

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

Столяр Олександр Миколайович

Алгоритми регулювання параметрів технологічного процесу в енергетичних установках / Algorithms of Technological Process Regulation in Power Plants

Спеціальність 8.091501 – Комп'ютерні системи та мережі

Дипломна робота за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

Науковий керівник
д.т.н., професор Березький О.М.

Дипломну роботу допущено до захисту

«__» _____ 20 __ р.

Зав. кафедри КІ

Березький О.М. _____

Тернопіль – 2017

РЕЗЮМЕ

Дипломна робота на тему “Алгоритми регулювання параметрів технологічного процесу в енергетичних установках” на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня “Магістр” зі спеціальності “Комп’ютерні системи та мережі” написана обсягом 151 сторінка і містить 28 ілюстрацій, 12 таблиць, 7 додатків та 69 джерел за переліком посилань.

Метою роботи є розроблення алгоритмів адаптації систем регулювання параметрів технологічної установки на основі нейро-мережевого підходу та проектування даної системи регулювання на основі сучасних засобів автоматичного управління.

Методи досліджень. Для розв’язання поставлених задач у дипломній роботі використано: методи: нейро-мережевого підходу до вирішення проблем пошуку оптимальних параметрів регулятора технологічного процесу в енергетичних установках; диференційного аналізу об’єкта управління; об’єктно-орієнтованого програмування для реалізації системи управління.

Результати дослідження: алгоритми налаштування параметрів технологічного процесу регуляторів, програмно-апаратна система регулювання параметрів енергетичної установки та модель побудована на основі нейро-мережевого підходу для пошуку оптимальних параметрів регуляторів.

Результати роботи можуть бути використані на практиці, для наукових досліджень навчальному процесі.

Орієнтовні напрямки розвитку досліджень: розроблення спеціалізованих систем автоматичного пошуку оптимальних параметрів регуляторів для забезпечення оптимального регулювання об’єктом управління; мінімізацію впливу людського фактору на налаштування параметрів регуляторів в системах автоматичного регулювання;

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АЛГОРИТМ, ПІД-РЕГУЛЯТОР, ШТУЧНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ, НЕЙРОН, СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ, ПРОГРАМНА СИСТЕМА.

RESUME

Thesis on "Algorithms adjustment of process parameters in power plants" in the education and qualification level "Master" in the specialty "Computer systems and networks" written 151 page volume contains 28 illustrations, 12 tables, 7 applications and 69 sources for references.

The aim is to develop algorithms adaptation of technological control panel settings based on neural-network approach and design of control system based on modern means of automatic control.

Research Methods. To solve the tasks of the thesis work used: methods: neural-network approach to solving problems finding the optimal parameters regulatory process in power plants; Differential analysis facility management; object-oriented programming to implement management system.

Results: algorithms settings process controllers, software and hardware system, control panel of power plant and the model is based on neural-network approach to find the optimal parameters of regulators.

The results can be used in practice to research the learning process.

The estimated directions of research: development of specialized systems automatically find the optimal parameters of regulators to ensure optimal adjustment object management; minimization of the human factor in regulatory settings in automatic regulation;

KEYWORDS: ALGORITHM, PID CONTROLLER, ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS, NEURONS, REGULATION SYSTEM, SOFTWARE SYSTEM.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	7
Вступ.....	8
1 Аналіз методів, алгоритмів, програмних і апаратних засобів автоматичного регулювання	10
1.1 Аналіз енергетичних установок та технологічного процесу отримання пари	10
1.2 Методи та алгоритми автоматичного регулювання	21
1.3 Аналіз існуючих засобів автоматичного регулювання.....	29
1.4 Постановка задач дипломної роботи.....	34
2 Алгоритми автоматичного регулювання.....	37
2.1 Структура автоматичної системи	42
2.2 Математичні моделі об'єкту управління	42
2.3 Структура системи регулювання	42
2.4 Математична модель пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора	51
2.5 Модель нейро-мережевого регулювання параметрів автоматичної системи	54
3 Програмно-апаратна реалізація системи регулювання	58
3.1 Програмно-апаратні засоби.....	58
3.2 Структура програмного забезпечення.....	69
3.3 Програмна реалізація пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора	65
3.4 Автоматична система збору експериментальних даних	66
3.5 Система адаптивного навчання нейронної мережі.....	69
3.6 Нейро-адаптивний блок розрахунку коефіцієнтів регулювання.....	74
Висновки	78

Список використаних джерел	79
Додаток А Умовні графічні позначення структурної схеми котла	79
Додаток Б Програмний код пропорційно-інтегрально-диференціального регуля- тора.....	83
Додаток В Програмний код нейро-адаптивного блоку.....	88
Додаток Г Копія публікації.....	93
Додаток Д Довідка про впровадження	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЛК – Програмований логічний контролер

ОП – Операторська панель

ПІД – Пропорційно-інтегрально диференціальний

БД – База даних

ПЗ – програмне забезпечення

ТЗ – Технічний засіб

ВСТУП

Актуальність. Сучасний етап розвитку людської цивілізації передбачає застосування різних видів енергії. Основну роль у цьому відіграє 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 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 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 різноманітністю початкових енергоресурсів. Незважаючи на це, ці два види енергії 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.).

Трансформація енергії зазвичай проходить в різних системах. Сьогодні енергетикою застосовуються основні п'ять видів установок: генеруючі, акумулюючі, перетворюючі, транспортуючі та споживаючі [14].

Осередок сучасної теплоенергетики складається з теплових 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 устано-

вок 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 отримання тепла. Такі установки характеризуються умовною неперервністю протікаючих в них процесів [14,15].

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.

Мета роботи полягає у розробленні алгоритмів та програмно-апаратних засобів автоматичного регулювання енергетичними установками у реальному часі. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) розглянути відомі енергетичні установки;
- 2) дослідити алгоритми автоматичного регулювання їх параметрів;
- 3) запропонувати адаптивну систему регулювання для покращення параметрів якості автоматичного регулювання;
- 4) підібрати програмні та апаратні засоби для реалізації системи
- 5) реалізувати на практиці систему автоматичного регулювання отримати експериментальні дані;
- 6) реалізувати автоматичну систему пошуку коефіцієнтів пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора;
- 7) проаналізувати результати роботи на графіках.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного управління енергетичними установками.

Предмет дослідження – методи та алгоритми автоматичного управління та регулювання..

Методи дослідження базуються на використанні апарату штучний нейронних-мереж, теорії оптимізації та теорії алгоритмів.

Наукова новизна полягає у розробці алгоритму пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора, моделі нейро-мережевого регулювання параметрів

автоматичної системи.

Практичне значення полягає у розробці програмно-апаратного комплексу системи автоматичного регулювання параметрів енергетичної установки.

Публікація та апробація ДР. Результати наукового дослідження опубліковано в матеріалах VI Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ'2016.

Впровадження результатів дипломної роботи здійснено при виконанні проекту автоматизації процесів регулювання параметрів технологічного процесу в паровому котлі на ПрАТ «Тернопільський молокозавод».

У першому розділі проведено аналіз існуючих енергетичних установок, алгоритмів автоматичного регулювання параметрів та аналіз існуючих систем.

У другому розділі проведено аналіз технологічного процесу що протікає в паровому котлі, уточнення математичних рівнянь ділянок котла, узагальнення алгоритмів управління параметрами, підбір апарату штучних нейронних мереж для розрахунку коефіцієнтів пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора.

У третьому розділі реалізовано систему регулювання котлоагрегатом, отримано експериментальні дані у вигляді вибірок даних для навчання нейро-емулятора. Проведено навчання і верифікацію нейро-емулятора, застосовано алгоритм на практиці для розрахунку коефіцієнтів пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора.

У додатках наведено копію код реалізації пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора, код реалізації нейро-адаптивного блоку, копію публікації та довідку про впровадження засобу.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ, АЛГОРИТМІВ, ПРОГРАМНИХ І АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

1.1 Аналіз енергетичних установок та технологічного процесу отримання пари

На сьогодні можна виділити основні п'ять видів енергетичних установок:

- генерувальні – призначені для вироблення конкретного виду енергії що необхідна в конкретному технологічному процесі (наприклад, котли, компресори, реактори);

- перетворювального типу – призначені для перетворення одного виду енергії у інший із зміненими властивостями (газові компресорні, трансформаторні підстанції);

- акумульовані – застосовуються для накопичення певних видів енергії, і таким чином врегулювання їх застосування (різного роду акумулятори);

- споживаючі – використовуються там де необхідне перетворення енергії у форму кінцевого призначення (усякого роду пристрої у побуті і кінцеві установки в промисловості);

Сьогодні основними двома видами енергії, що широко застосовується є електроенергія і теплота. Галузь народного-господарства у котрій виконуються усі операції щодо отримання, перетворення, транспортування, застосування тепла називається теплоенергетикою. Відносно нова галузь енергетики – це, ядерна енергетика, що дає змогу використовувати потенціал атомного ядра.

Відновлювальна енергетика складає на сьогодні невелику частку, проте відсоток виробництва енергії з кожним роком постійно збільшується. Основними напрямками її розвитку є вітроенергетика та геліоенергетика. В свою чергу геліоенергетика має одну із найперспективніших напрямків [7].

Усі із вище перелічених галузей як науки окремо мають свої теоретичні основи і ґрунтуються на фундаментальних фізичних законах у цих сферах.

Застосування перетвореного виду енергії не завершується її перетворенням,

енергію що отримують застосовують при різних рівнях потенціалу.

Різні агрегати, апарати і установки в котрих відбувається перетворення енергії являють собою технічну основу енергетики. Енергія від початкового її стану перетворюється у кінцевий що використовується споживачем, для прикладу хімічна реакція спалювання палива виділяє тепло що перетворюється у водяну пару у паровому котлі, водяна пара у свою чергу подається на турбіну що обертає генератор, механічна енергія генератора перетворюється в електричну і передається через лінії електропередачі споживачу і т.д. [6].

Різні варіанти побудови і експлуатації установок, апаратів, машин, пристроїв призначених для перетворення, генерації, транспортування різних форм енергії, беруть початок із застосування відповідних теоретичних знань: електротехніки, гідротехніки, геліотехніки, теплотехніки та ін.

На сьогодні розрізняють наступні ключові поняття:• Енергетичний ланцюжок (energy chain) характеризує потік енергії від видобутку (виробництва) первинного енергоресурсу до одержання і використання підведеної кінцевої енергії.

- Первинний енергоресурс (primary energy resource) – енергоресурс (сира нафта, природний газ, вугілля, горючі сланці, ядерна енергія, гідроенергія, геотермальна, сонячна, вітрова енергія тощо), який не переробляли і не перетворювали.

- Енергоносій (energy carrier) – ресурс, що безпосередньо використовують на стадії кінцевого споживання, попередньо перероблений, перетворений, а також природний енергетичний ресурс, що споживається на цій стадії.

- Підведений енергетичний ресурс (energy resource supplied) – енергоресурс, підведений до енергетичної установки для переробки, перетворення, транспортування або використання.

- Кінцева підведена енергія (final energy або energy supplied) – енергія, підведена до споживача перед її кінцевим перетворенням на корисну роботу (кінцевим використанням) або кількість енергії в підведеному енергетичному ресурсі або енергоносії.

- Енергопостачання – сукупність послідовних процесів виробництва, передачі і використання енергії.
- Система енергопостачання – сукупність установок і пристроїв, призначених для цілей енергопостачання.
- Ланцюг перетворення енергії – сукупність процесів і відповідних елементів для їх реалізації, що характеризують перехід від одного виду енергії до іншого [14].

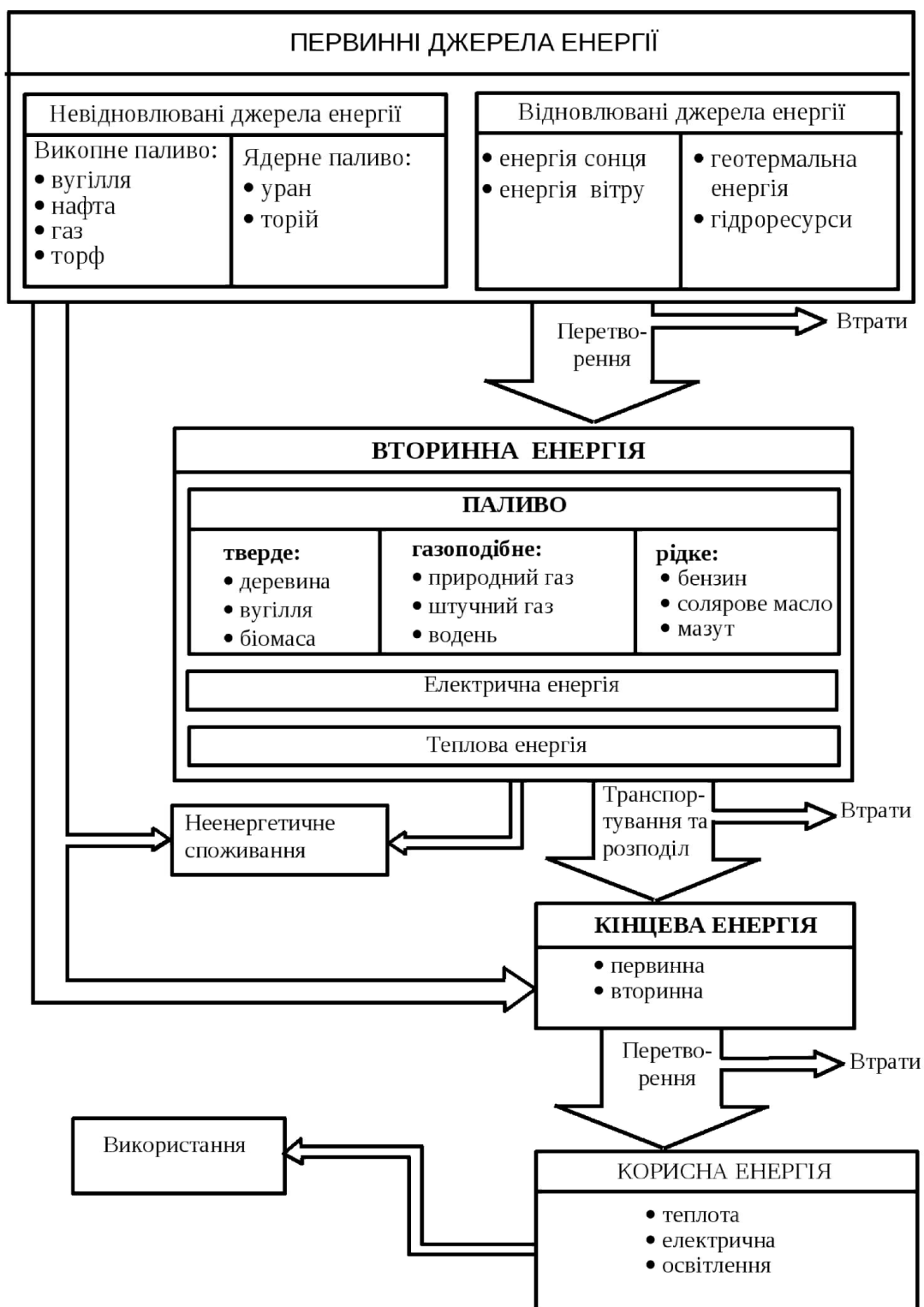
Енергію у вільній формі неможливо накопичувати на будь-який тривалий час. Тому процеси виробництва і споживання енергії мають збігатися в часі або відбуватися безпосередньо один за одним і бути пов'язаними між собою відповідною ланкою передачі. Це суттєво впливає на характер виробничих, технічних і економічних зав'язків енергетики з іншими галузями матеріального виробництва і стосується структури та форм розвитку власне енергетики і систем енергопостачання.

У ряді випадків уживають поняття види енергії, під яким розуміють різні джерела енергії. Зокрема, розглядають невідновлювані ПЕР: викопне органічне паливо (вугілля, нафту, природний газ, торф, горючі сланці), ядерну енергію. Існують й інші ПЕР або джерела енергії, наприклад біомаса, енергія сонця, вітру, хвиль, гідроенергія, геотермальна енергія. Це відновні види енергії, які є прямим результатом впливу енергії сонця, тоді як викопне паливо отримано в процесі біохімічних реакцій в надрах Землі сотні мільйонів років тому.

Усі названі вище види енергії – це первинні енергетичні ресурси, вони утворюють першу ланку ланцюга перетворення енергії.

Схема на рисунку 1.1 наочно демонструє шлях енергії від її вихідного стану до кінцевого споживання, подає загальний взаємозв'язок між джерелами енергії і видами кінцевої енергії. Наприклад, сира нафта, яку видобувають з надр Землі, є первинним джерелом енергії, але її застосовують обмежено. Її можна перетворити на корисніші вторинні джерела енергії, такі як бензин, газове паливо, мазут, дизельне паливо тощо. Такі перетворення пов'язані зі значними втратами енергії. Вторинну енергію треба довести до споживача. Її

транспортування та розподіл потребують додаткової витрати енергії.



На цьому етапі джерело енергії

Рисунок 1.1 – Структура енергопостачання.

перетворюють на відповідний енергоносіє, який на заключному етапі

використовують для отримання кінцевої корисної енергії і подачі її до пункту споживання. Наприклад, у процесі спалювання мазуту в топці одержуємо теплоносії (водяну пару, гарячу воду), який можна подавати на технологічні потреби, опалення і гаряче водопостачання окремих об'єктів [7,8,14].

Основними природними (первинними) ПЕР, на яких базується сучасна енергетика, є викопне паливо (вугілля, торф, нафта, сланці, природний газ), гідроресурси (енергія рік, морів та океанів), ядерне паливо (уран, торій). Цією обставиною визначаються основні напрями розвитку сучасної енергетики: теплоенергетика (використовує органічне паливо);

- гідроенергетика (розвивається на базі гідроенергетичних ресурсів);
- атомна енергетика (основана на перетворенні внутрішньоядерної енергії на інші види).

Основними видами продукції енергетичної галузі є електрична і теплова енергія. Пристрої, у яких енергія природних енергетичних ресурсів перетворюється на інші види енергії, називають енергогенерувальні (або енергогенератори); пристрої, у яких енергія перетворюється на кінцевий вид – енергоспоживачі або абоненти.

Котлоагрегати є одними із найпоширеніших енергетичних установках, їх можна поділити на два види, водогрійні та парові. У котлоагрегатах відбувається передача тепла від спалювання палива до вторинного середовища пари або води.

Водогрійні котли, застосовуються у системах централізованого теплопостачання, встановлюються або в промислових опалювальних котельнях, також у водогрійних котельнях при ТЕЦ. В залежності від теплового навантаження в деяких котельнях застосовуються котли різної потужності для перекриття пікових навантажень по тепло-споживанню [7].

Паровий котел є спеціалізованим типом обладнання що застосовуються для виробництва пари з води. Пар використовується в різноманітних сферах виробництва, енергетиці та в опалювальних системах, для прикладу, щоб забезпечити опалення промислових будівель, що

розташовуються у важких кліматичних умовах. Застосування високої температури водяної пари при проведенні дезінфекційних заходів в медичних та харчових установах. У залежності від поставлених завдань, існують промислові парогенераторні установки, та котли, призначені для побутових завдань. Ці агрегати можуть працювати на різних джерелах теплової енергії. Існують пристрої, які генерують пар за допомогою утилізації надлишків тепла, отриманого від великих промислових установок.

Паровий котел являє собою комплекс засобів, призначених для виробництва водяної пари. Структурну схему отримання водяної насиченої пари можна побачити на рисунку 1.2. Даний комплекс складається з серії теплообмінників, з'єднаних один з одним і використовується для передачі тепла від спалюваного палива до води яка при досягненні точки ентальпії перетворюється у водяну пару, при цьому відпрацьовані залишки продуктів згорання залишають камеру згорання віддаючи своє тепло.

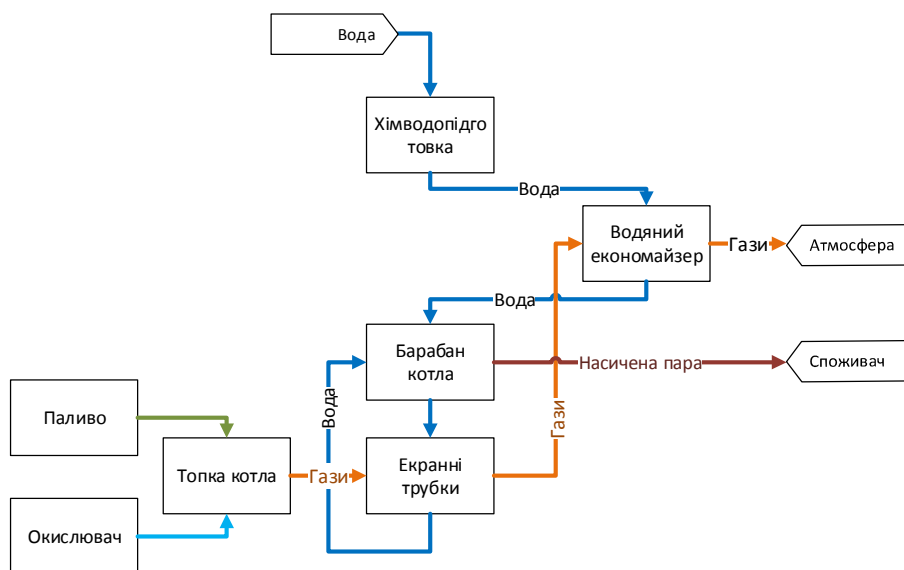


Рисунок 1.2 – Структурна схема отримання водяної пари

Виробництво насиченої пари в барабанному котлоагрегаті зазвичай відбувається на декількох стадіях: подача палива в котел, подача повітря в необхідній кількості для оптимального спалювання, подачі живильної води в барабані котла та відбору димових газів. В наслідок проходження усіх стадій

технологічного процесу виробництва насиченої пари котел - генерує її. Схему котлоагрегату та його основні вузи представлено на рисунку 1.3.

