

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри КСУ

_____ П.В.Леонтєв
_____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: "Оптимізація процесу керування підігрівом нафти шляхового обігрівача /
Optimization of the oil heating control process of the on-board heater"

Керівник роботи
доцент, к.т.н.

Кулінченко Г.В.

Дипломник
студент гр. СУ.м-11

Шикура А.Ю.

Суми – 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ П.В. Леонтєв

_____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра студенту

Шикурі Антону Юрійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Оптимізація процесу керування підігрівом нафти шляхового обігрівача»

затверджена наказом ректора СумДУ №№ 1027-VI від " 7 " листопада 2022 р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи " _____ " _____ 2022 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню):

Аналіз експериментальної установки, як об'єкт керування, аналіз функціональних задач об'єкту, аналіз факторів енергозберігаючого керування процесом обігріву нафти, моделювання процесу керування обігрівача нафти,

аналіз результатів моделювання та побудова регулятора процесу, розробка SCADA системи та програми регулятора на мові FBD

5. Перелік графічних матеріалів: робота містить 30 рисунків та 2 таблиці, функціональну схему автоматизації, схеми інформаційно-матеріальних потоків.

6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз функціональних задач експериментальної установки підігріву нафти	07.11.2022-11.11.2022
2	Аналіз і обґрунтування критеріїв керування нафтодобувної установки	12.11.2022-15.11.2022
3	Розробка моделі та моделювання процесу керування нафтодобувної установки	16.11.2022-21.11.2022
4	Аналіз результатів моделювання та побудова регулятор процесу	22.11.2022-29.11.2022
5	Розробка SCADA системи та програми регулятора на мові FBD	30.11.2022-04.12.2022
6	Оформлення дипломного проекту та відповідної документації	04.12.2022-

7. Дата видачі завдання " 7 " листопада 2022 р.

Керівник проекту:

К. Т. Н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання, посада)

(підпис)

Кулінченко Г.В.

(прізвище, ініціали)

До виконання прийняв:

студент гр. СУ.м-11

(шифр групи)

(підпис)

Шикура А.Ю.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Шикура Антон Юрійович. Оптимізація процесу керування підігрівом нафти шляхового обігрівача. Кваліфікаційна робота магістра. Сумський державний університет. Суми, 2022 р.

Робота містить 62 аркушів, 30 рисунків, 2 таблиці, 3 додатка. При виконанні дипломного проекту було використано 21 літературних джерел.

Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню та розробці моделі регулятора керування дросельної заслінки. Проаналізовано фактори енергозберігаючого керування процесом обігріву нафти. Розроблена математична модель процесу обігріву нафти. Показана доцільність використання релейних регуляторів при керування процесом обігріву нафти. Розглянуто можливості впровадження дослідженого регулятора. Доведена ефективність гнучкого зворотного зв'язку в релейних регуляторах процесів з затримкою у часі та значними сталими часу. На мові програмування FBD була створена програма для регулятора. Розроблена SCADA-система для експериментальної нафтодобувної установки.

Ключові слова: регулятор, підігрів, модель, температура, заслінка, контур регулювання, зворотний зв'язок, SCADA, об'єкт керування, нафта.

ABSTRACT

Anton Yuriyovych Shikura. Optimization of the oil heating control process of the on-board heater. Master's qualification work. Sumy State University. Sumy, 2022

The work contains 62 sheets, 30 figures, 2 tables, 3 appendices. 21 literary sources were used during the completion of the diploma project.

The qualification work is devoted to the design and development of a throttle control regulator model. The factors of energy-saving control of the oil heating process are analyzed. A mathematical model of the oil heating process was developed. The expediency of using relay regulators in controlling the oil heating process is shown. Possibilities of implementation of the studied regulator are considered. The effectiveness of flexible feedback in relay controllers of processes with time delay and significant time constants is proven. A program for the regulator was created in the FBD programming language. A SCADA system was developed for an experimental oil production plant.

Key words: regulator, heating, model, temperature, valve, control loop, feedback, SCADA, control object, oil.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	1
ВСТУП	2
1 ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ	3
1.1 Постановка задачі. Мета та актуальність дослідження.....	3
1.2 Функціональні задачі автоматизації на нафтодобувній станції	6
1.3 Алгоритми керування виконавчими механізмами та установками процесу добування і очищення нафти.....	7
2 ПОБУДОВА МОДЕЛІ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГРІВУ НАФТИ	13
2.1 Моделювання контуру регулювання температури нафти.....	13
2.2 Моделювання контуру регулювання подачі палива.....	16
3 ПОБУДОВА РЕГУЛЯТОРУ ПРОЦЕСУ ПІДГРІВУ НАФТИ	24
3.1 Моделювання регулятора підгріву нафти.....	24
4 РОЗРОБКА SCADA СИСТЕМИ ТА ПРОГРАМИ РЕГУЛЯТОРА НА МОВІ FDB	28
4.1 Розробка SCADA-системи	28
4.2 Розробка програми регулятора на мові програмування FBD	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	52

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВА – вентиляторний агрегат

ВМ – виконуючий механізм

ДПН – дорожній підігрівач нафти

ПЛК – програмований логічний контролер

ПК – персональний комп'ютер

ПТБ – трубчата блочна піч

ККД – коефіцієнт корисної дії

САР – система автоматичного регулювання

СНІП – схема інформаційно-матеріальних потоків

ТЗА – технічні засоби автоматизації

ТП – технологічний процес

РО – регулюючий орган

РР – релейний регулятор

ФСА – функціональна схема автоматизації

ВСТУП

Стабілізація параметрів нафти, яка транспортується або переробляється, є засобом, що мінімізує втрати енергоресурсів, які необхідні для здійснення згаданих процесів. Транспортування нафти є останнім етапом її підготовки до споживання. Після очищення та отримання необхідних показників, що підтверджують придатність до споживання, нафтопродукти знову транспортуються до точок збуту по всьому світу. Світлі нафтопродукти (бензин, гас) легко транспортуються трубопроводами будь-якої пори року, операції з ними не викликають особливих труднощів. У той же час операції з темними нафтопродуктами (мазутом, мастилами) потребують додаткових енерговитрат. Пояснюється це тим, що чорні нафтопродукти при зниженні температури повітря стають більш в'язкими і транспортування їх без підігріву стає неможливим. Для підігріву використовуються дорожні підігрівачі нафти ДПН (піч) – нафтогазове обладнання, яке є газовою піччю з проміжним теплоносієм (найчастіше – водою). Ця піч забезпечує підігрів вуглеводневої сировини та продуктів (нафти, нафтових емульсій, газового конденсату, високов'язких нафтопродуктів і т. д.) під час їх транспортування трубопроводами на промислах та установках підготовки нафти.

Складовими частинами ДП є:

топка, де спалюється газ або дизпаливо;

теплообмінний блок з теплоносієм, та продуктивним змішувачем.

Печі, що використовуються для підготовки нафти до транспортування, характеризуються недостатньою ефективністю, оскільки камери спалювання, що здійснюють теплообмінні процеси, характеризуються недостатньою ефективністю.

Удосконалення конструкцій печей та інтенсифікація теплообмінних процесів за рахунок контурів циркуляції та керування цими контурами дозволяє зменшити витрати палива, тим самим підвищити енергоефективність процесів підготовки нафти до транспортування. Розглядаючи шляхи реалізації енергоефективного керування процесом обігріву нафти, на перший план виходить завдання оптимального керування теплообмінними процесами.

1 ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Постановка задачі. Мета та актуальність дослідження

Постановка задачі: проаналізувавши ринок підприємств та сферу діяльності, які спеціалізуються на видобутку та транспортуванню нафти було прийнято рішення для наявних неавтоматизованих систем обігрівання нафти - розробити автоматизацію та модернізацію системи, що забезпечить енергоефективність, економічний приріст та підвищить якість керування технологічним процесом.

На сьогоднішній день не всі підприємства використовують більш модифіковані системи автоматизації, що призводить до зменшення об'єму видобутку та переробки сировини. Прикладом в таких «не сучасних» системах можуть слугувати:

- Відсутність SCADA-системи
- Старі технічні засоби автоматизації (ТЗА) та виконавчі механізми (ВМ)
- Відсутність регуляторів

Слід зазначити, що підігрів нафти є основним процесом на нафтопереробній станції. Без нього процес був би неможливим.

Підігрів нафти використовується майже на всі етапах переробки і очищення сировини у спеціальних резервуарах та у печах, які забезпечують стабільну та потрібну температуру для подальшого технологічного процесу. [8]

Але потрібно виділити наступне: не тільки на нафтодобувних станціях використовуються підігрів нафти за допомогою печі та теплообмінників.

Після завершення всіх процесів добування та очищення нафти її транспортують танкерами по воді, а також багатокілометровими трубопровідними магістралями по суші.

Яскравим прикладом магістрального нафтопроводу, що пролягає через територію України, є нафтопровід «Дружба» - найбільша нафтова магістраль у світі. Сконструйований для транспортування сировини з росії до країн Західної та

центральної Європи. Український відрізок проводу, який прямує до Угорщини, експлуатує компанія ПАТ «Укртранснафта». Довжина або відстань нафтопроводу досягає близько 4 тисяч кілометрів на території нашої держави.

