

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 681.5:664.1:636.082.474

ПОГОДЖЕНО

Директор Інституту енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва Інституту)

В.В. Каплун

(підпис)

(ПІБ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматики
та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

В.П. Лисенко

(підпис)

(ПІБ)

«__» _____ 2022 р.

«__» _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.2067"С".2021.12.08.003.ПЗ

на тему «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КОТЛОАГРЕГАТОМ ІЗ
ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ
SIEMENS»

Спеціальність: 151- «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр/назва)

Магістерська програма: Комп'ютерно-інтегровані системи управління
технологічними процесами у галузях АПК
(назва)

Гарант освітньої програми

Виконав

Керівник магістерської роботи

(підпис)

(підпис)

(підпис)

В.П. Лисенко, д.т.н., професор

(П.І.Б., науковий ступінь та вчене звання)

В.І. Глушенко

(П.І.Б. студента)

А.М. Гладкий, к.ф.-м.н., доцент

(П.І.Б., науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2022

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.Ф. Мартиненка
В.П. Лисенко
«10» грудня 2022 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Глуценку Володимиру Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по-батьків)

Спеціальність: 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Магістерська програма: Комп'ютерно-інтегровані системи управління технологічними процесами у галузях АПК

Тема магістерської роботи **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КОТЛОАГРЕГАТОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ SIEMENS»**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від 08.12.2021 року №2067 «З»

Термін подання студентом магістерської роботи 28.10.2022 року

Вихідні дані до магістерської роботи: завдання кафедри на виконання магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу отримання теплової енергії як об'єкта автоматизації.
2. Дослідження парового котлоагрегату як об'єкта автоматичного керування.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
4. Аналіз якості функціонування системи автоматичного керування.
5. Розробка схем системи автоматизації.
6. Розробка засобів візуалізації процесу керування паровим котлоагрегатом.
7. Рекомендації з технічного обслуговування і ремонту і безпеки праці з котлоагрегатом.

Дата видачі завдання «10» грудня 2021 року

Керівник магістерської роботи

Завдання прийняв до виконання

Гладкий А.М.

(Прізвище та ініціали)

Глуценко В.І.

(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ	4
РОЗДІЛ 1. Аналіз технологічного процесу отримання теплової енергії як об'єкта автоматизації	6
1.1. Теплогенеруючі установки у промисловому і сільськогосподарському виробництві	6
1.2. Класифікація парових котлоагрегатів	8
1.3. Конструкція парового котлоагрегату	11
РОЗДІЛ 2. Дослідження парового котлоагрегату як об'єкта автоматичного керування	13
2.1. Параметричний аналіз котлоагрегату як об'єкта автоматизації	13
2.2. Розробка та дослідження математичної моделі системи керування температурним режимом у промисловій теплиці	16
РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань	22
3.1. Функціональна схема автоматизації системи керування паровим котлоагрегатом	22
3.2. Вибір алгоритму керування	25
3.3. Реалізація алгоритму керування	27
3.3.1 Вибір термометра опору	27
3.3.2 Вибір датчика тиску	29
3.4. Вибір програмно-логічного контролера	32
РОЗДІЛ 4. Аналіз якості функціонування системи автоматичного керування	35
4.1. Побудова функціонально-структурної та структурно-алгоритмічної схеми САК	35
4.2. Оцінка показників якості роботи системи керування за умови використання ПІД-регулятора	36
РОЗДІЛ 5. Розробка схем системи автоматизації	42

5.1 Розробка схеми електричної принципової САК роботою парового котлоагрегату	42
5.2. Вибір апаратів захисту	46
5.3. Вибір проводів і кабелів схеми керування	48
5.4. Розробка загального виду щита управління	49
РОЗДІЛ 6. Розробка засобів візуалізації процесу керування паровим котлоагрегатом	51
6.1. Програмне конфігурування обладнання системи керування	51
6.2. Розробка програмного забезпечення контролера САК	54
РОЗДІЛ 7. Рекомендації з технічного обслуговування і ремонту і безпеки праці з котлоагрегатом	58
7.1. Технічне обслуговування та ремонт котлоагрегату	58
7.2. Рекомендації з електробезпеки при роботі з котлоагрегатом	61
7.3. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	64
Висновки	66
Література	67
Додатки	69

ВСТУП

НУБІП України

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку людської цивілізації

передбачає застосування різних видів енергії. Основну роль у цьому відіграє

НУБІП України

галузь під назвою енергетика. Енергетика – це галузь господарства, що охоплює велику кількість натуральних і штучних систем, що застосовуються для перетворення, розподілення та застосування енергетичних ресурсів.

В основному її завданням на сучасному етапі є перетворення одних

НУБІП України

видів енергії у інші.

Різні види форм енергії, властивість їх перетворення надає можливість застосовувати їх у відповідності до потреб промисловості, населення.

Поєднання у застосуванні різноманітних форм енергії виникло в середині XIX

НУБІП України

століття, що дало змогу накопичити великий досвід трансформації певних

форм енергії в інші. Потреба в перетворенні виникла у необхідності використання конкретних видів енергії (в основному тепла та електроенергії) в

технологічних процесах, водночас за достатньо широкою різноманітності

початкових енергоресурсів. Незважаючи на це, ці два види енергії

НУБІП України

використовуються в різних формах: теплота – у формі пари, високої температури газів та води різної температури, а електрика – у формі змінного або постійного струму.

Основними початковими джерелами були і залишаються осередки

викопного палива (природний газ, нафта, вугілля, горючі сланці та ін.).

НУБІП України

Трансформація енергії зазвичай проходить в різних системах. Сьогодні енергетикою застосовуються основні п'ять видів установок: генеруючі, акумулюючі, перетворюючі, транспортуючі та споживаючі.

Осередок сучасної теплоенергетики складається з теплових

НУБІП України

електростанцій (ТЕС), котрі працюють на базі парових турбін та котлів.

Постійне удосконалення установок триває вже понад 100 років. Енергетична ефективність використання конкретних видів енергоресурсів, рівень

досконалості енергетичних установок визначається коефіцієнтом корисної дії (к.к.д) установки.

Технологія окислення (спалювання палива) передбачає забезпечення подачі палива та окислювача в чітко визначених пропорціях для найбільш ефективного спалювання палива і отримування тепла. Такі установки характеризуються умовною неперервністю протікаючих в них процесів.

Системи автоматичного регулювання відіграють не аби яку роль у ході цього процесу, що дозволяє мінімізувати затрати, підвищити ефективність, здійснювати легкий контроль за об'єктом управління у ході виконання технологічного процесу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1

НАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Теплогенеруючі установки у промисловому і сільсько-господарському виробництві

Основним джерелом виробництва теплової і електричної енергії є теплові електричні станції (ТЕС), які використовують хімічну енергію палива для виробітку механічної, електричної і теплової енергії.

Найбільш економічним способом отримання теплової енергії є комбінований її та електричної енергії виробіток на теплоелектроцентралях (ТЕЦ). Однак не завжди наявні необхідні умови, які економічно виправдовують спорудження великих ТЕЦ. У цьому випадку виробництво теплової і електричної енергії відокремлюється одне від одного.

При відокремленому або комбінованому виробництві теплової та електричної енергії найчастіше у якості теплоносія використовується водяна пара. Агрегати, що призначені для виробітку водяної пари, називають *парогенераторами*, або *котельними агрегатами*.

Окрім водяної пари як теплоносія використовується гаряча вода. Агрегати, призначені для отримання гарячої води, називають *водогрійними котлами*. Таким чином, основним агрегатом, призначеним для виробітку пари або гарячої води, є парогенератор або водогрійний котел.

Установки, що виробляють пару або гарячу воду, являють собою доволі складний комплекс різноманітних пристроїв і механізмів і називаються *парогенеруючими* або *котельними установками*.

Окрім зазначених установок, існує також велика кількість агрегатів, які для отримання теплової енергії у якості теплоносія використовують нагріте повітря (рис. 1.1).

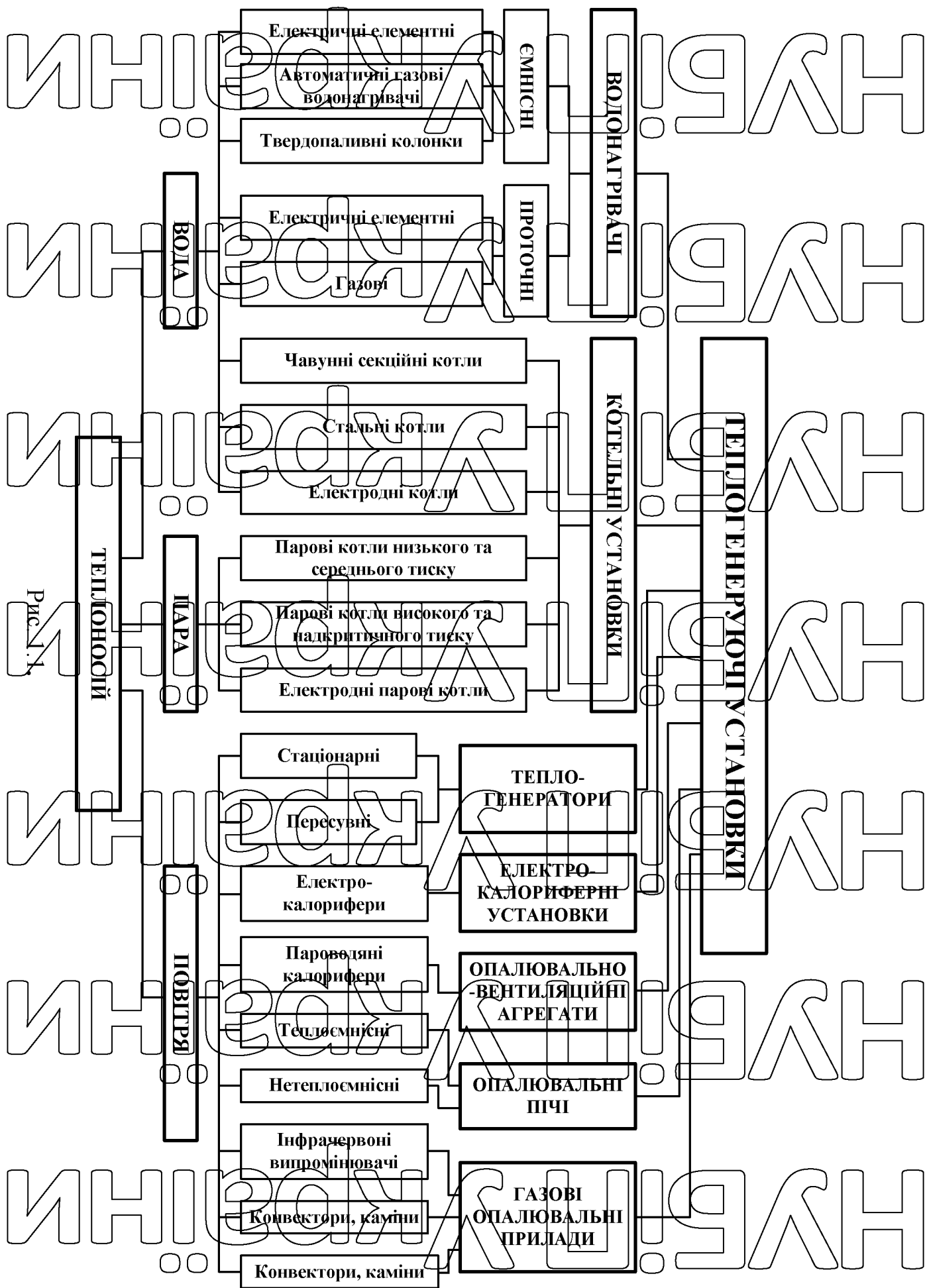


Рис. 1.1

Якщо розглянути теплопостачання будівель, існує два різновиди: *централізоване* і *міськове*. При *централізованому* теплопостачанні здійснюється окремим районам (промисловим або житловим). Для ефективної роботи *централізованої* мережі теплопостачання її будують, розділяючи на рівні, де робота кожного елемента полягає у виконанні однієї задачі. Із кожним рівнем задача елемента зменшується. *Міськове* теплопостачання – постачання теплом одного або декількох будинків. Система *централізованого* теплопостачання містить джерело теплової енергії (ТЕЦ), теплову мережу і установки теплоспоживання. Джерелами *місцевого* теплопостачання є котельні установки (котлоагрегати), печі, водонагрівачі.

Котельня установка (котлоагрегат) являє собою комплекс пристроїв, розміщених у спеціальних приміщеннях і призначених для перетворення хімічної енергії палива у теплову енергію пари або гарячої води. Основними елементами котлоагрегату є котел, топковий пристрій (топка), живильні та тягодутьові пристрої. Крім того, часто котельні оснащуються обладнанням для хімічного очищення, до складу якого входять: освітлювачі із блоком освітлювальних фільтрів; блок Na -катіонних фільтрів I та II ступеня; NaCl -іонітовий фільтр.

1.2. Класифікація парових котлоагрегатів

Для потреб енергетичної галузі промисловість виробляє широкий спектр парових котлоагрегатів, які можна класифікувати за призначенням, продуктивністю, параметрами пари, конструктивним оформленням, способами циркуляції води в них і т.п.

За призначенням парові котлоагрегати поділяються на:

- енергетичні (котлоагрегати великої продуктивності середнього і великого тиску), що виробляють пару для парових турбін;

- промислові (котлоагрегати малої і середньої продуктивності, із малим і середнім тиском), які виробляють пару як для парових турбін, так і для технологічних вимог підприємств,

- опалювальні, що виробляють пару для опалення промислових, житлових та громадських будівель; до них відносять і водогрійні котли;

- утилізаційні – котли-утилізатори, призначені для отримання пари або гарячої води за рахунок використання теплоти вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР) при переробці відходів хімічних виробництв, побутового сміття

і т.д.;

енерготехнологічні – призначені для отримання пари за рахунок ВЕР і які є невід'ємною частиною технологічного процесу (наприклад, сороренегераційні агрегати).

За продуктивністю виділяють котлоагрегати великої (більше 200 т/год.), середньої (25-200 т/год.) і малої (до 25 т/год.) продуктивності.

За тиском розрізняють котлоагрегати надвисокого (18-20 МПа) і надкритичного (більше 22,5 МПа) тиску, високого (14 МПа) тиску, середнього (4-10 МПа) і низького (до 1,4 МПа) тиску.

За характером руху води, пароводяної суміші і пари парові котлоагрегати поділяють на барабанні із багаторазовою природною циркуляцією (рис. 1.2, а – барабанні парові котли низького, середнього і високого тиску), барабанні із багаторазовою примусовою циркуляцією (рис. 1.2, б – котли-утилізатори) та прямоточні (рис. 1.2, в – котли надвисокого і надкритичного тиску).

У барабанних котлах із природною циркуляцією (рис. 1.2, а, 1.3) внаслідок різниці щільностей рідини у лівих (опускних) трубах 2 і пароводяної суміші у правих трубах (підйому) 4 відбувається рух води вниз, а пароводяної суміші – вверх. Підйомні труби розташовані у топці котла із боку нагріву (у зоні більших температур) і називаються екранними. Сукупність опускних і підйомних труб називають котельним пучком, інколи – кин'ятельними трубами.

У котлах із багаторазовою примусовою циркуляцією (рис. 1.2, б) рух теплоносія здійснюється за допомогою циркуляційного насоса.

У прямооточних котлах (рис. 1.2, в) барабан і циркуляційний контур відсутній, вода прокачується живильним насосом через водяний економайзер та випаровувальні поверхні, які з'єднані послідовно.

За видами спалюваного палива розрізняють газові, мазутні та твердопаливні котли.

Крім зазначених ознак, котлоагрегати відрізняються конструктивними ознаками (наприклад, конструкцією теплообмінників та їх кількістю, та ін.).

Отже, котлоагрегати великої потужності (продуктивність $D_{шт}$ у межах 200...2500 т/год., температура $t_{шт}$ перегрітої пари 540...570°C, тиск перегрітої пари $P_{шт} \geq 10$ МПа) є енергетичними котлами, або парогенераторами, які використовуються на теплових електростанціях.

Котлоагрегати середньої потужності ($D_{шт} = 35...200$ т/год., $t_{шт}$ близько 440°C, $P_{шт} = 4...10$ МПа) вважаються промисловими, які встановлюються на ТЕЦ.

Котлоагрегати малої потужності із насиченою або слабоперегрітою парою на виході $t_{шт} = 220...250^\circ\text{C}$ (продуктивність $D_{шт} \leq 35$ т/год., $P_{шт} \leq 1,4$ МПа) відносяться до виробничо-опалювальних і використовуються в парових або пароводогрійних котельнях.

Буквені позначення типу котла та виду спалюваного палива прийнята наступною: Е – з природньою циркуляцією; Пр – з примусовою циркуляцією;

П – прямооточний; Пп – прямооточний із проміжним перегрівом; Еп – барабанний із природньою циркуляцією та проміжним перегрівом; Г –

газоподібне паливо; М – мазут; Б – буре вугілля; К – кам'яне вугілля; Т, Ж – відповідно із твердим та рідким шлаковидаленням. Наприклад, котел

барабанний із природньою циркуляцією продуктивністю 210 т/год. із тиском 13,8 МПа і температурою перегрітої пари 565°C на кам'яному вугіллі із твердим шлаковидаленням маркується: Е-210-13,8-565 КТ.

При виконанні спрощених технологічних схем і схем автоматизації необхідно враховувати наступні конструктивні особливості котлоагрегатів:

1) до складу котлів великої продуктивності входять складні пароперегрівачі, які містять радіаційну, радіаційно-конвекційну і конвекційну складові, що розділені пароохолоджувачами та паропідігрівачами;

2) до складу котлів середньої продуктивності також входять різноманітні поверхні нагріву – конвекційний пароперегрівач із поверхневим пароохолоджувачем, одно- або двошступеневим економайзером і паронагрівачем;

3) котли малої потужності містять меншу кількість поверхонь теплообміну: не містять пароперегрівача, оскільки на виході отримується насичена пара (у деяких випадках наявний слабкий нерегульований пароперегрівач для температур 220 або 250°С), відсутній підігрівач повітря перед топкою, а економайзер часто винесений за межі котла.

Така різноманітність конструкцій котлоагрегатів не дозволяє створити єдину універсальну систему автоматичного керування їх роботою. Однак для барабанних парових котлів із природною циркуляцією (рис. 1.2, а, 1.3) можна виділити певні загальні потоки, які є характерними для цих котлів, визначити основні канали керування і відокремити їх як окремі одно-контурні системи.

1.3. Конструкція парового котлоагрегату

Парові двохбарабанні котли із розвиненими котельними пучками типу Е, Е (КЕ), ДКВ (рис. 1.4, 1.5) відносяться до котлів малої продуктивності низького та середнього тиску, що працюють на газоподібному, рідкому або твердому паливі.

Котел складається із верхнього 1 та нижнього 2 барабанів однакової довжини, які розміщені на одній вертикальній вісі. Барабани з'єднані між собою вигнутими кин'ятельними трубами (одинадцять рядів по чотирнадцять штук),

які утворюють відповідно перший 3 та другий 4 газоходи конвекційної поверхні нагрівання. Газоходи розділені між собою сталюю ширмою всією висотою газоходу котла з вікном (від фронту котла) із правого боку. Труби кип'ятильного пучка відділені від топки вертикальною ширмою 6 із жаростійкої сталі всією висотою топки, яка не доходить до лівої стінки котла, залишаючи вікно зліва від проходу топкових газів із топки у газохід.

Уся трубна система зібрана на одній рамі звареному металевому каркасі. Частина нижнього барабану закріплюється нерухомо, а інші частини котла мають ковзаючі опори і репери, які контролюють подовження елементів при температурному розширенні.