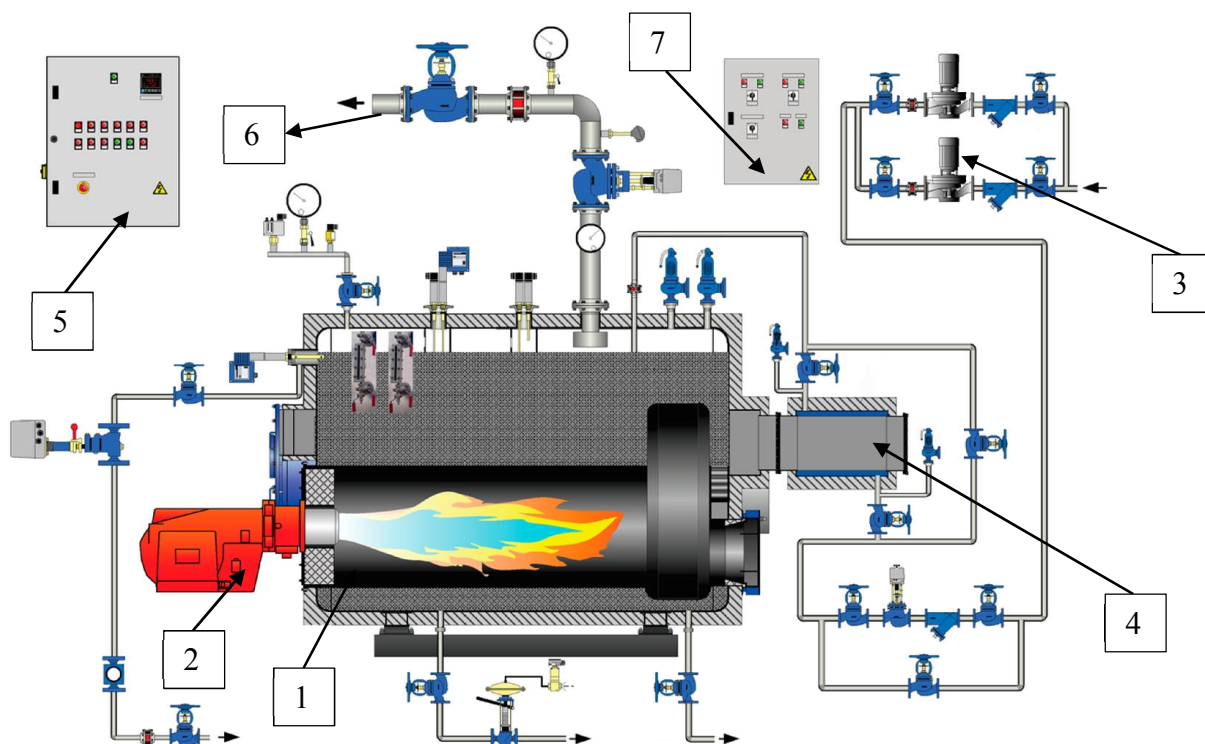


Рисунок 1.3 – Схема котлоагрегату для виробництва насиченої пари. 1 – паровий котел; 2 – пальник; 3 – система водозабезпечення; 4 – вузол відведення димових газів; 5 – щит управління; 6 – паровий трубопровід; 7 – щит насосної групи [5].

Для утворення пари з води необхідне паливо яке є первинним носієм енергії. Основними складовими робочого процесу виробництва насиченої пари в котловому агрегаті є:

- 1) процес горіння пального;
- 2) процес пароутворення, що включає в собі нагрів води до точки ентальпії води з перетворенням її в насичений пар;
- 3) процес теплообміну між паливом та водою яка поступає в котлоагрегат;

В період роботи в котлах виникають два потоки які взаємодіють між собою: потік виникає в камері згорання в напрямку від пальника до димоходу і потік робочого середовища в напрямку від барабану до нагнітаючої пар -

магістралі. Завдяки цьому на виході з котлоагрегату виходить пар необхідного тиску і температури. Технологічний об'єкт застосовує цю пару для зворотного процесу відбирання тепла і перетворення водяної пари в конденсат та повернення його по зворотні магістралі на вузол збору очищеної води.

Для застосування в котлоагрегатах застосовується хімічно та фізично очищена вода з пониженим індексом твердості, для запобігання утворення накипу у внутрішніх елементах, а також в усіх інших суміжних елементах.

Забезпечення рівності між виробленою і спожитою вторинним технологічним процесом енергією є одним із основних завдань що ставиться до систем паро генерації. До того ж кількості речовин в потоках теплоносія і робочого тіла з'єднані з процесом передачі енергій і пароутворення в барабані котла.

Горіння пального є умовно-безперервним фізико-хімічним процесом. Окислення палива киснем, є хімічною реакцією горіння, при якій виділяється велика кількість тепла і продукти горіння. Важливим аспектом у цьому процесі є точне приготування суміші для горіння. Для забезпечення такого процесу використовується модуляція полум'я із підмішуванням необхідної кількості повітря для ефективного згорання.

Формально прийнято процес спалювання пального розділяти на 3 стадії: підпалювання, горіння і догорання. Дані етапи як правило проходять по черзі в часі, поетапно переходять одна в іншу. Розрахунок пропорції повітря до кількості пального зводиться до визначення кількості необхідного повітря в для згорання 1 м³ газу, тобто розрахунку співвідношення частини палива до частини повітря, необхідного для підтримування відповідного теплового балансу у котлоагрегаті.

Інтенсивність тепловіддачі визначається в теплопередачі теплової енергії, яка виділяється при спалюванні пального і віддається через стінки котла воді, з якої ми отримуємо пару. Передача тепла відбувається через поверхню нагріву яка характеризується площею теплообміну і відповідно визначає потужність яку може отримати котлоагрегат і передати її вторинному середовищу – воді. Поверхня теплообміну є водогазонепроникною. Поверхня нагрівання реалізована

у вигляді колектора з труб, який починається у нижньому барабані потім огортає усю топку (камеру згорання) і знаходить у верхній барабан. Всередині труб проходить постійна циркуляція води, а ззовні вони омиваються гарячими топковими газами і вловлюють теплоту поверхні теплообміну.

Отже в котлі є три механізми теплопередачі: теплопровідність, конвекція і теплове випромінювання. Аналогічно з цим поверхні нагріву розділяються на радіаційні і конвекційні. Значення напруги на поверхні обмежене, в першу чергу, теплопровідністю матеріалу поверхні нагрівання, з іншого боку інтенсивністю циркуляції в ній холодоносія [10].

Утворення пари в котлах проходить з певною послідовністю. В нижній барабан котла подається підігріта в економайзері вода. Ця вода догрівається температурою розсіяною в нижній барабан з пальника, нагріта рідина піднімається скрізь розігріті екранні трубки де вона зазнає точки ентальпії і перетворюється в пар і піднімається в верхній барабан де відбувається стійке випаровування. Процес випаровування води описується наступним чином, молекули води що знаходяться поруч взаємодіють між собою силами притягання, для того щоб перетворити рідину в газ необхідно надати молекулі стільки енергії скільки необхідно на подолання міжмолекулярних зв'язків. При підвищенні температури, швидкість випаровування збільшується. Рідина, що виникає при зворотному процесі – віддачі тепла, називається конденсатом. Вона утворюється на внутрішніх поверхнях теплообмінника в процесі передачі тепла пари вторинному середовищу. Пара ділиться на насичений і перегрітий. Насичений пар теж ділиться на вологий і сухий. Для технологічних потреб харчових підприємств потрібна насичена суха пара.

1.2 Методи та алгоритми автоматичного регулювання

При управлінні об'єктом, для моделювання поведінки яких можна використати аналітичну модель в вигляді того або іншого виду диференціального

рівняння, можна використати промислові регулятори.

Регулятором являється сукупність штучно введених в систему автоматичного регулювання елементів, призначених для формування керуючих сигналів. Керуючі сигнали виробляються на основі інформації про задані величини, керуючі величини, змінні стани і зовнішні впливи.

Керування різноманітними процесами і їх параметрами являється головною областю застосування регулюючих пристроїв, які можуть бути представлені в формі окремих приладів або програмних регуляторів. Техніка регулювання являється однією з найважливіших областей традиційної техніки регулювання і автоматизації. Таким чином, регулювання – це дії, спрямовані на підтримання заданого постійного значення керованої величини.

Автоматичні регулятори класифікуються за призначенням, принципом дії, конструктивним особливостям, виду використовуваної енергії, характеру зміни регулюючого впливу і т.д. Огляд різних регуляторів представлений на рисунку 1.4.

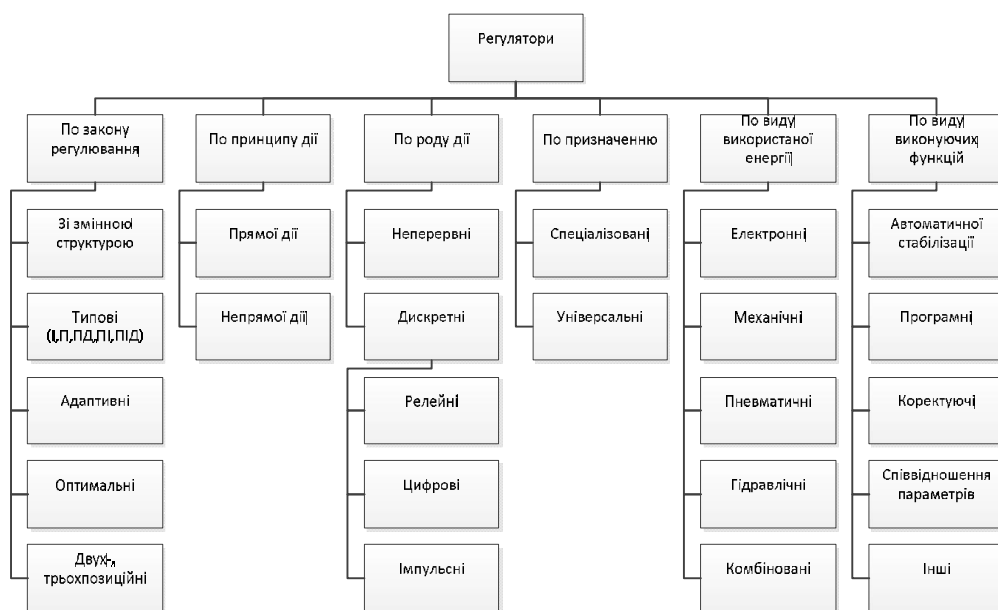


Рисунок 1.4 – Класифікація регуляторів

Вибір регулятора по виду використовуваної енергії визначається характером об'єкта регулювання та особливостями автоматичної системи. За призначенням регулятори підрозділяються на спеціалізовані та універсальні з нормованими вхідними і вихідними сигналами і придатні для регулювання

різними параметрами [8].

Термін «закон регулювання» перейшов в теорію автоматичного управління з класичної теорії. Під законом розуміють математичну залежність, по якій керуючий пристрій впливало б на об'єкт, якби воно було без інерційним. Таким чином, «закон» - це ідеалізований алгоритм регулювання. Фактичний алгоритм регулювання буде дещо відрізнятися від «закону» за рахунок динамічних спотворень в керуючому пристрої [8].

Але так як в багатьох промислових регуляторах інерційність вельми мала в порівнянні з інерційністю об'єкта, алгоритм регулювання в них близький до «закону», і цим терміном широко користуються. Ці закони отримали назву типових і реалізуються за допомогою регуляторів.

Найбільш часто використовуються наступні регулятори.

П-регулятор реалізує пропорційний закон регулювання по відхиленню:

$$u = K_p \varepsilon, \quad (1.1)$$

де K_p – коефіцієнт передачі регулятора (параметр налаштування);

$\varepsilon = g - y$ – відхилення системи (неузгодженість, похибка), де g – фактичне значення вхідної величини; y – задане значення (бажане значення).

На рисунку 1.5 зображено схему такого регулятора.

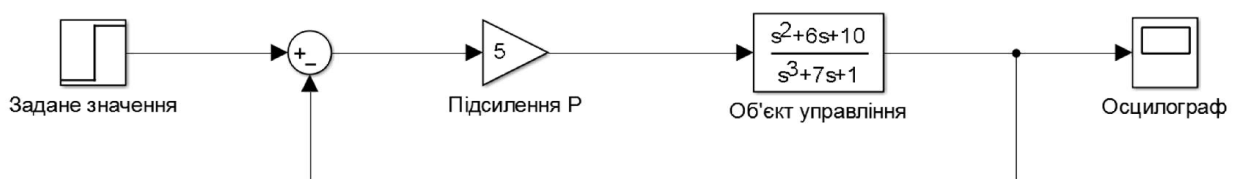


Рисунок 1.5 - Лінійна схема П регулятора

Робота такого регулятора показана на рисунку 1.6.

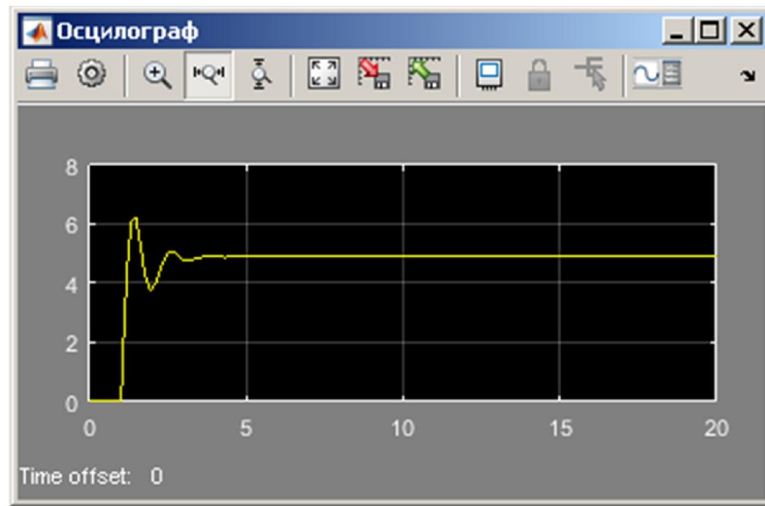


Рисунок 1.6 – осцилограма роботи П регулятора

Це найбільш простий закон регулювання. Він використовується тоді, коли від системи автоматичного регулювання (надалі САР) вимагається не високі якісні показники.

Д-регулятор реалізує диференційний закон регулювання:

$$u = T_{\partial} \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1.2)$$

де T_{∂} – постійна часу диференціювання (параметр налаштування)

Схема такого регулятора зображена на рисунку 1.7.

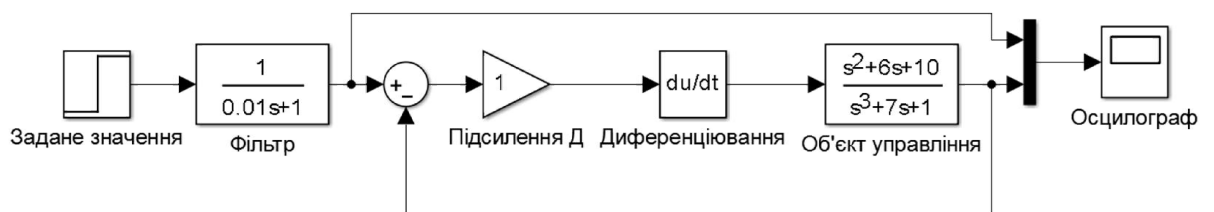


Рис 1.7. – Схема Д регулятора.

Результат роботи зображено на рисунку 1.8.

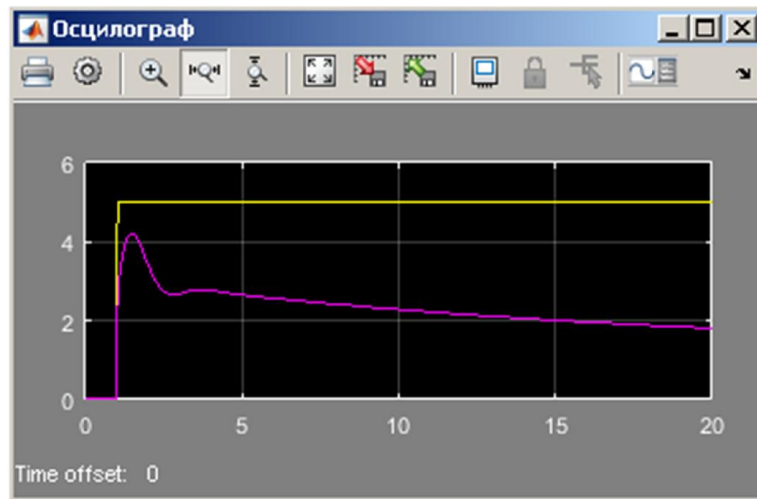


Рисунок 1.8 – Результат роботи Д регулятора.

I-регулятор реалізує інтегральний закон регулювання:

$$u = \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon(\tau) dt, \quad (1.3)$$

де T_u – постійна часу інтегрування (параметр налаштування)

I регулятор зображено на рисунку 1.7.

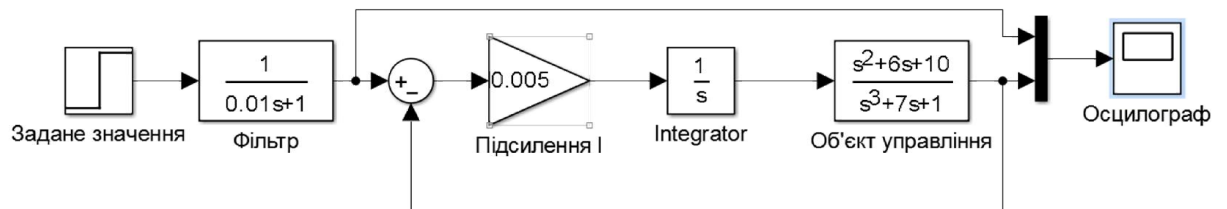


Рисунок 1.9 – I регулятор.

Результат роботи I регулятора зображено на рисунку 1.8.

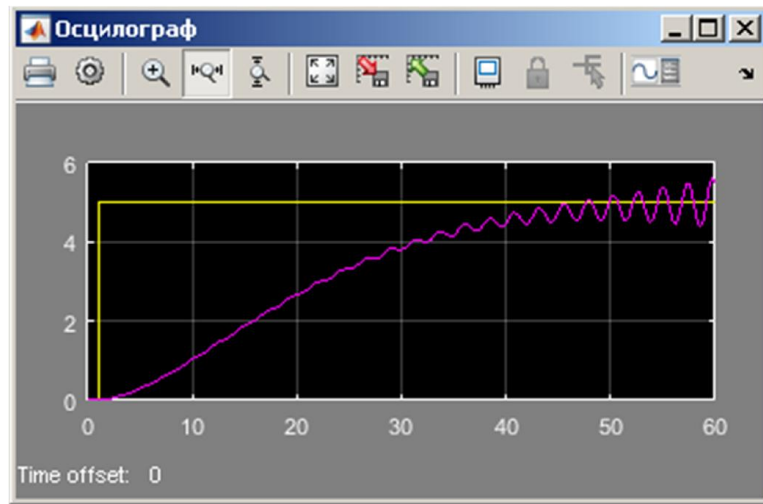


Рисунок 1.9 – Результат роботи І-регулятора.

ПІ-регулятор реалізує пропорційно-інтегральний закон регулювання:

$$u = K_p \varepsilon + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon(\tau) dt, \quad (1.4)$$

Регулятори такого типу відносяться до найбільш поширених і використовують в тих випадках, коли необхідна нульова похибка САР при постійних по величині впливах. На рисунку 1.10 зображено схему такого регулятора [11].