Для такої великої відстані трубопроводу потрібне належне обслуговування та слідування за його станом.

Але головною ціллю є - доставка нафти, як якісного продукту. За для цього на магістралях встановлюють спеціальні шляхові обігрівачі до складу яких входить трубчата блочна піч (ПТБ) зі складовими комплексами для обігріву нафти. Такі обігрівачі встановлюють не частіше ніж 100-120 кілометрів між собою. [5]

Мета роботи: Розробка методів оперативного керування технологічним процесом обігріву нафти за енергозберігаючими факторами.

Проміжна мета досліджень полягає в розробці технічно програмного о забезпечення для реалізації апробованих алгоритмів на програмованих логічних контролерах (ПЛК) з подальшим впровадженням цих алгоритмів на експериментальній установці.

Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні *завдання:*

1. Розробити функціональну схему програмно -технічних засобів системи керування технологічним процесом обігріву нафти.
2. Розробити модель керування процесом обігріву нафти
3. Сформулювати вимоги до програмно -технічних засобів системи керування.
4. На основі аналізу результатів моделювання оцінити можливості реалізації розроблених алгоритмів керування.
5. Провести оцінку можливостей мікропроцесорної реалізації апаратної частини системи, а також необхідності розробки спеціального програмного забезпечення в частині представлення результатів обробки даних вимірювань.

Впровадження результатів здійснюється на експериментальній установці обігріву модельної рідини.

Перспективною метою роботи є впровадження досліджень у нафтопереробне виробництво, що забезпечить оперативний контроль параметрів процесу,

підвищення оперативності керування процесом шляхом мінімізації впливу «людського фактору».

Методи досліджень базуються на результаті аналізу процесів газової динаміки та термодинаміки з наступним використанням методів інтегрального та диференціального числення. Опис динаміки функціонування мехатронного пристрою, що задіяний в системі, здійснюється на базі законів електротехніки і механіки та використання середовища MATLAB Simulink.

Методи керування будуються на базі теорії автоматичного керування та теорії матричного числення. Для оптимізації режимів сепарації вологи використовуються принципи екстремального регулювання.

Актуальність досліджень

Підігрів нафти на виробництві проводиться для покращення плинності та зниження в'язкості нафтопродуктів. На нафтовому промислі підігрів нафти проводять при деемульсації в трубчастих печах до температури 40-90 °С. Підігрів нафти дозволяє прискорити процес руйнування та поділу нафтових емульсій, тобто добитися глибшого знесолення нафти та зневоднення нафти.

Такий процес потребує постійної підтримки потрібної температури, витрат сировини та тиску. За допомогою регулятора, налаштованого та встановленого безпосередньо у системі, можна досягти великої точності, яка забезпечить якісний та безперебійний технологічний процес.

В той же час аналіз завдань керування процесами підігріву нафти в трубчастих блокових печах показує, що апаратно-програмні засоби керування згаданим процесом є морально застарілими за цілим рядом параметрів, зокрема:

- зміст то обсяг інформаційних функцій засобів автоматизації, що використовуються для керування процесом, не забезпечують ефективності цього процесу;
- функціонування печей зазвичай йде без автоматичного регулювання подачі паливного газу, що призводить до перевитрати палива та погіршення екологічних показників.

Тому актуальність досліджень пов'язана чинниками підвищення ефективності процесу підігрів нафти, покращання економічних та екологічних параметрів обладнання, що використовується в нафтогазовій промисловості.

1.2 Функціональні задачі автоматизації на нафтодобувній станції

Відповідно до оптимальних норм та забезпечення ефективності на станції добування та транспортування нафти необхідно забезпечити енергоефективну та безперебійну автоматизовану роботу кожної установки та комплексу механізмів.

Основними технологічними процесами є:

Сепарація - процес відокремлення газу від нафти.

Установки, в яких здійснюється відділення газу від рідини називається газовим сепаратором. Газові сепаратори використовуються для відділення газу від нафти, як без часткового її зневоднення, так і з застосуванням технології, що забезпечує безперервність процесів відділення газу і води.

Деемульсація – процес зневоднення і знесолення нафтової сировини, методом нагрівання і відстоювання нафти. Для знешкодження емульсій широко використовують всілякі деемульгатори. [11]

Основною метою деемульгатора є - змістити з поверхневого шару крапель води емульгатори - природні сполуки, що знаходяться в нафті (асфальтени, нафтени, смоли, парафін) і воді (солі, кислоти).

Для зниження втрат від випаровування і поліпшення умов транспортування нафти піддають стабілізації, тобто усуненню низькомолекулярних вуглеців (метану, етану і пропану), а також сірководню на промислах або на головних станціях нафто-перекачувальних станцій.

Підігрів нафти – процес передачі тепла від теплоносія до рідини, що нагрівається, через стіни підігрівача, чим запобігається пряме зіткнення теплоносія з нафтопродуктами або безпосередньо з нафтою. [18]

Всі ці технологічні процеси на нафтодобувній станції потребують вирішення функціональних задач. Наочний вигляд реалізації функціональних завдань демонструє схема інформаційно-матеріальних потоків (СНП) (Додаток А).

СНП визначає такі параметри установок та механізмів нафтодобувної станції:

- Температура нафти
- Температура підшипників
- Тиск нафти/газу
- Витрати повітря та газу
- Рівень нафти/газу
- В'язкість нафти
- Щільність нафти

Функціональні задачі керування:

- Керування процесом подачі реагентів до сепаратора в необхідному об'ємі
- Керування потоком сировини, в залежності від заданих та досягнутих параметрів
- Автоматизоване регулювання температури до заданої величини, за допомогою програмованого-логічного контролера
- Контроль за якісною вихідною продукцією
- Управління подачею палива та повітря задля підтримки потрібної температури у печі
- Контроль за станом праці насосних агрегатів, вентиляторів та компресора

1.3 Алгоритми керування виконавчими механізмами та установками процесу добування і очищення нафти

Для розроблення системи автоматизації нафтодобування слід вказати алгоритми керування виконавчими механізмами, що виконують регулювання та

управління параметрами технологічного процесу. Таблиця вхідних та вихідних сигналів за алгоритмами управління охоплює інформацію про діапазон і точність вимірювань, порогові границі сигналів і т. д. Перелік вхідних/вихідних сигналів слідує зі схеми інформаційно-матеріальних потоків.

Таблиця 1.1 – Вхідні сигнали ПЛК

Назва	Інтерфейс	Діапазон	Тип сигналу
Сигнал давачів рівня	3 І0.0-І0.6, 7 входів;	0 - 300 м	Аналоговий сигнал
Сигнал давачів температури	3 І1.1- І1.8; І2.1 – І2.8; 16 входів;	-50...+200°C; ±10°C;	Аналоговий сигнал
Сигнал давачів руху заслінок	3 І3.1- І3.8; 8 входів;	-	Дискретний сигнал
Сигнал давачів тиску	3 І4.1-І4.8; І5.1-І5.4 12 входів	0,2 – 20 Бар	Аналоговий сигнал
Сигнал давачів витрат	3 І5.5-І5.8; І6.1-І6.7 10 входів	води від 2,5 до 100000 л/год газу від 0,07 до 3000 м ³ /год	Аналоговий сигнал
Сигнал давача густини, щільності	3 І6.8; І0.7 2 входа	-	Дискретний сигнал

Таблиця 1.2 – Вихідні сигнали ПЛК

Назва	Інтерфейс	Тип сигналу/Інтерфейс
Керування клапанами та заслінками	Q1.1 – Q1.7; Q2.1 8 виходів;	Дискретний сигнал
Керування двигунами	RS 485 4 виходи	Дискретний сигнал

Згідно з функціональними завданнями формуються контури управління, які пов'язані між собою та разом складають повноцінну ФСА (Додаток Б).

Контури обов'язково мають зворотній зв'язок (давачі і перетворювачі).

1) Перекачка та сепарація нафти

Сира нафта, яка закачується магістральним насосним агрегатом подається до першого сепаратора, куди додаються комбіновані реагенти. У першому сепараторі, під тиском та належною температурою, від нафти виділяються легкі вуглеводні. Ступінь сепарації знижується з кожної наступної такою установкою, тому у другому сепараторі під нижчим тиском та відстоюванням – від сировини відділяються більш важкі фракції. Газ, що виділяється при процесі сепарації надходить під тиском компресора до сховища.