Топка сформована екранними трубами, які утворюють відповідно: 7 – лівий бічний екран; 8 – правий бічний екран (подібний лівому); 9 – задній екран топки; 10 та 11 – передній (фронтальний) і дахові екрани. Фронтальний колектор 12 в кутах топки з'єднаний двома перепускними трубами 13 із двома нижніми колекторами бічних екранів для забезпечення необхідної циркуляції води у котлі. Лівий бічний екран топки виконаний з вертикальних труб 7, приварених до нижнього горизонтального колектора 14 та верхньому похилому колектору 15. Правий бічний екран топки виконаний аналогічно лівому. Нижні колектори бічних екранів топки приварені до нижнього барабану, а верхні колектори – до верхнього барабану. Верхні колектори екранів мають люки для чищення труб і огляду колектора. Пальник 16 розташований під фронтальним колектором 12.

Обмуровка фронтальної, задньої і бічних стінок котлоагрегату виконана трьох-шаровою, а дахового екрану – із чотирьох шарів, причому у першому шарі використовується вогнестійка цегла, решта шарів складається з ізоляційних плит. Нижня частина в топці викладається вогнестійкою (діатомовою) цеглою. Обмуровка котлоагрегату назовні вкривається металевією листовою обшивкою для зменшення всмоктування повітря у газовий тракт. Обмуровка, ізоляція та металева обшивка котла закріплюються на каркасі.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРОВОГО КОТЛОАГРЕГАТУ ЯК ОБ'ЄКТА
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

2.1. Параметричний аналіз котлоагрегату як об'єкта автоматизації

На технологічній схемі парового котлоагрегату (рис. 2.1) крім основного технологічного обладнання зображені також енергетичні і матеріальні потоки процесу виробництва пари.

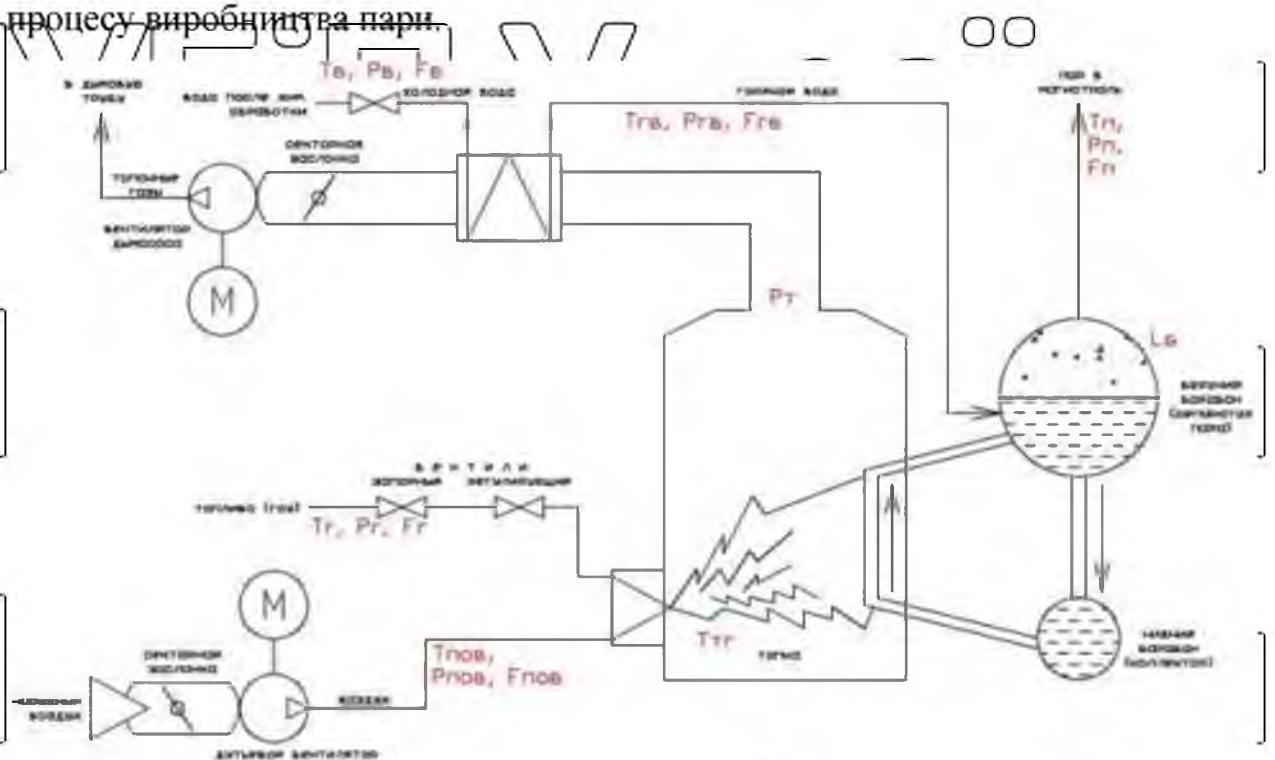


Рис. 2.1. Технологічна схема процесу виробництва пари в котлоагрегаті

На схемі (рис. 2.1) прийняті наступні позначення:

T_f, P_f, F_f – відповідно температура, тиск та витрати газоподібного палива;

$T_{пов}, P_{пов}, F_{пов}$ – відповідно температура, тиск та витрати повітря, що подається в паливник для створення паливо-повітряної суміші;

$T_{\text{т}}$ – температура, що отримується при горінні паливо-повітряної суміші в топці котлоагрегату;

$P_{\text{т}}$ – тиск, що створюється у топці при горінні;

$L_{\text{б}}$ – рівень живлячої води у верхньому барабані котлоагрегату;

$T_{\text{в}}$, $P_{\text{в}}$, $F_{\text{в}}$ – відповідно температура, тиск та витрати живлячої води на вхід котлоагрегату;

$T_{\text{гв}}$, $P_{\text{гв}}$, $F_{\text{гв}}$ – відповідно температура, тиск та витрати живлячої води

після економайзера;

$T_{\text{п}}$, $P_{\text{п}}$, $F_{\text{п}}$ – відповідно температура, тиск та витрати пари, що надходить споживачеві (на виході котлоагрегату).

Наведені вище параметри можна поєднати у декілька груп параметрів за їх ознаками.

1. Група *технологічних* параметрів, які визначають номінальні

значення та їх допустимі відхилення результату протікання технологічного процесу, тобто отримання продукту із заданими властивостями ($F_{\text{п}}$, $T_{\text{п}}$).

2. Група *експлуатаційних* параметрів, значення і допуски яких

визначають умови нормального безаварійного протікання технологічного

процесу ($P_{\text{п}}$, $L_{\text{б}}$, $P_{\text{т}}$, $P_{\text{пов}}$, $P_{\text{т}}$, $P_{\text{в}}$, $P_{\text{гв}}$).

3. Група *техніко-економічних* параметрів, номінальні та гранично

допустимі значення яких визначають ефективність, безпечність та

екологічність роботи обладнання котлоагрегату ($T_{\text{гв}}$, $F_{\text{гв}}$).

4. Група *сировинних* параметрів характеризує властивості продукту,

який перероблюється ($T_{\text{в}}$, $F_{\text{в}}$). У даному випадку, до цих параметрів також

відносять такі, що характеризують якість води (наявність фізичних та хімічних домішок та ін.).

5. Група енергетичних параметрів, значення яких визначають

кількість енергії, яка прикладається із зовні для зміни властивостей

перероблюваного продукту (у даному випадку води, що перетворюється у пару, і природнього газу у якості пального – $T_{г}, F_{г}, T_{пов}, F_{пов}, T_{гв}$).

У результаті проведеного аналізу впливу взаємного впливу параметрів

складемо узагальнену параметричну схему котлоагрегату як об'єкта автоматизації (рис. 2.2).

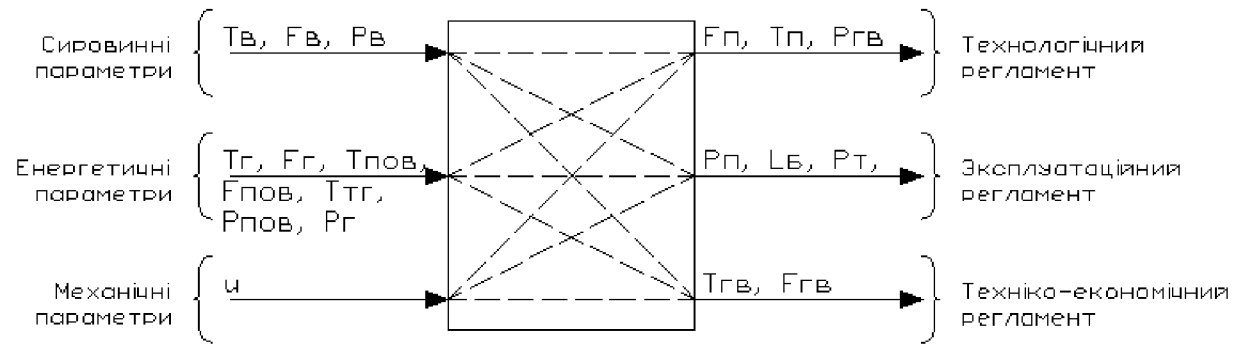


Рис. 2.2. Узагальнена параметрична схема котлоагрегату як об'єкта автоматизації

2.2. Розробка та дослідження математичної моделі системи керування температурним режимом у промисловій теплиці

Складемо математичну модель теплових процесів, що відбуваються в котлоагрегаті при виробництві пари. За законом збереження енергії відповідно зі схемою теплових потоків (рис. 2.3), рівняння енергетичного балансу в котлоагрегаті має наступний вигляд

$$Q_g - Q_{hv} + Q_{gp} - Q_{dg} - Q_k - Q_{vt} - Q_{him} = 0 \quad (2.1)$$

де Q_g – кількість теплоти, яка утворюється при згоранні газу, Вт;

Q_{gp} – кількість теплоти, що міститься у парі при 150°C, Вт;

Q_{hv} – кількість теплоти у воді після економайзера на вході в котлоагрегат при 70°C, Вт;

Q_{dg} – кількість теплоти, що виводиться із топки із димовими газами, Вт;

Q_k – теплова енергія, що знаходиться у котлоагрегаті, Дж;

Q_{vt} – втрати теплової енергії з котла у навколишнє середовище, Вт;

Q_{him} – втрати теплової енергії від хімічного не догорання, Вт.

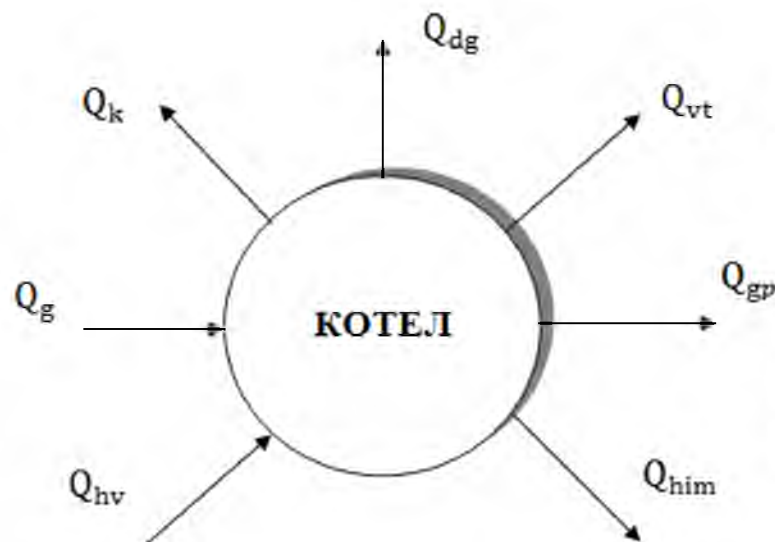


Рис. 2.3. Структурна схема теплових потоків в котлоагрегаті

При згоранні природного газу в топці котлоагрегату отримується наступна кількість теплоти, Вт

$$Q_g = \frac{G_g}{\rho_g} \cdot q_g, \quad (2.2)$$

де G_g – витрати природного газу, кг/с;

q_g – питома теплота згорання природного газу, Дж/м³;

ρ_g – густина природного газу, кг/м³;

Теплота пари на виході з котлоагрегату, Вт, дорівнює

$$Q_{gp} = G_{gp} \cdot t_{gp} \cdot C_{gp}, \quad (2.3)$$

де G_{gp} – фактична продуктивність котлоагрегату, або кількість пари, що через парову магістраль забирає споживач, кг/с;

t_{gp} – температура пари на виході котлоагрегату, °С;

C_{gp} – теплоємність пари при 200°С, Дж/(кг·°С);

Кількість теплоти, яка міститься у холодній на вході водяного тракту парового котлоагрегату після економайзера, Вт, визначається як

$$Q_{hv} = G_{hv} \cdot t_{hv} \cdot C_{hv}, \quad (2.4)$$

де G_{hv} – витрати води, що живить паровий котел, кг/с;

t_{hv} – температура води на виході економайзера, °С (приймається значення 70°С);

C_{hv} – теплоємність води при 70°С, Дж/(кг·°С).

Кількість теплоти, що виводиться із топки котлоагрегату з димовими

газами у навколишнє середовище, Вт, визначається за виразом

$$Q_{dg} = (G_{pov} + G_g) \cdot t_{dg} \cdot C_{dg}, \quad (2.5)$$

де G_{pov} – витрати повітря, необхідні для повного згорання газу, кг/с;

G_g – витрати газу при згоранні в пальнику, кг/с;

t_{dg} – температура димових газів, що видаляються димососом при створенні розрідження в котлоагрегаті, °С;

C_{dg} – теплоємність димових газів, Дж/(кг·°С).

Кількість енергії, що знаходиться у котлі, Дж:

$$Q_k = V_k \cdot \rho_{gv} \cdot C_{gp} \cdot t_{gp} \quad (2.6)$$

де V_k – об'єм котла, м³;

ρ_{gp} – густина пари, кг/м³.

Кількість теплоти, яка недоотримується при хімічному неповному згоранні природного газу, Вт

$$Q_{vt} = Q_g \cdot k_n \quad (2.7)$$

де k_n – коефіцієнт хімічного не догорання природного газу.

Кількість теплоти, що втрачається у навколишнє середовище, Вт:

$$Q_{vt} = Q_g \cdot k_n \quad (2.8)$$

де k_{zov} – коефіцієнт втрат у навколишнє середовище.

Від моделювання статичного режиму переходимо до динамічного режиму, коли температура пари на виході котлоагрегату буде змінюватись під

дією різних збурень. Рівняння (2.1) набуде такого вигляду

$$\frac{dQ_k}{dt} = Q_g - Q_{hv} + Q_{gp} - Q_{dg} - Q_{vt} - Q_{him} \quad (2.9)$$

Підставивши у вираз (2.9) рівняння (2.2) – (2.8), отримаємо

$$\frac{dV_k \cdot \rho_{gv} \cdot C_{gv} \cdot t_{gv}}{dt} = \frac{G_g}{\rho_g} \cdot q_g - G_{hv} \cdot t_{hv} \cdot C_{hv} + G_{gv} \cdot t_{gv} \cdot C_{gv} - (G_{pov} + G_g) \cdot t_{dg} \cdot C_{dg} - Q_g \cdot k_n - Q_g \cdot k_h \quad (2.10)$$

Після перетворень вираз (2.10) матиме наступний вигляд:

$$\frac{V_k \cdot \rho_{gv} \cdot C_{gv}}{G_{gv} (C_{gv} + (G_{pov} + G_g)) \cdot C_{dg}} \cdot \frac{dt_{gv}}{dt} + t_{gv} \cdot \frac{G_g \cdot q_g \cdot (1 - k_n - k_h) + G_{gv} \cdot t_{hv} \cdot C_{hv} + G_g (1 + k_{pov}) \cdot C_{dg} \cdot \Delta t_{gv}}{G_{gv} \cdot C_{gv} + (G_{pov} + G_g) \cdot C_{dg}} = 0 \quad (2.11)$$

Позначимо постійну часу нагрівання як

$$T = \frac{V_k \cdot \rho_{gv} \cdot C_{gv}}{G_{gv}(C_{gv} + (G_{pov} + G_g)) \cdot C_{dg}} \quad (2.12)$$

За допомогою наведених рівнянь у пакеті Simulink середовища MATLAB створена імітаційна модель теплових процесів в котлоагрегаті (рис.2.4).

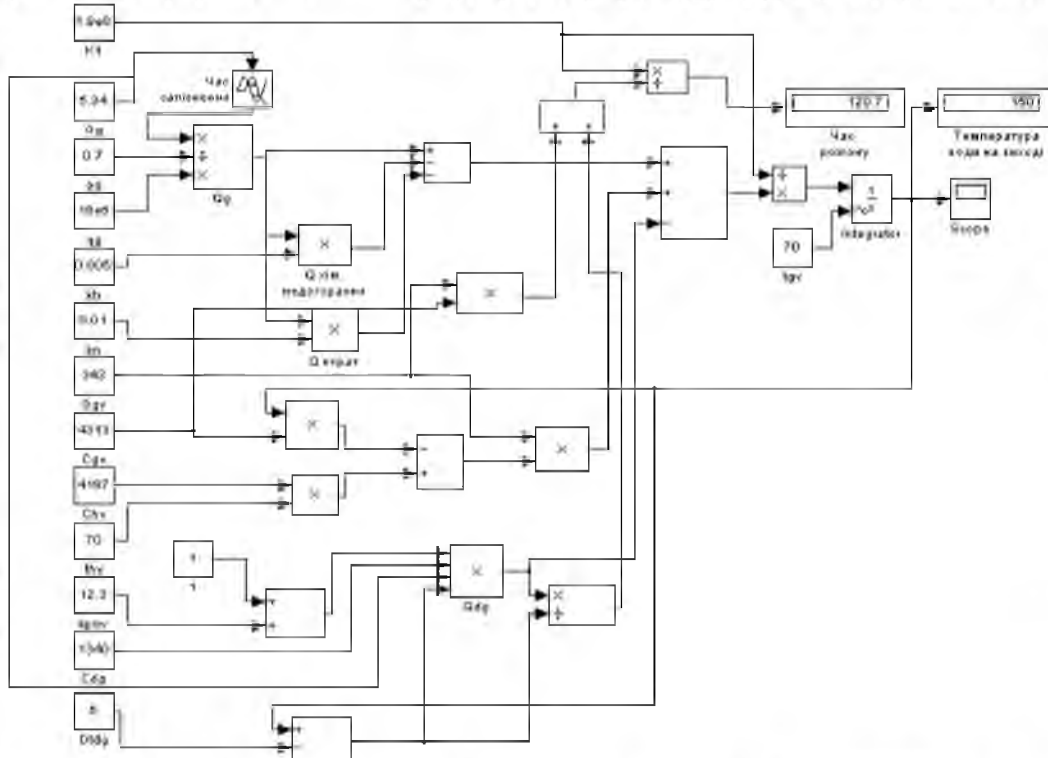


Рис. 2.4. Імітаційна модель теплових процесів у котлоагрегаті

Визначимо такі параметри передатної функції котлоагрегату для каналу керування температурою пари на виході котлоагрегату, як час транспортного запізнення τ_{ou} , коефіцієнт передачі k_{ou} та постійна часу об'єкта T_{ou} .

Для визначення передатної функції теплиці для каналу керування температурним режимом був використаний графічний метод. Для цього розгінна характеристика була пронормована за виразом

$$h(t) = \frac{\theta_B(t) - \theta_B(0)}{\theta_B(t_{max}) - \theta_B(0)} = \frac{\theta_B(t) - 180}{191 - 180} \quad (2.13)$$

де $\theta_v(t_i)$ – проміжне значення параметра в i -й момент часу t_i ; $\theta_v(0)$ – початкове значення параметра; $\theta_v(t_{\text{уст}})$ – кінцеве значення параметра в установившому режимі; $h(t_i)$ – значення нормованої кривої розгону в i -й момент часу.