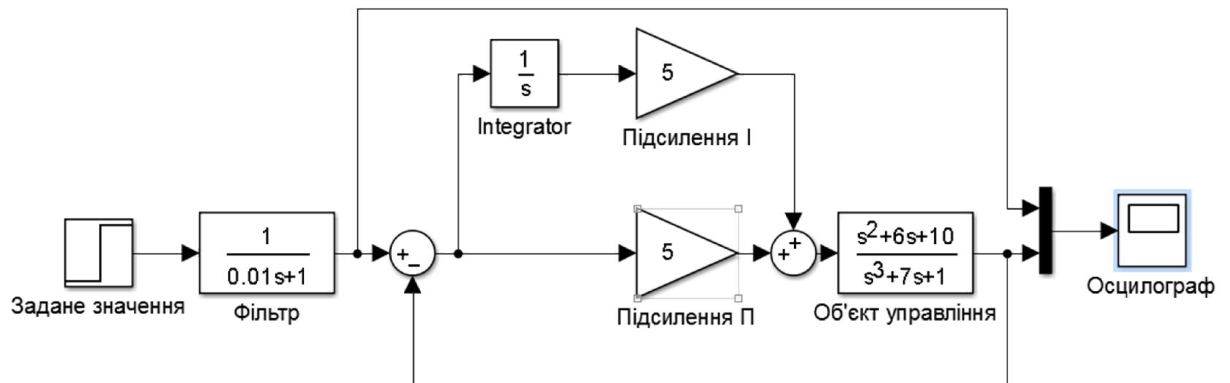


Рисунок 1.10 – Схема ПІ-регулятора.

На рисунку 1.11 зображено результат роботи ПІ-регулятора.

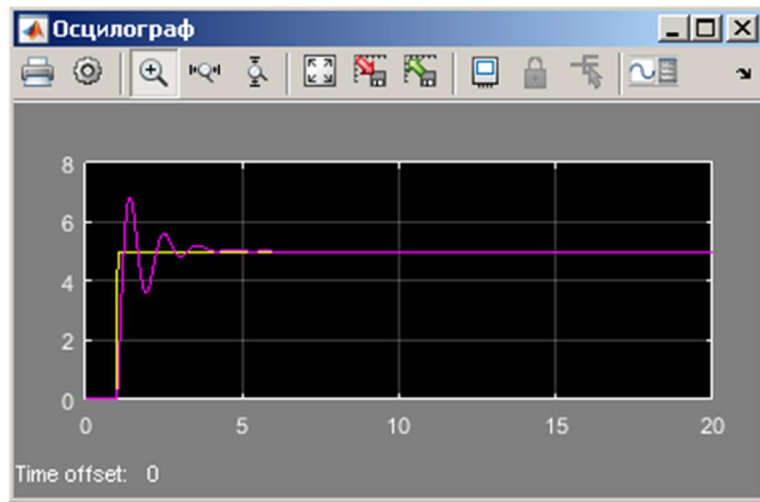


Рисунок 1.11 – Результат роботи ПІ-регулятора.

ПД-регулятор реалізує пропорційно-диференціальний закон регулювання:

$$u = K_p \varepsilon + T_d \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1.5)$$

Пропорційно-диференціальний закон дає регулятору можливості прогнозування, що покращує якість САР при змінних в часі впливах. На рисунку 1.12 зображено схему такого регулятора.

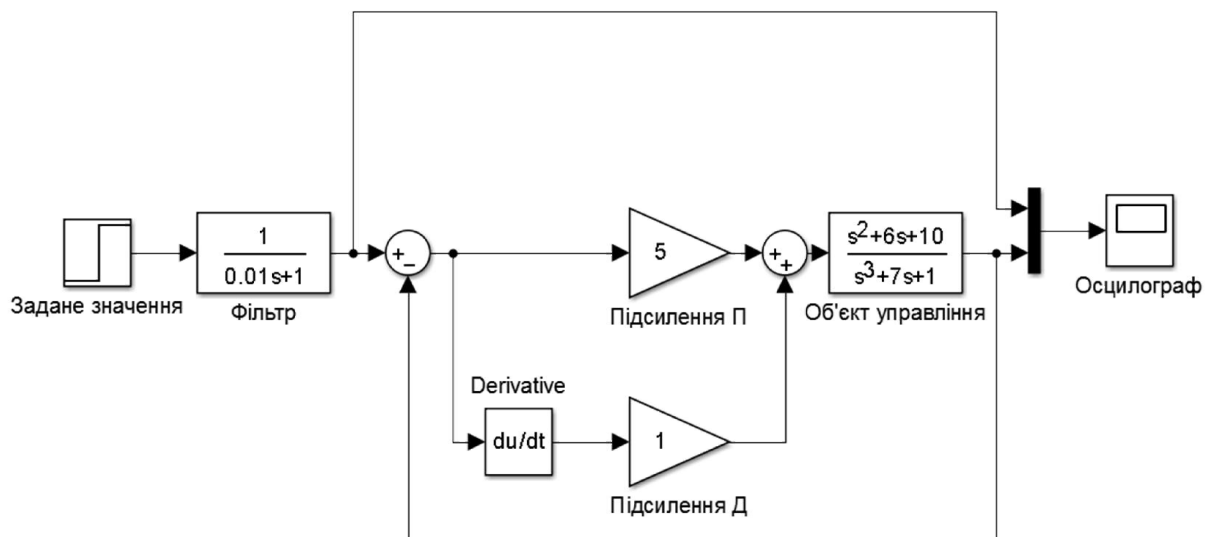


Рисунок 1.12 – Схема ПД-регулятора.

На рисунку 1.13 зображено результат роботи ПД-регулятора.

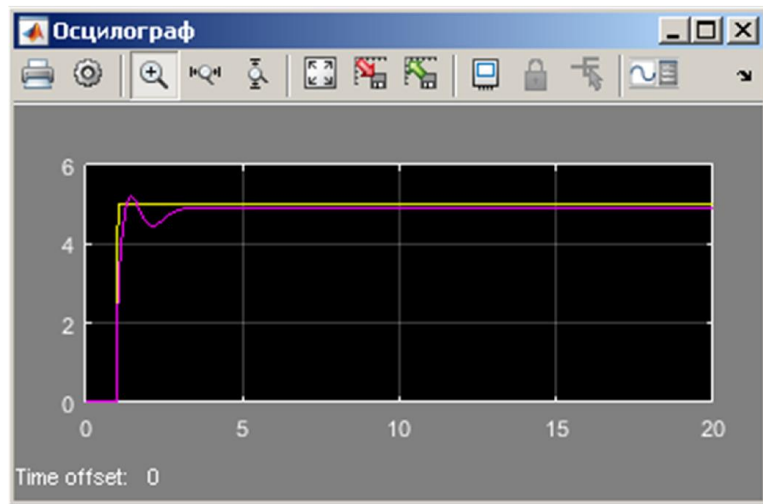


Рисунок 1.13 – Результат роботи ПД-регулятора

Пропорційно-інтегрально-диференціального регулятор реалізовує пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання:

$$u = K_p \varepsilon + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon(\tau) dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1.6)$$

Цей тип регулятора являється найбільш поширеним на практиці застосування регуляторів. Пропорційно-інтегрально-диференціального регулятор має найбільш широкі можливості по наданню системі регулювання необхідних властивостей в порівнянні з попередніми типами автоматичних регуляторів.

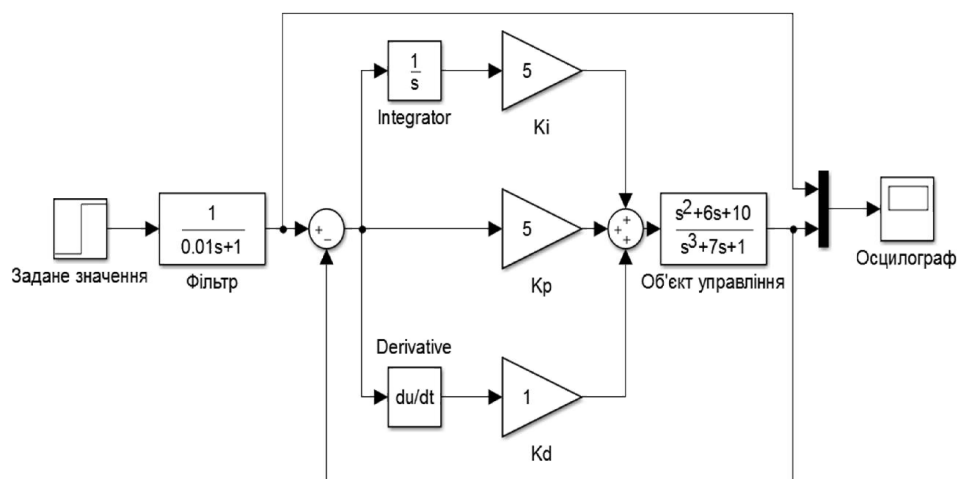


Рисунок 1.14 – лінійна схема пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора

Він використовується в тих випадках, коли необхідно отримати якісну

САР без великих затрат на проведення досліджень по синтезу більш складного закону регулювання. Схему такого регулятора зображено на рисунку 14 та його результат роботи на рисунку 15. Хоча, являючись самим складним із описаних законів регулювання, він вимагає більш ретельного налаштування параметрів під конкретний об'єкт управління.

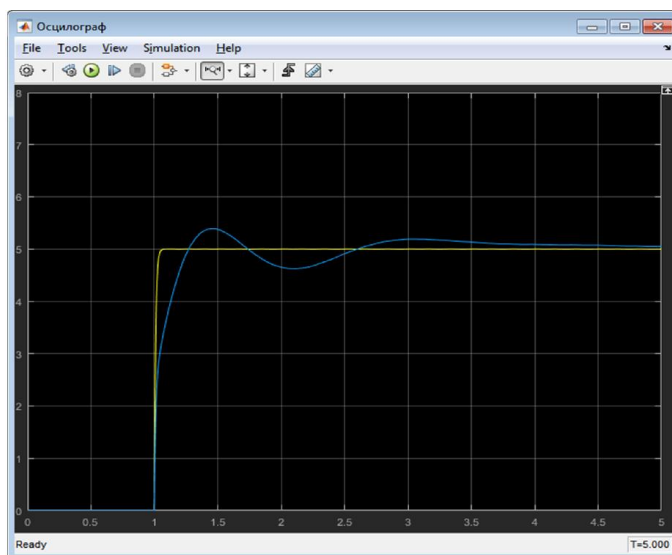


Рисунок 1.15 – Результат роботи пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора

Регулятори, є функціональними елементами, які в залежності від вимірної технічним чином (давачем) величини процесу впливають по математично-точному правилу на фізичну величину в замкнутому контурі з допомогою активного органу управління. Практично регулятори мають не тільки обчислювальне правило (алгоритм), але й мають ряд керуючих функцій для обслуговування, спостереження, забезпечення безпеки і можливостей переключення в контурі регулювання [11,14].

1.3 Аналіз існуючих засобів автоматичного регулювання

Основні функції, виконувані подібними системами, – контроль і

керування, обмін даними, обробка, нагромадження й зберігання інформації, формування сигналів тривоги, побудова графіків і звітів.

Автоматизована система керування технологічними процесами - сукупність апаратно-програмних засобів, що здійснюють контроль і керування виробничими й технологічними процесами; підтримуючи зворотний зв'язок і активно впливаючи на хід процесу при відхиленні його від заданих параметрів; забезпечуючи регулювання й оптимізацію керованого процесу. Усі АСК ТП діляться на три глобальні класи:

- SCADA (англ. Supervisory Control And Data Acquisition) — диспетчерське управління і збір даних. Основне призначення системи — контроль і моніторинг об'єктів за участю диспетчера. У вузькому сенсі під терміном «SCADA» розуміють програмний пакет візуалізації технологічного процесу. У широкому розумінні — це клас автоматизованих систем керування технологічним процесом.

- DCS (англ. Distributed Control System) — розподілена система керування (РСК). Це система керування технологічним процесом, що характеризується побудовою розподіленої системи вводу/виводу та децентралізацією обробки даних. РСК застосовуються переважно для керування неперервними і гібридними технологічними процесами. У першу чергу це стосується процесів, що тривають місяцями і навіть роками, при цьому зупинка процесу, навіть на короткочасний період, може привести до псування продукції, що виготовляється, поломки технологічного устаткування чи нещасних випадків. Докладніше: Розподілена система керування

- PLC (англ. Programmable Logic Controller) — програмований логічний контролер (ПЛК). У вузькому розумінні це — апаратний модуль для реалізації алгоритмів автоматизованого керування з використанням логічних операцій, таймерів, і (в деяких моделях) неперервне регулювання відповідно до заданого закону. У широкому розумінні під програмований логічний контролер розуміється клас систем. Хоча програмований логічний контролер може керувати компонентами системи, що використовуються в SCADA і DCS систем, вони

часто є основним компонентом у структурах невеликих систем керування у багатьох галузях виробництва [12].

Розглянемо сучасні системи регулювання котлами, блок БУК-МП-11.

Функціональні можливості:

- дисплей 64x128 точок;
- 33 дискретних входи (10 мА, 30 В);
- 2 частотних входи від 0 до 1000 Гц;
- 19 аналогових входів:
 - 9 входів для струму (0-5, 4-20 мА);
 - 6 каналів для термоопорів с НСХ 50М,100М,50П,100П, Pt100;
 - 2 входи для фото резистора - контроль полум'я;
- 2 аналогових виходи (струм 4-20 мА):
- 23 дискретних виходи:
 - 13 релейних;
 - 10 симісторних;
- годинник реального часу;
- журнал аварій;
- побудова графіків виміряних величин.

Блок регулювання, розпалу й сигналізації бурсит-1В (П) призначений для автоматизації роботи водогрійних або парових котлів, що працюють на газі або рідкому паливі, регулювання основних теплотехнічних процесів і забезпечення безпеки роботи котельні. Зовнішній вигляд зображено на рисунку 1.16.

Блок регулювання БУРС-1В (П) забезпечує виконання наступних функцій:

- напівавтоматичний пуск котла;
- підтримка в заданих межах температури гарячої води, тиску пари, рівня води в котлі;

- регулювання подачі повітря і тяги відповідно з подачею палива;
- автоматичний захист котла при виникненні таких аварійних ситуацій:
 - підвищенню температури води за водогрійним котлом вище встановленого значення;
 - зниженні тиску води на котел
 - підвищення та зниження тиску газу;
 - падіння розрідження в топці;
 - згасання полум'я в пальнику пристрою;
 - підвищенні тиску пари в барабані парового котла вище встановленого значення;
 - падіння тиску повітря перед пальниками;
- запам'ятовування першопричини аварійної ситуації; • передачу електричного сигналу на диспетчерський пульт;
- блокування роботи вентилятора при відключенні димососа.

Блок регулювання котлом БАРС-5-3 призначений для роботи спільно з паровими і водогрійними двох (трьох) пальниковими котлами типу ДКВР, КВГ.

Блок розроблений і виготовлений на базі промислових контролерів фірми Unitronics. Продукція цієї фірми користується величезною популярністю на ринку промислової автоматики країн СНД і Європи. Основним елементом блоку є контролер Vision 280, який спільно з модулями розширення утворює автоматизовану систему регулювання технологічними процесами. На лицьовій панелі блоку розташовуються:

- Графічний РКІ індикатор з видимою областю екрана 97x73 мм, який дозволяє відображати не тільки числову інформацію, а й текстові повідомлення про стан котла і аварійні ситуації;
- Світлодіодні індикатори першопричини аварії;
- Органи регулювання дозволяють перемикати режими роботи виконавчих механізмів і регулювання виконавчими механізмами в ручному режимі.

Блок забезпечує наступні функціональні можливості:

- Напівавтоматичний пуск котла.
- Попереджувальну сигналізацію за наступними параметрами:
 - Перевищення тиску газу;
 - Зниження тиску газу;
 - Зниження тиску повітря;
 - Підвищення тиску повітря;
 - Зниження тиску води;
 - Підвищення тиску води;
 - Підвищення температури відхідних газів;
 - Зменшення розрідження в топці котла;
 - Підвищення температури на виході з котла;
- Аварійну сигналізацію з подальшою відсіченням газу, включенням аварійної звукової сирени і запам'ятовуванням першопричини аварії:
 - Відсутність полум'я на пальниках №1-№3;
 - Відсутність полум'я на запальник №1-№3;
 - Перевищення тиску газу;
 - Зниження тиску газу;
 - Зниження тиску повітря;
 - Підвищення тиску повітря;
 - Зниження тиску води;
 - Підвищення тиску води;
 - Підвищення температури відхідних газів;
 - Зменшення розрідження в топці котла;
 - Підвищення температури на виході з котла;
- Регулювання температури води по пропорційно-інтегрально-диференціального закону допомогою зміни продуктивності котла.



Рисунок 1.16 – загальний вигляд блоків регулювання котлами

1.4 Постановка задач

В результаті аналізу енергетичних установок та технологічного процесу отримання пари, методів та алгоритмів автоматичного регулювання та існуючих засобів автоматичного регулювання видно, що тема дослідження є актуальною. Тоді метою нашого дослідження є: розробка алгоритмів та програмно-апаратних засобів автоматичного регулювання енергетичними установками у реальному часі. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі Для реалізації даної мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розробити структуру автоматичної системи;
- розробити математичні моделі об'єкту управління;
- розробити структуру системи регулювання;
- розробити математичну модель пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора.

Здійснити програмно-апаратну реалізацію системи регулювання, а саме:

- реалізувати структуру програмного забезпечення;
- реалізувати програмну реалізацію пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора;
- реалізувати автоматичну систему збору експериментальних даних;
- реалізувати систему адаптивного навчання нейронної мережі;
- реалізувати нейро-адаптивний блок розрахунку коефіцієнтів;

2 АЛГОРИТМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

2.1 Структура автоматичної системи

Котлові агрегати типу ДЕ призначені для отримання пари для цілей виробничих, опалення і гарячого водопостачання. Отримання пари з води відбувається при наступних фізичних процесах:

- а) нагріву води до температури кипіння;
- б) кипіння води, коли рідка фаза переходить в насичену пару (досягнення точки ентальпії).

Необхідна кількість тепла для цього виділяється при спалюванні палива в топці. Передача тепла відбувається слідом усіх видів теплообміну, радіаційного, конвекційного і теплопровідності.

На рисунку 2.1 зображено структурну схему автоматичної системи котла ДЕ6,5-14ГМ.

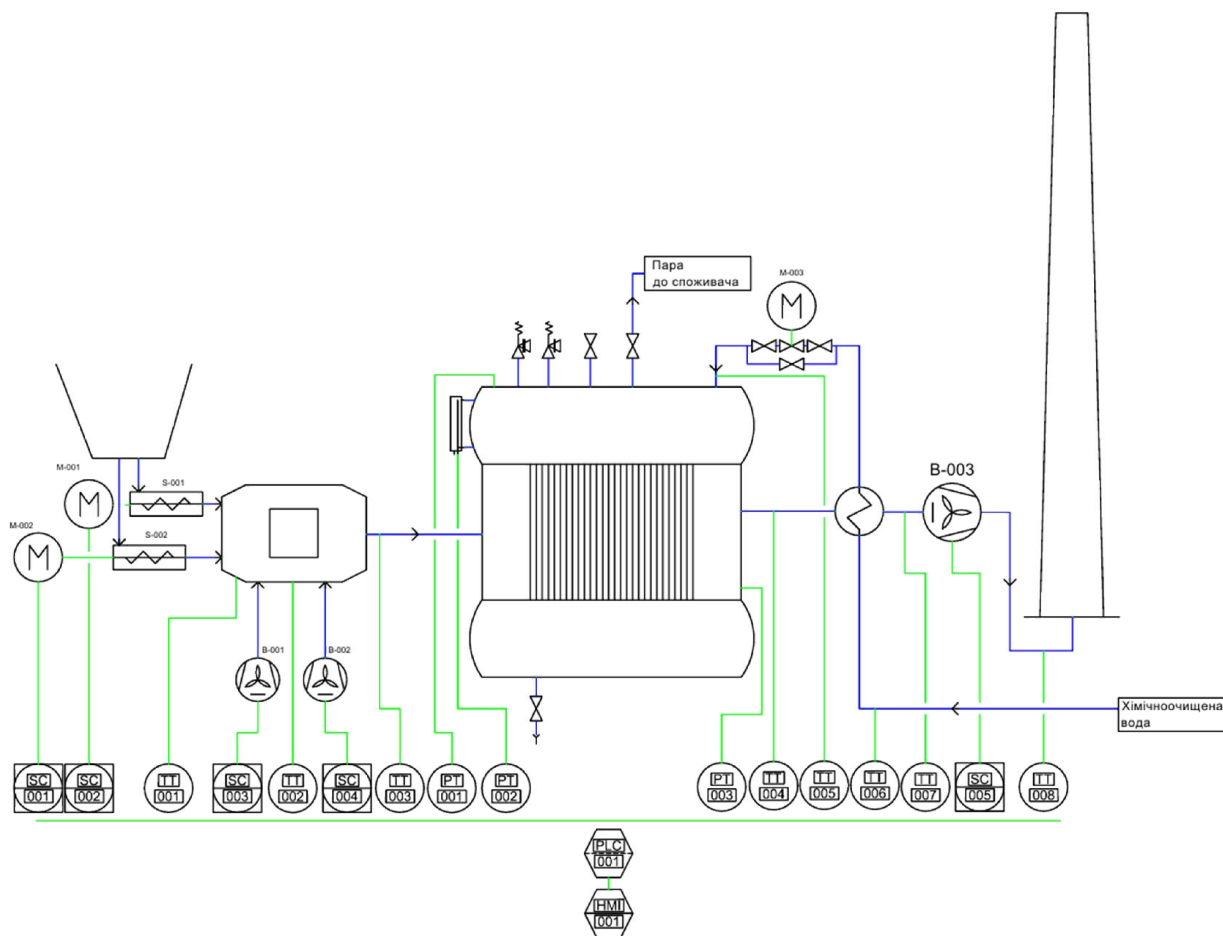


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматичної системи ДЕ6,5-14-ГМ.