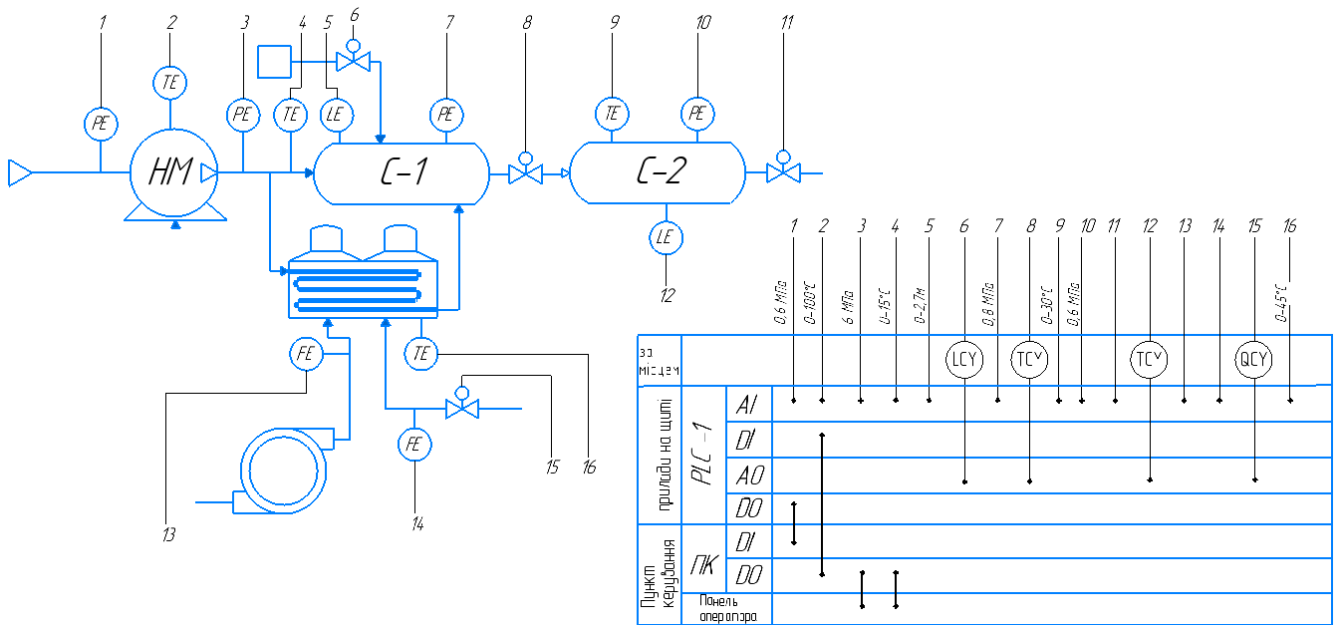


Рисунок 1.1 – Контур перекачування та сепарації нафти

2) Деемульсація та стабілізація

На цьому етапі суміш з нафти та води потрапляє до спеціальної установки, де відбувається знесолення на зневоднення сировини. Нафта нагрівається до заданої температури, перемішується з деемульгаторами та відстоюється.

Наступним кроком, нафти направляється до стабілізаційної колони, де нагрівається до високих температур. Тут відбувається останній етап підготовки нафти до транспортування, як готового продукту. А також на цьому кроці виділяється кінцевий об'єм газу, що закачується компресором до газового сховища. [15]

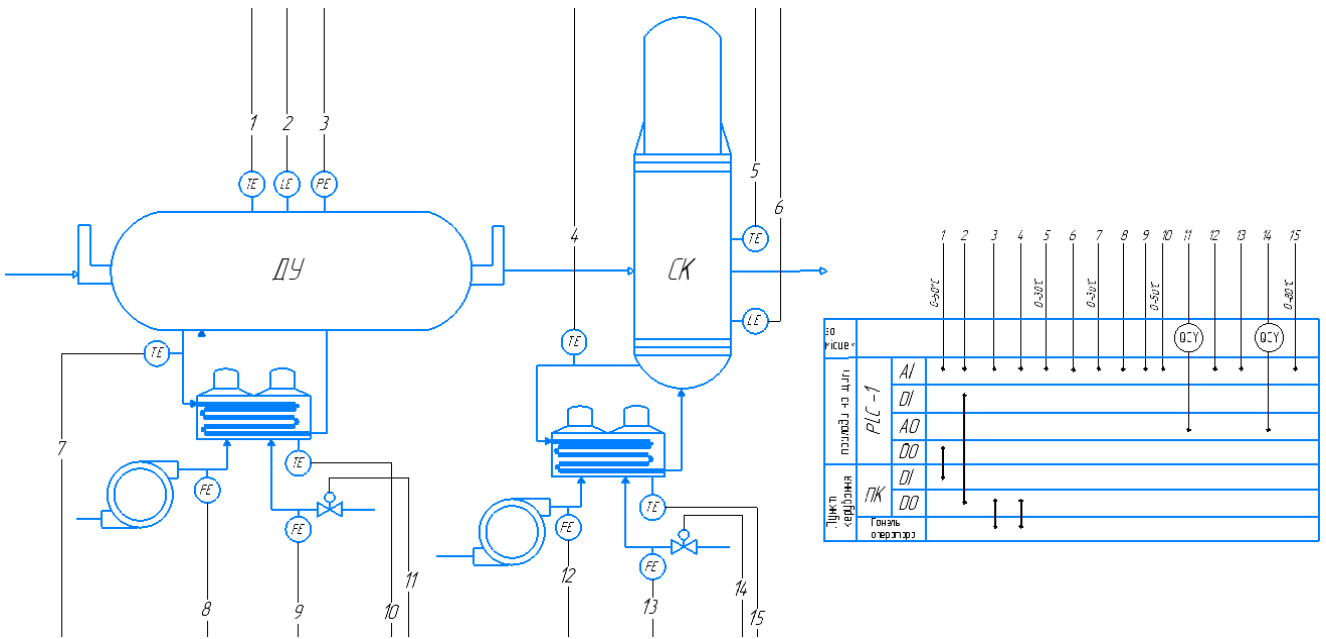


Рисунок 1.2 - Контур деемульсації та стабілізації нафти

3) Збір та перекачування газу до сховища

Газ, який виділився під час процесу очистки нафтопродуктів прямує по трубопроводам до резервуару збереження газу, попередньо стискаючись під заданим тиском на компресорі. Зберігається газ при сприятливих умов та дотримання правил його збереження. Після заповнення до потрібного рівня – газ транспортують до газопереробного заводу.

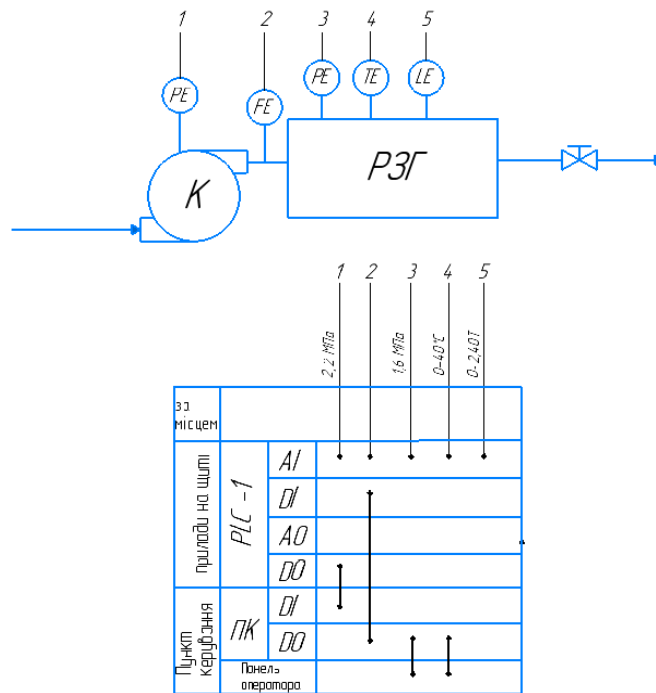


Рисунок 1.3 - Контур перекачування газу

2 ПОБУДОВА МОДЕЛІ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГРІВУ НАФТИ

2.1 Моделювання контуру регулювання температури нафти

Аналіз схеми матеріальних потоків (ДОДАТОК Г) дає можливість представити досліджуваний процес обігріву нафти як об'єкт керування. Схема цього об'єкту представлена на рис. 2.1.

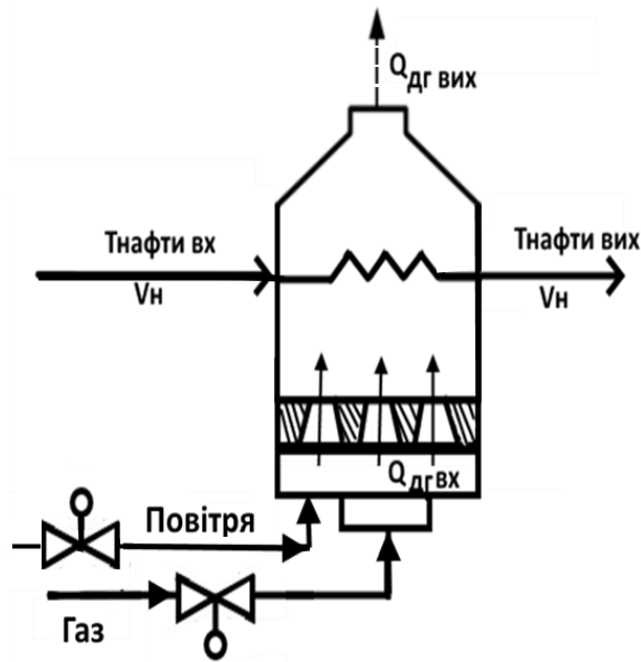


Рисунок 2.1– Спрощена схема трубчастої печі

$Q_{дг}$ – кількість тепла, що надходить до печі;

$Q_{дг\ вих}$ – кількість тепла на виході печі

Трубчасті пічі, в яких зазвичай здійснюється обігрів нафти, відповідно до їх габаритів, описуються системою рівнянь з розподіленими параметрами [3]. Для спрощення опису будемо вважати, що усередині змійовика температура залежить від координат, змінюється по довжині змійовика лінійно.