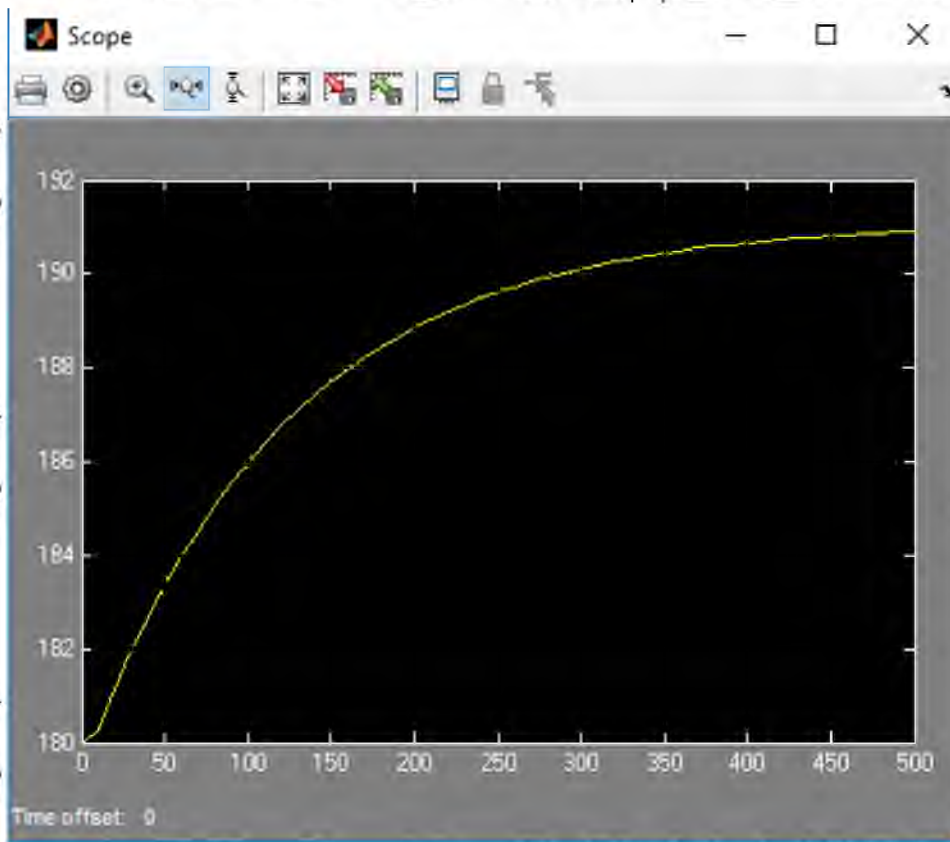


Рис. 2.5. Розгінна характеристика котлоагрегату для каналу керування температурою пари на виході котлоагрегату

Коефіцієнт передачі об'єкта розраховується як відношення різниці температури пари на виході з котлоагрегату і температури води на вході в котлоагрегат після економайзера Δt (регульований параметр) до витрат природного газу на нагрівання води до пароподібного стану ΔG_g (параметр керування).

$$k = \frac{\Delta t}{\Delta G_g} \quad (2.14)$$

Підставимо значення у формулу (2.14), отримаємо, що $k = 2,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{кг}$.

Чисельне значення постійної часу T_{0y} та часу запізнення t_{0y} об'єкта знаходять за допомогою дотичної, яку проводять до точки перегину розгінної характеристики (рис. 2.6). Точка перегину відповідає середині відрізка часу, на якому спостерігається максимальний приріст ординати кривої розгону.

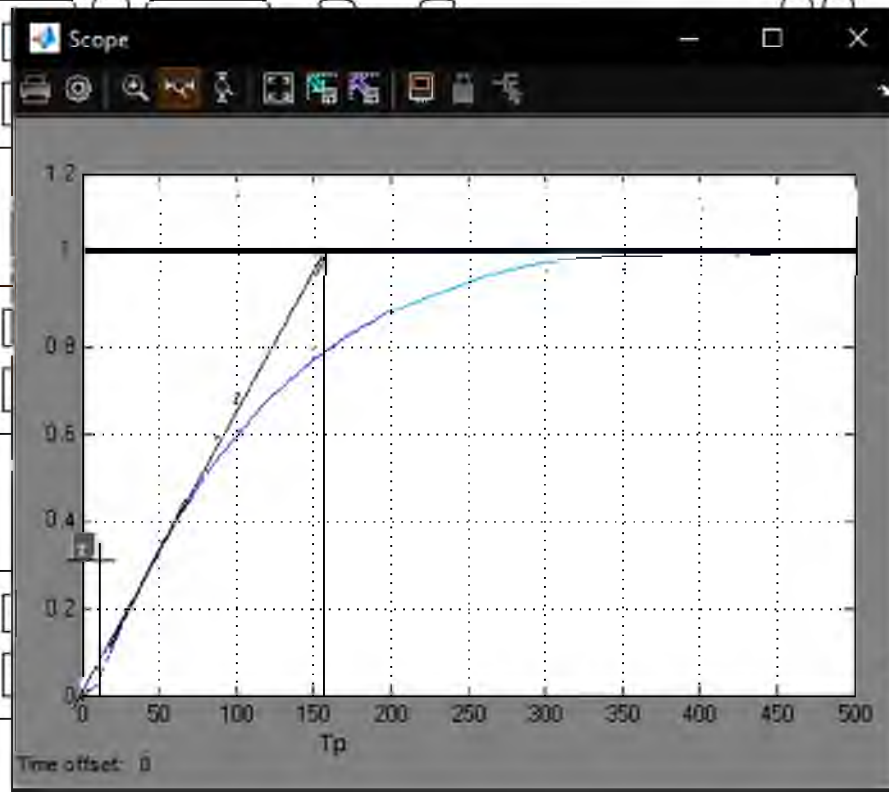


Рис. 2.6. Нормована розгінна характеристика котлоагрегату

Передатна функція котлоагрегату для зазначеного каналу керування має

вигляд

$$W_{0y}(s) = \frac{2,2 \cdot e^{-28,6 \cdot s}}{155 \cdot s + 1}$$

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

3.1. Функціональна схема автоматизації системи керування паровим котлоагрегатом

Функціональна схема автоматизації системи керування паровим котлоагрегатом зображена на рис. 3.1, на якій наведені основні контури керування.

- *Регулятор живлення котла.* Працює за трьома імпульсами: рівень в барабані, витрата пари, витрата живильної води. Рівень в барабані котла вимірюється датчиком перепаду тиску, поз.1б діпазон вимірювання 6,3 кПа, вихідний сигнал якого 4..20 мА подається на модуль аналогових входів контролера. Вимір витрат пари від котла та води на живлення котла для корекції здійснюється за допомогою витратомірів змінного перепаду тиску, який складається з звужуючого пристрою, діафрагми (поз. 1в, 1д) та дифманометра (поз. 1г, 1е), які мають вихідний сигнал 4..20 мА. Вихідний сигнал контролера подається на реверсивний безконтактний пускач (поз.1ж) Виконавчий механізм (регулювальний клапан (поз.1з) змінює витрату живильної води на котел.

- *Регулятор теплового навантаження котла,* який працює по тиску пари та корекцією по витраті газу на котел. Тиск пари вимірюється перетворювачем тиску, верхня межа виміру якого 6 МПа, а вихідний сигнал 4..20 мА подається на контролер. Витрата газу вимірюється витратоміром змінного перепаду тиску: діафрагма (поз.2б) та дифманометр (поз.2в). Виконавчий механізм (поз.2д) змінює подачу газу на котел, імпульсний сигнал на нього з контролера надходить безконтактний реверсивний пускач (поз.2г).

• *Регулятор співвідношення газ/повітря* працює по тиску газу та тиску повітря на пальники. Тиск газу вимірюється перетворювачем тиску (поз.3б), діапазон вимірювання 60 кПа, тиск повітря, відповідно (поз.3а) 2 кПа, вихідні сигнали яких 4..20 мА подаються на контролер, імпульсний вихідний сигнал якого подається на частотний перетворювач (поз.3в). Частотний перетворювач змінює частоту обертання двигуна вентилятора і відповідно тиск повітря на пальники.

• *Регулятор розрідження.* Розрідження вимірюється тягонапороміром (поз.4а) діапазон виміру якого складає $\pm 0,2$ кПа. Вихідний сигнал тягонапороміра 4..20 мА подається на контролер. Імпульсний вихідний сигнал контролера подається на частотний перетворювач (поз.4б). Частотний перетворювач змінює частоту обертання двигуна димососа і відповідно розрідження в топочної камері.

• *Регулятор температури пари.* Температура пари вимірюється термопарою ТХА (поз.5а) і подається на аналоговий вхідний модуль контролера. Імпульсний вихідний сигнал контролера через безконтактний реверсивний пускач (поз.5б) подається на виконавчий механізм (поз.5в).

Технологічна сигналізація передбачена по таким параметрам:

- Рівень в барабані котла нижче -150 мм
- Рівень в барабані котла вище +150 мм
- Тиск в барабані нижче 2 МПа
- Тиск в барабані вище 3,5 МПа
- Тиск повітря нижче 1 кПа
- Тиск газу нижче 15 кПа
- Тиск газу вище 25 кПа
- Розрідження в топці нижче -50 Па
- Температура пари нижче 400 °С
- Температура пари вище 470 °С
- Температура вихідних газів нижче 170 °С

Вміст солі в котловій воді вище 15 мСм/м^3

Для сигналізації рівня в барабані котла використано датчик перепаду тиску (поз. 66) з вихідним сигналом 4..20 мА.

Сигналізація тиску пари здійснюється аналогічно сигналізації рівня, але датчиком являється перетворювач тиску (поз. 7а).

Датчиком для сигналізації температури пари є терморезистор (поз. 5а).

Для сигналізації температури вихідних газів використана аналогічна схема, але датчиком в цьому випадку є термометр опору (поз. 7).

При виході будь-якого з цих параметрів за допустимі межі засвічується відповідне лампа на дисплейній мнемосхемі та спрацьовує звуковий сигнал.

Системою автоматизації передбачене напівавтоматичне розпалювання. З цією метою на кожен з пальників встановлено високовольтний трансформатор тип (17а, 20а, 23а, 26а) та запальний пристрій типу (17б, 20б, 23б, 26б).

Контроль наявності полум'я здійснюється за допомогою перетворювача наявності полум'я типу (15б, 18б, 21б, 24б) та контрольного електрода, встановленого на пальнику таким чином, щоб він міг контролювати

як полум'я запальника, так і основного полум'я. Від перетворювача дискретний сигнал поступає на модуль дискретних входів контролера.

3.2. Вибір алгоритму керування

Динамічні властивості об'єктів керування дають змогу визначити на стадії проектування алгоритм керування. Для цього розраховується відношення сталої часу та часу транспортного запізнення об'єкта управління:

- якщо $0,2 < \frac{\tau}{T} < 1$ – обирають лінійний алгоритм керування;

- якщо $\frac{\tau}{T} < 0,2$ – обирають позиційний алгоритм керування;

- якщо $\frac{\tau}{T} > 1$ – обирають імпульсний алгоритм керування.

Для досліджуваного об'єкту за каналом керування температури:

$$\frac{\tau}{T} = \frac{28,6}{155} = 0,185 \approx 0,2 \quad (3.1)$$

Отже, для нашого випадку можливо обрати лінійний алгоритм керування. Оскільки САР температури на виході з котла для обраної технології потребує високої точності, високої швидкості регулювання та відсутності перерегулювання, обираємо ПД алгоритм керування.

Визначення алгоритму керування за динамічним коефіцієнтом регулювання:

Динамічний коефіцієнт регулювання дає змогу вибрати найкращий алгоритм для об'єкта керування.

1. Визначаємо динамічний коефіцієнт регулювання R_d .

Так як об'єкт статичний:

Для каналу регулювання за температурою:

$$R_d = \frac{y_1}{K_0 \cdot y_{max}} = \frac{5}{0,185 \cdot 50} = 0,48, \quad (3.2)$$

де y_1 – максимальне динамічне відхилення; K_0 – коефіцієнт передачі об'єкта керування; y_{max} – максимальне можливе значення збурення по навантаженню (береться у відсотках переміщення регульовального органа).

Об'єкт має аперіодичний перехідний процес.

2. Із графічної залежності обираємо алгоритм керування:

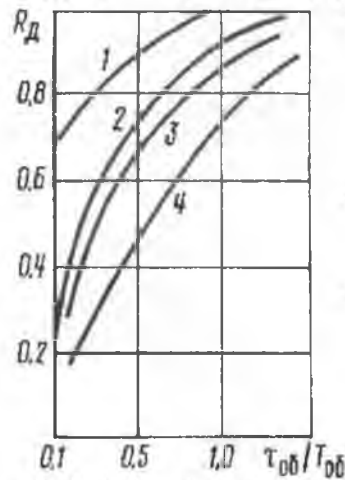


Рис. 3.1. Залежність динамічного коефіцієнта регулювання від динамічних властивостей об'єкта керування для типового аперіодичного перехідного процесу:

1 – П-алгоритм керування, 2 – І-алгоритм керування, 3 – ПІ-алгоритм керування, 4 – ПІД-алгоритм керування

Для даного об'єкта обираємо ПІД-алгоритм керування.

3. Перевіряємо, чи забезпечить даний алгоритм керування заданий час регулювання:

$$t = \psi \tau, \quad (3.3)$$

де ψ – відносний час регулювання.

Для ПІД закону регулювання $\psi = 5,5$, тоді $t = 5,5 \times 25 = 137,5$ с.

Видно, що $137,5$ с $<$ 380 с. Отже, ПІД закон регулювання здатен забезпечити заданий час регулювання.

3.3. Реалізація алгоритму керування

При виборі датчиків системи керування необхідно спиратись на технологічні параметри і умови експлуатації котлоагрегату. При цьому датчики повинні забезпечувати необхідну чутливість та точність у заданому діапазоні вимірювань, охоплюючи при цьому значення можливих збурень при нестационарних і випадкових процесах.

Для котлоагрегату необхідно вибрати наступні датчики технологічних параметрів:

- датчик температури;
- датчик тиску.

3.3.1 Вибір термометра опору

При виборі термометра опору потрібно, що він забезпечував такі параметри:

- діапазон вимірної температури;
- умови експлуатації при даному об'єкті керування.

Виходячи із даних параметрів, вибираємо термометр опору – Siemens Sitrans Th100 (рис. 3.2). Він призначений для вимірювання температури у рідких і газоподібних середовищах. Технічні характеристики наведені в таблиці 3.1. Середній наробіток до відмови при нормальних температурах - 66700 годин.

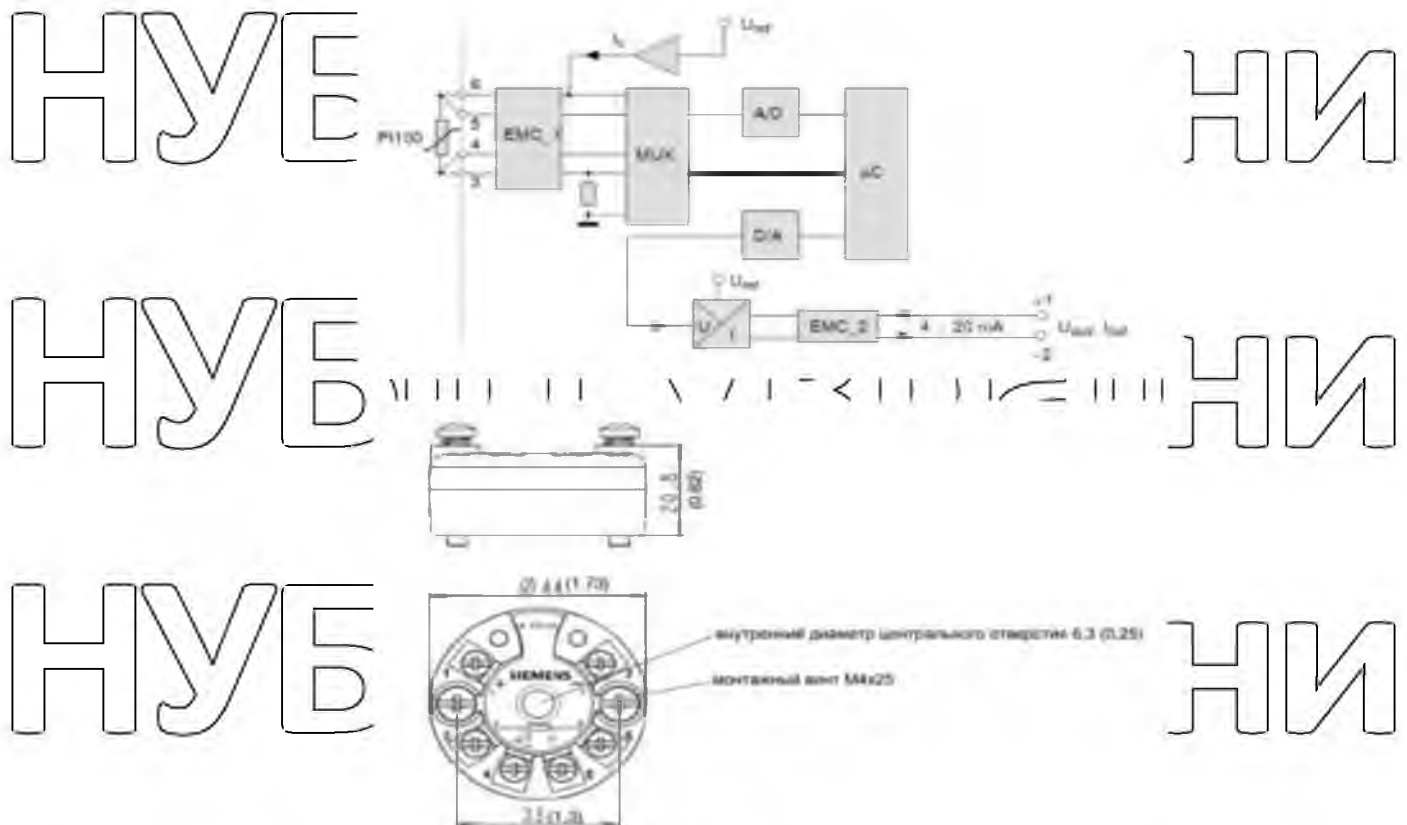


Рис. 3.2. Схема підключення термометра опору Siemens Sitrans Th100

Таблиця 3.1. Технічні характеристики Siemens Sitrans th100

Технічні характеристики	Siemens Sitrans th100
Діапазон вимірювання температури, °C	-200...+850
Номінальна статична характеристика (НСХ)	100Pt
Клас допуску	B, C
Показник теплової інерції, с	20, 40
Ступінь захисту від пилу і води	IP55
Матеріал захисної арматури	Ст.12X18H10T
Номінальне значення α , °C ⁻¹ ; (W100)	0,00428 (1,4280)
Діапазон середовища тиску, мПа	0,4 ... 10,0
Стійкість до вібрацій	N3
Види кліматичного виконання	TB1, TB2, U3

Перелатна функція (3.4) сприймаючого елемента виходячи із літературних джерел [7]:

$$W_{CE}(s) = \frac{K_{CE}}{T_{CE}s+1} = \frac{0,837}{17s+1} \quad (3.4)$$

3.3.2 Вибір датчика тиску

У даній системі автоматичного керування датчик тиску служить для контролювання та накопичення потрібного об'єму відфільтрованої води у над фільтруючому простором. При виборі датчика потрібно враховувати наступні параметри:

- діапазон вимірюваного тиску;
- максимальний надлишковий тиск,
- вхідні і вихідні електричні величини;

похибка вимірювання;

умови експлуатації при даному об'єкті керування.

На основі даних вимог вибираємо датчик тиску Siemens SITRANS P DS III (рис. 3.3). Це – економічний датчик тиску з підвищеною стійкістю до перевантажень: максимально допустимий тиск складає до 1000% від номінального верхнього значення вимірювання.