На схемі процесу зображено технологічну будову конструкції а також вимірювальне обладнання. Опис умовних графічних зображень наведено у додатку А.

Вимірювальна техніка є основним джерелом надходження інформації у автоматизовано-вимірювальну систему котлоагрегату, усі процеси, що протікають під час проходження технологічного процесу виробництва пари проходять первинне перетворення від вимірюваного середовища до електричних сигналів, що надходять на головний мозок системи – програмований логічний контролер [15].

Програмований логічний контролер представляє собою автономну систему, яка налічує на собі інтерфейси обміну, точки цифрового вводу, виводу, аналогового вводу та виводу – сигналів та може бути вільно запрограмована на виконання мікропрограм. Принцип його роботи це циклічне виконання мікропрограм, що були створенні користувачем. Блок схема алгоритму роботи програмований логічний контролер зображена на рисунку 2.2.

Візуалізація процесу і оперативний контроль здійснюється через сенсорну панель оператора, вона є елементом що має змогу відображати інформацію у режимі реального часу. Оператор здійснюючи оперативний контроль має можливість втручатися в хід перебігу технологічного процесу, змінювати параметри тощо.

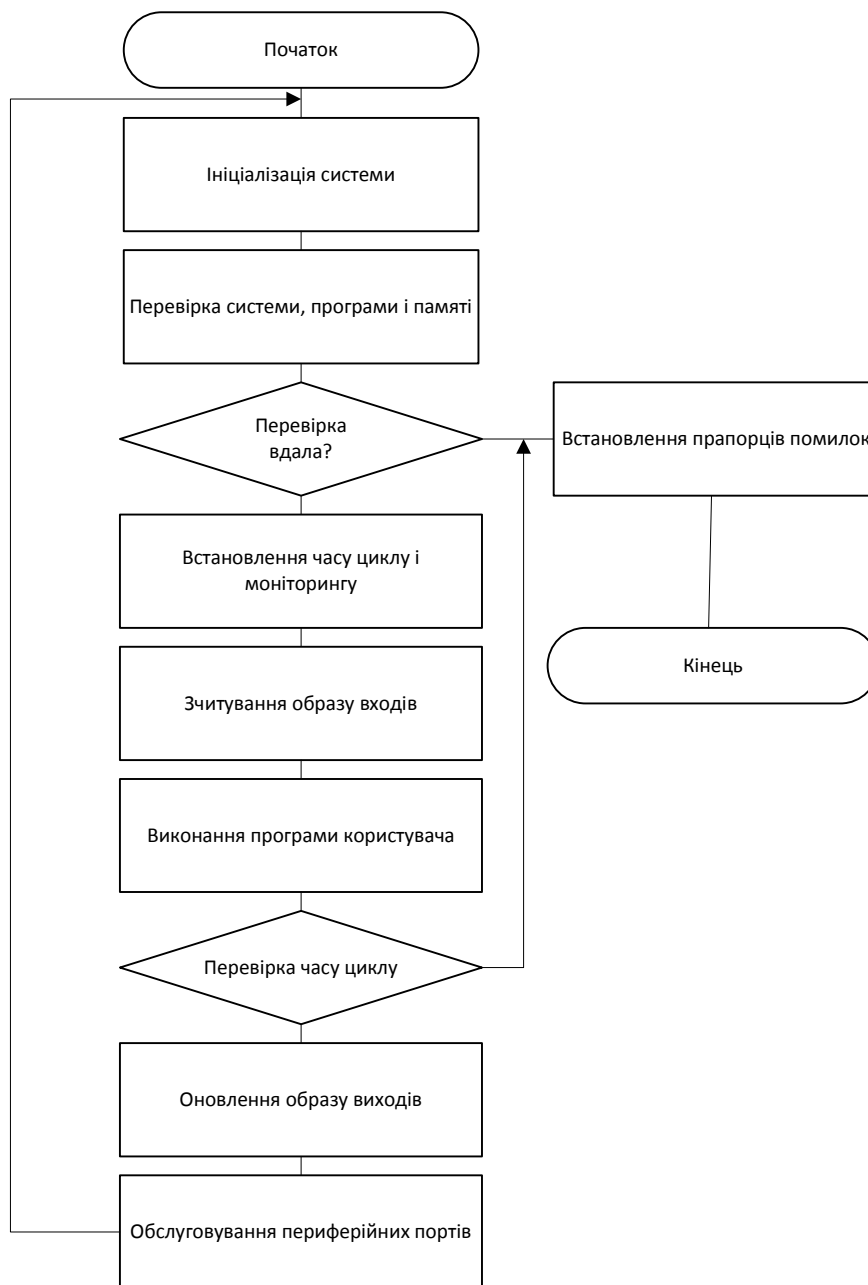


Рисунок 2.2 – Блок схема роботи програмованого логічного контролера.

Давачі температури, що стоять у системі є термометрами опору типу РТ100. Вони змінюють значення опору при збільшенні температури і навпаки, сигнали, що надходять на контролер перетворюються у цифрові значення з допомогою аналого-цифрового перетворювача.

Давачі тиску вимірюють тиск середовища за допомогою тензOMETричних перетворювачів і перетворюють його в уніфікований сигнал 4-20мА, який теж через вимірюється контролером і перетворюється у цифровий вигляд з

допомогою аналого-цифрового перетворювача.

У системі регулювання котлом застосовуються давачі надлишкового тиску, тобто ті які вимірюють надлишковий тиск відносно атмосферного, давач вимірювання вакууму, та давач виміру різниці тисків.

Цифрові лінії вводу/виводу це лінії для вводу/виводу системи булевих операндів, якими можна зчитувати/записувати бінарні сигнали двійкової системи числення із логічними рівнями «0» - 0 В, «1» - 24 В.

Частотний перетворювач це автономна система, що перетворює вхідну синусоїдальну напругу фіксованої частоти та амплітуди у вихідну імпульсно-модульовану напругу змінної частоти та амплітуди за допомогою ШИМ, яка формує в обмотках двигуна синусоїдний струм. Таким чином за допомогою такого пристрою можна змінювати швидкість обертання асинхронного електродвигуна і підтримувати на ньому необхідний момент. За рахунок зменшення частоти обертання – зменшуються і робочі струми у колах роботи двигуна, що дозволяє заощаджувати електроенергію, а саме відкинути надлишковий запас потужності електродвигуна, що не використовується або не потрібний в конкретний момент часу. Частотні перетворювачі є пристроями, що мають, як цифрові, аналогові лінії вводу і виводу так, у тому числі і інтерфейси обміну сигналами, у такому випадку надається доступ до повного функціоналу пристрою і можливості його перепрограмування «на льоту».

2.2 Математичні моделі об'єкту управління

Основним параметром у роботі котлоагрегату є тиск пари в барабані, в більшій мірі на цей процес пароутворення буде впливати T °С полум'я, що подається на екранні трубки, якими обв'язана уся топка котла. Регулюючи витрату палива будемо мати зміну на тиск пари в барабані котла за рахунок зміни кількості палива що подається у котлоагрегат. До необхідної кількості палива будемо модулювати необхідну кількість повітря необхідну для горіння, чітко і

точне значення повітря що подається є важливим параметром для ефективного спалювання, адже дефіцит повітря у топці буде причиняти недопал палива, а це у свою чергу призводить до перевитрат, у той самий час надлишок повітря буде спричиняти охолодження топки, що у свою чергу теж призведе до пониження ефективності.

Тиск пари є параметром, що може коливатися у часі, температура навколишнього середовища не може бути прийнята в якості обурення, котел знаходиться в приміщенні де температура може коливатися від +18 до +30 °С.

В якості вхідних даних при побудові математичної моделі прийняті формули без числових значень, тому що недостатня кількість інформації по конструкції агрегату.

Завданням оптимального управління являється отримання на виході з котла насиченої пари необхідної для споживача при мінімально можливій витраті палива. Основну участь у цьому приймає процес ентальпії.

$$H = U + PV, \quad (2.1)$$

де U - внутрішня енергія, P - тиск, V - об'єм.

Розглянемо інформаційну модель об'єкту:

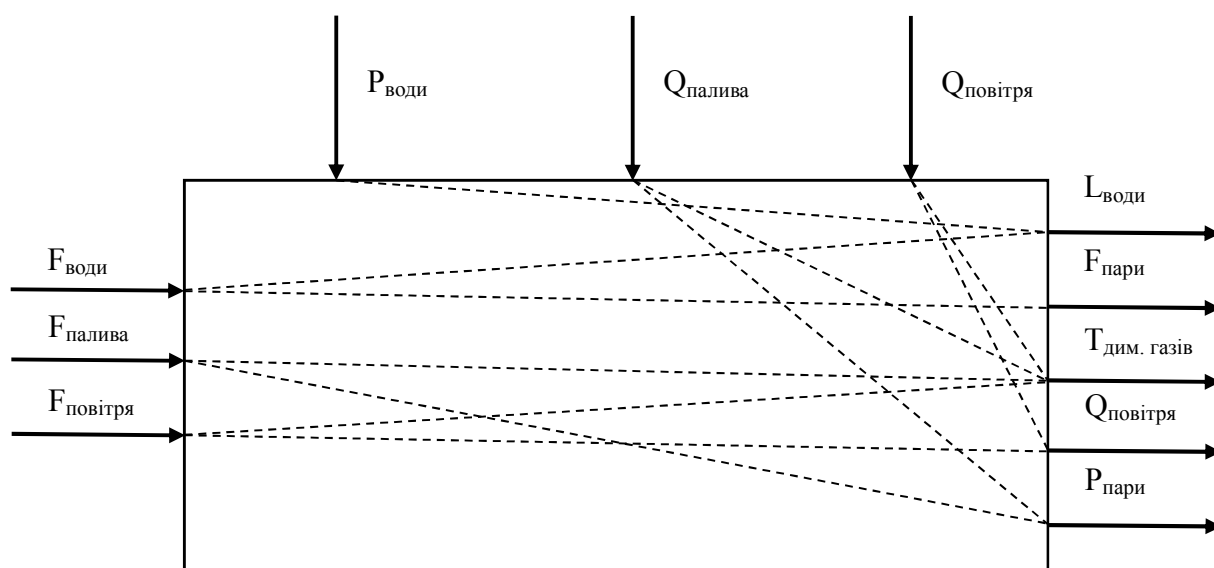


Рисунок 2.3 – Інформаційна модель об'єкта.

Як ми можемо побачити параметри, що надходять у систему взаємопов'язані між собою і впливають у ході технологічного процесу один на один. Щоб знайти ці зв'язки і у майбутньому промоделювати у системі Matlab Simulink, необхідно навести математичну модель котлоагрегату. Для створення моделі запишемо рівняння процесів, що протікають у паровому котлі, і виведемо отримані данні у блок схему.

Котлоагрегат являє собою складну сукупну систему тому виведення детальної математичної моделі представляє собою дуже складні і трудомікі дослідження, тому приймаємо рішення побудувати спрощену модель котла. Як було зазначено вище параметр навантаження котла є параметром зміним у часі в залежності від споживання, тому основними параметрами які впливають на роботу системи можна обрати такі параметри:

- рівень води в барабані L ;
- температура пари T ;
- тиск пари P .

В економайзері котла відбувається попередній нагрів рідини до температури T_2 тепловим потоком F_1 . Слід зауважити, що екран котла представлений у вигляді теплових трубок навколо топки, які прогріваються тепловим потоком F_2 де і відбувається остаточне догрівання і закипання води при температурі T_3 і тиску пари P . До рівняння можна додати ще відомий нам об'єм барабану котла V_1 , об'єм в екранних трубках V_2 , температуру вхідних потоків $T_{вх}$.

Матеріальний баланс в нижньому барабані можна представити наступним диференціальним виразом:

$$\frac{\partial V_1}{\partial t} = Q_w - Q_s, \quad (2.2)$$

де ∂V_1 - зміна рівня води, ∂t – зміна часу, Q_w - витрата води, Q_s - витрата пари.

Вираз теплового балансу має наступний вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial t}(V_1 \cdot c \cdot p \cdot T_2) = Q_w \cdot T_1 \cdot c \cdot p + F_1 - F_2 \cdot T_2 \cdot c \cdot p, \quad (2.3)$$

де c – теплоємність рідини, p – щільність рідини, звідси отримаємо температуру T_2 .

Вираз матеріального балансу рідини отримаємо для верхнього барабану буде мати вигляд: ентальпія

$$\frac{\partial V_2}{\partial t} = F_2 - \frac{m_\pi}{p}, \quad (2.4)$$

де m_π – потік пари.

Матеріальний баланс парової фази:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = m_\pi - m_1, \quad (2.5)$$

де m_1 – потік пари, що виходить з котла.

З рівняння матеріального балансу парової фази визначимо масу M . Оскільки передбачається, що між рідиною і паром завжди буде присутній баланс, то при побудові моделі не потрібне рівняння теплового балансу пари. Температуру пари прирівнюємо до температури рідини в барабані.

Тепловий баланс рідкої фази:

$$\frac{\partial}{\partial t}(V_2 \cdot c \cdot p \cdot T_3) = Q_s \cdot c \cdot p + F_2 - (c \cdot T_3 + \lambda) \cdot m_\pi, \quad (2.6)$$

де λ – коефіцієнт тертя пари об трубопровід.

З даного виразу можна визначити потік пари m_π .

Тиск пари в котрі можна знайти із закону газового стану:

$$P \cdot V_s = M \cdot R \cdot T_3, \quad (2.7)$$

об'єм, що займається паром V_s , можна розрахувати із наступного виразу:

$$V_s = V_0 - V, \quad (2.8)$$

де V_0 – повний об'єм ємкості.

Температуру кип'ячої води знайдемо із співвідношення, що виражає зв'язок між тиском і температурою кипіння:

$$T_3 = f(P). \quad (2.9)$$

Потік пари що йде на вихід визначається із виразу:

$$m = k_w \cdot \sqrt{P \cdot (P - P_0)}. \quad (2.10)$$

Звідси теплові потоки F_1 і F_2 визначаються:

$$F_1 = k \cdot S_1 \cdot (T_{in} - T_2), \quad (2.11)$$

$$F_2 = k \cdot S_2 \cdot (T_{in} - T_3), \quad (2.12)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі через стінку, S – площа теплообміну.

Враховуючи опис об'єкта виразимо завдання оптимального керування для даної системи. Критерій оптимальності це вихідна величина, значення якої являється кількісною оцінкою процесу при виборі оптимальних параметрів його стану.

Основним завданням оптимального регулювання являється пошук параметрів процесу, при якій витрата палива буде найменшою для отримання 1 Дж. тепла, що призведе до зменшення собівартості кінцевого продукту [28].

2.3 Структура об'єкта регулювання

Система автоматизації, однією з основного завдання якої є ведення оптимального технологічного процесу і отримання кінцевого продукту з заданими

параметрами і характеристиками. Кінцевим продуктом є насичений водяний пар. Для вирішення завдань по автоматизації з випуску пари застосовуються технічні засоби, які чітко контролюють процес виробництва продукту та оптимально регулюють його. Для цього використовуються кілька контурів регулювання:

- регулювання розрідження;
- регулювання співвідношення «паливо-повітря»;
- регулювання рівня в барабані;
- регулювання тиску в барабані.

Узагальнена схема системи регулювання показана на рисунку 2.4.

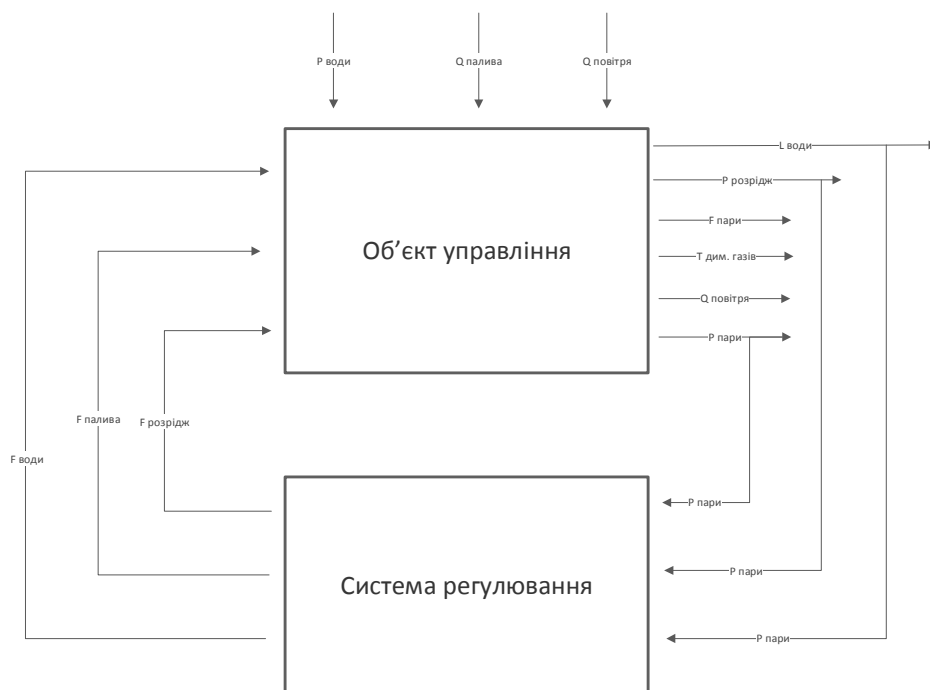


Рисунок 2.4 – Узагальнена схема системи регулювання

Система регулювання розрідження її призначення це - повне видалення продуктів згоряння незалежно від величини навантаження котла. Цього можна досягти при відповідності продуктивності димососа в кожний момент продуктивності вентилятора і кількості палива. Показником такої відповідності є розрідження в котельній камері котла.

Надмірний тиск у топці призводить до вибивання газів і полум'я з топки в приміщення котельні. Зі збільшенням ж розрідження в топці різко зростають

присоси повітря, знижують економічність роботи котла за рахунок втрат з газами і збільшення витрати електроенергії на тягу.

На регулятор розрідження покладається завдання підтримки постійного розрідження - 30 Па (-3 мм вод. Ст). з високою точністю ± 5 Па ($\pm 0,5$ мм вод. ст.). Конкретна величина розрідження залежить від конструкції топки і місця відбору імпульсу [35].

Основна вимога до регулятора - максимально можлива швидкодія при цьому топка як об'єкт регулювання розрідження практично без інерційна.

При збільшенні кількості повітря, що подається в топку, розрідження в топці зменшиться, одночасно знижується надходження повітря через нещільності. Це говорить про значне самовирівнювання топки як об'єкта регулювання розрідження.

Зі сказаного випливає, що регулятор не повинен мати залишкової нерівномірності і може бути простим по закону регулювання. Сигнал розрідження подається з топки на перетворювач розрідження, де перетворюється в електричний сигнал і надходить на вхід програмованого логічного контролера, де порівнюється з електричним сигналом задавальника Зд. Якщо дійсна величина розрідження X дорівнює заданій X_0 , то відхилення, неузгодженість $\Delta X = 0$ і система регулювання знаходиться в сталому режимі. При наявності неузгодженості ΔX більше величини чутливості підсилювача, він подає команду на виконавчий механізм – частотний перетворювач, який збільшує або зменшує оберти димососа, прагнучи звести відхилення регулювання до нуля.

Регулятор співвідношення «паливо-повітря».

Призначення підтримувати заданий співвідношення між кількістю палива і повітря у всьому діапазоні зміни подачі палива, яке визначається за графіком. Необхідні дані отримують при теплотехнічній налагодці котла.

Для повного спалювання палива використовуються кілька технологічних залежностей між паливом і повітрям. Виходячи з цього, будується схема автоматичного регулювання: «витрата палива - витрата повітря» (скорочено «паливо - повітря»). Оптимальна кількість повітря буде витримуватися, коли вимірюється

не тільки витрата палива, але і його якісні показники: склад, температура, вологість і т. Д. Найбільш точно це враховується САР подачі повітря, що утримує надлишок (1,0% -1,5%) кисню O₂ у вихідних газах. Однак через складність вимірювання кисню найбільш часто застосовується схема регулювання співвідношення «паливо - повітря».