Додаткові припущення, що спрощують опис моделі об'єкта, є наступні:

- у змійовику відбувається процес ідеального витіснення (температура постійна у кожній точці перетину труби);
- втрат тепла у навколишнє середовище немає;

- коефіцієнт теплопередачі від газу до нафти постійний за площею поверхні змійовика;
- теплоємність поверхні теплообміну (змійовика) дуже мала в порівнянні з теплоємністю нафти та димових газів.

Це дає змогу розглянути елементарний об'єм теплообміну ΔV довжиною Δx , представлений на рис. 2.2.

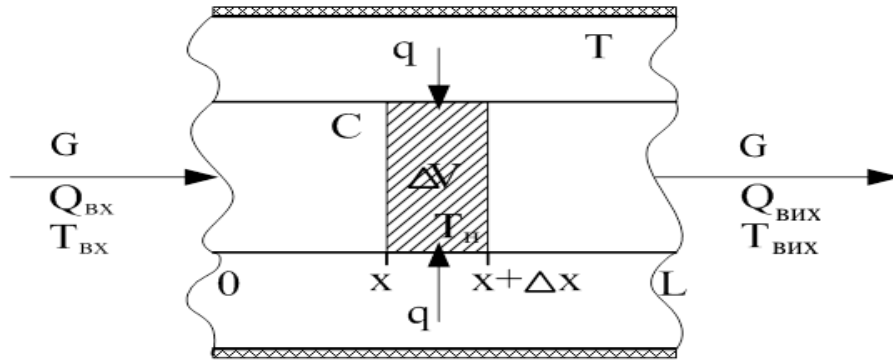


Рисунок 2.2 – Елементарний об'єм теплообміну

- $Q_{\text{ВХ}}$ – кількість тепла, що надходить із нафтою до нагріву;
- $Q_{\text{ВИХ}}$ – кількість тепла, що виходить із пічі з нафтою;
- $T_{\text{ВХ}}$ – температура нафти на вході в елементарний об'єм;
- $T_{\text{ВИХ}}$ – температура нафти на виході із елементарного об'єму;
- q – кількість тепла, що передається в процесі теплового обміну;
- C – теплоємність нафти.

Рівняння теплового балансу для елементарного об'єму теплообміну нафти при зміні кількості тепла $\Delta Q(x, t)$

$$\Delta Q(x, t) = Q_{\text{ВХ}}(x, t) - Q_{\text{ВИХ}}(x, t) + q(t) \quad (1)$$

Задіяні величини визначаються через технологічні параметри:

$$Q_{\text{ВХ}}(x, t) = C \cdot U_{\text{ВХ}} \cdot T_{\text{ВХ}}(x, t)$$

– кількість тепла на вході у визначений об'єм

$$Q_{\text{ВИХ}}(x+\Delta x, t) = C \cdot G \cdot T_{\text{ВИХ}}(x+\Delta x, t) \text{ – кількість тепла на виході із визначеного об'єму;}$$

$$\Delta Q(x, t) = C \cdot \Delta V \cdot \Delta T(x, t) \quad \text{– зміна кількості тепла у визначеному об'ємі;}$$

$$q(t) = k_T \cdot \Delta F [T(t) - T_H(x, t)] \Delta t \quad (2)$$

– кількість тепла, що передається в процесі теплового обміну

де $\Delta F = \pi \cdot D \cdot \Delta x$ – площа поверхні теплообміну;

G – об'єм нафти, що надходить до зміювика;

D – діаметр зміювика;

$\Delta V = (\pi \cdot D^2 \cdot \Delta x) / 4$ – визначений елементарний об'єм

k_T – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К)

Підстановка технологічних параметрів дає наступний вигляд рівняння теплового балансу:

$$C \frac{\pi D^2}{4} \frac{T(x + \Delta x, t + \Delta t) - T(x + \Delta x, t)}{\Delta t} = CV \frac{T_{bx}(x, t) - T_{bux}(x + \Delta x, t)}{\Delta x} + k_T \cdot \pi \cdot D (T(t) - T_H(x, t)) \quad (3)$$

де $V = \frac{G}{t}$ – об'ємна швидкість надходження нафти у визначений об'єм і виходу з нього.

Для початкових умов $T(t=0) = T^\circ$

Для граничних умов $T(0, t) = T_1^\circ(t)$

$$T(L, t) = T_2^\circ(t)$$

маємо диференціальне рівняння процесу нагріву нафти:

$$C \frac{\pi \cdot D^2}{4} \frac{dT(t)}{dt} + k_T \cdot \pi \cdot D T_H(t) = k_T \cdot \pi \cdot D \cdot T(t) \quad (4)$$

Якщо ввести нормування змінних параметрів процесу

$$x_{\text{вх}} = \frac{T(t) - T^\circ}{T^\circ} \quad x_{\text{вих}} = \frac{T_H(t) - T_H^\circ}{T_H^\circ} \quad (5)$$

рівняння (4) буде виглядати

$$C_H \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot T_H^\circ \cdot \frac{d}{dt} x_{\text{вих}} + k_T \cdot \pi \cdot D \cdot T_H^\circ \cdot x_{\text{вих}} = k_T \cdot \pi \cdot D \cdot T^\circ \cdot x_{\text{вх}} \quad (6)$$

Звідки перетворення Лапласа отримується передатна функція

$$W(p) = \frac{k}{\tau \cdot p + 1} \quad (7)$$

де $k = \frac{T^\circ}{T_H^\circ}$, а $\tau = \frac{C \cdot D}{4k_T}$ стала часу

Підставляючи чисельні значення параметрів $C=2000 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$; $D=0,14\text{м}$;

$k_T = 18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{град K)}$; $T^\circ = 580^\circ\text{K}$; $T_n^\circ = 330^\circ\text{K}$

маємо

$\tau = 3,9\text{с}$ $k = 1,75$

2.2 Моделювання контуру регулювання подачі палива

Для нагрівання нафти, що протікає по змійовику печі, використовується тепло від спалюванні паливного газу та повітря. На результуючу температуру нафти впливають витрати паливного газу та нафти та її температура, є основними збуреннями процесу. Відповідно, значення витрат паливного газу та повітря, яке необхідно для спалюванні паливного газу, – впливами керування.

Дієвими каналами здійснення регулюючих впливів є лінія подачі нафти та лінія подачі газу. Шляхом зміни швидкості, з якою нафта переміщується по змійовику при заданому значенні витрат газу, можна зменшувати або збільшувати її температуру. Проте, встановлення регулюючого органу (РО) на лінії подачі нафти приводить до зміни продуктивності процесу, що зовсім не бажано. Тому зазвичай для регулювання температури продукту вибирається варіант із РО на трубопроводі подачі газу.

Необхідною умовою забезпечення якісного випалювання газу є підведення в достатній кількості повітря, яке перемішане в зоні горіння з газом [4]. Повне горіння досягається у тому випадку, якщо у продуктах згоряння, що виходять в атмосферу, відсутні горючі речовини. Якщо згоряння газу відбувається неповністю, то відбувається викид у повітря горючих речовин: чадного газу, водню, сажі.

Неповне згоряння газу відбувається через недотримання співвідношення кількості газ/повітря. Крім збільшення витрати природного газу при неповному його згорянні виділяється чадний газ, що є екологічно небезпечним для навколишнього середовища, і сажа (вуглець), що осідає на стінках печі, що погіршує ККД печі.

Для формулювання вимог до процесу горіння палива використовується коефіцієнт надлишку повітря α , від якого залежить ефективність процесу горіння палива. Від цього коефіцієнта також залежить кількість та склад речовин, що виходять у зовнішній простір. Залежність концентрацію основних компонентів димових газів (CO_2 , CO , O_2) та ККД від коефіцієнту надлишку повітря α показані на рис. 2.3.