Рисунок 3.3. Датчик тиску Siemens SITRANS P DS III

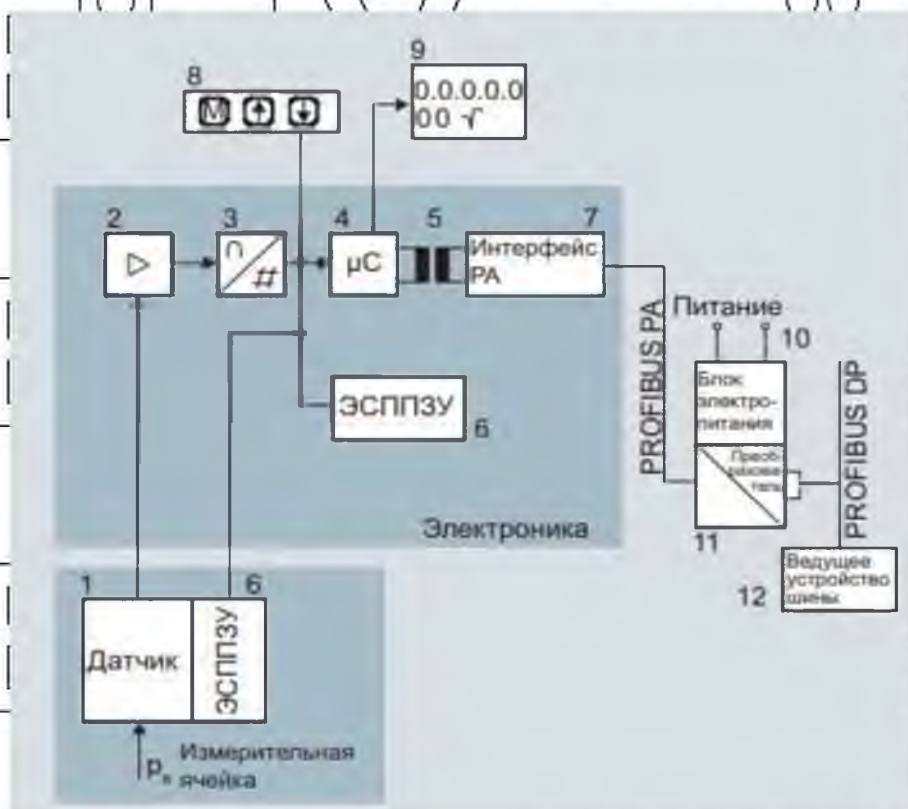


Рисунок 3.4. Схема подключения датчика тиску Siemens SITRANS P DS III

Призначений для вимірювання тиску рідин, газів і парів, неагресивний до нержавіючої сталі. Датчик пропорційно перетворює тиск робочого середовища в електричний сигнал 4...20 мА або 0...10 В.

В таблиці 2.2 наведені основні технічні характеристики Siemens SITRANS P DS III.

Таблиця 3.2.

Технічні характеристики Siemens SITRANS P DS III

Технічні характеристики	Siemens SITRANS P DS III
Діапазон вимірюного тиску	0,1 до 700 бар, надлишкове
Перевантаження по тиску	1000%
Похибка	$\leq \pm 1\%$
Температурні умови	-25...125 °С
Вихідний сигнал	4...20 мА 0...10 В
Напруга живлення	12...36 В постійного струму
Сенсор	Керамічний терморезистивний
Примітка	Неагресивні до нержавіючої сталі рідини, газу та пари.

Передаточна функція (2.2) датчика тиску виходячи із літературних джерел має вигляд

$$W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE}s+1} = \frac{0,00012}{0,11s+1} \quad (3.5)$$

3.4. Вибір програмно-логічного контролера

Для завдання регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної та економічно доцільної реалізації технологічного процесу виробництва пари необхідно регулювати розрідження у топці котлоагрегату.

Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії.

Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу змінюються мало. Це завдання можна вирішити, змінюючи (коригуючи) налаштування регуляторів у процесі роботи установки.

Для керування барабанним котлоагрегатом використовуємо мікропроцесорний контролер на базі контролерів серії SIEMENS SIMATIC S7-CPU 400 і AI/AO DI/DO-300

Simatic S7-CPU 400 – це лінія програмуючих контролерів, які вирішують задачі середнього і високого рівня складності в процесах автоматизації, зокрема дозволяє використовувати програмний комплекс PC-7.

В якості ЦПІ для даного проекту із каталогу Simatic S7- CPU 400 вибрана модель центрального процесора:

S7- CPU 414-3 – Потужний програмований контролер для побудови систем управління середнього і високого ступеня складності.

- * Рішення практично будь-яких завдань управління.
- * Широкий спектр модулів і широка гама центральних процесорів для максимальної адаптації до вимог розв'язуваної задачі.
- * Висока гнучкість , що забезпечується простотою використання систем розподіленого вводу - виводу і потужними комунікаційними можливостями .

- * Зручність обслуговування , робота з природним охолодженням.
- * Гнучкі можливості розширення в міру розвитку об'єкта управління, підтримка технології CiR (Configuration in Run)

Обрана модель має інтерфейс PROFIBUS -DP , що дозволяє підключити в якості пристроїв зв'язку з об'єктом модулі серії S7-300 .

ЦП може реалізувати всі працюючі в режимі реального часу алгоритми управління . Для роботи такої системи управління вимоги до якості (надійності) комп'ютера можуть бути менш жорсткими . Для вибору додаткових елементів і модулів УСО скористаємося каталогом Simatic S7-300 / 400

Блок живлення: PS 405/407/6ES7407-0KA02-0AA0 вихід =24В/10А,
Комунікаційний модуль IM153-1 6ES7153-1AA03-0XB0 (рис.3.3) , для підключення модулів УСО S7-300 через інтерфейс PROFIBUS-DP.

Карта пам'яті: S7-400/карта пам'яті/FLASH-EPROM/
6ES7952-1KM00-0AA0, 4МБайт для S7-400
Для вводу 7 аналогових сигналів будемо використовувати 1 модуль: на 8-м входів: SIMATIC S7-300, SM 331, модуль вводу аналогових сигналів (6ES7331-7KF02-0AB0) 8 входів $\pm 5\text{В}/\pm 10\text{В}/1\dots 5\text{В}/\pm 20\text{ма}/0(4)\dots 20\text{ма}$, 16 біт

Для виводу 4-х аналогових сигналів виберемо модуль SIMATIC S7-300, SM 332, модуль виводу аналогових сигналів: гальванічне розділення зовнішніх та внутрішніх ланцюгів, 4 виходи U/I; (6ES7332-5HD01-0AB0).

Для підключення входних-вихідних дискретних сигналів з урахуванням використання в схемах проміжних реле (24В) вибираємо модуль: 6ES7 323-1BH01-0AA0
SIMATIC S7-300, SM 323, модуль вводу-виводу дискретних сигналів: гальванічне розділення зовнішніх та внутрішніх ланцюгів, 8 входів =24в та 8 виходів =24в/0.5а, сумарний вихідний струм 4а.

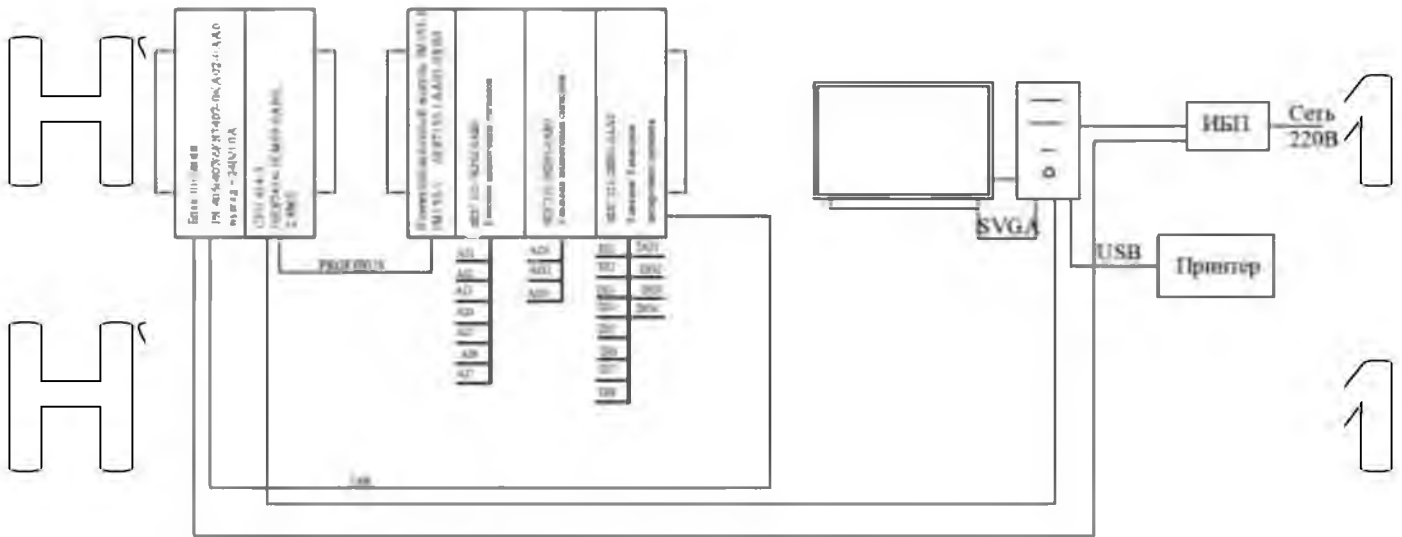


Рис. 3.5. Технічна структура системи управління
на базі SIMATIC S7-300/400

Отже, у випадку, при виробництві пари на барабанному котлі, доцільно застосувати рішення на основі засобів серії SIMATIC S7-300/400.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

4.1. Побудова функціонально-структурної та структурно-алгоритмічної схеми САК

Функціонально-структурна схема САК являє собою графічне зображення динамічних властивостей функціональних елементів системи, яка описує математичну модель процесу управління. Вона показує структуру системи керування у вигляді типових динамічних ланок і порядок взаємодії цих ланок, підзв'язки всередині ланок, збурюючі впливи на окремі ланки.

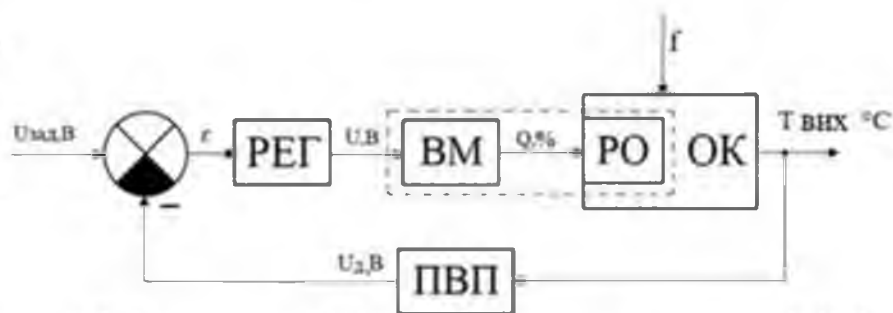


Рис. 4.1. Функціонально-структурна схема САК температури пари на виході котлоагрегату

На схемі (рис. 4.1) САК пари на виході з котлоагрегату прийняті наступні позначення:

РЕГ – програмно-логічний контролер, який виступає в ролі регулятора;
ВМ – виконавчий механізм системи керування;

РО та ОК – відповідно, регулюючий орган та об'єкт керування – паровий котлоагрегат;

ПВП – датчик температури насиченої пари на виході котлоагрегату;

$U_{зад, В}$ – задане значення напруги;

ε – похибка;

U, V – напруга як сигнал керування виконавчим механізмом;

$Q, \%$ – матеріальна витрата, що призводить до зміни керованого параметру в об'єкті керування;

$T_{\text{вих}}$ – вихідне значення температури пари в котлоагрегаті;

$U_{\text{д}}$, V – напруга на виході первинного вимірювального перетворювача.

Передатні функції елементів системи автоматичного керування:

1) Передатна функція об'єкта керування

$$W_{\text{OK}} = \frac{2.2}{155s+1} \times e^{-28,6s} \quad (4.1)$$

2) Передатна функція ПВП

$$W_{\text{ПВП}} = \frac{0.337}{17s+1} \quad (4.2)$$

Структурно-алгоритмічна схема САК являє собою графічне зображення динамічних властивостей функціональних елементів системи, яка описує математичну модель процесу керування. Вона показує, з яких динамічних типових ланок складається система і як вони з'єднуються між собою.

4.2 Оцінка показників якості роботи системи керування за умови використання ПД-регулятора

Для визначення параметрів налагодження ПД-регулятора використаємо метод незатухаючих коливань Ziegler-Nichols (метод Циглера-Ніколса) для чого в існуючій системі або в моделі системи вимикаються інтегральна і диференціальна складові ПД-регулятора ($T_i = \infty$, $T_d = 0$), тобто регулятор переводиться в закон П-регулювання.

Шляхом послідовного збільшення коефіцієнта передачі K_p з одночасною подачею невеликого стрибкоподібного сигналу (завдання, домагаються

виникнення в системі незгасаючих коливань, при $K_p = K_{kp}$, з періодом T_{kp} . При цьому система знаходиться на границі стійкості. Фіксуються значення K_{kp} і T_{kp} .

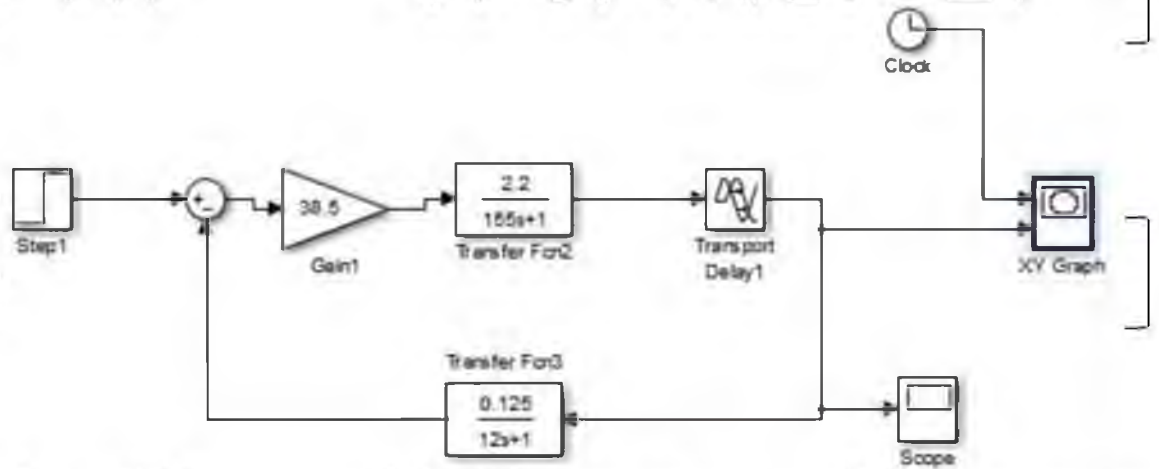


Рис. 4.2. Імітаційна модель системи автоматичного керування для каналу керування температурою пари на виході котла агрегату у MATLAB Simulink

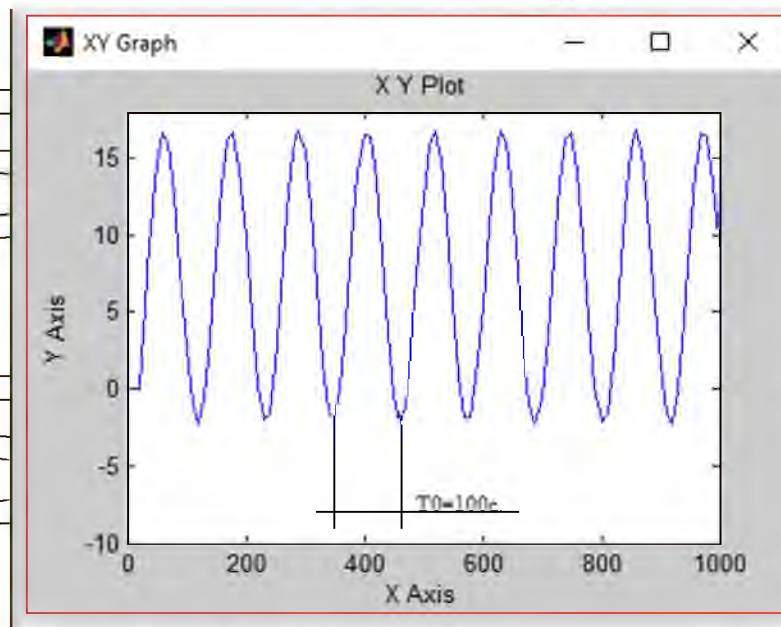


Рис. 4.3. Перехідний процес з автоколиваннями за методом Ziegler-Nichols

Ми досягаємо стійких автоколивань, прийнявши $k_x=38.5$. З графіка визначаємо період коливання, який складає $T_k=100$ секунд.

За значеннями K_{kp} і T_{kp} визначаємо параметри налагодження ПІД-

регулятора:

1) Коефіцієнт передачі ПД-регулятора

$$K_p = 0.6 \times K_{kp} = 0.6 \times 38.5 = 23.1. \quad (5.1)$$

2) Інтегруюча складова ПД-регулятора:

$$T_i = \frac{T_{kp}}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ с.} \quad (5.2)$$

$$K_i = \frac{1}{T_i} = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ 1/с.} \quad (5.3)$$

3) Диференціююча складова ПД-регулятора:

$$T_d = \frac{T_{kp}}{8} = \frac{100}{8} = 12.5 \text{ с.} \quad (5.4)$$

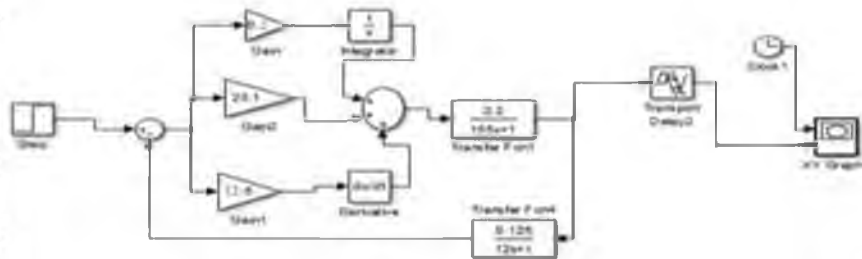


Рис. 4.4. Імітаційна модель САК температури пари в котлі з розрахованими значеннями складових ПД-регулятора у MATLAB Simulink

За допомогою віртуального осцилографу візуалізуємо перехідний процес та оцінюємо показники якості роботи системи керування.

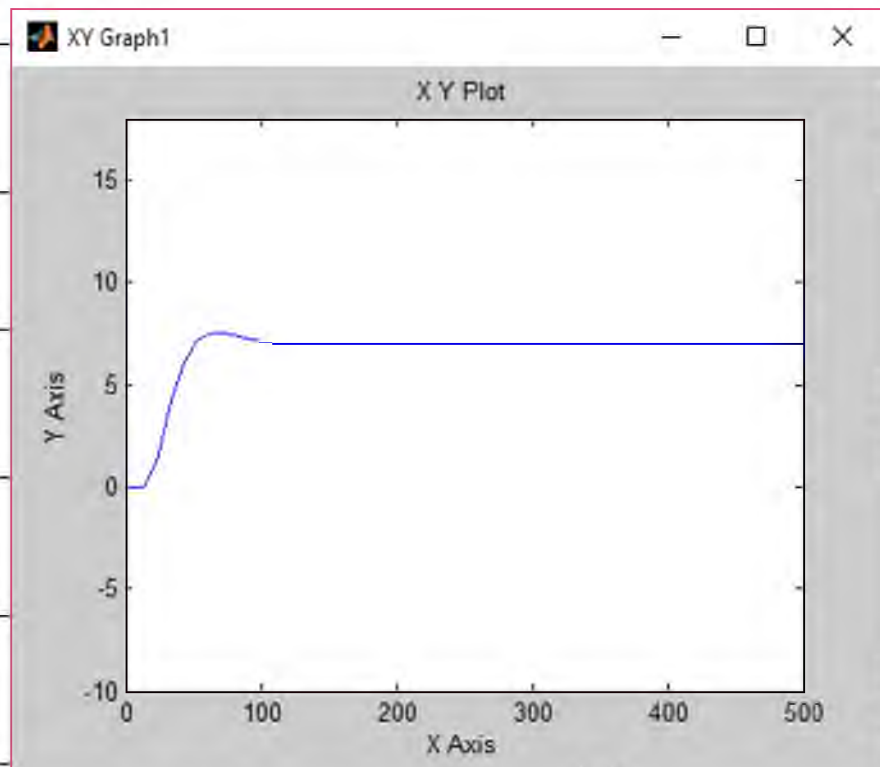


Рис. 4.5. Перехідний процес САК керування температурою пари на виході котлоагрегату з ПІД регулятором у у MATLAB Simulink

Метод Ziegler-Nichols дуже часто використовується на практиці, вирізняється простотою виконання розрахунків, але має певні недоліки із точністю, тому часто проводиться додаткова корекція значень параметрів настройки ПІД регулятора.