Для системи регулювання спосіб вимірювання кількості палива не має великого значення. Але від цього в значній мірі залежить якість спалювання палива.

Контролювати правильність роботи регулятора повітря можна за графіком оптимального співвідношення «паливо - повітря», але якість спалювання палива при такому непрямому вимірі витрати палива не гарантується, та й проконтролювати його без газоаналізаторів димових газів, які не передбачені проектами, складно.

Роботу регулятора розглянемо на прикладі «паливо - повітря». Графік цього співвідношення виданий після закінчення режимної наладки котла, передбачає одне співвідношення між кількістю газу і повітря, тому задавальник повинен бути вимкнений. Витрата палива зчитується як параметр входу на блочно-кускову функцію, вихід з якої подається на регулювання приводами подачі повітря.

З розглянутого видно, що витрата палива є параметром для регулятора повітря, що змінює подачу повітря слідом за зміною витрати палива.

Регулятор рівня води в барабані котла.

Призначення - підтримувати рівень води в барабані постійним з точністю ± 5 мм при зміні витрати пари з котла від 10 до 110%.

Рівень води в барабані є одним з основних регульованих параметрів парових котлів. У зрівноваженому стані ділянка живлення котла характеризується рівністю між кількістю води, що поступає і витратою пара з котла. Якщо ця умова витримується, то рівень води буде незмінним. Відхилення рівня відбувається з наступних причин: зміна подачі води, витрати пари і тиску пари в барабані. Відхилення рівня від середнього положення при його регулюванні не повинні перевищувати $\pm 20-30$ мм, так як в разі відмови регулятора досить 3-4 хв до повної

втрати води з барабана або його переживлення. Втрата рівня води призводить до розриву екранних труб і виходу котла з ладу. Переживлення барабана котла призводить до потрапляння води в паропровід, гідравлічних ударів і можливим розривів паропроводів.

Давач рівня, дифманометр з перепадом 6,3 кПа, підключається через зрівнювальну посудину до барабана котла.

Регулятор працює наступним чином. Давач вимірює рівень води в барабані котла, перетворює його в електричний сигнал і посиляє на підсилювач, де він порівнюється з сигналом задавальник. У разі рівного розподілу сигналів система регулювання знаходиться в сталому стані. При появі сигналу неузгодженості $\Delta X = X - X_0$ - регулятор, впливаючи на кількість живильної води, що протікає через регулюючий орган, по пропорційно-інтегрально-диференціального закону, відновлює рівновагу системи.

Регулятор тиску пари в барабані котла.

Призначення - утримувати постійну задану величину тиску пари в межах точності регулювання шляхом зміни подачі палива при коливаннях витрати пари з котла від 10 до 110% його потужності.

Нижня межа (10%) визначається початком діапазону регулювання спалювача на деревину, яким обладнується котел ДЕ. Верхня межа (110%) визначається тим, що на короткий час дозволяється перевантаження котла.

Регулювання тиску пари відбувається безперервно з допомогою давача тиску. Сигнал перетворюється в електричний сигнал і надсилається на програмованого логічного контролера, де він порівнюється з сигналом задавальника. Якщо обидва сигналу рівні, т. Е. Рівні задана величина тиску пари X_0 і, дійсна його величина X , то неузгодженість $\Delta X = X - X_0$ дорівнює нулю і система регулювання знаходиться в спокої.

Якщо дійсне значення тиску пари X відхилиться в будь-яку сторону від завдання X_0 , то сигнал неузгодженості ΔX надходить на вхід підсилювача. Коли ΔX побільшає зони нечутливості підсилювача, то з нього подається командний сигнал на виконавчий механізм. Регулюючий орган буде переміщатися в напрям-

ку, необхідному для ліквідації сигналу неузгодженості. Враховуючи інформаційну модель пропонується наступна структурна схема зображена на рисунку 2.5.

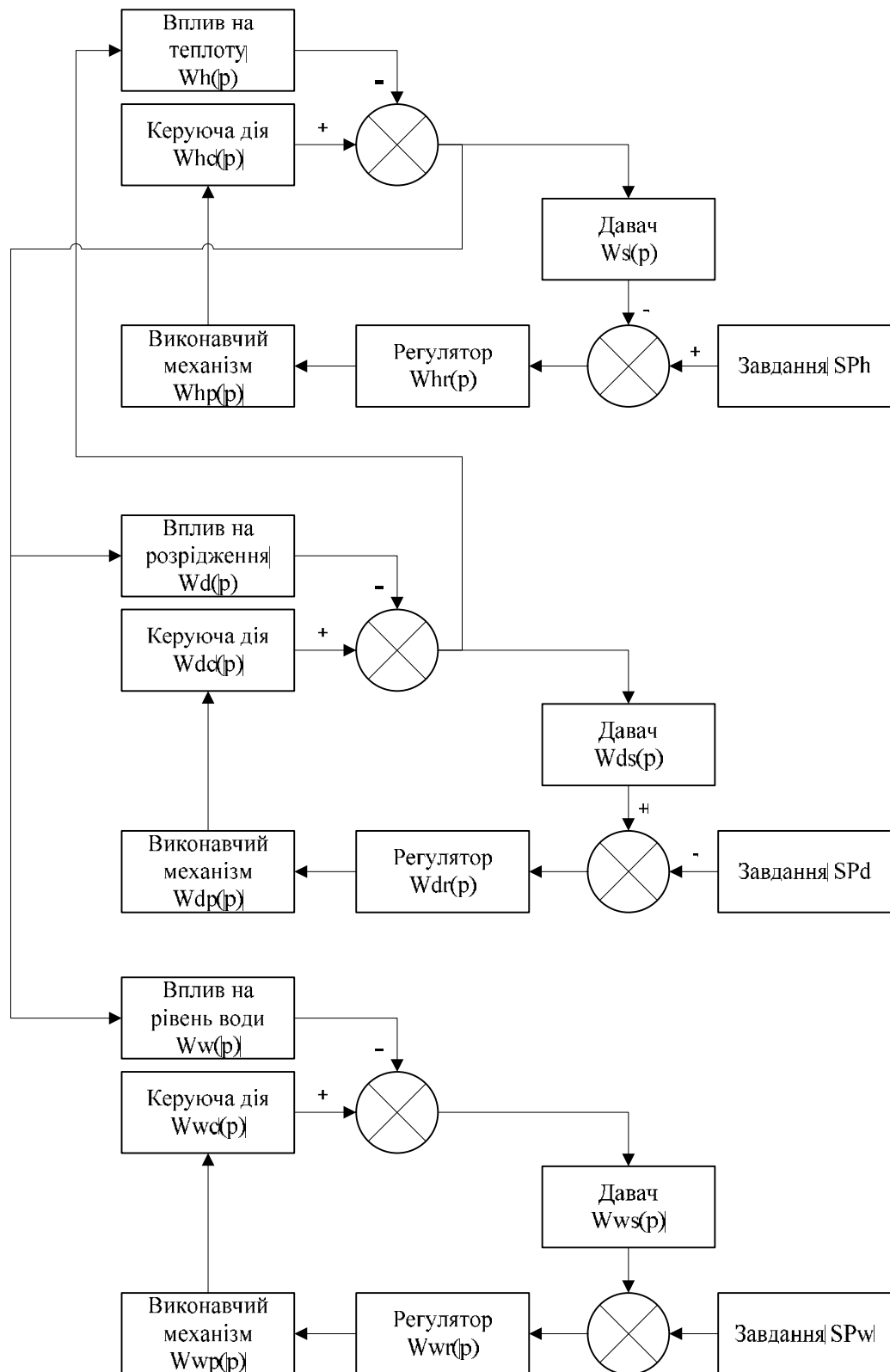


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи регулювання

Враховуючи поєднання декількох регуляторів і сукупного впливу пропо-

нується здійснити навчання нейро-емулятора для проведення подальшого навчання на ньому нейро-адаптивного блоку.

2.4 Математична модель пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора

Як було вище сказано у контурах працюють чотири контури регулювання технологічних параметрів:

- регулювання розрідження;
- регулювання співвідношення «паливо-повітря»;
- регулювання рівня води в барабані;
- регулювання потужності (тиску в барабані).

У кожному із яких працює пропорційно-інтегрально-диференціального регулятор цей тип регулятора є найпоширенішим на практиці регуляторів. Пропорційно-інтегрально-диференціального регулятор має найбільш широкі можливості по доданню системі регулювання необхідних властивостей. Він застосовується в тих випадках, коли необхідно отримати якісну систему автоматичного регулювання без великих витрат на проведення досліджень по синтезу більш складного закону регулювання. Однак, будучи найскладнішим з описаних у першому розділі законів регулювання, він вимагає більш ретельного налаштування параметрів під конкретний об'єкт управління.

Регулятори, в сенсі власне регулювання, є функціональні елементи, які в залежності від виміряної технічно (сенсором) величини процесу впливають по математично точному правилом на фізичну величину в замкнутому контурі за допомогою активного органу. Практично регулятори містять не тільки обчислювальний правило (алгоритм), але мають і ряд керуючих функцій для обслуговування, спостереження, забезпечення безпеки і можливостей перемикаць в контурі регулювання.

Таких як функції обмеження і масштабування аналогового регулювання, функції ручних режимів роботи, функції без стресового переходу з ручного ре-

жиму в автоматичний і навпаки та параметрів що надають можливість задати необхідні характеристики регулятора.

Принцип пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора заснований на наступному рівнянні, яке виражає регулюючий вплив $U(n)$ як функцію з пропорційною складовою, інтегральною складовою і диференціальною складовою вираз 2.13.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (2.13)$$

Щоб реалізувати цю функцію регулювання в цифровій обчислювальній машині, має бути виконано квантування неперервної функції відповідно до періодичними вимірами значення помилки з подальшим розрахунком регулюючого впливу. Відповідне рівняння, що є основою для рішення на цифровій обчислювальній машині, має вигляд, показаний у виразі 2.14.

$$U(n) = K_p E(n) + K_i \sum_1^n E(n) + K_d (E(n) - E(n - 1)) \quad (2.14)$$

З рівняння на рис. 2.14 виходить, що інтегральна складова є функцією всіх складових помилки від першого до поточного відліку.

Диференціальна складова є функцією поточного і попереднього відліку, тоді як пропорційна складова є функцією тільки поточного відліку.

У цифровій обчислювальній машині недоцільно зберігати всі помилки регулювання, та в цьому й немає необхідності. Так як комп'ютер повинен обчислювати регулюючий вплив кожного разу, як обпитується значення помилки, починаючи з першого відліку, то необхідно зберігати тільки попереднє значення помилки і попереднє значення інтегральної складової. Як результат повторюється природи комп'ютерного рішення, може бути отримано спрощення рівняння, що підлягає вирішенню в кожен момент квантування [11].

Пропорційна складова $K_p E(n)$ - це добуток нормуючого коефіцієнта K_p , що визначає точність розрахунку регулюючого впливу, і помилки регулювання $E(n)$, що представляє собою різницю між заданим значенням (із англійської Set point - SP) і регульованої змінної (із англійської Process variable - PV) в даний момент квантування.

Інтегральна складова $K_i \sum_1^n E(n)$ пропорційна сумі помилок за весь час регулювання. Тобто, інтегральна сума це є складова регулятора, що містить у собі суму відхилень, що накопичились у контурі регулювання за весь час її роботи. Початкове значення роботи регулятора встановлюється в нуль і розраховується при першому виконанні алгоритму, після чого похибки сумують.

Частиною інтегральної складової є також нормуючий коефіцієнт K_i , що дає можливість ПІД-регулятору перераховувати нормований регулюючий вплив.

Диференціальна складова $K_d(E(n) - E(n - 1))$ пропорційна зміні помилки регулювання. Щоб покращити передбачуваність алгоритму регулювання, диференціальна складова дозволяє прораховувати тенденцію нарощення/спаду керуючого параметру і на її основі формувати керуючу складову яка буде включена в розрахунок вихідного значення регулятора. В результаті розраховується зміна регульованої змінної, а не зміна помилки регулювання.

Частиною диференціальної складової є нормуючий коефіцієнт K_d що дає можливість підібрати необхідну «силу» дії даного коефіцієнту.

Звідси можна зробити висновок, що алгоритмом роботи пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора є автоматичний прорахунок керуючої дії що буде надходити на активний орган регулювання і для його оптимальної роботи необхідно мінімізувати похибку регулювання.

Для оцінки роботи пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора вводиться J – параметр якості. Параметром якості можуть виступати:

- 1) час регулювання, по закінченні якого регульована величина буде відрізнятися від заданої менш ніж задане значення похиби відхилення ε (звичай вибирається рівним 1%);

- 2) перерегулювання σ – максимальне значення відхилення регульованої величини від заданого значення;
- 3) статична похибка e – різниця між значенням регульованої величини і заданим значенням;
- 4) декремент затухання d – відношення першого максимального відхилення до другого;
- 5) період затухаючих коливань t_p - інтервал часу між двома сусідніми максимальними відхиленнями, регулюючого параметру;
- б) а також поєднання цих параметрів.

Завдання налаштування параметрів пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора для конкретного об'єкта заключається в пошуку коефіцієнтів K_p, K_i, K_d що забезпечують мінімум показника якості

$$J(K_p, K_i, K_d) \rightarrow \min \quad (2.15)$$

2.5 Модель нейро-мережевого регулювання параметрів автоматичної системи

В дані роботі для пошуку параметрів пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора пропонується застосувати нейро-мережевий підхід. Існує два відомі методи пошуку коефіцієнтів з допомогою нейро-мереж. В першому підході передбачається участь експерта в налаштуваннях коефіцієнтів. Експерт повинен задати коефіцієнти K_p, K_i, K_d в замкнуті системі регулювання при різних збуреннях з достатньою для практики якістю. Тоді отримана вибірка що містить r - задане значення, неузгодженість e , u – керуюча дія, y – значення вимірюваного параметра подається на вхід нейронної мережі, яка підключена до пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора. Ваги нейронної мережі підбираються таким чином щоб мінімізувати похибку якості регулювання. Недоліком цього методу є участь експерта в налаштуванні системи [47].

Другим методом до налаштування параметрів пропорційно-інтегрально-диференціального регуляторів з використанням нейронної мережі запропонований метод в якому участь експерта не потрібна. Нейронна мережа вбудовується в систему регулювання як зображено на рисунку 2.6.

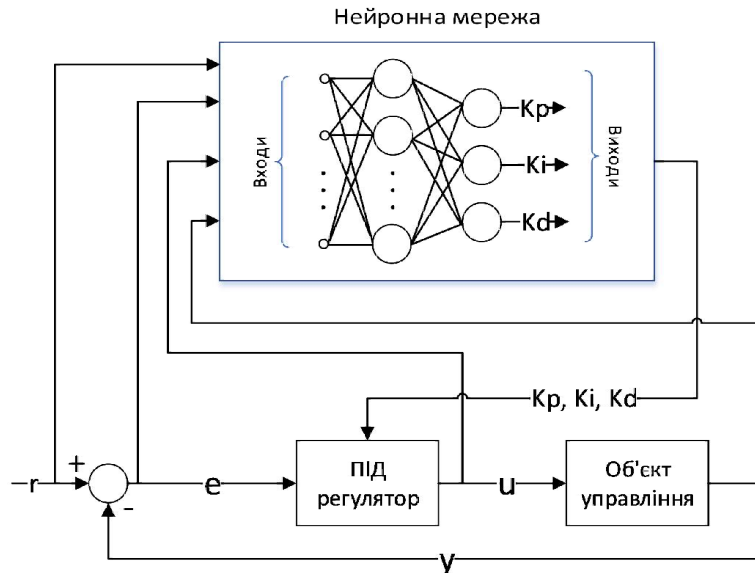


Рисунок 2.6 – Структура пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора на основі нейро-мережі.

При такому варіанті ваги нейронної мережі визначаються з умови мінімізації функції енергії E [48,50].

Для налаштування пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора пропонується використовувати багат шаровий персептрон з одним прихованим шаром. В запропонованому варіанті нейрони прихованого рівня перетворюють вхідні сигнали з допомогою сигмоїдальної функції активації. В кожен момент часу t_0 задані значення $y(t_0), r(t_0)$,

$e(t_0) = r(t_0) - y(t_0)$, а входи персептрона відповідають компонентам вектора:

$$V^i = (u(t_{i-1}), \dots, u(t_{i-p}), y(t_i), \dots, y(t_{i-q+1}), r(t_{i+1})) \quad (2.16)$$

де $i = \overline{0, N-1}$, $y(t_i) = 0$ при $j < 0$.

В кожний момент часу t_i параметри K_p, K_i, K_d вираховуються з умов мінімі-

зації функції

$$E(t_i) = \frac{1}{2} e^2(t_{i+1}), \quad (2.17)$$

і обраховуються як виходи мережі

$$K_p = \hat{O}_1, K_i = \hat{O}_2, K_d = \hat{O}_3. \quad (2.18)$$

де \hat{O}_k вираховуються по формулам

$$\hat{O}_k = f(y_k), \quad (2.19)$$

де $f(x)$ – сигмоїдальна функція активації, y_k - вхідний сигнал k -го вихідного нейрона, який розраховується в відповідності до виразу:

$$y_k = \sum_j \tilde{\omega}_{jk} \tilde{O}_j \quad (2.20)$$

Ваги і порогові значення являються невідомими і вираховуються в результаті навчання перцептрона. Навчання перцептрона реалізовується на основі алгоритму зворотного поширення помилки (backpropagation) з моментами по сукупності вибіркового значень вхідних і вихідних параметрів (V^i, V_1^i) ваги і порогові значення розраховуються в напрямку антиградієнту функції енергії. Пропонується застосувати алгоритм зображений на рисунку 2.7.

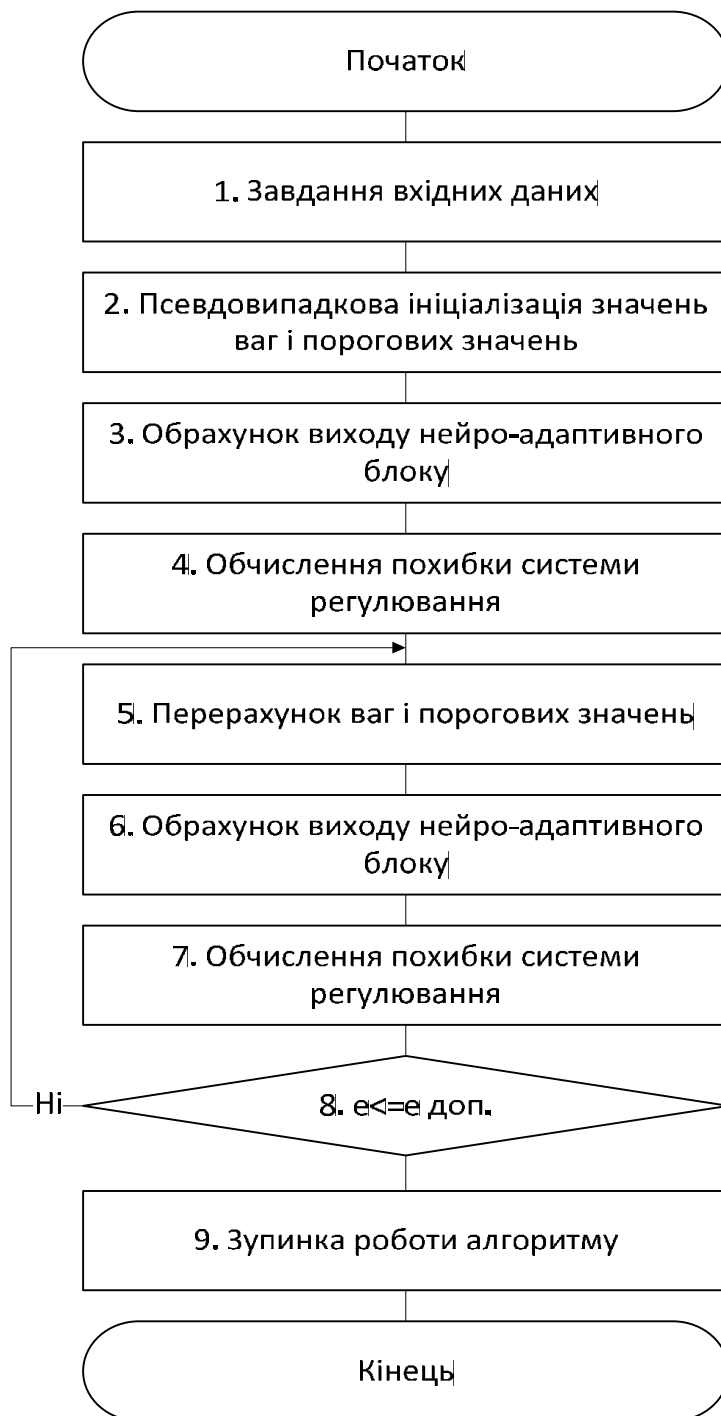


Рисунок 2.7 - Алгоритм роботи нейро-адаптивного блоку

Даний алгоритм запускається на виконання тоді коли необхідне покращення якості регулювання на об'єкті управління.