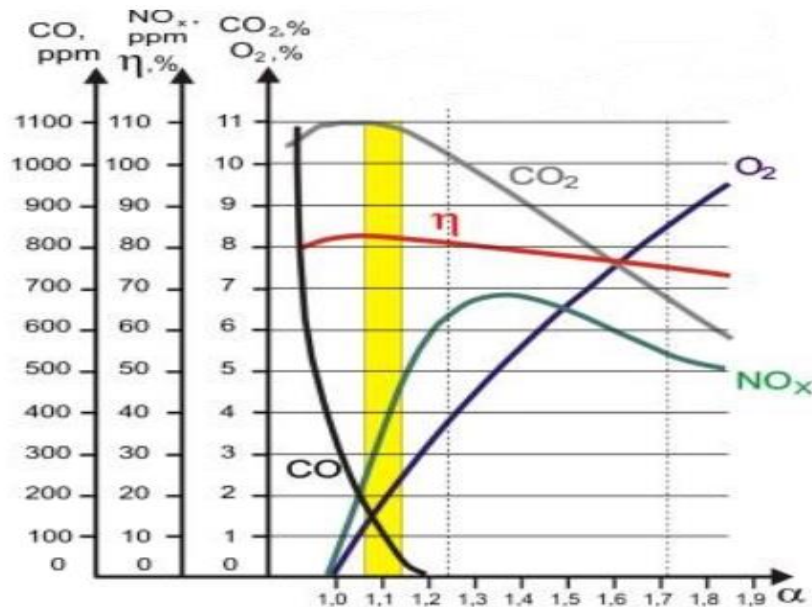


Рисунок 2.3 -Залежність значень компонентів від коефіцієнту надлишку повітря α .

“Оптимальне значення коефіцієнту надлишку повітря α в результаті аналізу графіків залежностей втрат від коефіцієнту надлишку повітря. По мінімальному значенню сумарних теплових втрат визначають оптимальне значення коефіцієнту надлишку повітря. У той же час зі збільшенням коефіцієнта надлишку повітря зростають втрати теплоти з димовими газами.

Зміни втрат теплоти від неповноти випалювання в залежності від коефіцієнту надлишку повітря неоднозначні. Це проявляється у тому, що при нестачі повітря, що подається у камеру, паливо горить з утворенням продуктів неповного згорання, відповідно зростають втрати від неповноти згорання, але при збільшенні подачі повітря ці втрати зменшуються. Тому при керуванні режимами випалювання печі слід враховувати наявність оптимуму коефіцієнту надлишку повітря.”

Таким чином, система керування тепловими (технологічними) параметрами печі, що задіяна в процесі, повинна забезпечувати необхідну температуру у камері випалювання з урахуванням відповідного співвідношення витрат газ/повітря [5].

Ці співвідношення базуються на стехіометричній реакції горіння природного газу – метану [6]:



Наступне використання зазначеної реакції (8) для розрахунків витрат повітря та газу дозволяє сформулювати модель горіння природного газу у печі [7]:

$$\text{якщо } 0,105 * V_{\text{газ}} = V_{\text{пов}}, \text{ то } \quad V_{\text{газ}}^{\circ} = V_{\text{газ}}, \quad X_{\text{гс}} = 0$$

$$\text{якщо } 0,105 * V_{\text{газ}} > V_{\text{пов}}, \text{ то } \quad V_{\text{газ}}^{\circ} = 0,105 * V_{\text{пов}}$$

$$X_{\text{гс}} = (V_{\text{газ}} - V_{\text{пов}} * 0,105);$$

$$\text{якщо } V_{\text{газ}} < 0,105 * V_{\text{пов}}, \text{ то } \quad V_{\text{газ}}^{\circ} = V_{\text{газ}}$$

$$X_{\text{гс}} = (V_{\text{пов}} * 0,105 - V_{\text{газ}})/0,105$$

де $V_{\text{газ}}$ и $V_{\text{газ}}^{\circ}$ – об'єми газу поданого до печі та спаленого відповідно, $V_{\text{пов}}$ – об'єм витрат повітря, а $X_{\text{гс}}$ – хімічний склад газового середовища.

Вхідними змінними моделі горіння є: витрати газу в м³/с та витрати повітря в м³/с, а вихідними змінними – витрата газу, що приймала участь в реакції горіння $V_{\text{газ}}^{\circ}$ в м³/с та хімічний склад середовища у печі.

Таким чином для умов повного спалювання палива необхідно забезпечити співвідношення $0,105 * V_{\text{газ}} = V_{\text{пов}}$, тобто об'єм спалюваного повітря повинен у 9, 52 рази перевищувати об'єм газу, що подається до спалювання.

Схема, що відображує сформульований алгоритм керування подачею компонентів спалювання, показана на рис. 2.4.

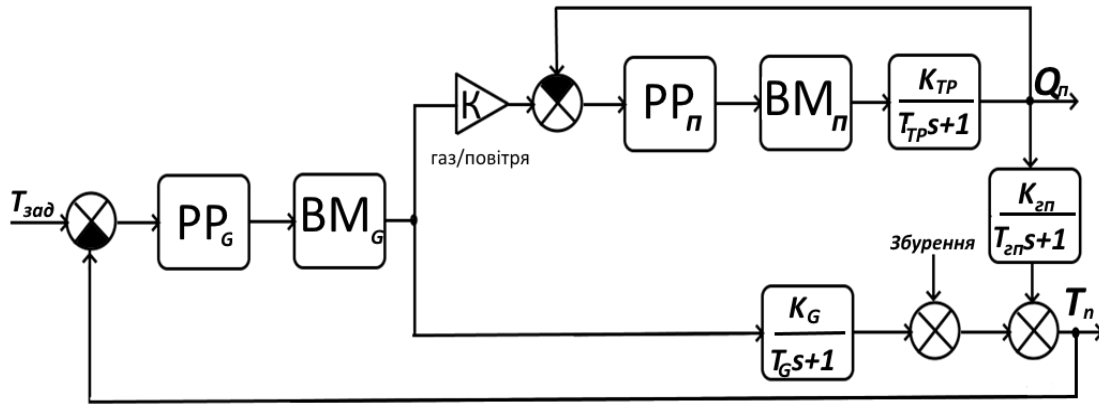


Рисунок 2.4 – Схема моделі процесу керування подачею компонентів спалювання
 PP–регулятор; ВМ – виконавчий механізм(привод засувки);
 К– співвідношення газ/повітря

Побудова моделі враховує взаємозв'язки змінних процесів, що відбуваються у просторі печі, зокрема зовнішнього та внутрішнього контурів. Останній має 2 входи, які впливають співвідношення витрат газ/повітря.

Зовнішній контур керування вирішує завдання забезпечення необхідної температури обігріву нафти, а на внутрішній контур, що підпорядкований зовнішньому, покладено завдання забезпечення умов якісного горіння. Для вирішення другого завдання використовується засувка, яка, як і в першому контурі, змінює переріз трубопроводу завдяки зміні її положення. Переміщення засувки здійснюється з допомогою електродвигуна, який разом із редуктором утворює електромеханічний модуль електроприводу засувки.

Результат обертання валу двигуна, що обертається із постійною швидкістю, фіксується з допомогою давача зворотного зв'язку по положенню. Основний параметр, що визначає динамічні параметри об'єкта керування, є час переміщення запірного елемента між крайніми положеннями.

Відповідно до задач моделювання регулятора витрат газу, модель засувки представляється інтегратором з обмеженнями, що відповідають станам «Відкрито /Зачинено». Схема моделі приводу дросельної засувки в середовищі MATLAB представлена на рис. 2.5.

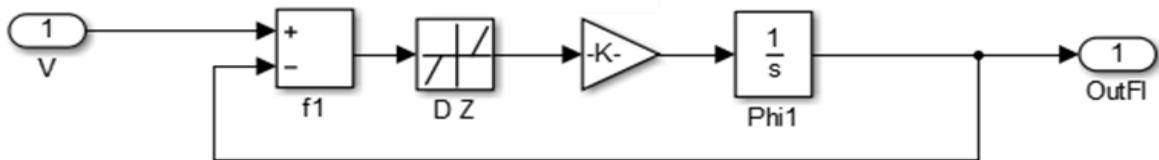


Рисунок 2.5 – Схема моделювання приводу дросельної засувки

В схемі моделі, що зображена на рис. 2.5, зона нечутливості приводу задається блоком Dead zone (*DZ*). В блоці *K* задається коефіцієнт передачі редуктора, а блок *f1* виконує роль порівнюючого пристрою заданого і поточного положення засувки.

Особливістю моделювання роботи приводу заслінки є створення зони нечутливості в заданому діапазоні регулювання положення. Введення зони нечутливості як при моделюванні, так і при регулюванні, дозволяє виключити автоколивання, що виникають при точному відпрацюванні заданого положення засувки.

Оскільки задана температура обігріву нафти досягається шляхом позиціонування засувки, то результат розгляду каналу керування температурою печі представляється передавальною функцією, що складається із ланок об'єкту керування (печі) та приводу дросельної засувки:

$$W_G(s) = \frac{K_G}{T_Z * s * (T_G * s + 1)}, \quad (9)$$

де T_Z – стала часу електроприводу засувки; T_G – стала часу об'єкту керування; K_G – коефіцієнт передачі об'єкту керування.

Приймаючи до уваги динаміку процесів керування витратами спалюваного газу, сталі часу елементів якої суттєво менше сталих часу процесів теплообміну змійовика печі, можна представити структуру регулятора процесом у вигляді, що показана на рис. 2.6.

відповідає моделям процесів в довгих лініях [10]. Розв'язання рівнянь:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -2a \sqrt{\rho} \frac{Q}{A} \sqrt{\frac{p}{\rho c^2}} \quad (10)$$

де p – тиск в трубопроводі; x – довжина ділянки трубопроводу, що розглядається; $2a$ – лінеаризований коефіцієнт аеродинамічного опору; A – площа поперечного перерізу трубопроводу; ρ – густина газового середовища; Q – витрата газового середовища; c – швидкість звуку в газовому середовищі, дає змогу розрахувати тиск та витрати газового середовища в трубопроводі.