Для визначення коригувальних параметрів налагодження ПІД-регулятора використаємо таблицю 4.1 можливого впливу зміни окремих складових регулятора на перехідний процес.

Таблиця 4.1.

Вплив зміни параметрів ПІД-регулятора на перехідний процес

Властивості регулятора	Параметри настройки регулятора		
	Збільшення K_p	Збільшення T_i	Збільшення T_d
Швидкодія	Збільшується	Зменшується	Збільшується
Стійкість	Зменшується	Зменшується	Збільшується
Точність	Збільшується	Збільшується	Не впливає

В результаті експериментального підлагодження були визначені уточнені параметри настройки ПІД-регулятора K_p, T_i, T_d

$$K_p = 23,1, \quad T_i = 0,1 \text{ 1/с}, \quad T_d = 0,05 \text{ с.}$$

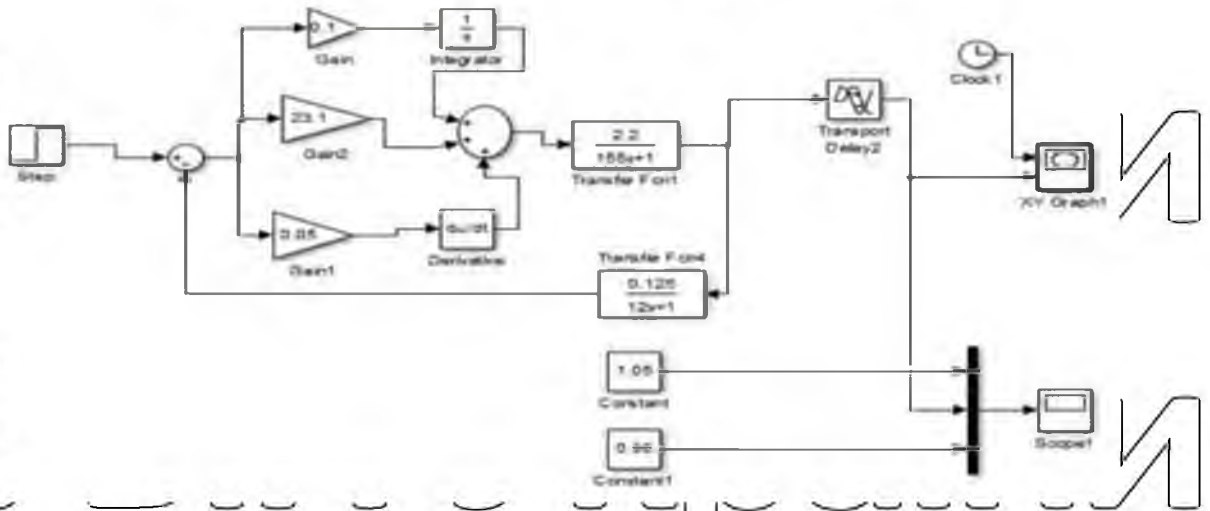


Рис. 4.6. Імітаційна модель САК температури пари в котлі з уточненими значеннями складових ПІД-регулятора у MATLAB Simulink

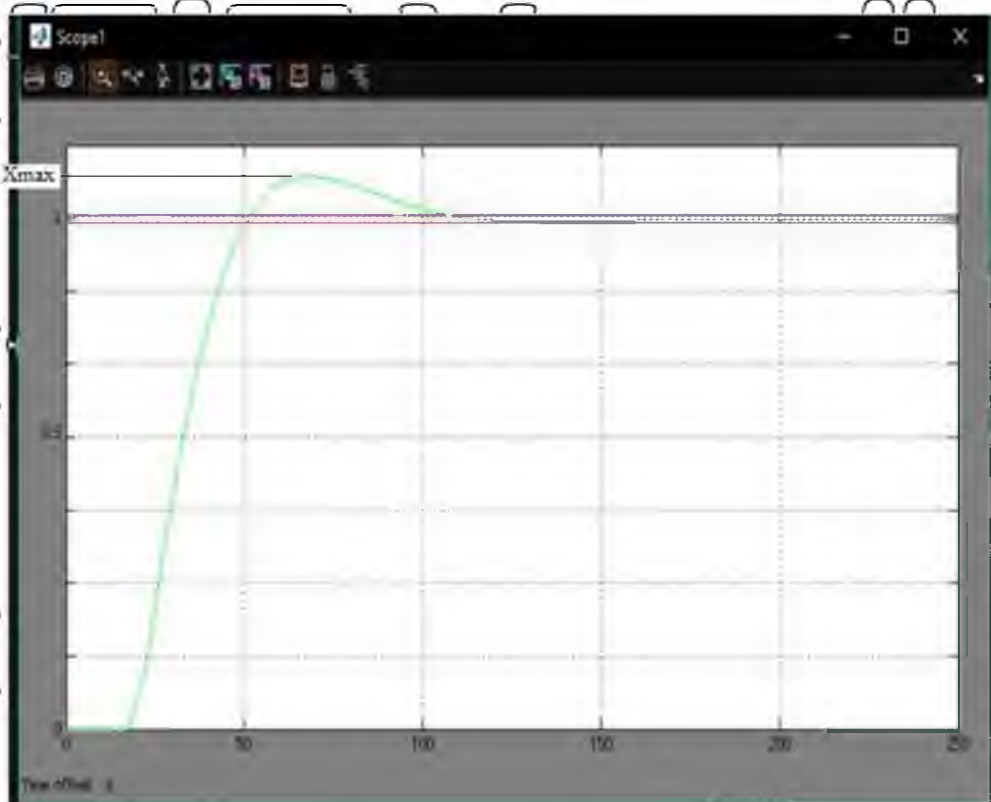


Рис. 4.7. Перехідний процес САК із уточненими параметрами ПІД-регулятора

За графіком перехідного процесу визначимо показники якості роботи САК температурної пари на виході котлоагрегату.

1) Статична похибка при керуванні відсутня:

$$\delta = X_{\text{зад}} - X_{\text{уст}} = 1 - 1 = 0.$$

2) Значення часу регулювання за рис. 4.7:

$$t_p = 105 \text{ с.}$$

3) Перерегулювання визначається як

$$\sigma = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{уст}}}{X_{\text{уст}}} \times 100\% = \frac{1.16 - 1}{1} \times 100\% = 16\%.$$

4) Коливальність при керуванні відсутня $n = 0$.

Оскільки за завданням $t_p < T_{\text{ок}}$; $\sigma = 0\%$; $\delta < 0,01$, можна

стверджувати, що показники якості перехідного процесу задовольняють технічні вимоги до процесу виробництва пари в котлоагрегаті.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СХЕМ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Розробка схеми електричної принципової САК роботою парового котлоагрегату

Згідно із завданням на виконання випускної магістерської роботи

необхідно використовувати комплекс технічних засобів фірми Siemens і, відповідно до розробленої функціональної схеми автоматизації системи керування, розроблений комплект проектної документації на систему керування, який містить наступні документи:

- Схему автоматизації та специфікації;
- Принципову електричну схему контролю і управління;
- Принципову електричну схему живлення.
- Загальний вид щита.
- Схему зовнішніх проводок.
- Монтажна схема щита оператора зі схемою підключення зовнішніх

проводок.

Для підтримання регламентних значень використовуються комплект контролерів SIMATIC S7-400 з підтримкою модулів серії SIMATIC S7-300 фірми «SIEMENS» і децентралізовану периферію ET 200M на базі сумісного комп'ютера, встановленого в ОП. Контролери даної фірми серії SIMATIC S7-300/400 призначені для організації взаємодії між обчислювальною системою і датчиками безперервних і дискретних параметрів, а також для видачі керуючих впливів на виконавчі механізми.

Модулі забезпечують виконання таких основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по каналу PROFIBUS-DP; Ethernet.
- введення й нормалізацію аналогових сигналів (струм, напруга) (SM 331-7KF02-0AB0);

- опитування стану дискретних входів/виходів (SIEMENS 6ES7322-1BH01-0AA0);

- виводи аналогових сигналів управління (SM 332-5HD01-0AB0);

Взаємодія контролера і комп'ютера здійснюється за допомогою інтерфейсного зв'язку.

Для управління ділянкою виробництва пари застосовується IBM PC сумісний комп'ютер на якому встановлена SCADA система «Simatic PCS7» призначена для оперативного контролю, управління, сигналізації, реєстрації параметрів ділянки випічки. Також є можливість передачі даних на віддалений комп'ютер за допомогою організованої локальної мережі.

На принциповій показані елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені на частини. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи застосовуваної електричної апаратури та елементів для досягнення поставлених функціональних завдань.

Особливістю принципової електричної схеми контролю й керування, є те, що вона будується як сполучена схема контролю, керування, сигналізації й підключення входних і вихідних сигналів до контролера.

При необхідності пуску електродвигуна в дистанційному режимі при включеному 1-QF, ключ 1-SA переводять у положення 1, після чого натисканням кнопки «Пуск» (замикаючої) 1-SB3 забезпечують подачу живильної напруги (220 В фаза – нейтральний провід) на котушку контактора 1-КМ, що замикає головні контакти 1-КМ і двигун починає обертатися.

Додатковий контакт 1-КМ (замикаючий), який шунтує кнопку 1-SB3, також замикається в момент подачі напруги на котушку, що забезпечує так називане «самопідхоплення» роботи електродвигуна і дозволяє операторові відпустити пускову кнопку, через 1-3 секунди після натискання. Факт роботи електродвигуна перевіряється при наявності світлової сигналізації по зміні світіння індикатора.

Подібне рішення, є захистом від провалля і повторної подачі напруги (захист від мінімальної напруги), тому що виключає можливість пуску електродвигуна, неконтрольованого оператором.

При необхідності зупинити електродвигун, натискають кнопку «Стоп» (що розмикає) 1-SB2, розташовану на щиті оператора або аналогічну кнопку 1-SB1, розташовану по місцю (поблизу електропривода). При знеструмленні контактора 1-KM, його головні контакти розмикаються, і двигун зупиняється.

При роботі в автоматичному режимі ключ вибору 1-SA переводять у положення 3, при цьому при спрацьовуванні контакту К автоматичного пристрою (реле) котушка 1-KM магнітного пускача одержує живлення (220 В), у результаті чого спрацьовують головні контакти пускача і двигун починає обертатися. Зупинка двигуна відбувається при розмиканні контакту К, а також, при необхідності, оператор має можливість самостійно його зупинити використовуючи кнопки «Стоп», як описано вище.

Для полегшення читання таких схем на них приводять діаграму роботи ключа вибору режиму.

Для захисту від перевантаження електропривода по моменту, що крутить, у схемі використовується контакт муфти граничного моменту 1-SQ, а для захисту по токовому навантаженню контакти теплового реле 1-KK.

Контур 2 реалізує аналогічні функції пуску та зупинки для М2, але для двигуна М2 передбачене регулювання обертів від ЧП, яке реалізоване у контурі 5.

Розглянемо роботу контуру стабілізації температури в топці (3).

На схемі показане підключення аналогового сигналу температури (від датчика 3а). При реалізації введення аналогового сигналу використаний принцип струмової петлі, тобто "+" від датчика 3а (дріт 3-21) підключений до клемми "I" (+AI) БРУ-7 для відображення поточного значення на цифровому міліамперметрі, який вбудований в БРУ, із клемми 2 (-AI) дротом 3-22 сигнал подається на аналоговий вхід (M0+) модуля SM331, а

замикається петля з'єднанням аналогового виходу модуля SM332 з "-" джерела живлення проводом 902.

Вихідний аналоговий сигнал подається від клем $Q10+$ та $mapa-$ модуля SM332 дротами 7-24 через контакти "21", "20" поступає на дріт 3-23 (в автоматичному режимі) та по ньому на клему 3 (Y/Z) і 902 («-») на клему 1

(«-») ВМ, що забезпечує управління ВМ 7в, аналогічно в дистанційному режимі аналоговий сигнал подається від ручного задатчика БРУ-7 від кл. 9 через контакти, що переключають (кл. 15 та 14), при цьому кл. 10 з'єднана з

загальним «-» схеми (дріт 902). Для живлення ВМ на його клему 2«+»

підключений дріт 901. Для перетворення сигналу, що управляє 4-20 мА, який виходить з МЦК та БРУ, у сигнал 0-10В, який ВМ приймає як вхідний (управляючий) використаний опір 3R (500 Ом).

Контур 4 працює аналогічно тому, що описаний вище.

Контур 5 працює аналогічно тому, що описаний вище, але замість ВМ та РО, використаний ЧП (5в).

Схема розроблена для варіанту використання ЧП зі збереженням існуючого магнітного пускача 2ПМ (2-КМ).

Додатковий контакт автоматичного вимикача 2-QF1, застосований для реалізації функції «Enable» (готовності до включення).

Контакт 2KM3 застосований для включення ЧП, а кнопка 2-SB4 реалізує функцію «Reset».

Опір 5R (500 Ом) має тіж функції, що й в контурі 3.

Також на ПЕС показані введення аналогових сигналів у контролер від датчиків витрати 116,126. Живлення усіх датчиків і щитових приладів здійснюється від джерел показаних на схемі електроживлення.

Крім того, на схемі показана організація вихідних дискретних сигналів від універсальних дискретних модулів, що забезпечує керування

приводами та ввід/вивід дискретних сигналів. За допомогою цього модуля

реалізовані схеми управління у автоматичному режимі через проміжні реле (1К, 2К) та сигналізації з використанням світлодіодів та опірів, що обмежують струм.

Схема звукової передпускової сигналізації (дзвоник НА) включає ключ 14SA та кнопку 14SB. Переводом в положення 1 ключа оператор подає сигнал у дистанційному режимі, а в положенні 3 включає автоматичний режим, в положенні 2 сигналізація відключена.

5.2. Вибір апаратів захисту

Автоматичні вимикачі систем керування і захисту вибирають за наступними умовами:

- за типом захисту (електромагнітний, тепловий або комбінований розчіплювачі);

- зв напругою живлення: $U_{BA.H} \geq U_{мер}$;

- за номінальним струмом, на який розрахований автоматичний вимикач: $I_{BA.H} \geq I_{ED.H}$;

- за номінальним струмом електромагнітного та/або теплового розчіплювачів: $I_{PH} \geq I_{ED.H}$;

- струмом уставки розчіплювача:

$$I_{EMР} = K_{EMР} \times I_{PH} \geq K_z \times K_{p.y.} \times K_{p.p.c.} \times K_1 \times I_{ED.H} = (1,45 - 1,6) \times K_1 \times I_{ED.H},$$

де $K_{EMР}$ - кратність струму відсічки електромагнітного розчіплювача;

I_{PH} - номінальний струм розчіплювача;

K_z - коефіцієнт запуску ($K_z = 1,1$);

$K_{p.y.}$ - коефіцієнт, що враховує неточність уставки струму розчіплювача (за технічною характеристикою апарата);

$K_{p.p.c.}$ - коефіцієнт розкиду пускових струмів електродвигуна

($K_{p.p.c.} = 1,1$);

K_1 - кратність пускового струму електродвигуна;

$I_{ED.H}$ - номінальний струм двигуна.

Приймаємо для вибору автоматичний вимикач типу ВА51Г-25, призначений для захисту електродвигунів від струмів перевантаження і короткого замикання (кратність струму відсічки електромагнітного розчіплювача $K_{EMP} = 14$).

Для асинхронного електродвигуна 4AM112MA8 при $P_{2н} = 2,2$ кВт; $I_n = 6,15$ А; $K_i = 6,0$ були виведені умови вибору представлені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

Умови вибору

Умови вибору	Вихідні дані						Підтвердження дотримання умови вибору
	$U_{BA.n}$	$U_{мер}$	$I_{BA.n}$	I_{TR}	I_{EMP}	$I_{ED.n}$	
	В		А				K_i
$U_{BA.n} \geq U_{мер}$	660	80					660 > 380
$I_{BA.n} \geq I_{ED.n}$			5			6,15	25 > 6,15
$I_{Pн} \geq I_{ED.n}$				6,3			6,3 > 6,15
$I_{EMP} \geq (1,45 - 1,6) \times K_i \times I_{ED.n}$					14x6,3 (88,2)	6,0	88,2 > (53,5-59,0)

$$(1,45 - 1,6) \times K_i \times I_{ED.n} = (1,45 - 1,6) \times 6,0 \times 6,15 = 53,5 \dots 59,0$$

Вибраний автоматичний вимикач ВА51Г-25-3400TOP30УХЛ3.

5.3. Вибір проволів і кабелів схеми керування

Переріз струмовідних жил проволів і кабелів з відповідним йому тривало допустимим струмом $I_{\text{доп}}$ вибирають за умови:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{роб макс}}$$

де $I_{\text{роб макс}}$ - максимальний тривалий струм в електричного кола (лінії електропроводки).

При цьому втрати наруги в електромережі $\Delta U, \%$ не повинні перевищувати допустимих значень.

Для відгалужень до окремих електроприймачів, що працюють з постійною номінальною споживаною потужністю, за максимальні тривалі робочі струми приймають їх номінальні струми, тобто $I_{\text{роб макс}} = I_{\text{н}}$.

Номінальний струм електроприймачів визначають за формулами предмтавлені в таблиці 5.2

Таблиця 5.2

Формули для визначення номінального струму

Однофазні електроприймачі	Трифазні електроприймачі	Трифазні асинхронні електродвигуни (АД)
$I_{\text{н}} = \frac{10^3 \times P_{\text{In}}}{U_{\text{н}} \times \cos\varphi_{\text{н}}}$	$I_{\text{н}} = \frac{10^3 \times P_{\text{In}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{н}} \times \cos\varphi_{\text{н}}}$	$I_{\text{н}} = \frac{10^3 \times P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{н}} \times \eta_{\text{н}} \times \cos\varphi_{\text{н}}}$

де P_{In} - номінальна споживана електроприймачем потужність, кВт;

$U_{\text{н}}$ - номінальна напруга, В;

$P_{\text{н}}$ - номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$\cos\varphi_{\text{н}}$ - номінальний коефіцієнт потудності;

$\eta_{\text{н}}$ - номінальний коефіцієнт корисної дії двигуна;

Значення номінального струму можна взяти з каталогів чи довідників.

Вибираємо кабель АВВГ-0,66 (4х25) за довідником з алюмінієвими жилами перерізом 3 мм², тривало допустимим струмом при прокладенні в повітрі - 19 А.

5.4. Розробка загального виду щита управління

Щити і пульти – це пости керування, контролю, сигналізації електрифікованих і автоматизованих об'єктів. На них розміщують апаратуру керування, контрольно-вимірвальні прилади, засоби сигналізації та захисту. На фасадних сторонах щитів і пультів можуть бути нанесені мнемонічні схеми, накладні надписи (пояснюючі), освітлювальні пристрої тощо.

Щити і пульти на стадії проектування вибирають на підставі таких нормативних документів: ГОСТ 20504-81 «Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов ГСП. Типы и основные размеры», ДСТУ 3288-95 (ГОСТ 26032-96) «Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов. Загальні технічні умови». ГОСТ 36.13-76 «Щиты и пульты систем автоматизации технологических процессов». На додаток до ГОСТ 36.13-76 розроблені інструкції РМ4-107-82.

Згідно з вище вказаними нормативними документами щити і пульти розраховано, на розміщення їх у закритих приміщеннях із температурою навколишнього середовища від -30 до $+50^{\circ}\text{C}$ за відносної вологості не більше як 80%. Промисловість випускає також щити та пульти спеціального призначення, які розраховані на більш високі або низькі температури, підвищену вологість, наявність агресивного середовища тощо. Щити та пульти умовно позначають згідно з вимогами ГОСТ 36.13-76.