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ

3.1 Програмно-апаратні засоби

Для реалізації алгоритмів автоматичного регулювання необхідно розробити програмно-апаратні засоби. Характеристики апаратного забезпечення наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики апаратного забезпечення

Найменування	Характеристики
Виробник	Dell Inc.
Модель	Precision M4600
Процесор	Intel(R) Core(TM) i7-2820QM CPU 2,30GHz
Оперативна пам'ять	16,00 ГБ
Операційна система	Windows 7 Pro x64

У поєднанні із апаратним засобом будемо застосовувати наступне програмне забезпечення наведене у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики програмного забезпечення

Програмне забезпечення	Розробник	Версія
CoDeSys	3S-Software	2.3.9999
EasyBuilder Pro	Weintek Labs., INC.	V5.06.01.115
Matlab	The MathWorks	R2015a (8.5.0.197613)

Сучасні системи проектування і розробки автоматизованих систем будуються на основі стандарту IEC 61131 – це стандарт що описує мови програмування для програмованих логічних контролерів. На даний момент є актуальною редакція IEC 6113-3. В перше цей стандарт було опубліковано

міжнародною електротехнічною комісією у грудні 1993 року з метою вирішення проблем уніфікації устаткування для промислової автоматизації. Цей стандарт охоплює вимоги до апаратних засобів, їх монтажу, тестування, відлагодження, програмування і т.д.

Стандарт містить у собі п'ять мов програмування з котрих перші дві текстові три інші графічні:

- ST – (англ. Structured Text) структурований текст;
- IL – (англ. Instruction List) список інструкцій;
- LD – (англ. Ladder Diagram) сходинова діаграма;
- FBD – (англ. Function Block Diagram) діаграма функціональних блоків;
- SFC – (англ. Sequential Function Chart) послідовний ряд блоків.

Розглянемо мови програмування детальніше, ST – це мова високого рівня програмування у ній застосовуються компоненти програм стандарту IEC. Синтаксично вона подібна до мови програмування C. IL – це типовий набір інструкцій що характерний для асемблера. Ця мова програмування дозволяє виконувати код любої складності проте код є громіздким і на його розробку йде багато часу, проте добре відлагоджений код працює значно швидше за еквівалент написаний у мовах більш високого рівня програмування. FBD – це мова програмування візуального типу що дозволяє вставляти в робоче середовище класи і візуально проставляти зв'язки між ними для об'єднання об'єктів між собою у єдину програму. LD – це графічна мова програмування, що є реалізована по принципу роботи електричного кола, графічна діаграма роботи кола починається контактами (бітами різних областей пам'яті) і закінчується виходом (бітом пам'яті, або виконанням спец команди). Для проведення арифметико-логічних операцій використовуються спец команди порівняння, копіювання та інші. SFC – це мова що являється високорівневим графічним інструментом програмування. Графічна частина складається із кроків (станів) і переходів між ними. Умови переходів визначаються модифікаторами що надають можливість контролювати переходи між станами.

Із стандарту можна дійти висновку що усі ці п'ять мов програмування були включені як найбільш поширені і застосовувані раніше на практиці, для уніфікації розроблюваних структур програм.

Система CoDeSys була розроблена компанією 3S-Smart Software Solutions GmbH (Kempten, Germany), як система програмного комплексу для промислової автоматизації. В CoDeSys реалізовано відхилення від стандарту IEC 63113-3, що дає змогу реалізовувати об'єктно-орієнтований підхід до програмування ООП.

Редактор має селектор платформи що дозволяє обрати платформу для програмування у нашому випадку це буде контролер OWEN PLC160M

Після обирання платформи надається можливість вибору першої програми PLC_PRG, у нашому випадку ми будемо застосовувати диспетчер задач для циклічного виконання підпрограм Task manager по перериванню.

У програму можна додавати інші підпрограми для виконання, структура редактора програм складається з блоку декларування змінних і блоку редактора програм.

Програми, що пишуться у редакторі, компілюються і завантажуються в програмований логічний контролер де вони виконуються по заданому раніше алгоритму. Контролер це блок, що виконує усі логічні операції. Він оснащений портами вводу виводу цифрових та аналогових сигналів а також інтерфейсами для взаємодії із «зовнішнім світом».

Окрім програми для програмування контролера будемо застосовувати ще програму для програмування панелі оператора Weintek EasyBuilder Pro. Панель оператора у свою чергу реалізовує людино-машинний інтерфейс і допомагає оператору взаємодіяти з автоматизованим комплексом, змінювати параметри, режими роботи тощо. EasyBuilder Pro. Це середовище візуального програмування графічного інтерфейсу панелі оператора.

З допомогою інтерфейсів що є на борту панель оператора з'єднується з контролером по мережі і зчитує та записує дані у буфер обміну програмованого логічного контролера, що дає можливість розробляти програми візуалізації технологічних процесів для покращення сприйняття об'єкта управління і

моніторингу його параметрів. Сенсорна панель має можливість накопичувати дані на USB flash носій та будувати графіки роботи, накопичувати архів аварій що відбувались у системі.

Роботу по побудові нейро-мережі будемо виконувати у середовищі Matlab після чого передаємо її у редактор динамічного моделювання Matlab Simulink. Вікно пакету зображено на рисунку 3.1.

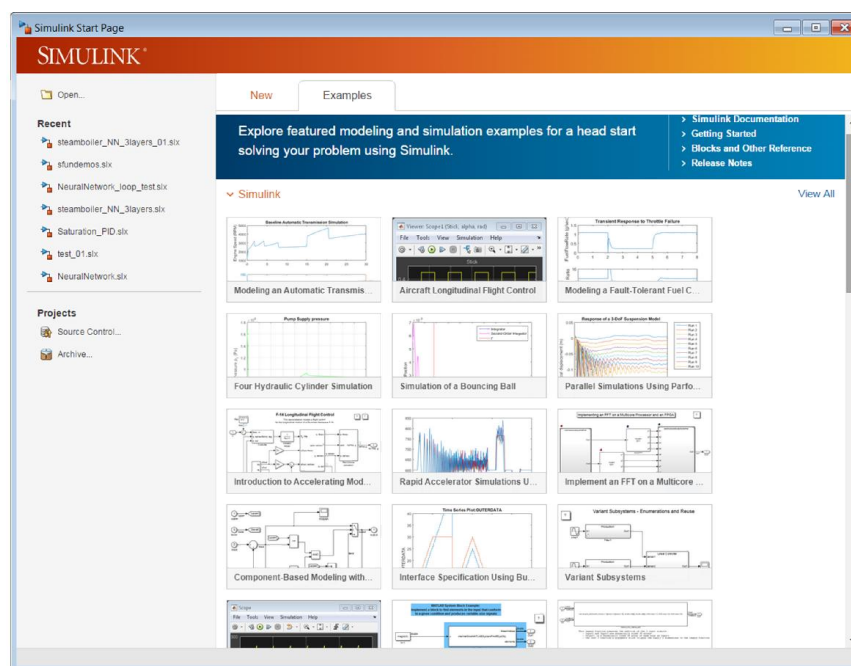


Рисунок 3.1 – Вікно редактора Matlab Simulink

Редактор дозволяє застосовувати на практиці готові бібліотеки блоків для моделювання електросилових, механічних і гідравлічних систем, а також застосовувати на практиці об'єктно-орієнтований підхід при розробці систем управління, засобів цифрового регулювання і пристроїв реального часу. Додавши нейро-мережу в систему Matlab Simulink ми зможемо виконувати роботу по пошуку коефіцієнтів регулятора.

3.2 Структура програмного забезпечення

Структура програмного забезпечення автоматичної системи регулювання

приведена на рисунку 3.2.

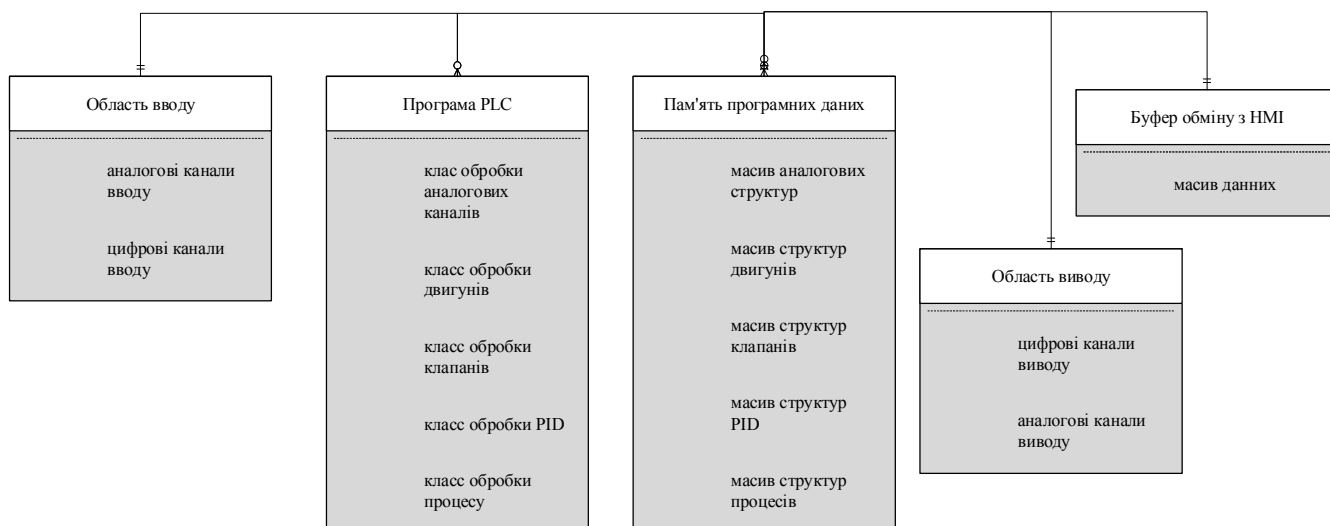


Рисунок 3.2 – Структура програми програмованого логічного контролера

Структурні елементи програми містять різні функціональні призначення для забезпечення функціонування пристрою по наступному алгоритму:

- а) зчитування області входів;
- б) виконання програми користувача;
- в) запис виходів;

Зчитування входів відбувається на системному рівні контролера, завдяки конфігурації отримані з таргет-файлу, налаштування передаються в середовище розробки де вони в кінці компілюються і завантажуються в платформу виконання – програмований логічний контролер.

Область вводу – це апаратна область створена виробником програмованого логічного контролера у котру відбувається запис величин зчитаних з аналогових і цифрових входів, це відбувається програмною частиною самого програмованого логічного контролера доступу до якої користувачу не надається, дані відображаються у змінних типів `bool`, `word`, `real`, які містять інформацію зчитану з входів.

Область виводу – це частина системної області так само як і область вводу, звідки відбувається зчитування внутрішніх величин і запис їх на відповідні виходи програмованого контролера, цифрові та аналогові. Цифрові виходи викорис-

товуються для керування Булевими виходами, а аналогові для задання рівня напруги чи струму у відповідності до апаратної частини програмованого логічного контролера.

Область буфера обміну – це частина пам'яті, що є зарезервованою для обміну з зовнішніми пристроями. У нас таким пристроєм виступає людино-машинний інтерфейс – панель оператора. Обмін відбувається по стандартному протоколу Modbus TCP/IP. Цей протокол є одним із найрозповсюдженіших серед індустріальних автоматизованих систем.

Програма програмованого-логічного-контролера – це робоче середовище в якому відбувається виконання коду користувача по запрограмованому алгоритму.

Модуль обробки аналогових каналів – відповідає за зчитування аналогових величин, їх обробку і масштабування з приведенням величин, що вимірюються у системі. Також у цьому модулі відбувається відслідковування виходу цих величин за межі і сигналізацію несправностей, що відносяться до категорії аналогових каналів, підпрограма виконує внесення готових до роботи даних у область збереження програмних даних відведена для аналогових величин. На рисунку 3.3 зображено загальний вигляд вікна в якому відбувається налаштування аналогових каналів.

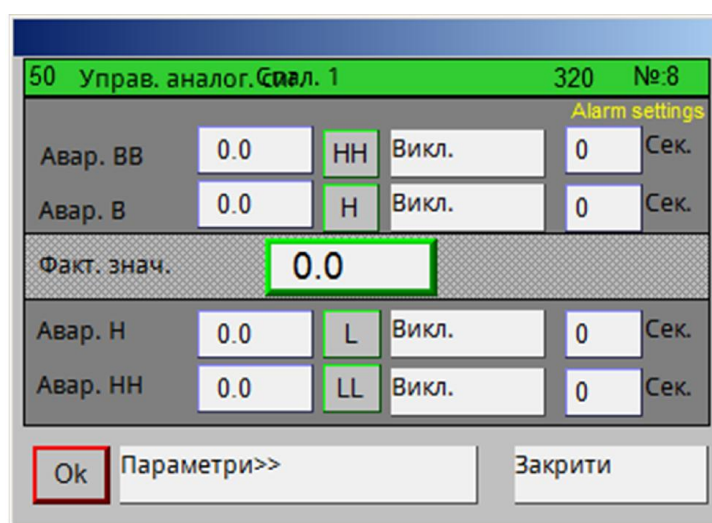


Рисунок 3.3 – Вікно керування аналоговими каналами

Модуль обробки двигунів – це підпрограма що відповідає за алгоритм роботи приводів, керування ними у режимах ручної та автоматичної роботи, зміну статусу двигуна індикацію аварій та інше. На рисунку 3.4 зображено вікно керування двигунами.

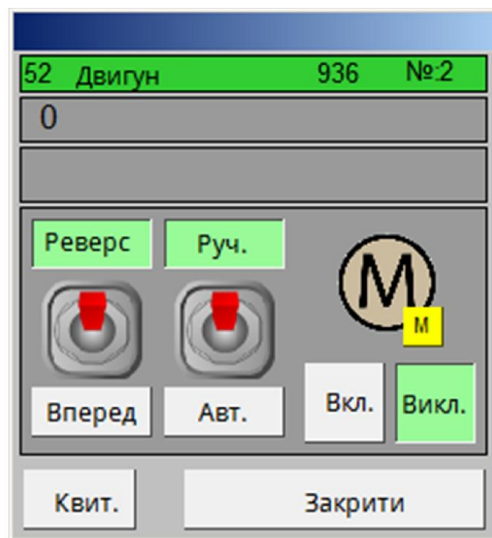


Рисунок 3.4 – Вікно керування приводами

Модуль обробки клапанів – це підпрограма що по своїй будові відпрацьовує алгоритм регулювання клапанами аналогічно до модуля обробки двигунів.

Модуль обробки пропорційно-інтегрально-диференціального регуляторів – частина програми що відповідає за реалізацію пропорційно-інтегрально-диференціального закону регулювання, застосовується в усіх колах регулювання, опрацьовує дані отримані з оброблених даних модулем аналогової обробки каналів і утворює керуючу дію на органи регулювання, відпрацьовує різні режими роботи, такі як ручне керування виходом, робота по автоматичному і ручному завданню, без стресовий перехід між режимами ручного та автоматичного регулювання. Опрацьовані дані поміщаються в область програмної пам'яті і буфера обміну для взаємодії із панеллю оператора

Модуль процесу – це основна частина програми де відбувається керування процесом розпалу, роботи, зупинки коло агрегату. Ця підпрограма проводить безпосереднє керування системою у автоматичному режимі роботи. Усі етапи роботи розбиваються на кроки і виконання програми відбувається покроково.

Кожен корок відповідає певному етапу роботи системи, в виконавчі програмі записується керуюча дія відповідно до кроку роботи. Загальний вигляд вікна зображено на рисунку 3.5.

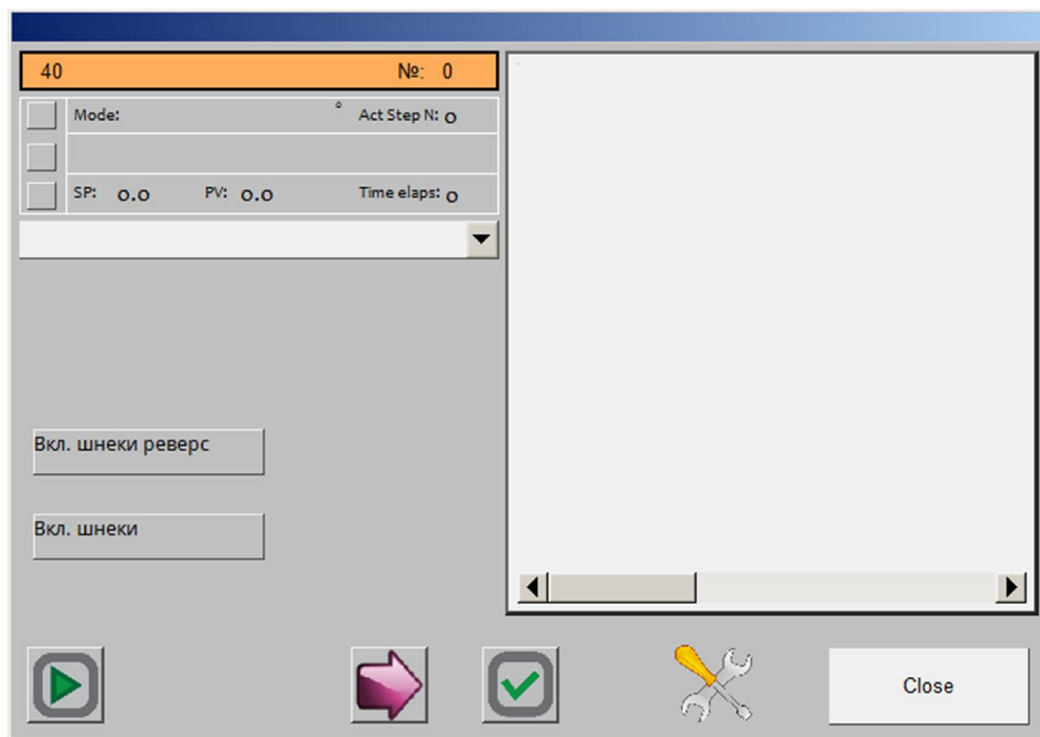


Рисунок 3.5 – Вікно процесу керування котлом

Процесом роботи котлоагрегату керує оператор, вище перелічені форми вікон застосовуються ним у процесі роботи для коригування перебігу технологічного процесу.

3.3 Програмна реалізація пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора

Пропорційно-інтегрально-диференціального регулятор є найпростішим алгоритмом що використовується на практиці для регулювання параметрів технологічних процесів, для своєї роботи потребує налаштування трьох параметрів під конкретний об'єкт. Водночас маючи простий смисл і простою математичною реалізацією часто застосовується у процесах де необхідно здійснювати підтри-

мання параметра на одному рівні а також здійснювати динамічні переходи. Розглянемо дискретну модель що була наведена у алгоритмах регулювання у другому розділі.

Для реалізації фізичної реалізації у системі CoDeSys напишемо наступний код для функціонального блоку:

Графічний вигляд вікна регулятора зображено на рисунку 3.6 та вигляд інформаційного поля регулятора зображено на рисунку 3.7.

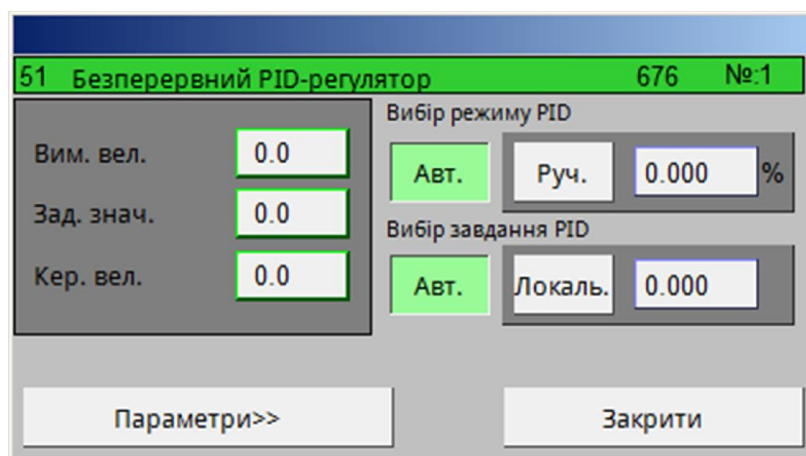


Рисунок 3.6 – Вікно керування пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором



Рисунок 3.7 – Інформаційне поле пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора

Поле зеленого кольору, що зображене на рисунку 3.7 відповідає за відображення фактичних параметрів, що є вимірними відповідним датчиком і оброблені блоком обробки аналогових сигналів, тобто значення в цій зоні є про

масштабованими до вимірювальних одиниць, що характерні для виміру конкретного аналогового каналу. Жовта зона відповідає за значення завдання що здається оператором системи або автоматично програмою користувача. Жовте поле – це поле, що відображає значення керуючої дії регулятора яке було опрацьоване і направляється на керуючий орган, вимірюється у відсотках.