На підставі рівнянь довгої лінії, застосовуючи принцип електрогідралічної аналогії, отримують співвідношення, які дають змогу записати їх у вигляді рівнянь чотириполюсника [11], або об'єкта з зосередженими параметрами, що відповідає передавальній функції ланки із запізненням:

$$W(s) = K_{TP}(s) \exp(-\tau \cdot s) \quad (11)$$

де $K_{TP}(s) = \frac{8\mu L_{TP}}{\pi \cdot r^4}$ – аеродинамічний опір трубопроводу, знаходиться з

рівняння втрат тиску при ламінарній течії середовища :

$$s \cdot P_c = \frac{8\mu L_{TP} \cdot Q_n}{\pi r^4} \quad (12)$$

Стала часу транспортного запізнення τ також залежить від довжини трубопроводу L_{TP} и перепаду тиску Δp на його кінцях:

$$\tau_{TP} = \frac{A \cdot L \cdot \rho}{Q} \quad (13)$$

З огляду на фактичне значення довжини трубопроводу печі обігріву, яке значно менше довжини магістральних трубопроводів, ланка з запізненням з достатньою точністю може бути апроксимована аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_{TP}(s) = \frac{K_{TP}}{\tau_{TP}s + 1} \quad (14)$$

Розбудова структури контуру підпорядкованого керування витратами повітря в процесі спалювання газу аналогічна структурі керування витратами газу (рис.8), проте налаштування регуляторів повинні відповідати динаміці (сталим часу) згаданих процесів.

3 ПОБУДОВА РЕГУЛЯТОРУ ПРОЦЕСУ ПІДГРІВУ НАФТИ

3.1 Моделювання регулятора підігріву нафти

Для використання у параметричному синтезі методу фазової площини, який використовується в дослідженнях нелінійних систем [12], перепишемо передатну функцію (9) у вигляді диференційного рівняння.

$$T_G \frac{d^2 Q(t)}{dt^2} + \frac{dQ(t)}{dt} = kF(Q_0 - Q) = kF(\Delta), \quad (15)$$

де $F(\Delta)$ – характеристика релейного елемента; $k=K_G/T_Z$.

Узагальнюючи позначення змінних РР витрат газу, прийmemo позначення:

$$\begin{aligned} Q(t) &= X, \\ \frac{dQ(t)}{dt} &= \frac{dX}{dt} = Y. \end{aligned} \quad (16)$$

Приймаючи до уваги, що при $Q_0 = \text{const}$ $dX/dt = -d\Delta/dt$, то із рівняння (15) будемо мати вираз:

$$T \frac{dY}{dt} = -kF(X) - Y, \quad (17)$$

і рівняння фазової траєкторії буде мати вигляд:

$$T \frac{dY}{dX} = -\frac{kF(\Delta) - Y}{Y}. \quad (18)$$

Отримане рівняння фазових траєкторій розв'язується аналітично, методом розділення змінних. Це рішення представляється наступним чином:

$$X = -T*Y + k*F(X)*T*\ln(Y + kF(X)) + C_1 \quad (19)$$

де стала інтегрування C_1 знаходиться із початкових умов X_0, Y_0 .

Скориставшись рівнянням двопозиційного релейного елемента $F(X)$

$$F(X) = \begin{cases} Q, & \text{якщо } X < -\Delta, \frac{dX}{dt} < 0 \\ Q, & \text{якщо } X > -\Delta, \frac{dX}{dt} > 0 \\ 0, & \text{якщо } X > \Delta, \frac{dX}{dt} > 0 \\ 0, & \text{якщо } X < \Delta, \frac{dX}{dt} < 0 \end{cases} \quad (20)$$

яке відображує режим збільшення температури печі $\{F(X)=0\}$ та зменшення температури $\{F(X)=Q\}$, отримаємо фазовий портрет процесу регулювання значень температури (рис. 3.1).

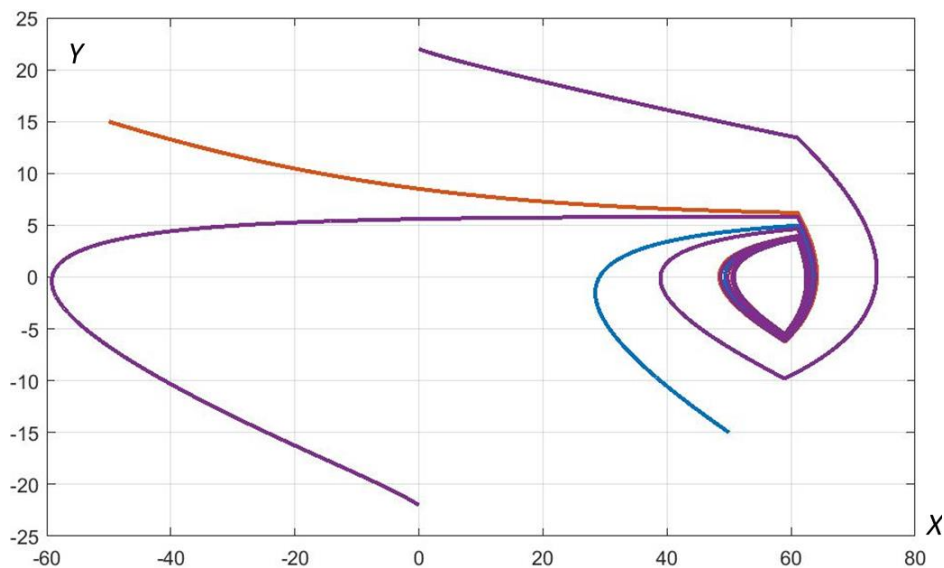


Рисунок 3.1 – Фазовий портрет процесу регулювання температури

Характер портрету свідчить про стійкість процесу регулювання, оскільки фазові траєкторії незалежно від початкових умов спрямовуються до стійкого граничного циклу, що відповідає автоколиванням. Це ж підтверджується осцилограмами сигналів, що зображені на рис. 3.2.

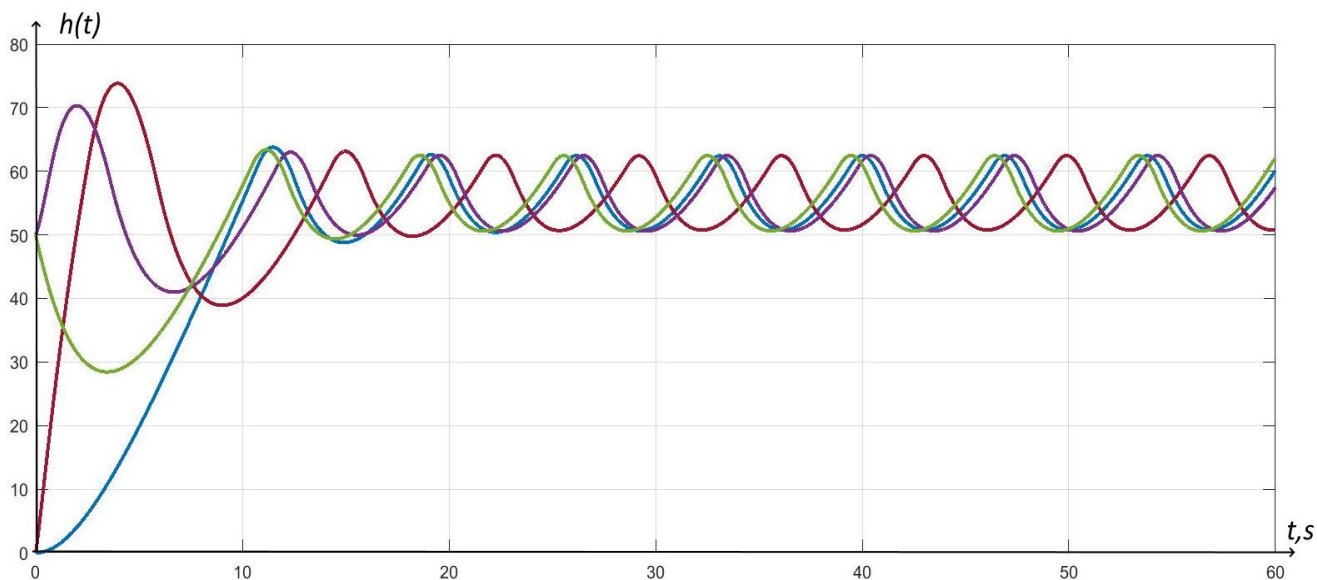


Рисунок 3.2 – Осцилограми сигналів для різних початкових умов регулювання

Покращення параметрів регулювання температури потоку досягається використанням в регуляторі гнучкого зворотнього зв'язку по похідній, який задіяно у схемі, як показано на рис. 3.3.