Щафові щити використовують:

- у виробничих приміщеннях, що характеризуються запиленістю, великою вологістю та можливістю механічного пошкодження апаратури й внутрішньо-щитових проводів;
- для розміщення допоміжної апаратури (реле, джерел живлення) всередині щита;
- для захисту обслуговуючого персоналу від дотиків до відкритих

струмоведучих частин апаратури та затискачів.

Щит керування монтується в операторському пункті керування котлоагрегатом. Всередині щита встановлюються програмно-логічний контролер SIMATIC S7-300, електротехнічне обладнання для керування та захисту (кнопкові пости і перемикачі, автоматичні вимикачі, електромагнітні пускачі та проміжні реле напруги, світлосигнальна апаратура), блоки живлення, а також перетворювачі частоти керування електродвигунами приводу дутьового вентилятору та вентилятору димососа.

Враховуючи габаритні розміри всіх пристроїв схеми керування вентиляційною установкою, що розміщуються на передній і задній панелях, вибираємо щит щабловий малогабаритний ЩРНМ-1 (395*310*220) V4IP30 (ГОСТ 36.13/76).

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ
ПАРОВИМ КОТЛОАГРЕГАТОМ

6.1. Програмне конфігурування обладнання системи керування

При візуалізації системи керування використовують наступні підходи: створення SCADA-system; використання контролера з панеллю оператора; використання контролера з дисплеєм.

Вибір технічних засобів для забезпечення візуалізації залежить від кількості інформації та величини об'єкта керування. У разі масштабних об'єктів використовують SCADA-системи.

SCADA – це програмний комплекс для візуалізації та диспетчеризації технологічних процесів. SCADA-система дає наочне уявлення процесу і надає графічний інтерфейс оператору для контролю і керування.

Враховуючи, що САК паровим котлоагрегатом реалізована на базі комплексу технічних засобів SIEMENS, візуалізація інтерфейсу оператора проводиться у середовищі SIEMENS SIMATIC Process Control System 7 (PCS7) відповідно до функціональної схеми автоматизації системи керування котлоагрегатом.

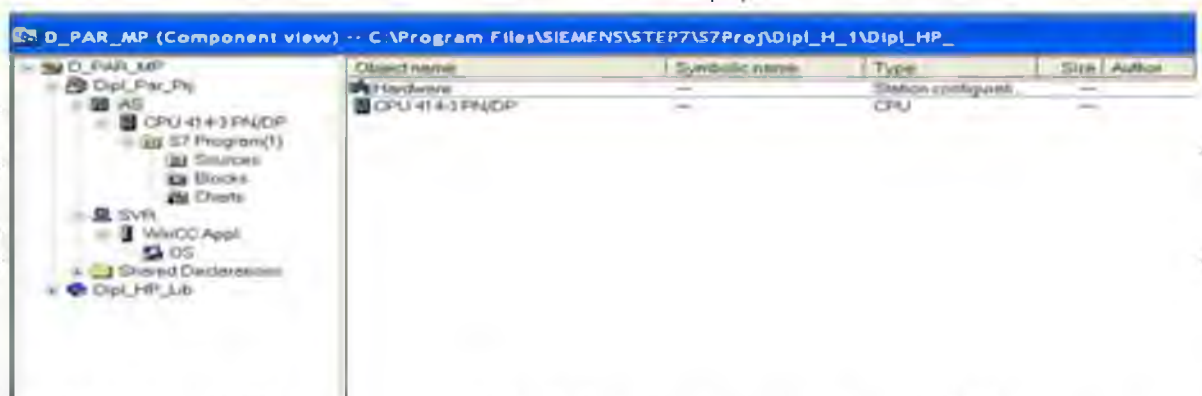


Рис. 6.1 Загальний вигляд вікна проекту

На початковому етапі у зазначеному середовищі за допомогою Simatic Manager створюємо вікно проекту, що складається зі станції автоматизації на базі програмно-логічного контролера Simatic S7-400 та станції оператора на базі Simatic PC Station (рис. 6.1).

Наступним кроком за допомогою Hardware Config розбудовуємо програмне конфігурування системи керування з її складових: контролера, модулів, зв'язків взаємодії між ними на основі мережі Profibus DP. При цьому створюється віртуальна DPN-рейка, на якій розміщується ПЛК Simatic S7-400 та блок живлення. Один з портів ПЛК Simatic S7-400 налаштовується на режим роботи "master" (тобто "головний", "що веде") у мережі Profibus DP, після чого задаються адреса ПЛК у даній частині мережі, швидкість обміну даними між контролером та іншими складовими системи керування та інші параметри. Після завершення процесу конфігурування у програмному вікні з'явиться віртуальна шина мережі Profibus DP, яка підключена до визначеного порту ПЛК. Фрагменти процедури конфігурування зображені на рис. 6.2, 6.3

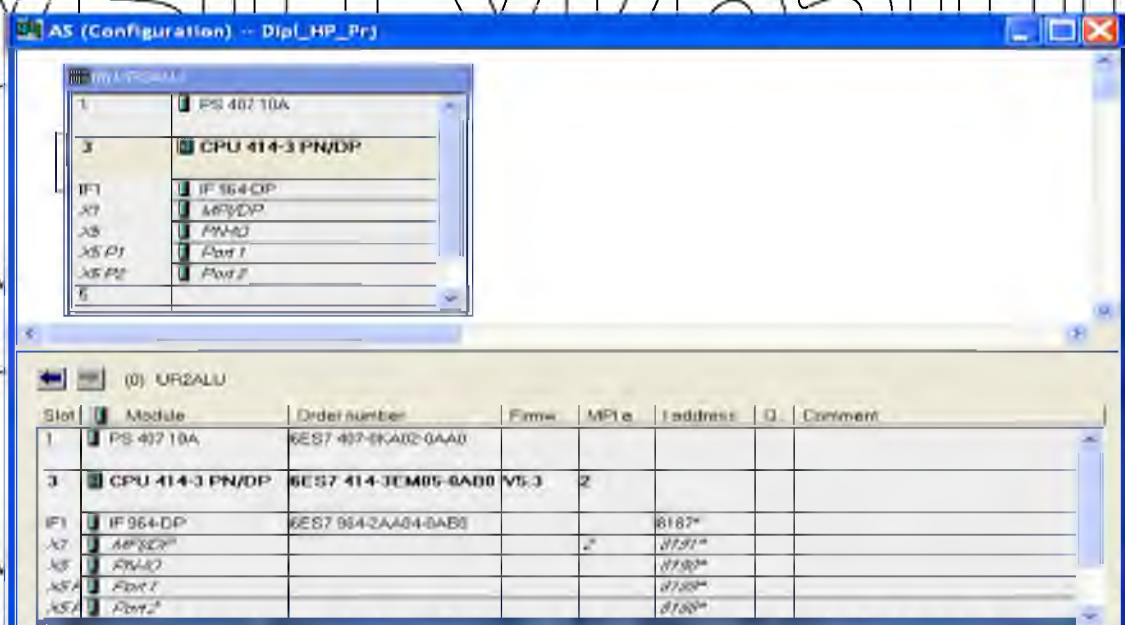


Рис. 6.2. Вікно конфігурування програмно-логічного контролера

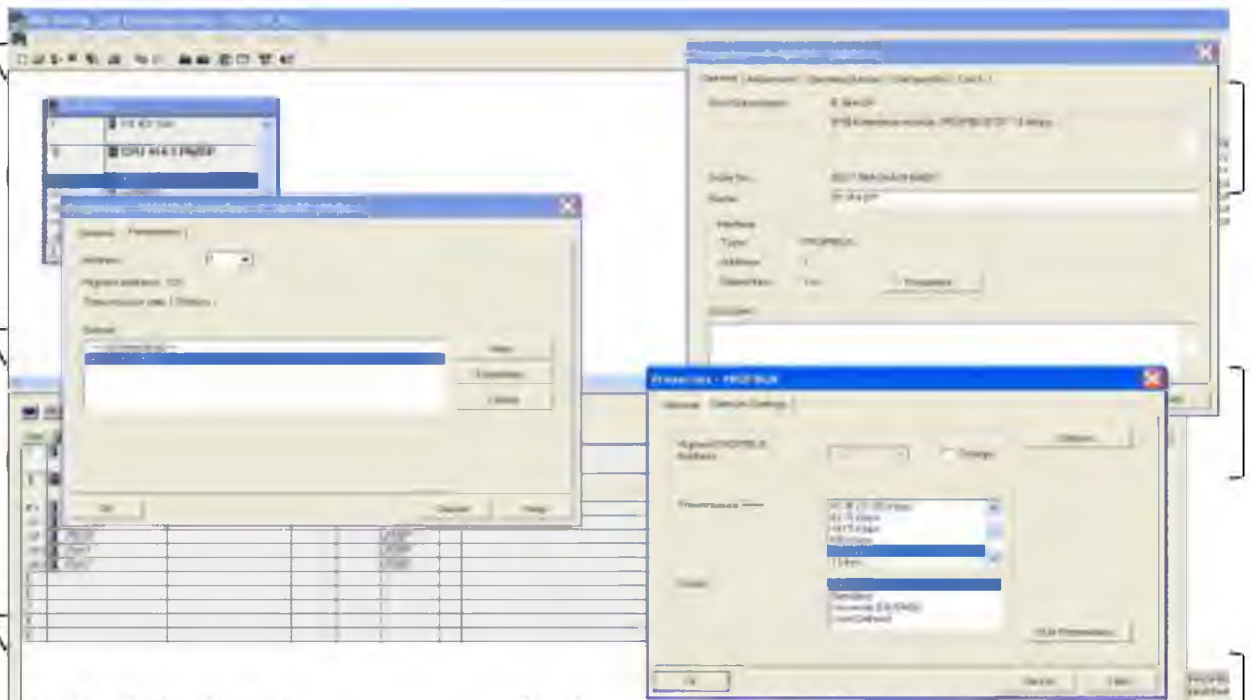


Рис. 6.3. Фрагмент конфігурування одного з портів ПЛК для роботи у мережі PROFIBUS-DP

Для підключення до контролера через мережу PROFIBUS-DP модулів серії Simatic S7-300 обираємо інтерфейсний модуль IM 153-1 серії PROFIBUS-DP/ET 200M. Розташовуємо його на шині і підключаємо до існуючої мережі PROFIBUS-DP (рис. 6.4).

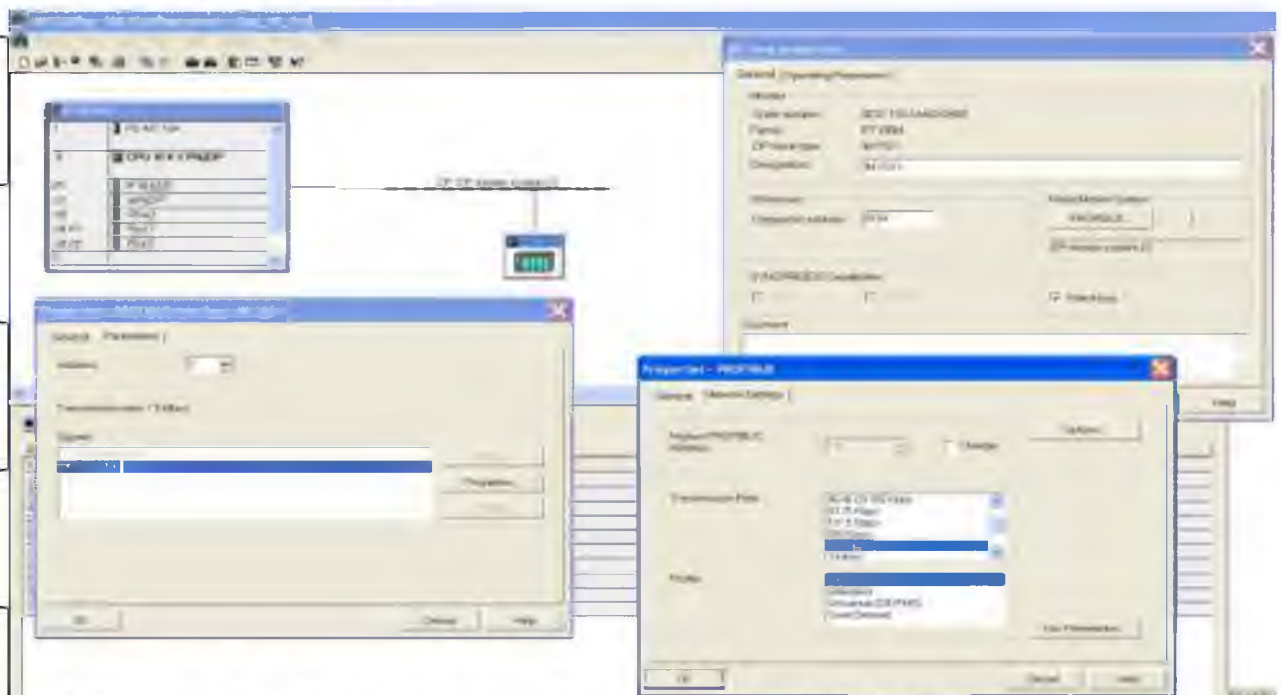


Рис. 6.4. Конфігурування інтерфейсного модуля зв'язку

Обрані модулі вводу/виводу сигналів конфігуруємо та задаємо символічні імена каналам вводу/виводу (рис. 6.5).



Рис. 6.5. Загальний вид вікна конфігурування модулів аналогового вводу та виводу

Обрані модулі вводу/виводу не передбачають підключення дискретних сигналів додаткової конфігурації.

Зв'язок станції оператора із ПЛК Simatic S7-400 реалізується на основі мережевого протоколу MPI, яка може бути використана також для режиму емуляції контролера для тестування програмного забезпечення.

6.2. Розробка програмного забезпечення контролера САК

В загальному випадку, програмування у середовищі SIEMENS SIMATIC PCS7 здійснюється для структури всього підприємства. У даному випадку розглядаємо тільки котлоагрегат без прив'язки до місця його встановлення, тому ієрархія структури складається із загальної ділянки "Plant" та папок із підпрограмами керування технологічним обладнанням за окремими контурами, а також файлами "Help" допомоги для оператора. Загальна структура проєкту в режимі перегляду "Plant View" зображена на рис. 5.6.

словами, SFC-схеми здійснюють контроль певних технологічних параметрів і формують керуючі сигнали для блоків SFC-програм.

SFC-схеми пуску і зупинки котлоагрегату, інтегровані з розробленими вище SFC-підпрограмами, із прикладом конфігураційних вікон кроків керування та умов переходу між кроками керування наведені в додатках X8, X9.

На цьому етапі процес розробки програмного забезпечення програмно-логічного контролера вважається завершеним.

Наступним кроком є компіляція програми із пошуком і видаленням помилок із наступною розробкою екранної візуалізації SCADA-системи за

допомогою редактора WinCC. Тут за допомогою "Graphic Designer" із використанням різноманітних інструментів створюємо мнемосхему котлоагрегату: розташовуємо технологічне обладнання із піктограмами блоків.

Це реалізується за допомогою бібліотеки "Siemens HMI Symbol Library", яка вміщує широкую номенклатуру обладнання різних галузей промислового і сільськогосподарського виробництва.

Після програмного конфігурування обладнання та зв'язків комунікації між станцією АСУТП оператора, контролером і технологічним обладнанням у середовищі PCS7, розробки програмного забезпечення контролера та станції

оператора проведено тестування роботи системи керування котлоагрегатом у режимі емуляції (вікно допомоги оператора зображене на рис. 6.7, головне вікно мнемосхеми – на рис. 6.8), яке підтвердило коректну роботу розробленої системи.

НУБІП України

НУБІП України

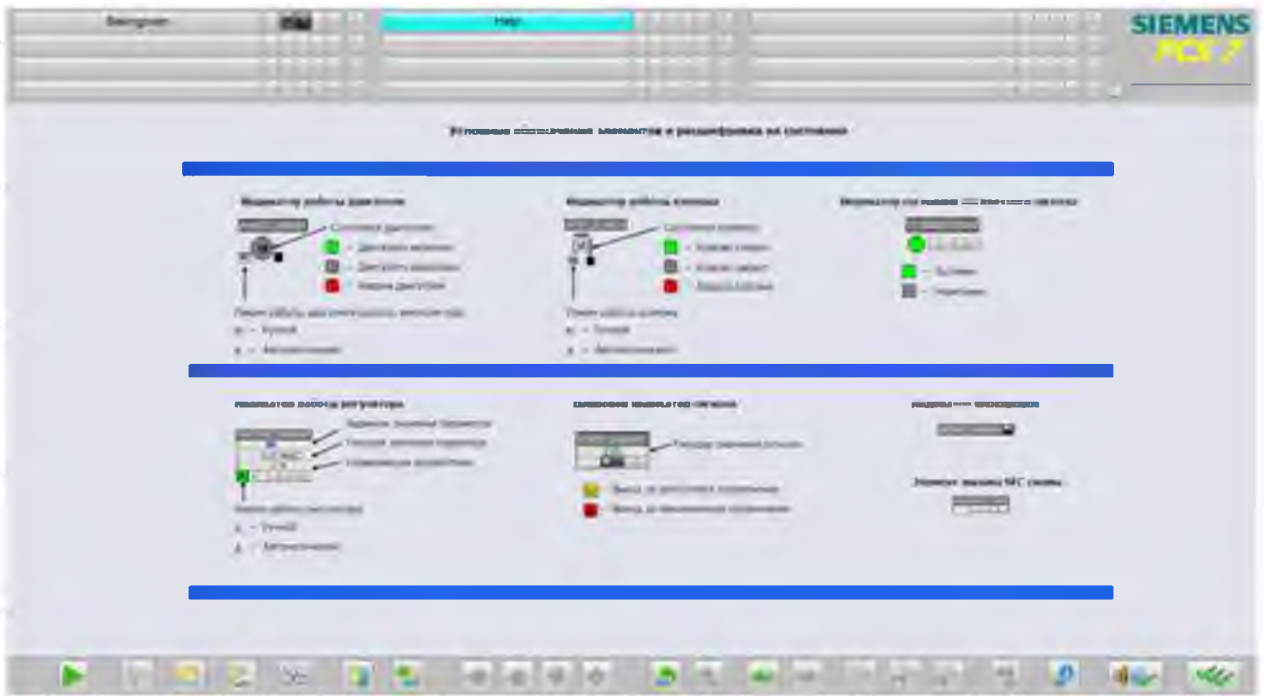


Рис. 6.7. Загальний вигляд допомоги станції оператора

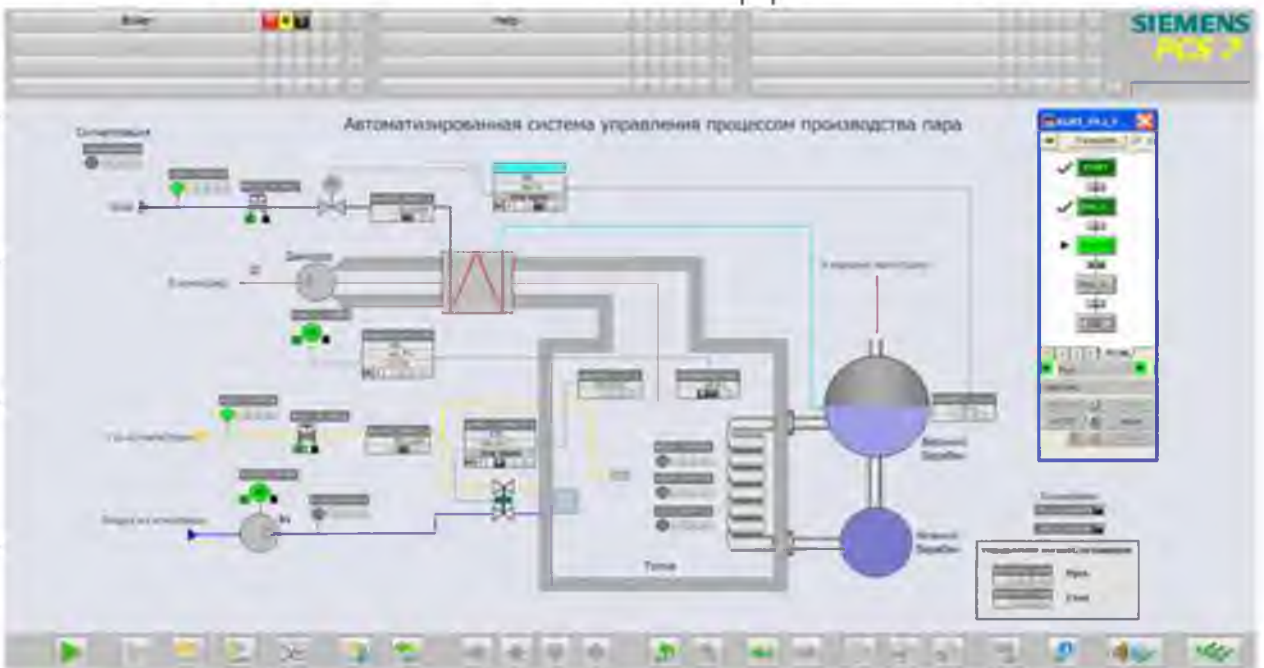


Рис. 6.8. Головне вікно мнемосхеми при виконанні алгоритму керування котлоагрегатом

НУБІП України

РОЗДІЛ 7

РЕКОМЕНДАЦІЇ З ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
І РЕМОНТУ І БЕЗПЕКИ ПРАЦІ З КОТЛОАГРЕГАТОМ

7.1. Технічне обслуговування та ремонт котлоагрегату

Робота котлоагрегату здійснюється під наглядом оператора.

