двигателей. Руководство по установке. – 2006. – 58 с.
9. SIMATIC S7-200:Каталог оборудования. SIEMENS ST70-2010-2010г. – 190с.
10. SIMATIC S7-200: CPU 22х – Технические данные. – Издание 2010г.- 248 с.
11. Гаврилов П.Д., Гимельшейн Л.Я., Медведев А.Е. Автоматизация производственных процессов. Учебник для вузов. М.: Недра, 1985. – 215с.
12. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов.— Л.: Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1982.— 392 с.

13. Лукас В. А. Теория автоматического управления. – М.: Недра, 1990. – 416 с.
14. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью.- М.: Лаборатория Базовых знаний.- 2001 - 616 с.
15. Михайлов А.К., Ворошилов В.П. Компрессорные машины: Учебник для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 1989. – 286 с.
16. Бородуля В.А., Гупало Ю.П. Математические модели химических реакторов с кипящим слоем. - Мн.: Наука и техника, 1986. – 208 с.
17. Бубенчиков А.М., Старченко А.В., Стропус В.В. Математическое моделирование аэродинамики и тепломассопереноса в устройствах с циркулирующим кипящим слоем//Теплоэнергетика.– 1995.- № 9.– с. 37-41.
18. Жидецкий В.Ц., Джигерей В.С. та інш.: Практикум з охорони праці. Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.

ДОДАТОК А

Характеристики обраного обладнання

Технічні характеристики конвеєрних ваг DynaTex BSG1 [6]:

- точність: 0,5% у діапазоні робочої витрати 10-110%
- ширина стрічки: 500 – 2000 мм;
- швидкість стрічки: до 3 м/с;
- витрата: до 3000 т/год;
- нахил конвеєра: до $\pm 20^\circ$ від горизонталі;
- відстань між ролюпопорами: від 0,5 до 1,5 м;
- діаметр ролика: від 50 до 180 мм;
- вихідний параметр: маса або витрата (на вибір);
- вихідний сигнал: аналоговий 4...20 мА;
- виконання: вибухобезпечне;
- наробіток на відмову: не менш 7000 год.

Технічні характеристики модулів Unidrive VTC

Таблиця А.1 – Технічні характеристики модулів Unidrive VTC

Модель	Типо-розмір	Потужність, кВт	Вихідна напруга та частота	Габаритні розміри - висота/довжина/ширина, мм	Мережний інтерфейс
VTC 1401	1	1,1		366/200/95	
VTC 1402		2,2			
VTC 1403		3,3			
VTC 1404		4,4			
VTC 1405		5			
VTC 2401	2	10	Напруга: від 0 В до напруги	366/200/190	RS232
VTC 2402		20			RS485
VTC 3401		30			Profibus-DP*

VTC 3402	3	50	живлення мережі Частота: 0-2000 Гц	756/500/300	Interbus-S* Modbus* Devicenet*
VTC 3403		80			
VTC 3404		110			
VTC 3405		150			
VTC 4401	4	200		1600/1000/700	
VTC 4402		300			
VTC 4403		400			
VTC 4404		500			
VTC 4405		600			

*- інтерфейс вибирається на бажання замовника.

Технічні характеристики процесора CPU 224XP (6ES7 214-2BD23-0XB0)

- максимальна кількість входів-виходів системи 94 DI + 90 DO;
32 AI + 13 AO;
- вбудовані дискретні входи й виходи: 14 входів і 10 виходів;
- вбудовані аналогові входи й виходи: 2 входи й 1 вихід;
- вбудований інтерфейс – RS- 485;
- шина розширення: для підключення до 7 модулів розширення;
- час виконання інструкцій 0.2 мс
- об'єм пам'яті програм: 16 Кбайт;
- об'єм пам'яті даних 10 Кбайт;
- кількість прапорів 256;
- кількість лічильників 256;
- кількість таймерів 256;
- входи переривань: для забезпечення швидкої реакції на появу наростаючого або спадаючого фронту вхідного сигналу;
- 6 швидкісних лічильників (2х200 кГц, 4х30 кГц);

- розширення дискретними, аналоговими й комунікаційними модулями;
- 2 вбудованих потенціометри, які використовуються для простого завдання параметрів настроювання таймерів або лічильників;
- 2 імпульсних виходи (не більше 100 кГц);
- годинники реального часу: для присвоєння повідомленням оцінок дати й часу або реалізації алгоритмів керування у функції часу;
- пакет програмування STEP 7.

Технічні характеристики модуля аналогового вводу ЕМ 231

- кількість входів - 4;
- межі вимірювання - 0...5В; 0...10В; 0...20мА; 4...20мА;
- максимально допустима напруга на вході виміру напруги – 30 В;
- максимально припустимий струм для струмового входу – 32 мА;
- розрядність перетворення – 12 біт;
- погрішність – $\pm 0,1 \%$;
- споживаний струм:
 - від внутрішньої шини контролера (=5В) - 20мА;
 - від джерела живлення датчиків або зовнішнього блоку живлення (=24В) - 60мА;
- споживана потужність – 2 Вт;
- діапазон робочих температур – 10...60°C;
- відносна вологість до 90%.