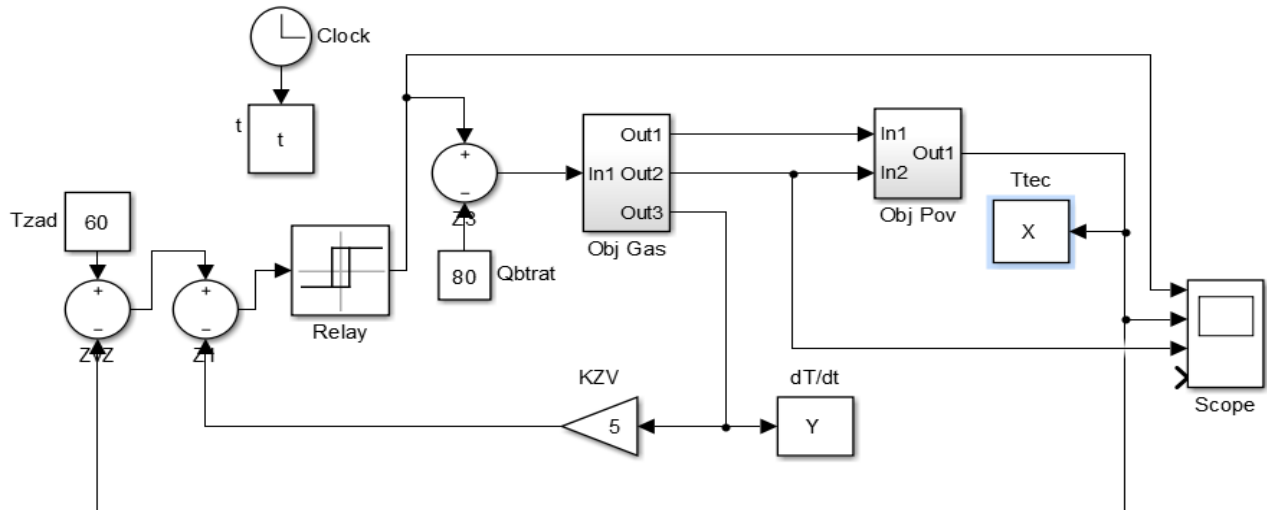


Рисунок 3.3 – Схема РР із використанням гнучкого зворотнього зв'язку по похідній

Використання гнучкого зворотнього реалізує ковзний режим, що еквівалентний лінійному підсилювачу з нескінченно великим коефіцієнтом підсилення [13].

Введення в регулятор ковзного режиму дозволяє усунути вплив практично всіх його змінних параметрів, а також отримати бажаний перехідний процес.

На рис. 3.4 показані фазові траєкторії регулятора температури нафти для різних значень коефіцієнтів гнучкого зворотнього зв'язку.

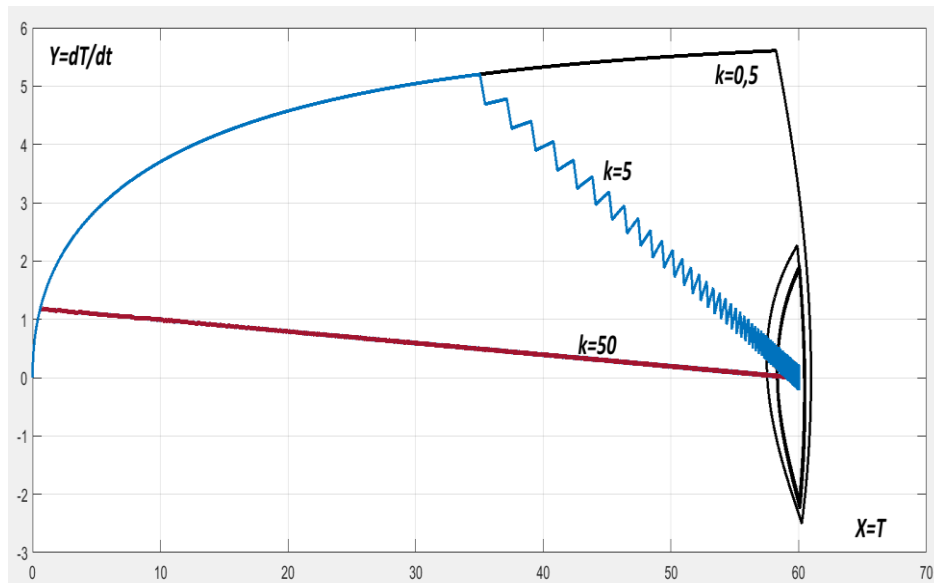


Рисунок 3.4 – Фазові траєкторії для різних коефіцієнтів зворотного зв'язку

Цим фазовим траєкторіям відповідають перехідні характеристики об'єкту керування із різними коефіцієнтами зворотного зв'язку.

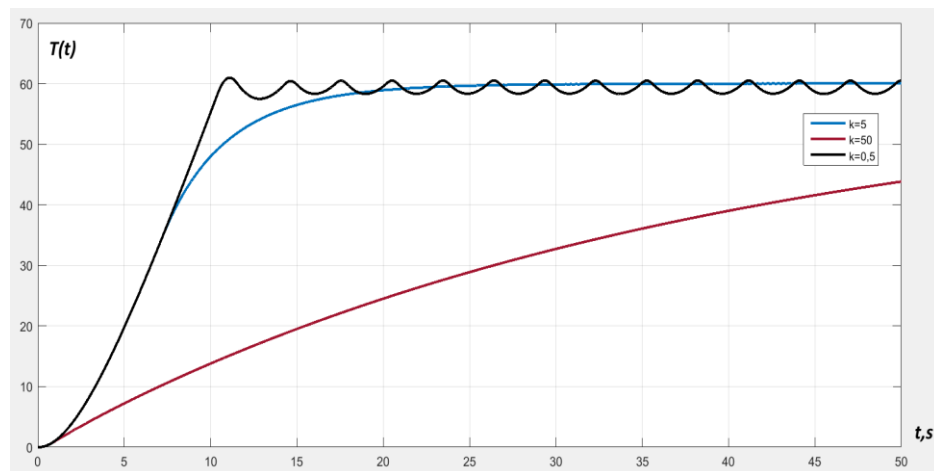


Рисунок 3.5 – Осцилограми сигналів для різних коефіцієнтів зворотного зв'язку

Як видно із сімейства перехідних характеристики рис. 3.5, гнучкий зворотній зв'язок по похідній вихідного параметру значно покращує якість регулювання цього параметру. Проте, при збільшенні значення коефіцієнта зворотного зв'язку, поряд із покращенням точності регулювання збільшується час перехідного процесу(час регулювання).

Оскільки правил по оптимізації коефіцієнта зворотного зв'язку поки не напрацьовано, то компроміс між швидкодією і точністю регулювання досягається експериментально. [14]

4 РОЗРОБКА SCADA СИСТЕМИ ТА ПРОГРАМИ РЕГУЛЯТОРА НА МОВІ FDB

4.1 Розробка SCADA-системи

SCADA — це категорія програмних додатків для керування виробничими процесами, тобто збір даних у режимі реального часу з віддалених місць для керування обладнанням та умовами. SCADA надає організаціям інструменти, необхідні для прийняття та розгортання рішень на основі даних щодо їх виробничих процесів. [4]

Системи SCADA включають апаратні та програмні компоненти. Апаратне забезпечення збирає та передає дані в системи польових контролерів, які своєчасно передають дані іншим системам, які обробляють та представляють їх у людино-машинному інтерфейсі. Системи SCADA також записують та реєструють всі події для повідомлення про стан процесу та проблеми. SCADA попереджає, коли умови стають небезпечними, за допомогою звукових сигналів.

Компоненти системи SCADA

- Датчики та виконавчі механізми
- Польові контролери SCADA
- Диспетчерські комп'ютери SCADA
- Програмне забезпечення людино-машинному інтерфейсі
- Комунікаційна інфраструктура

Особливості SCADA-систем

Хоча системи SCADA можуть включати спеціальні функції для певних галузей або програм, більшість систем підтримують такі функції:

Збір даних є основою систем SCADA; Датчики збирають дані і доставляють їх на польові контролери, які, у свою чергу, передають дані на комп'ютери SCADA.

Дистанційне керування досягається за рахунок керування польовими приводами на основі даних, отриманих від польових датчиків.

Мережева передача даних забезпечує всі функції SCADA. Дані, зібрані з датчиків, повинні передаватися на польові контролери SCADA, які, своєю чергою, взаємодіють з керуючими комп'ютерами SCADA; Команди дистанційного керування передаються назад на приводи з комп'ютерів SCADA, що управляють.

Подання даних досягається за допомогою HMI, які представляють поточні та історичні дані операторам, які працюють у системі SCADA.

Дані реального часу та історичні дані є важливими частинами системи SCADA, оскільки вони дозволяють користувачам відстежувати поточну продуктивність порівняно з історичними тенденціями.

Аварійні сигнали попереджають операторів SCADA про потенційно важливі умови в системі. Оповіщення можуть бути налаштовані для сповіщення операторів про блокування процесів, збій систем або необхідність зупинення, запуску або налаштування інших аспектів процесів SCADA.[4]

Звіти про роботу системи SCADA можуть включати звіти про стан системи, продуктивність процесу та звіти, адаптовані для конкретних цілей.