До роботи з котлом допускаються особи не молодше 18 років, навчені в роботі з ним. При прийомці виробу перевірити комплектність поставки. Перед монтажем и налагодженням котла розконсервувати всі вузли та деталі, піддані консервації.

Заходи безпеки. Котел монтується в приміщеннях, які мають припливно-витяжну вентиляцію. Експлуатація котла за умови непрацюючої вентиляції заборонена.

Експлуатація допускається при температурі оточуючого повітря від мінус 20⁰С до плюс 30⁰С. Блок керування котлом розташовують в освітлених та зручних для обслуговування місцях, але не більше 10 м от котла.

Котел та блок керування повинні бути заземлені у відповідності з ГОСТ 12.1.030-81. Прилади, які мають вивід «ЗЕМЛЯ», повинні бути заземлені мідним дротом перетином не менше ніж 2 мм².

Порядок технічного обслуговування. Перевірка технічного стану котла проводиться не ріже одного разу в місяць. Зовнішнім оглядом переконатися в надійності затяжки різьбових з'єднань котла.

Перевірити на всій зовнішній поверхні котла, підвідно-відвідних трубопроводах відсутність тріщин, зламів та інших механічних пошкоджень.

Перевірити спрацювання захисту від перевищення максимального тиску в котлі, для чого на працюючому котлі по черзі пересунути контакти на електроконтактних манометрах. Димосос и шнек виключається, включиться сирена і відповідна індикація.

Перевірити спрацьовування теплового реле, для чого повільно зменшують поріг спрацьовування по току.

Не рідше одного разу в три місяці перевірити настройку запобіжного клапана, для чого запобіжний клапан необхідно зняти і подати тиск 0,7 МПа від компресора; при цьому запобіжний клапан повинен відкритися.

Виявлені несправності і дефекти усунути. У разі неможливості усунення сповістити розробника. Під час запуску та роботі котла можуть виникнути несправності. У таблиці 7.1 приведені основні несправності котла парового і засоби їх усунення.

Таблиця 7.1

	Несправності 1	Причина 2	Міри усунення несправності 3
1	Працює сирена і світиться індикатор «Нижній рівень»	Нема або мало води в котлі. Забруднені електроди рівномірів. Невірні настройки в сервісному меню БУК.	Залити котел водою. Замінити або почистити електроди рівномірів. Перевірити відповідні настройки в сервісному меню БУК.
2	Зменшується інтенсивність горіння в котлі аж до зупинки	Забруднені золюю соплові отвори в камері згорання. Слабке розрідження в котлі. «Закоксовався» теплообмінник. «Закоксовався» димосос.	Зупинити котел та видалити золу з камери згорання. Перевірити роботу димососу і, у випадку необхідності, відремонтувати його. Очистити теплообмінник від золи.
3	Зменшився тиск пари	Поверхня теплообмінника зі сторони водопровідної води вкрилася накипом.	Витягнути теплообмінник і очистити його від накипи.
4	Гріється підшипниковий вузол димососа	Забруднені отвори охолодження димососа.	Очистити отвори від пилу.
5	Невірно відображується температура пари або вихлопних газів	Пошкоджені датчики температури. Розрив або коротке замикання ланцюгів підключення датчиків температури до БУК. Невірні настройки у сервісному меню БУК.	Замінити датчик температури. Усунути пошкодження з'єднувальних ланцюгів. Перевірити в сервісному меню БУК ідентифікаційні номери датчиків температури.
6	При відсутності води датчик рівня показує її наявність	Датчик рівня забруднений. Коротке замикання у ланцюзі датчика рівня води.	Вилучити і очистити датчик рівня води. Видалити бруд з розширювального бачка. Знайти і усунути коротке замикання у ланцюзі датчика.
7	Блок керування котлом не вмикається	Відсутня напруга живлення.	Перевірити ланцюг електроживлення.

8	Блок керування котлом не реагує на спрацювання контактів електроконтактних манометрів	Контакти манометрів окислені або забруднені. Обірвані або замкнуті лінії зв'язку манометрів з блоком керування котлом. Невірні настройки у сервісному меню БУК.	Перевірити кнопку «Аварийний стоп». Очистити контакти електроконтактних манометрів. Перевірити і усунути несправність в ланцюгах зв'язку манометрів з БУК. Перевірити відповідні настройки в сервісному меню БУК.
9	Димосос не включається	Несправний пускач димососу Перекіс фаз. Відсутня одна або більше фаз, які живлять струмом димосос. Невірна черговість фаз.	Перевірити ланцюги електроживлення. Замінити пускач. Перевірити двигун димососу.
10	Шнек не обертається або недостатньо обертового моменту.	Шнек заклинило стороннім предметом. Двигун під'єднаний «зіркою», а не «трикутником». Невірні настройки перетворювача частоти. Підвищене тертя в редукторі шнека.	Очистити канал шнека. Перевірити під'єднання двигуна, перевірити настройки перетворювача частоти. Перевірити наявність змазки в редукторі та його обертання.
11	Температура пари на виході з парогенератора не відповідає тиску насиченої пари, яке відображається на манометрах.	Відсутня вода в теплообміннику. Датчики рівня забруднені. Коротке замикання в ланцюзі датчика рівня води. Забруднений трубопровід повернення конденсату.	Вилучити термopару на виході з теплообмінника і упевнитися, що теплообмінник заповнений водою. Якщо ні, то вилучити і очистити датчики рівня води. Знайти та усунути коротке замикання в ланцюзі датчиків рівнів.
12	Блок керування котлом часто запрошує воду (спрацює аварія «Верхній рівень» і «Нижній рівень»).	Система не герметична. Сильно великий гідравлічний опір трубопроводу повернення конденсату від користувача до теплообмінника котла.	

У випадку, якщо в шнек потрапив сторонній предмет, і це призвело до його заклинення може виникнути необхідність здійснити реверсування шнека. Для цього, з метою попередження попадання палаючого палива в порожнину шнека, необхідно насамперед виключити шнек і димосос та відокремити шнек від котла. Установка реверса на перетворювачі частоти здійснюється згідно наданої до нього інструкції.

7.2. Рекомендації з електробезпеки при роботі з котлоагрегатом

Монтаж та експлуатація електрообладнання повинні виконуватися згідно з стандартами і нормативно-правовими актами з охорони праці та експлуатаційної документації на нього.

Безпечність електроустановок повинна забезпечуватися:

- надійністю ізоляції;
- безпечним розміщенням струмопровідних частин,
- заземленням або зануленням корпусів електрообладнання.

- попереджувальною сигналізацією, блокуванням, знаками безпеки;

Усі заново під'єднані, реконструйовані електроустановки повинні підлягати приймально-здавальним випробуванням і прийманню комісією відповідно до діючих положень.

Уведення в експлуатацію електроустановок можливе тільки за наявності відповідного електротехнічного персоналу і призначеної особи, яка відповідає за електрогосподарство.

Працівники, які обслуговують електроустановки, повинні знати вимоги нормативно-правових актів у межах своєї компетенції.

На кожну електроустановку в підприємстві, крім технічної документації з експлуатації, має бути затверджена проектна документація, акт здачі електроустановки в експлуатацію, паспорт на обладнання, апаратуру й прилади, виконавча схема електричних з'єднань, блокувань, сигналізації, розміщення, протоколи електричних випробувань, вимірів, налагодження окремих пристроїв тощо.

Струмоведучі частини електроустановок повинні мати захист від випадкового доторкання.

Усі електродвигуни повинні бути заземлені і мати відповідний захист від короткого замикання й перевантажень.

Металеві частини електроустановок 380/220 В із глухозаземленим нульовим проводом, які можуть опинитися під напругою внаслідок порушення

ізоляції, повинні заземлюватися відповідно до Правил улаштування електроустановок.

Забороняється влаштування заземлювачів у місцях проходів людей і тварин, на вході у приміщення, на вигульних майданчиках.

Зовнішні електропроводки в місцях, де вони можуть піддаватися дії механічних пошкоджень, повинні прокладатися у сталевих або пластмасових трубах, коробах, каналах.

Електропроводки й електрообладнання у приміщеннях з підвищеним умістом пилу (кормоцехи, цехи сушіння посіду, трав'яного борошна тощо) повинні бути пиловибухозахищеного виконання.

Електропроводки, що з'єднують машини з іншим електрообладнанням у місцях, небезпечних щодо механічних пошкоджень, повинні прокладатися в сталевих або пластмасових трубах, металорукавах, коробах, каналах тощо.

Не допускається установа вимикачів і запобіжників у проводах, які використовуються для захисного заземлення.

Заземлений нульовий провід внутрішньої електропроводки повинен мати розпізнавальні позначення або пофарбування.

Надійність заземлення і його загальний стан повинні перевірятися шляхом заміру один раз на рік, а також після кожного капітального ремонту і тривалої перерви в роботі установки.

При виявленні відхилення опору заземлення від значень, вказаних у Правилах улаштування електроустановок, слід ужити заходів щодо приведення його до нормативних.

Зовнішній огляд стану заземлювальних провідників (шпін) повинен проводитися один раз на 6 місяців, у вологих і особливо вологих приміщеннях - кожні 3 місяці.

При порушенні або несправності заземлювального пристрою установку негайно відключають до ліквідації несправності.

Штепсельні роз'єднання повинні бути захищені від випадкового дотику до частин під напругою і розміщені таким чином, щоб їхнє приєднання здійснювалося без ускладнень.

Штепсельні розетки для підключення опромінювальних установок до електричної мережі повинні мати третій заземлювальний контакт.

У приміщеннях підвищеної небезпеки (вологість понад 90%, запиленість понад 800 мг/м³) потрібно влаштовувати герметичні штепсельні розетки зі спеціальними гніздами для приєднання до захисного нульового проводу.

Штепсельні з'єднання (розетки, вилки), що застосовуються в мережі з напругою 12-42 В, за своїм конструктивним виконанням повинні відрізнятися від звичайних штепсельних з'єднань, щоб запобігти включенню вилок на 12-42 В у штепсельні розетки на 127-220 В.

Огляд, обслуговування й ремонт приймачів та споживачів електроенергії слід проводити тільки після відключення їх від електромережі. На засобах відключення електроенергії (вимикачі, запобіжники тощо) вивішується плакат "Не вмикати! Працюють люди!".

Роботу на машинах та обладнанні з електроприводом дозволяється доручати тільки персоналу з групою електробезпеки не нижче І.

Виробничі, допоміжні і складські будівлі й приміщення потрібно обладнувати блискавкозахистом відповідно до інструкції по улаштуванню.

Для зменшення вірогідності проникнення кульових блискавок у приміщення, перед початком грози слід запобігати утворенню протягів у приміщеннях (закривати двері, вікна люки та інші прорізи й отвори).

7.3. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку аварійної ситуації (появі сторонніх шумів під час роботи обладнання, запаху горілого, диму, виявленні несправностей, іскрінні електрообладнання, появі електричної напруги на деталях, підвищеному нагріванні поверхні підшипників, редукторів, інших частин машин, порушенні цілісності захисних пристроїв, бункерів, смкостей, забиванні вихідних отворів горловин тощо) необхідно зупинити роботу машин, обладнання в порядку, передбаченому правилами їх експлуатації, в першу чергу, відключивши подачу електроенергії, пари, води, пального, хімічного розчину.

При наявності загрози здоров'ю і життю слід покинути небезпечну зону, попередивши працівників, що знаходяться поблизу неї.

Забороняється проводити ремонт, усувати несправності в аварійній ситуації без зупинки машин і обладнання. Після аварійної зупинки і при повторному запуску машина повинна бути звільнена від продукту переробки.

При виникненні пожежі чи загоранні необхідно терміново повідомити про це (по телефону, через посильного) керівника робіт, пожежно-сторожову охорону, пожежну частину, підняти тривогу звуковим сигналом (сирена, радіостанція, дзвінок), приступити до гасіння пожежі наявними засобами (вогнегасник, пожежний кран, пісок тощо).

Під час гасіння пожежі ізольовують горючу речовину від кисню, повітря, охолоджуючи до температури, що перешкоджає горінню, і при цьому слідкують за тим, щоб не з'явилися інші небезпечні фактори (вибухи, обвали, замикання електропроводів тощо). Великі об'єми горючого матеріалу розгляють і гасять кожну частину окремо.

Легкозаймісті рідини (пальне) гасять вогнегасником, направляючи струмінь під основу полум'я або закидають горючу поверхню піском, землею чи накривають мокрим брезентом.

Вибухові речовини (кормовий і борошняний шл, вибухонебезпечна концентрація аміаку) рясно поливають розпиленням струменем води із рідранта.

Більшість твердих горючих речовин (сіно, солома тощо) гасять водою, накривають кошмою, закидають піском або землею.

При загорянні електропроводів слід негайно від'єднати лінію від струму, вимкнувши рубильник. Якщо це зробити неможливо, потрібно сокирою або лопатою з сухою дерев'яною ручкою перерубати проводи по одному попереду місця їх загорання. При цьому необхідно стати на суху дерев'яну підставку або гумовий килимок і надіти гумові рукавиці чи ізолювати руки вовняною тканиною (шарфом, картузом тощо). Гасити проводи електрообладнання необхідно тільки сухим піском.

При загоранні пересувної машини по можливості відбуксирують її в безпечне для інших об'єктів місце, подають сигнал пожежної тривоги і приступають до гасіння.

При відключенні кормороздавального обладнання в аварійних ситуаціях слід дотримуватися застережних заходів для запобігання нещасних випадків - не торкатися проводів, металевих частин технологічного обладнання при підозрі появи електричної напруги на ньому або пошкодженні проводів, не підходити близько до небезпечних механізмів, технологічних матеріалів або інших предметів, застосовувати засоби захисту (рукавиці, гумове взуття, вогнегасники тощо).

При нещасних випадках в першу чергу усувається небезпечний фактор (подача пари, хімічну, електроенергію, зупинка механізмів, що рухаються, і т.п.), надається потерпілому перша (долікарська) допомога і відправляється потерпілий в медичний заклад. По можливості, зберігається до розслідування на робочому місці обстановка і стан обладнання такими, якими вони були на момент випадку (якщо це не загрожує життю і здоров'ю оточуючих і не порушує безперервність технологічного процесу).

ВИСНОВКИ

НУБІП України

При виконанні випускної магістерської роботи обґрунтована актуальності теми та проведено дослідження основних каналів керування

НУБІП України

котлоагрегатом. Розглянута математична модель основної зони котлоагрегату, що дозволяє проаналізувати його динамічні характеристики та розробити на її основі алгоритми, що забезпечують підвищення точності керування.

НУБІП України

Розроблено функціональну схему автоматизації системи керування паровим котлоагрегатом, обґрунтований вибір алгоритму керування та технічних засобів для його реалізації на основі обладнання компанії Siemens, визначені показники якості роботи системи, розроблені електричні схеми

НУБІП України

системи керування, створено операторський інтерфейс системи контролю та керування SCADA TRACE MODE у середовищі SIEMENS SIMATIC Process Control System 7 (PCS7).

НУБІП України

Очікуваний ефект від впровадження розробленої САК на виробництві в фоновому режимі симуляції процесу керування показали, що кількість

НУБІП України

природного газу, що споживалась котлоагрегатом безпосередньо на технологічні операції зменшилась. умовно постійна норма витрат газу до автоматизації складала $74\text{ м}^3/\text{год.}$ а після впровадження розробленої САК вони скоротяться до $72,5\text{ м}^3/\text{год.}$

НУБІП України

НУБІП України

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Автоматизация теплоэнергетических установок: учеб. пособие / Ю. М. Голдобин, Е. Ю. Павлюк. – Екатеринбург : УрФУ, 2017. – 186 с.
- 2 Бородин И.Ф., Недилько Н.М. Автоматизация технологических процессов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 367с.
- 3 Варфоломеев Ю. М. Опалення і теплові мережі / Ю. М. Варфоломеев, О. Я. Кокорін. Київ : Інфра, 2010. – 480 с.
- 4 Герман-Палкин С.Г. Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА – Век, 2008. – 368 с.
- 5 Деев Л.В., Балахнічев Н.А. Котельні установки та їх обслуговування. Практичний посібник для ПТУ. – К.: Вища школа, 1990. – 239 с., іл.
- 6 Драганов Б.Х., Міщенко А.В., Борхаленко Ю.О. Основы теплотехники и гидравлики. Навчальний посібник / За ред. Б.Х. Драганова. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 495с.
- 7 Имитационное моделирование производственных систем / Под ред. А.А. Вавилова. – М.: Машиностроение, Veб Verlag Technik, 1983.
- 8 Клюев А. С. Наладка систем автоматического регулирования барабанных паровых котлов / А. С. Клюев, А. Г. Лебедев, С. И. Новиков. Москва : Энергоатомиздат, 1985. 280 с.
- 9 Любарец О.П. Проектування систем водяного опалення / О.П. Любарец, О.М. Зайцев, В.О. Любарец. - Відень-Київ-Сімферополь, 2010. – 201 с.
- 10 Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Гищенко Л.П., Лукач В.С. Проектування систем електрифікації та автоматизації сільського господарства. – К.: Вища школа, 1999. – 201 с.
- 11 Мартыненко И.И., Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики. – М., Агропромиздат, 1991. -242с.
- 12 Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования // А.С. Клюев. – Москва: Энергоатомиздат, 1989 – 365с.
- 13 Основы автоматики: теорія і практика (ч.1) / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К.: Освіта України, 2012. – 540 с.
- 14 Основы энерго-технологии производства / В.А. Маляренко, Н.Л. Товажнянський, О.Б. Анишко. Підручник – Харків: НТУ ХПИ, 2002. – 436с.
- 15 Петросян А.А., Давидов В.О. Автоматизована система управління технологічними процесами живлення парового котла FM-50. Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2018. Том 29 (68) Ч.1 №4. С.208-214.
- 16 Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – 4-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352с.
- 17 Решетюк В.М., Мірошник В.О. Типові технологічні процеси і об'єкти виробництв. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2008. – 462 с.