3.4 Автоматична система збору експериментальних даних

Для навчання моделі котлоагрегату, необхідно організувати збір даних з системи регулювання. Налаштуємо панель оператора Weintek, для цього налаштуємо систему Data Sampling Object на опитування даних регулятора з контролера і запис їх у dtl форматі. Налаштування об'єкта зображене на рисунку 3.8 та 3.9.

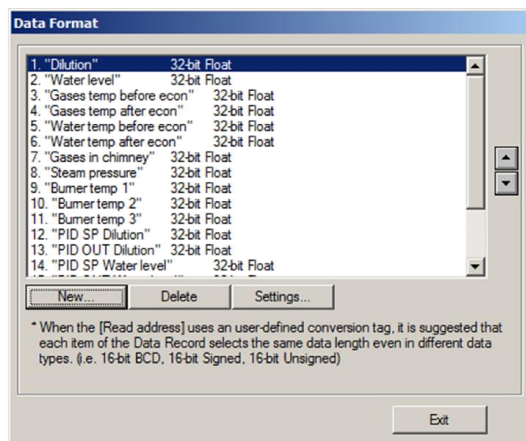


Рисунок 3.8 – Вікно налаштування змінних архіву даних роботи

Перелік сигналів що будуть реєструватися наведемо у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік тегів що реєструються системою

н/п	Опис тегу	Тип змінної
1	Розрідження в топці котла	Float 32-bit
2	Рівень води в барабані	Float 32-bit
3	Температура в топці	Float 32-bit

7	Температура води «після економайзера»	
8	Температура газів в димові трубі	
9	Температура води «після економайзера»	
10	пропорційно-інтегрально-диференціального розрідження - завдання	Float 32-bit
11	пропорційно-інтегрально-диференціального розрідження - вихід	Float 32-bit
12	пропорційно-інтегрально-диференціального води - завдання	Float 32-bit
13	пропорційно-інтегрально-диференціального води - вихід	Float 32-bit
14	пропорційно-інтегрально-диференціального тиску - завдання	Float 32-bit

4	Температура газів «перед економайзером»	Float 32-bit
5	Температура газів «після економайзера»	Float 32-bit
6	Температура води «до економайзера»	Float 32-bit

Продовження таблиці 3.1

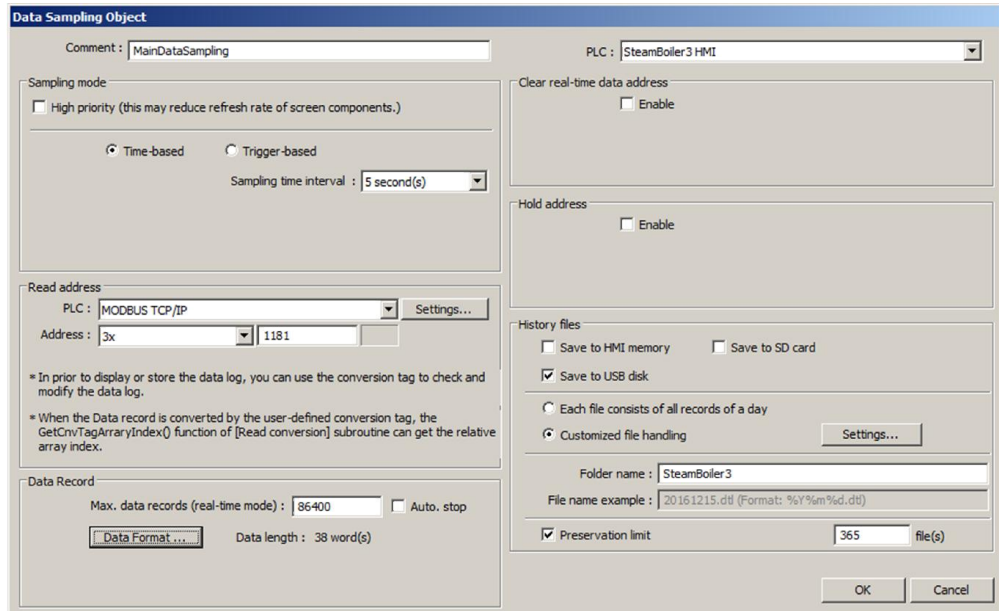


Рисунок 3.9 – Вікно налаштування параметрів об'єкту Data sampling

Опитування даних проводимо раз на 5 секунд роботи котлоагрегату, протоколом обміну з контролером служить MODBUS TCP/IP стартова адреса в області буфера обміну даними 1181. Вибірку даних зображено на рисунку 3.10.

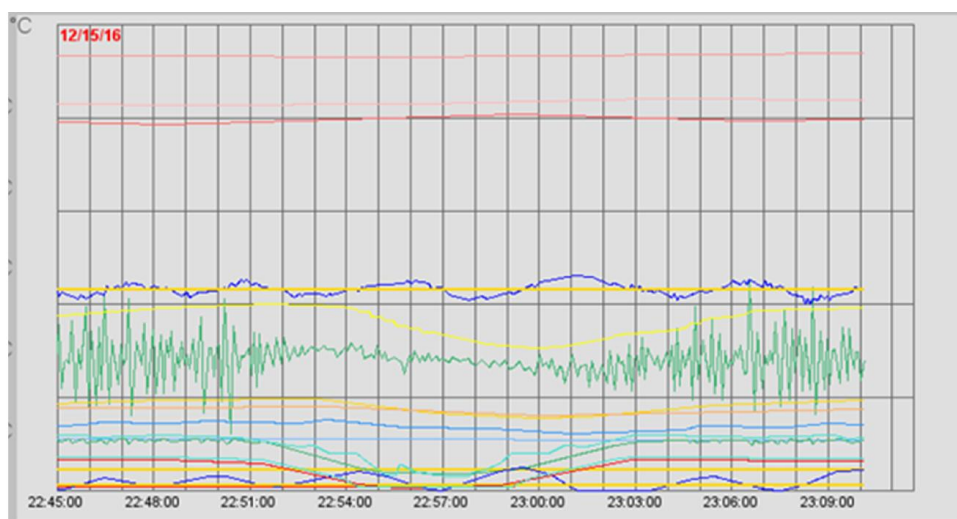


Рисунок 3.10 - Вибірка даних з котлоагрегату

Для загального розуміння копію екрану панелі оператора котлоагрегату у процесі роботи зображено на рисунку 3.11.

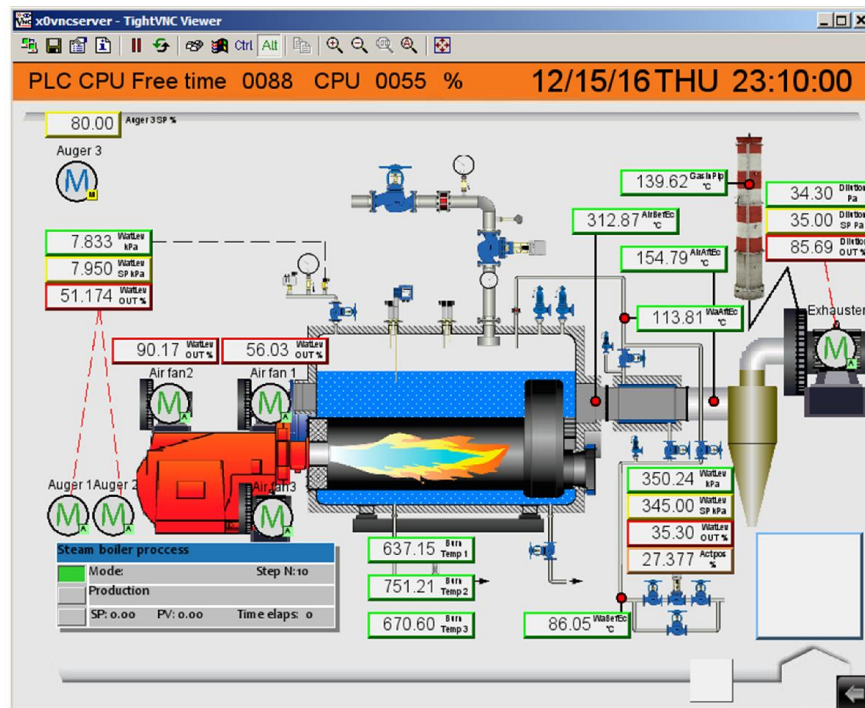


Рисунок 3.11 – Вікно котлоагрегату в роботі

Накопичені дані роботи котлоагрегату зберігаються у файлі архіву dtl на карті пам'яті, що встановлена в панелі оператора. Дані вивантажуються через доступ по протоколу ftp. Вибірка даних за 1 добу роботи агрегату займає 1,4 Мб та містить 16774 оригінальних вибірки даних для навчання нейро-мережі.

3.5 Система адаптивного навчання нейронної мережі

Для вирішення задач пошуку коефіцієнтів з допомогою нейро-мережі слід подбати про її зв'язаність з протікаючим процесом для можливості проведення повторного перенавчання блоку налаштування коефіцієнтів, для реалізації такого алгоритму доцільним буде використовувати не об'єкт управління а його нейро-мережевий емулятор. Реалізувавши систему керування навколо моделі об'єкта ми зможемо отримувати дані для аналізу роботи системи і отримувати нові вибірки даних для перенавчання блоку адаптивного налаштування. Для реалізації моделі об'єкта управління застосуємо наступні канали системи регулювання об'єктом:

- 1) дані давача тиску пари потужності;

- 2) вихід регулятора потужності пальника;
- 3) дані давача розрідження в топці;
- 4) вихід регулятора розрідження в топці;
- 5) дані давача рівня води в барабані;
- 6) вихід регулятора рівня води в барабані.

Дані що були отримані у роботі під час експлуатації котлоагрегату наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Дані для навчання нейро-емулятора.

Розрідження	Рівень води	Тиск пари	ПД регулятор розрідження	ПД регулятор рівня води	ПД регулятор потужності
34,17	336,22	8,77	55,18	21,25	28,19
38,02	332,76	8,77	53,04	22,86	27,37
37,69	336,50	8,78	51,93	23,75	26,02
39,16	334,57	8,78	50,63	25,10	25,49
38,73	335,20	8,77	49,51	26,16	28,57
39,31	336,14	8,78	47,91	27,36	23,19

Продовження таблиці 3.2

38,03	343,59	8,70	42,58	34,87	15,68
39,73	344,73	8,68	40,46	34,83	15,14
35,34	343,11	8,68	39,43	35,36	14,05
36,73	343,70	8,65	38,51	35,75	13,29
37,64	344,18	8,64	37,47	35,72	12,73
38,03	345,79	8,61	36,13	35,70	12,02
32,72	347,05	8,59	36,32	35,73	11,52
37,89	348,11	8,56	35,44	34,95	11,21
37,92	350,67	8,54	34,34	34,87	10,13
35,34	347,41	8,51	34,13	34,08	10,52

36,33	349,96	8,49	33,22	33,77	9,35
34,08	350,87	8,46	32,95	32,98	9,21
36,05	350,08	8,44	32,98	32,21	8,60
37,11	352,13	8,41	31,60	31,33	8,44
35,27	354,65	8,39	31,77	30,25	8,06
35,39	355,71	8,35	31,67	28,81	8,11
34,91	353,67	8,33	31,96	27,93	7,62

Дані, що представлені у таблиці є вибірковими і наданими для розуміння. Щоб навчити модель нейро-емулятора поводитися наближено до фізичної моделі будемо застосовувати файл обсягом інформації 5 діб роботи фізичної моделі із 103680-та записами. Так як на сьогоднішній день не існує алгоритму, що дозволяє чітко підібрати кількість прихованих нейронів, обираємо їх емпіричним шляхом, рівною 30. У вхідному і вихідному шарі у нас буде відповідно по 3 нейрони, із синусоїдальною функцією активації.

Результат навчання моделі нейро-регулятора і графік середньо-квадратичної помилки зображено на рисунку 3.12.

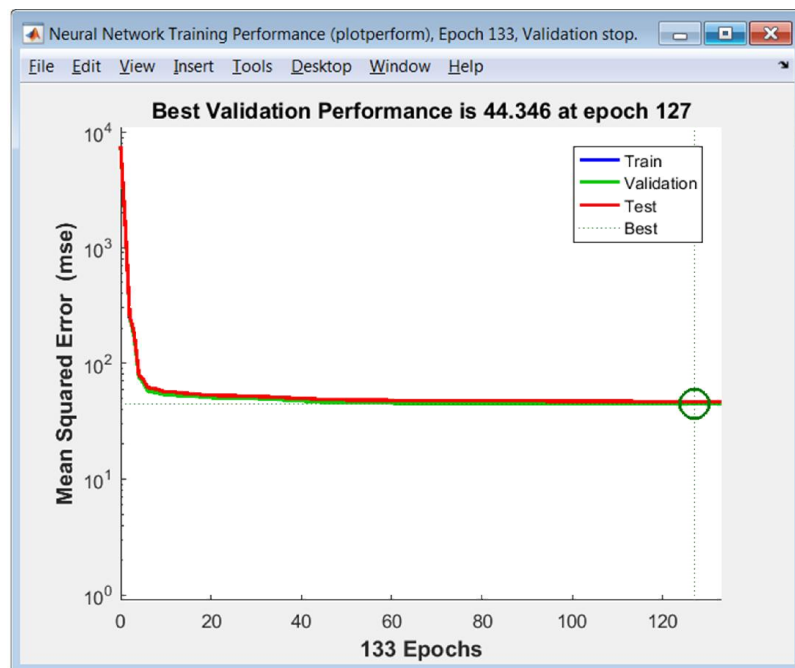


Рисунок 3.12 – Верифікація моделі нейро-емулятора

З рисунку можна дійти висновку що навчання нейро-емулятора відбулося за 133 епохи навчання. Гістограму відхилень середньо-квадратичної похибки зображено на рисунку 3.13.

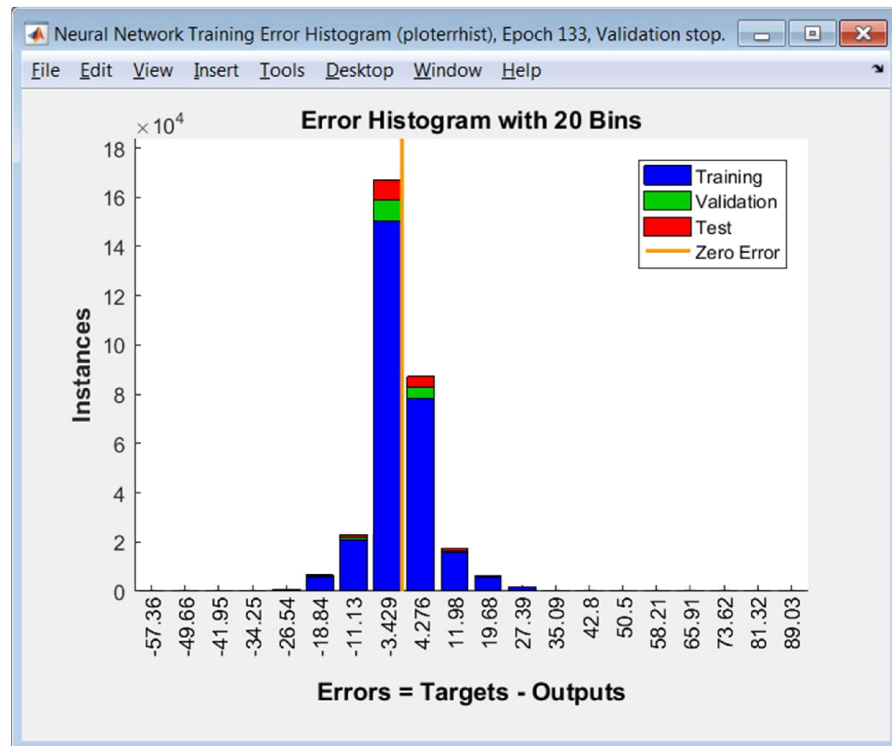


Рисунок 3.13 – Гістограма відхилень середньо-квадратичної похибки роботи нейро-емулятора.

При навчанні нейро-емулятора застосовувався алгоритм зворотного поширення похибки із застосуванням градієнтного спуску, результат виводу зображено на рисунку 3.14.

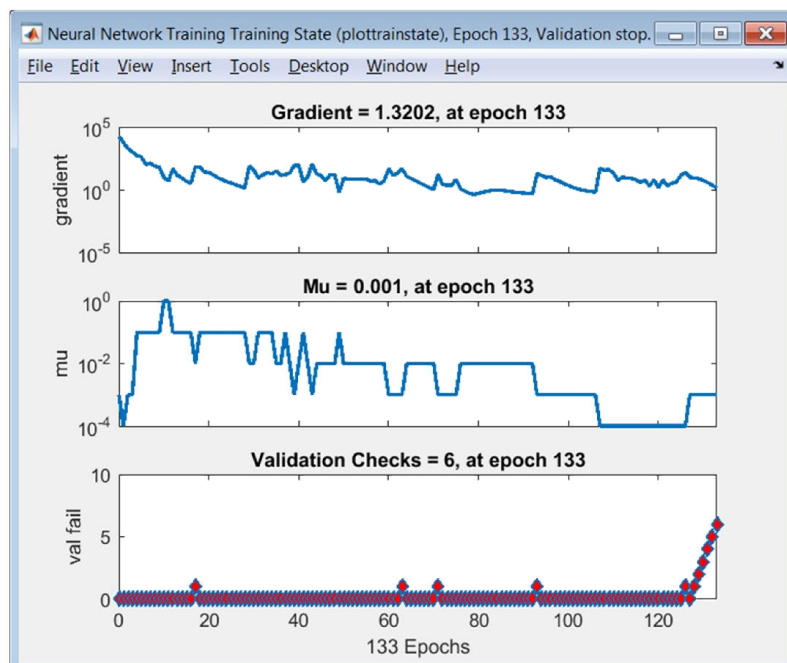


Рисунок 3.14 – Графік градієнту у процесі навчання.

Динамічна модель системи регулювання котлоагрегатом зображена на рисунку 3.15.

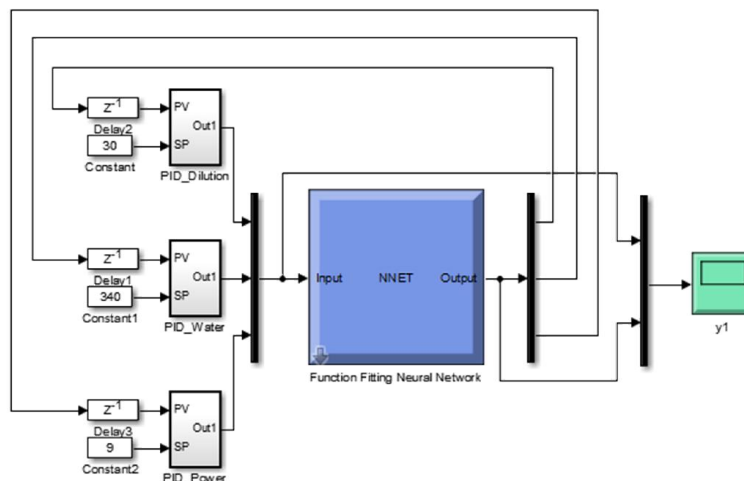


Рисунок 3.15 – Динамічна модель системи регулювання котлоагрегату

Запустивши симуляцію процесу регулювання на осцилографі y_1 ми зможемо побачити динаміку зміни вимірних величин технологічного процесу що протікає у котлоагрегаті. Результат роботи зображено на рисунку 3.16.