- 18 Соколов Б. А. Устройство и эксплуатация оборудования газомазутных котельных / Б. А. Соколов. Москва: Академия, 2007. – 302 с.
- 19 Справочник по теплоснабжению сельского хозяйства / Л.С. Герасимович, А.Г. Цубанов, Б.Х. Драганов, А.Л. Синяков и др. – Мн.: Ураджай, 1993. – 368 с.
- 20 Стефани Е.П., Панько М.А., Пикина Г.А. Сборник задач по основам автоматического регулирования теплоэнергетических процессов. – Учеб. Пособие для вузов. – М.: Энергия, 1993. – 336 с.
- 21 Столяр О.М. Алгоритми регулювання параметрів технологічного процесу в енергетичних установках / Столяр О.М. // Матеріали VI Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2016. – Тернопіль: ТНЕУ, 2016. – С. 51-52.
- 22 Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. Підручник / Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, В.А. Маляренко. – Київ: «Політехніка», 2003. – 232 с.
- 23 Электротехнический справочник. / Алиев И. И., - М.: ИП РадиоСофт, 2006. – 384 с.

НУБІП України

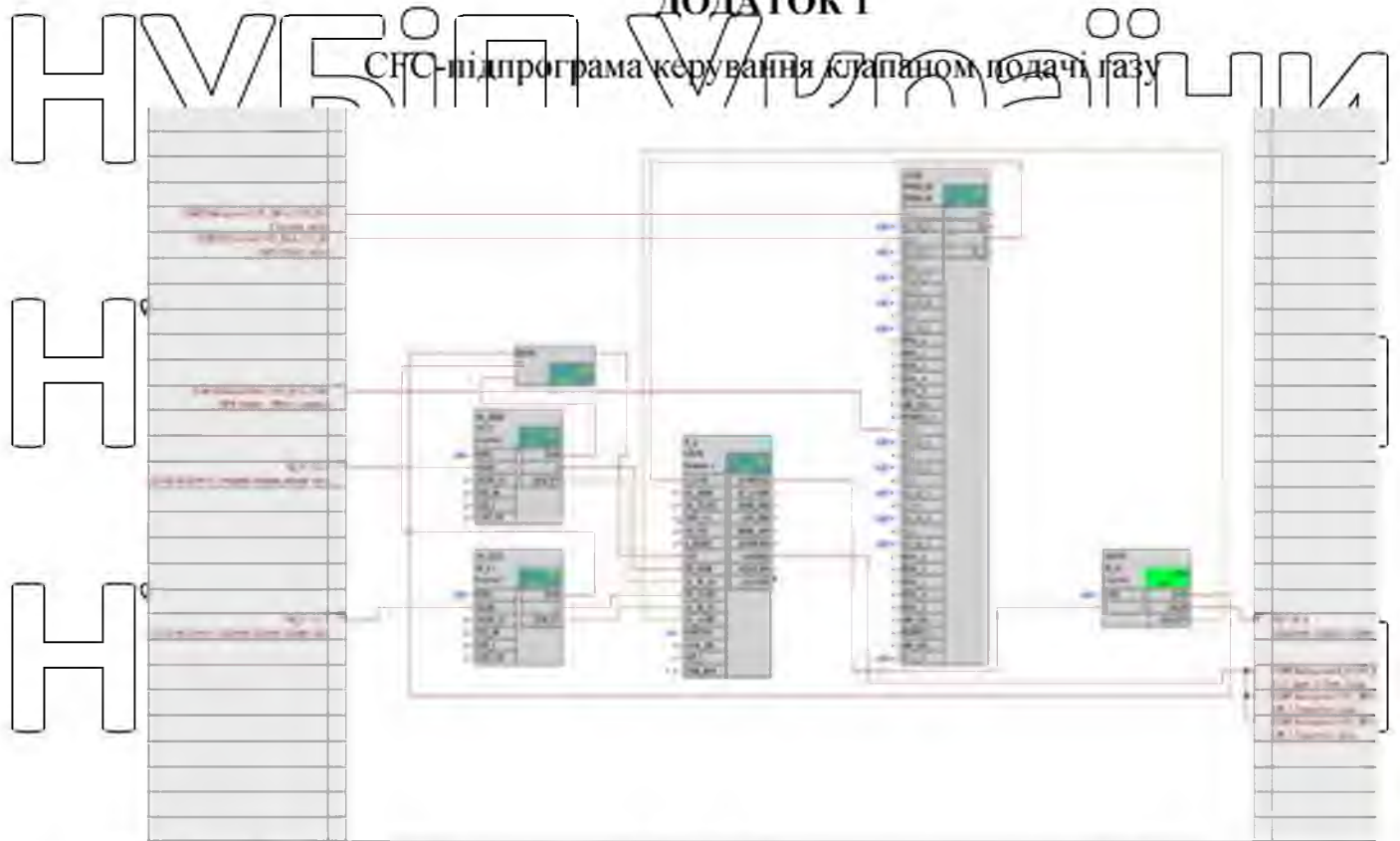
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТОК 1

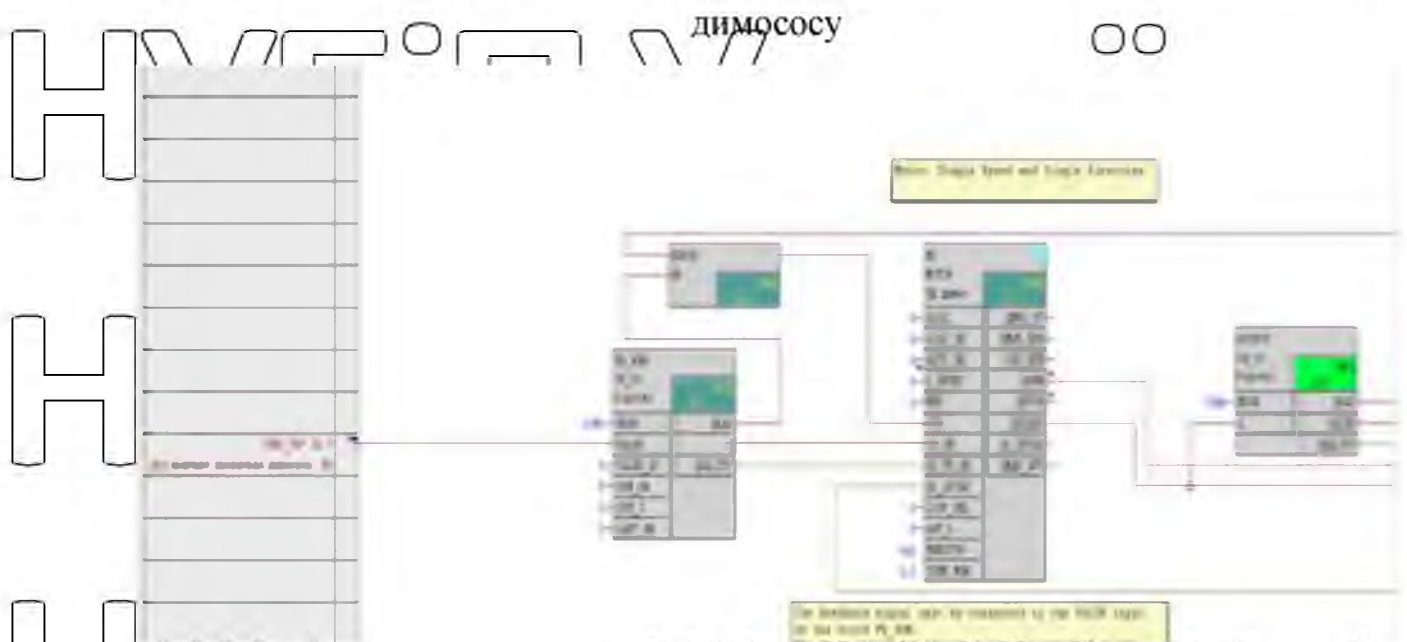
CFC-підпрограма керування клапаном подачі газу



НУБІП України

ДОДАТОК 2

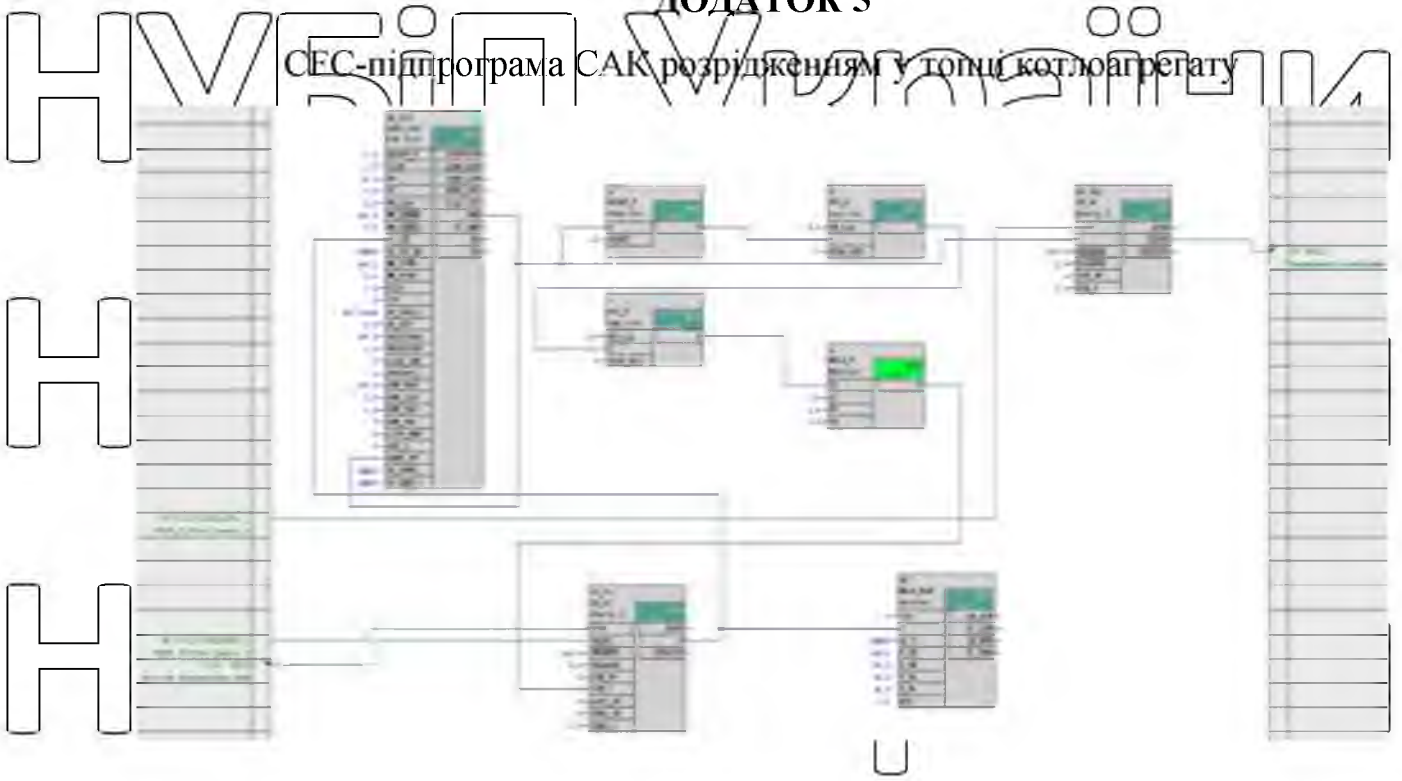
Фрагмент CFC-підпрограми керування електродвигуном приводу вентилятора



НУБІП України

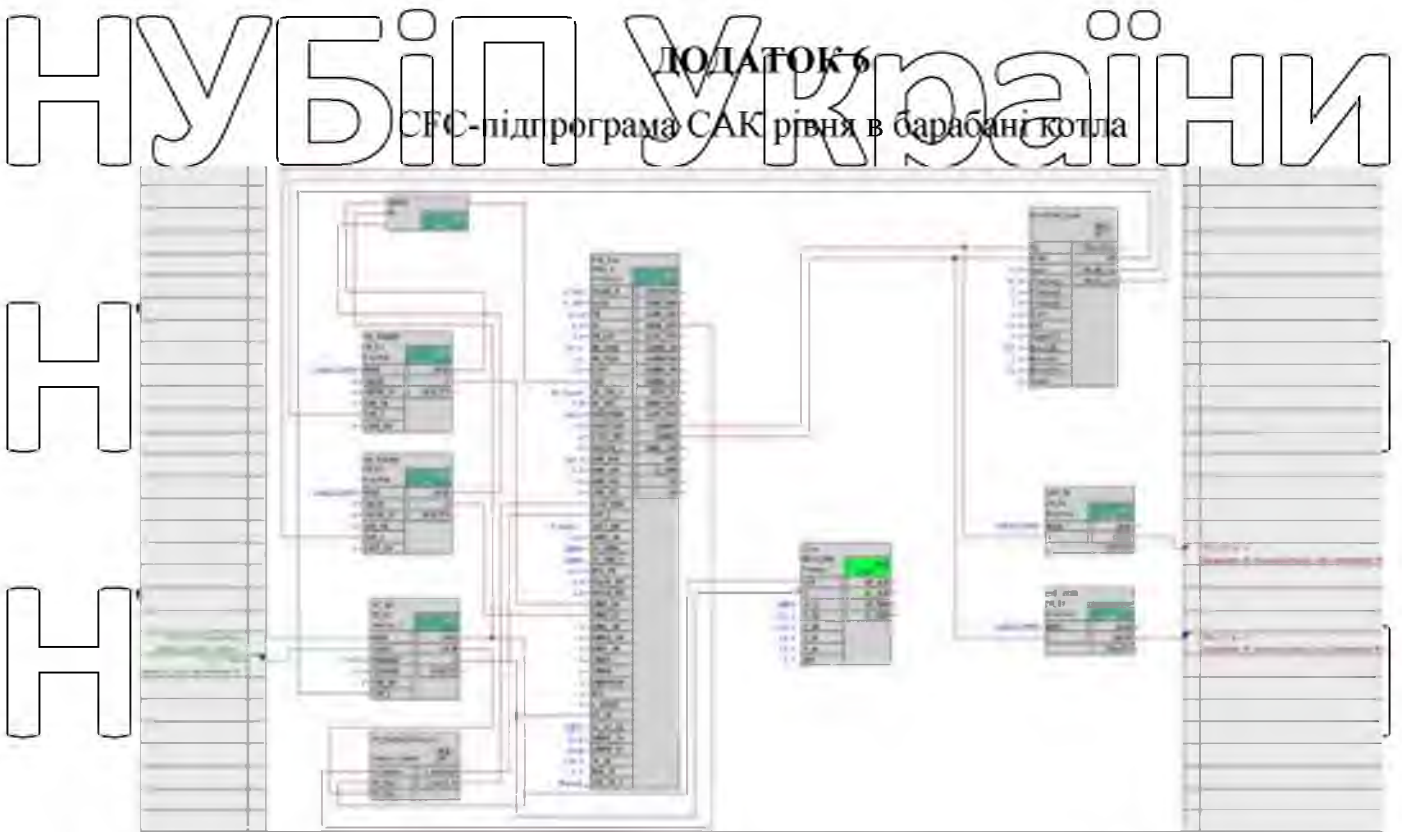
ДОДАТОК 5

СЕС-підпрограма САК розрідженням у топці котлоагрегату



ДОДАТОК 6

СЕС-підпрограма САК рівня в барабані котла

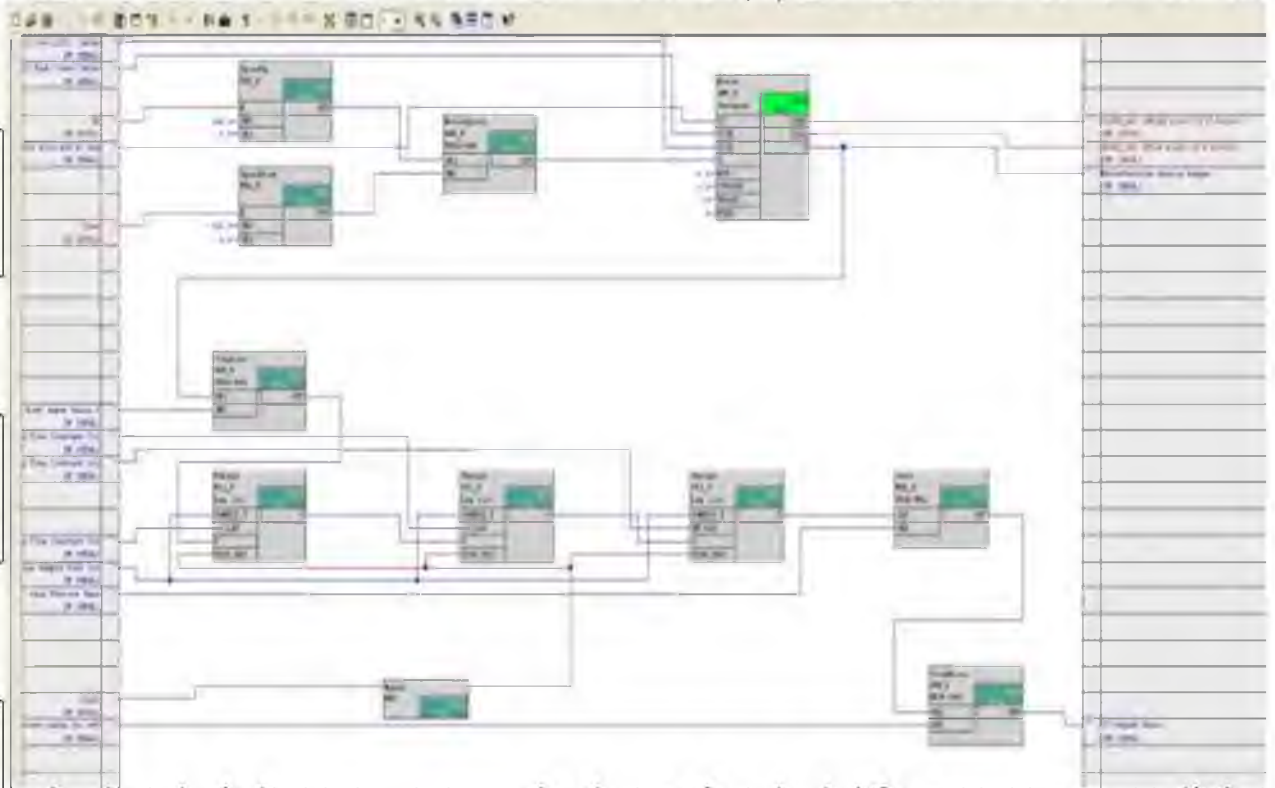


НУБІП України

ДОДАТОК 7

Фрагмент CFC-програми реалізації внутрішньої структури
об'єкта керування

НУБІП України



Н

Н

Н

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТОК 9

SFC-схема реалізації алгоритму зупинки котлоагрегату

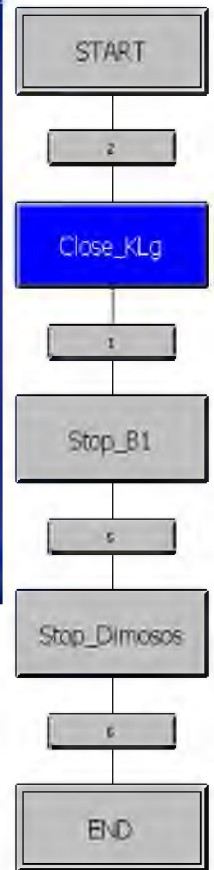


Properties - Close_KLg -- Dipl_Par_Prj\PLANT\Boiler\SFC_stop

General Initialization Processing Termination

1	<input checked="" type="checkbox"/>	PLANT\Boiler\K_g\CFC_K_g\K_gAUTO_OC	=	FALSE
2	<input checked="" type="checkbox"/>	PLANT\Boiler\PID_T\PID_T_AUT_ON_OP	=	Manual
3	<input checked="" type="checkbox"/>		=	
4	<input checked="" type="checkbox"/>		=	
5	<input checked="" type="checkbox"/>		=	
6	<input checked="" type="checkbox"/>		=	
7	<input checked="" type="checkbox"/>		=	
8	<input checked="" type="checkbox"/>		=	
9	<input checked="" type="checkbox"/>		=	
10	<input checked="" type="checkbox"/>		=	

Close Print Browse Go to Help



НУБІП України

НУБІП України