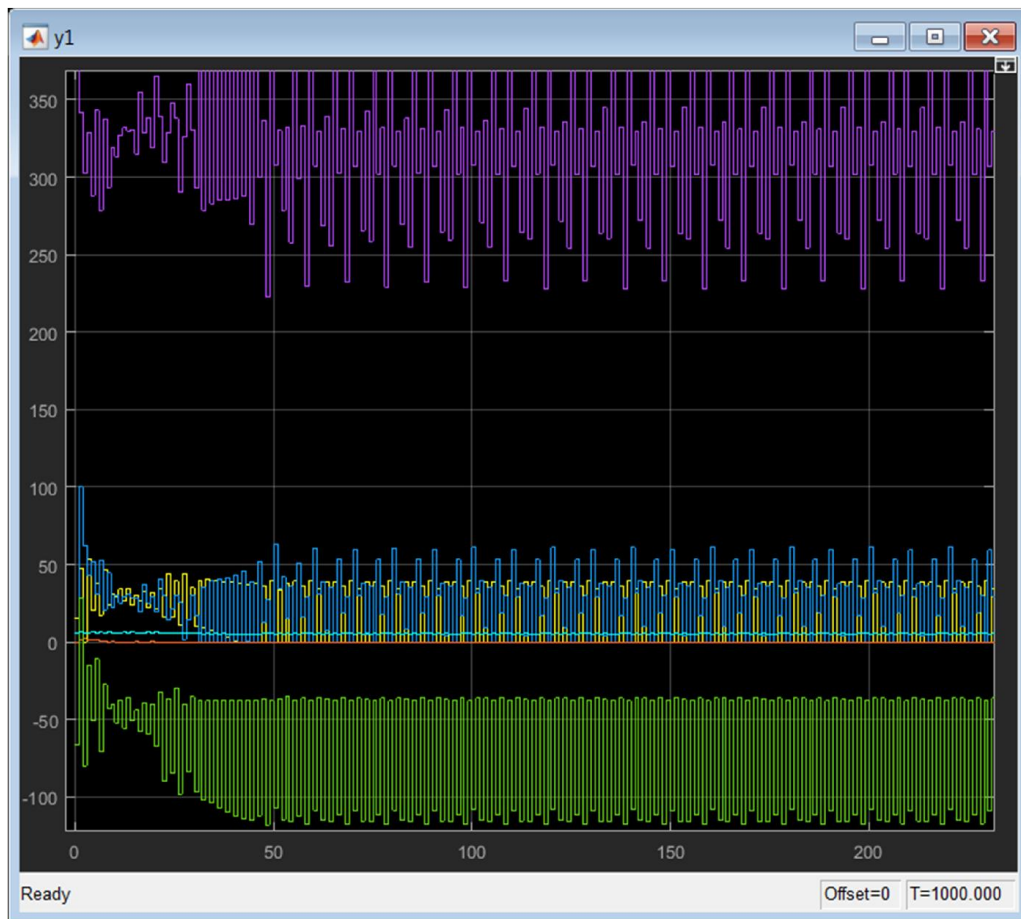


Рисунок 3.16 – Вивід осцилограми процесу роботи нейро-емулятора із системою регулювання

3.6 Нейро-адаптивний блок розрахунку коефіцієнтів регулювання

Для налаштування параметрів пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора системи керування технологічними параметрами котлоагрегату, у якості тестової використаємо підсистему регулювання розрідження в топці, котла. Ця система є одною із основних що впливає на якість спалювання палива і затримки тепла отриманого від палива у камері згорання для його максимальної передачі вторинному середовищу – воді. Додавши в динамічну модель системи керування додаткові елементи для перевірки результату підбору коефіцієнтів в результаті навчання нейро-адаптивного блоку налаштування. Схему зображено на рисунку 3.17.

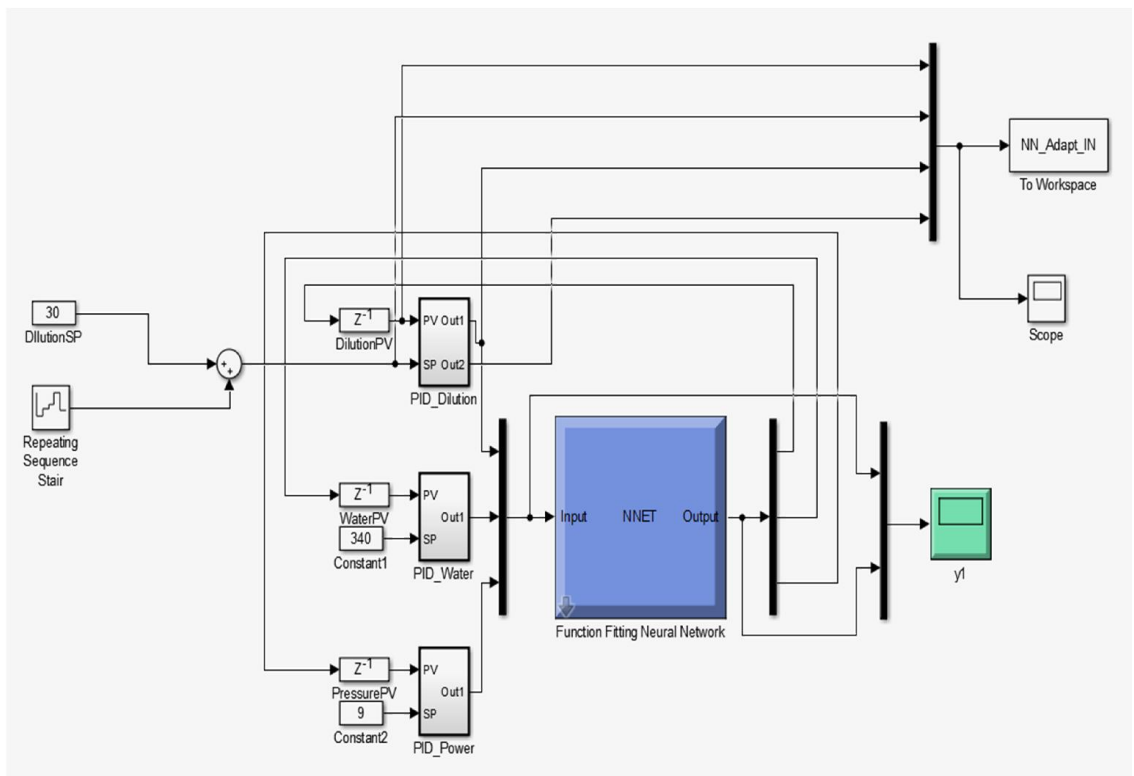


Рисунок 3.17 – Адаптивна модель системи регулювання для отримання вхідних даних для навчання нейро-адаптивного блоку.

Дані, що отримуються у системі подаються на вхід змінної NN_Adapt_IN що накопичує у собі їх у вигляді матриці $M \times N$, де M кількість вхідних параметрів що є рівною 4-ом, N – кількість записів, залежить від часу виконання динамічної моделі. Для навчання нейро-адаптивного блоку застосуємо наступний алгоритм, що був представлений у розділі 2.

Для реалізації алгоритму наведеного у розділі 2 у середовищі Matlab будемо застосовувати власну реалізацію нейро-мережі. Отримання даних вибірки необхідних для нейро-мережі будемо забезпечувати через виконання динамічної моделі в середовищі Simulink. Реалізацію коду наведено в додатку .Виконавши код в середовищі Matlab, на виході отримаємо наступні результати зображені на рисунках 3.18, що відповідають першим 25 ітераціям коду. Легенду сигналів наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Позначення графіків

Найменування сигналу	Колір
Розрідження в топці	Жовтий
Завдання розрідження	Синій
Вихід ПІД регулятора	Червоний
Величина похибки	Зелений

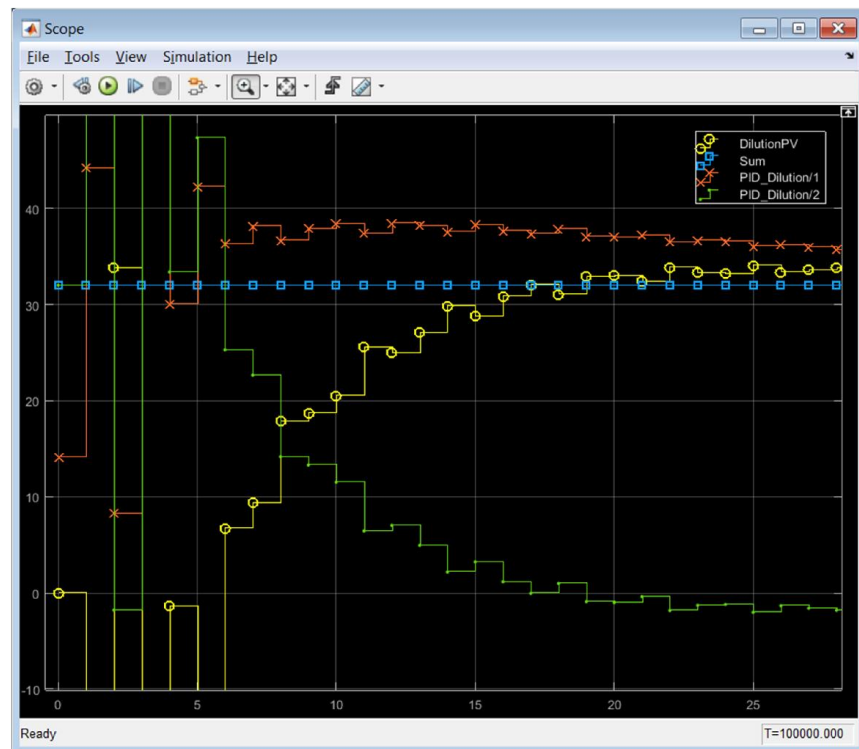


Рисунок 3.18 – Графік роботи алгоритму в ході перших ітерацій алгоритму.

У модель нейро-емулятора в контур регулювання розрідження навмисне було додано коло по внесенню змін рівня значення заданого розрідження, для внесення відхилень у процесі навчання нейро-мережі. Результати роботи подальших ітерацій алгоритму зображені на рисунку 3.19. В ході навчання було виконано 253000 ітерацій проте виявлено, що подальшого покращення якості регулювання не відбувається після ітерації 3500. Було зафіксовано наступні коефіцієнти для застосування $K_p=0.39183$, $K_i=0.085589$, $K_d=0.040539$. Якість регулювання і стабільність роботи регулятора розрідження в котлоагрегаті задовольняє

точністю і швидкістю переходів. На виході ми отримали нейро-мережу, що дозволить підлаштовувати систему регулювання у ході її життєвого циклу.

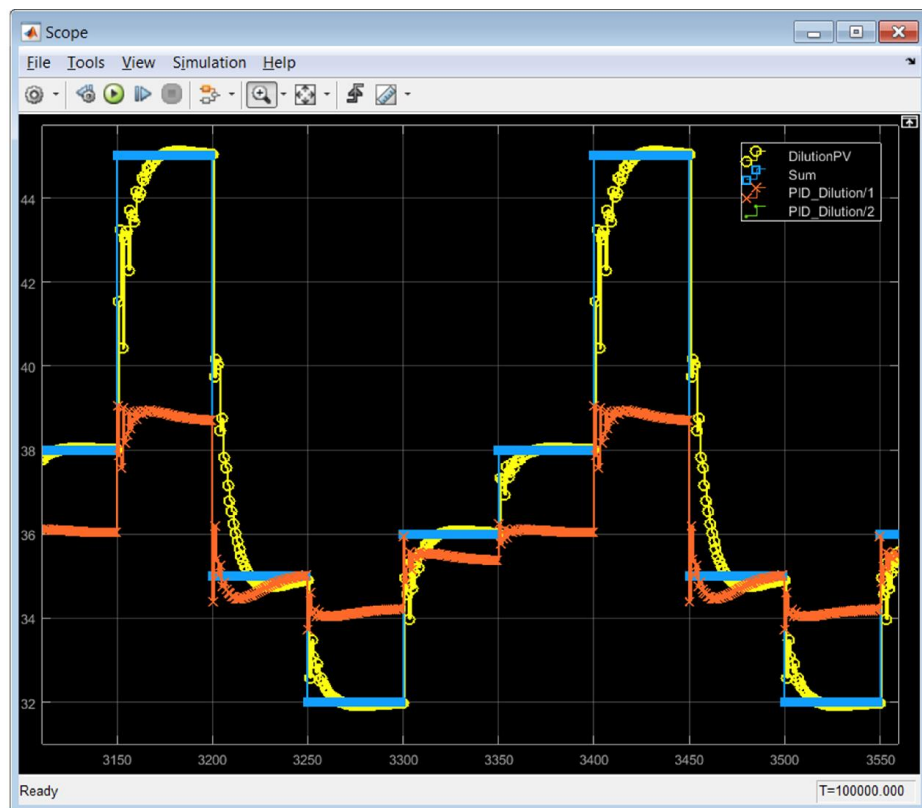


Рисунок 3.19 – Графік регулювання розрідження

Отримавши дані нових вибірок їх можна завантажити у нейро-адаптивний блок і при прямому проході ми отримаємо нові рекомендовані коефіцієнти.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання д/п було отримано такі результати:

- 1) здійснено аналіз існуючих енергетичних установок, зокрема теплових, що застосовуються у промисловості, і розроблено вимоги до системи автоматичного регулювання ;
- 2) проаналізовано алгоритми автоматичного регулювання установок, що дало змогу вибрати алгоритми регулювання параметрів котлоагрегату;
- 3) проаналізовано сучасні засоби автоматичного регулювання на основі аналізу відомих світових фірм таких як Siemens, Weintek, Owen, що дало можливість реалізувати автоматичну систему регулювання параметрів котлоагрегату;
- 4) розроблено алгоритм пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора на основі закону ПІД регулювання, що дало можливість спроектувати нейро-адаптивний блок розрахунку коефіцієнтів регулювання.
- 5) на основі отриманих експериментальних даних роботи котлоагрегату отримано вибірки і застосовано їх для навчання нейро-емулятора, що дало змогу реалізувати навчання нейро-адаптивного блоку у реальному часі;
- 6) застосовано алгоритм зворотного поширення помилки для навчання нейро-адаптивного блоку розрахунку коефіцієнтів і за його допомогою отримано коефіцієнти, що забезпечують стабільність регулювання параметру розрідження в камері котла, із штучно внесеними завадами;
- 7) на основі розроблених алгоритмів спроектовано і програмно реалізовано автоматичну систему регулювання параметрів котлоагрегату, яку впроваджено на ПрАТ «Тернопільський молокозавод».

Список літератури

1. Типові вимоги до оформлення дипломних робіт за освітньо-кваліфікаційними рівнями “спеціаліст” і “магістр”// За ред. проф. Г.П. Журавля – Тернопіль: ТНЕУ, 2007. – 32 с.
2. Рекомендації НМК МОНУ з „Комп’ютерної інженерії” щодо тематики, змісту і оформлення кваліфікаційних робіт випускників ВНЗ України (прийняті 16 травня 2006 року на виїзному засіданні НМК в Таврійському державному університеті ім. В.І.Вернадського, м. Сімферополь) // Укл. проф. Мельник А.О., проф. Скатков О.В., проф. Тарасенко В.П.
3. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для студентів спеціальностей 8.091501 „Комп’ютерні системи та мережі” // Я.С.Парамуд, В.Ф. Ємець – Львів: Вид-во НУ „Львівська політехніка”, 2003. – 28 с.
4. 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.
5. Конструкция и расчет котлов и котельных установок / В.А. Двойнишников - Москва: Машиностроение. 1988.
6. Основы энерго-технологии промышленности / В.А. Маляренко, Н.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, О.Б. АНИПКО. Підручник – Харків: НТУ ХПИ, 2002.-436с.
7. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий / Б.Н. Голубкова. - Москва: Энергия, 1979.
8. Измерения при регулировке и настройке. Виды и методы измерений. Погрешности измерений. Инструкция / А.Ю. Симановский. – м. Івано-Франківськ: Мікрол, 2003.
9. Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации производственных процессов / Петров И.К. – Москва: Энергия, 1986, 354 с.
10. Heat Transfer Equipment Design and Performance, CRC Press, 2002.
11. Типы регуляторов. Методика настройки регуляторов. Инструкция / А.Ю.

- Симановский. – м. Івано-Франківськ: Мікрол, 2004.
12. Современные средства регулирования технологических процессов на микропроцессорах / Егорова А. С. – Москва: ЦНИИТЭИ приборостроения 1981. - 39 с.
 13. Руководство и рекомендации по электромагнитной совместимости. / – м. Івано-Франківськ: Мікрол, 2004.
 14. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. Підручник./ Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, В.А. Маляренко. – Київ.: «Політехніка», 2003. – 232с.
 15. Автоматизация технологических процессов пищевых производств. / Е.Б. Карпина – Москва: Агропромиздат. 1985. - 368с.
 16. Основы теплофизики зданий и энергосбережения. / В.А. Маляренко. - Харків: ХНАГХ, 2006 -498с.
 17. On modeling of heat exchangers in modelica // S. E. Mattsson, - in: Proceedings of the 9th European Simulation Symposium, 1997.
 18. Микропроцессорные контроллеры в системах автоматического регулирования // Г. Г. Иордан., Н. М. Курносов., М. Г. Козлов., Приборы и системы управления. 1981, №2;
 19. Modelica - A Unified Object-Oriented Language for Physical Systems Modeling - Language specification version 3.1, Modelica Association, 2009.
 20. Енергетичні установки. // Маляренко В.А. - м. Харків: Видавництво САГА, 2008р.
 21. Теплотехнические измерения и автоматизация тепловых процессов. // П.Н. Мануйлов. – Москва: Энергия, 1966 - 278с.
 22. Теоретические основы информационно-измерительной техники // Орнатский П. П. – Київ: Вища школа, 1983. - 455 с.
 23. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования // А.С. Ключев. – Москва: Энергоатомиздат, 1989 – 365с.
 24. Energy Technology Perspectives 2008, International Energy Agency, 2008, p. 257.

25. Siemens Power Generation, Benson boilers for maximum cost-effectiveness in power plants. 2001.
26. Mathematical modelling and design of an advanced once-through heat recovery steam generator // M.-N. Dumont, G. Heyen,; Computers & Chemical Engineering. 2004. – 660p.
27. Тестирование и мониторинг в распределенных автоматизированных системах технологического управления // Кузнецов А.А., Ковалев С.П. – Новосибирск: Вычислительные технологии. 2009 – 13с.
28. Steam Generator for Advanced Ultra-Supercritical Power Plants 700 to 760C // P. Weitzel.: Babcock & Wilcox Power Generation Group, 2011.
29. The IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2000. - 184p.
30. Микропроцессоры: автоматизированные системы контроля объектов // Фролов Г. И., Гембицкий Р. А. – Москва: Вища школа, 1984. 87 с.
31. Автоматизированное проектирование энергетических паровых котлов. // Беднаржевский В.С., Оскорбин Н.М. - Барнаул: Алтайский государственный университет, 2002 – 13с.
32. Справочник. Промышленные приборы и средства автоматизации // Черепкова В.В. - Москва: Машиностроение, 1987. - 847 с.
33. Автоматическое управление в химической промышленности: Учебник для вузов. // Е.Г. Дудникова. - Москва: Химия, 1987.- 368 с.
34. Автоматизация технологических процессов пищевых производств. Под ред. Е.Б. Карпина. - Москва: Агропромиздат, 1985. - 536 с.
35. Контроль производства с помощью вычислительных машин. // Ицкович Е.Л. - Москва: Энергия, 1975. - 416с.
36. Расчет настройки промышленных систем регулирования. // Ротач В.Я. – Москва: Госэнергоиздат, 1961. - 340 с.
37. Основы построения АСУТП. Учебное пособие. // Стефани Е.П. - Москва: Энергоатомиздат, 1982. - 352 с.

38. Методы управления технологическими процессами. // Рэй У. - Москва: Мир, 1983. – 368 с.
39. Справочник проектировщика АСУ ТП. // Г.Л.Смилянского. - Москва: Машиностроение, 1983. - 528 с.
40. Основы построения АСУТП. // Стефани Е.П. - Москва: Энергия, 1982. - 352 с.
41. Распределенные АСУ технологическими процессами. // Шенброт И.М. и др. - Москва: Энергоиздат, 1985. - 240 с.
42. Микропроцессоры и локальные сети микро-ЭВМ в распределенных системах управления. // Прангишвили И.В. - Москва: Энергоатомиздат, 1985. - 272 с.
43. Проектирование систем автоматизации технологических процессов // Ключев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х. - Справочное пособие, 1980. - 512с.
44. Fujinaka T., Kishida Y., Yoshika M, Omate S. Stabilization of Double Inverted Pendulum with Self-Tuning Neuro-PID // International Joint Conference on Neural Networks 2000, Vol.4, pp. 345-348, 2000.
45. Dolezel P., Mares J. Self-tuning PID Control Using Genetic Algorithm and Artificial Neural Networks // Instrument and Control, Ostrava, 2009.
46. Chang L.-Y., Chen H.-C. Tuning of Fractional PID Controllers Using Adaptive Genetic Algorithm for Active Magnetic Bearing System // WSEAS Transactions on Systems, Vol.8, No. 1, 2009, pp. 158-167
47. Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID control. - ISA. The Instrumentation Systems and Automation Society, 2006. - 460 p.
48. Chauvin Y. A back propagation algorithm with optimal use of hidden units // Advances in NIPS2 // Ed. D. Touretzky, San Mateo: Morgan Kaufmann, 1989.- С.
49. Huang Yongan .MATLAB 7.0/Simulink 6.0 modeling and simulation development and advanced engineering applications, Tsinghua University Press, 2005.
50. Chen, G. C., Zhang, L., & Hao, N.M. et al. Application of Neural network PID

Controller in Constant Temperature and Constant Liquid-level System [J]. Micro-computer information, 2003, 19(1): 23-24, 42.

51. Junghui, C. and Huang, T. C., 2004, Applying neural networks to on-line updated PID controllers for nonlinear process control, Journal of Process Control, 14, 211-230.