Опис структури нафтодобувної станції

Нафтодобувна станція має багатofункціональну структуру, яка щільно пов'язана між собою. Велика кількість контурів управління потребує забезпечення сучасними технічними засобам автоматизації, які об'єднують саму роботу установок та догляд за процесом перекачування та очищення нафти. [1]

Станція містить в собі багато спеціалізованих установок, завдяки яким відбувається процес добування, очищення та транспортування нафти:

- Сепаратори
- Насоси та насосні агрегати
- Деемульсаційну установку
- Стабілізаційну колону
- Установку очищення стічних вод
- Резервуари збереження нафти та газу
- Компресори
- Теплообмінники

Все це потрібно для стабільної та безперебійної роботи всієї системи нафтодобування.

Система автоматизації нафтовидобувної станції має трьохрівневу структуру: верхній, середній та нижній.

Нижній рівень системи автоматизації включає:

- Датчики технологічних параметрів
- ВМ
- Пристрої, що встановлюються за місцем
- САР (Системи автоматичного регулювання)

На нижньому рівні також розташовується блок аварійних захистів, що знаходиться в операторній та містить індикацію від сигналів датчиків та кнопки управління, що діють на пускачі та перемикачі.

Середній рівень включає програмно-апаратні блоки управління вузлів і пристроїв за допомогою програмованих логічних контролерів. ПЛК у свою чергу здійснюють:

- Прийом сигналів з монтованих за місцем датчиків

- Обробка та передача даних про статус об'єктів на верхній рівень системи
- Автоматичне керування приладами та перевірку їх роботи
- Прийом даних з верхнього рівня системи автоматизації та формування керуючих впливів на ВМ
- Зв'язок із системами автоматичного регулювання параметрів

Верхній рівень має такий склад: автоматизоване робоче місце оператора-технолога, що здійснюється на основі двох ПК і що розміщаються в операторській;

інженерна станція, завдяки якій здійснюється проектування та розв'язання таких завдань як конфігурація, документування та виконання пошуку помилок; комп'ютери з операторськими, які можуть працювати водночас і схожі на контролери середнього рівня за своїми шинами. Здійснення інженерних функцій виконується на операторських станціях.

Верхній рівень забезпечує:

- одержання інформації про стан об'єкта
- нагляд за технологічним процесом і надходження трендів певних ТП
- нагляд нормативних показників відповідно до регламенту
- оперативне керування ТП
- розроблення бази даних
- архівування дій і протікання ТП на нижніх рівнях

Екран монітора автоматизованого робочого місця оператора-технолога надає наступну інформацію:

- таблиці
- графіки

- звітність про роботу нафтодобувної станції
- перелік помилок і недоліків, час їх утворення
- перелік аварійних подій за довільний проміжок часу
- журнал функціонування технологічного процесу

Постановка задачі на проектування SCADA системи

Нафтодобувна станція має багато контурів управління, які потребують детального керування оператором за допомогою Scada системи, оскільки локальними технічними засобами автоматизації такі задачі вирішуються довго та неефективно. Для сучасних промислових підприємств, зокрема для НПС, важливо вирішувати поставлені завдання вчасно та енергоефективно, водночас економічно. Саме Scada система забезпечить таку безперебійну роботу для всіх потрібних установок станції, тому можна зробити висновок що проектування Scada-системи є повністю виправданим та потрібним етапом розробки.

Розробка та проектування SCADA системи

Під час проектування системи SCADA застосовується програмне забезпечення (ПЗ) PROMOTIC-SCADA від Чеської компанії «Microsys».

PROMOTIC - це сукупність інструментів для створення застосунків для моніторингу, керування та візуалізації технологічних процесів у багатьох сферах промисловості.

Особливості SCADA PROMOTIC

- SCADA PROMOTIC налічує багатий набір комунікаційних інтерфейсів: XML, ActiveX, ODBC, ADO, DLL, OPC, DDE, TCP/IP, HTTP, HTTPS тощо.
- У розпорядженні є значний спектр комунікаційних драйверів керування для ПЛК: Simatic, Allen-Bradley, Mitsubishi, SAIA, Omron, Kooyo, ADAM тощо.

- Система підтримує такі комунікаційні протоколи: Modbus, M-BUS, SNMP, SMS-GSM, IEC 60870-5, IEC 62056, BACnet тощо.
- PROMOTIC функціонує з численними базами даних: Access, dBase, MSSQL, MySql, Oracle тощо.
- У систему PROMOTIC вбудовано Web-сервер, що надає змогу віддаленого доступу та управління програмою.
- Система PROMOTIC має широкий вибір бібліотеці графічних компонентів, яку можна розширювати власною графікою SVG, BMP, PNG, JPG.
- PROMOTIC містить вбудовані мови програмування Visual Basic і JavaScript, а також великий перелік інструментів, що дає змогу створювати програми візуалізації та керування будь-якої складності.

За допомогою необхідних бібліотек і інструментів програми починаємо будувати SCADA-систему (Додаток В) на основі схеми інформаційних і матеріальних потоків і ФСА.(Додаток А, Додаток Б).

SCADA система контуру шляхового обігрівача

Перед ПТБ піччю на вході по трубопроводі нафта проходить свій шлях через фільтр-брудоуловлювач, який слугує для очистки нафти від механічних домішок, сторонніх предметів, глини, парафіно-смолистих відкладень та окалини. В самій печі нафта протікає через зміювик теплообмінної камери, який піддається нагріву від пальників.

Система подачі повітря до камери згоряння газу працює за допомогою вентилятора, блоку вентиляторного агрегату та автоматичної заслінки, якою також може управляти оператор.

Температура нафти регулюється шляхом подачі паливного та запального газу в пальники. Витяжний вентилятор зменшує загазованість в камері підготовки палива.

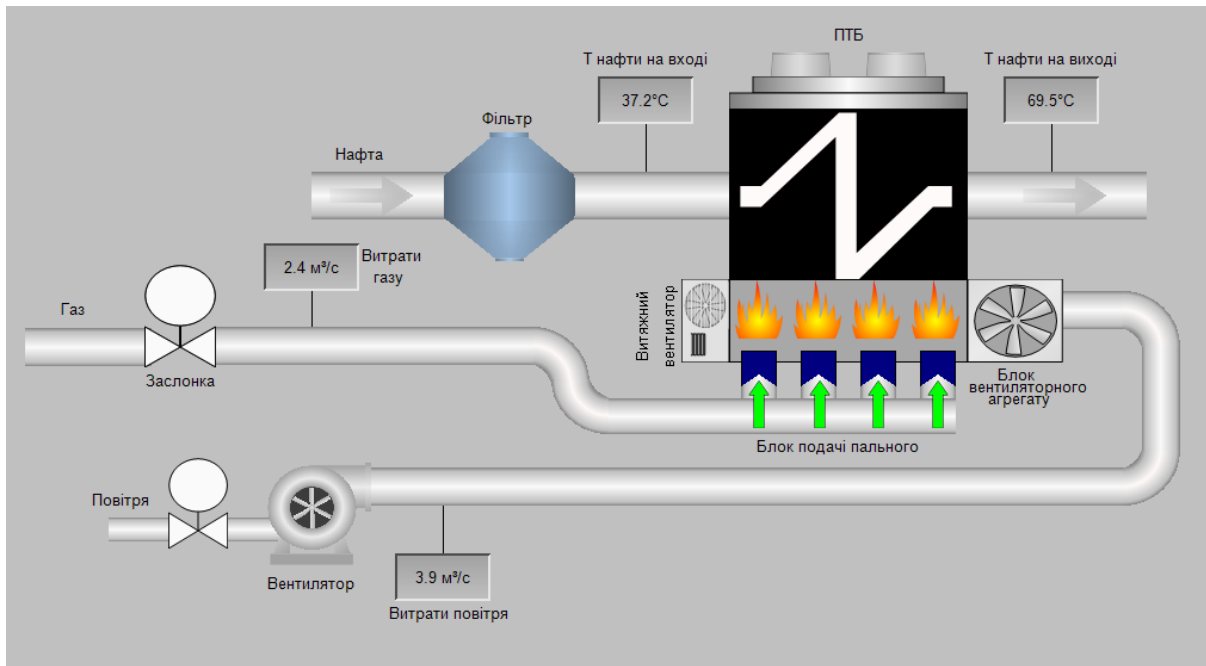


Рисунок 4.1 – Мнемосхема шляхового підігрівача

SCADA система контуру перекачки та сепарації нафти

Ця SCADA демонструє технологічні параметри виконавчих механізмів і датчиків. На схемі відображено: насосний агрегат, сепаратори, піч трубчаста блокова і подачу комбінованих реагентів.

До кожної установки і блоку під'єднані датчики, які за зворотним зв'язком надсилають сигнал ПЛК, а власне їх значення можна перевірити на екрані монітора в операторській. Наприклад, температура підшипників насосного агрегату, тиск в сепараторі або температури нафти на вході у піч.

Також у системі наявні автоматичні заслінки, якими є можливість керувати оператору в разі, коли система цього вимагає.

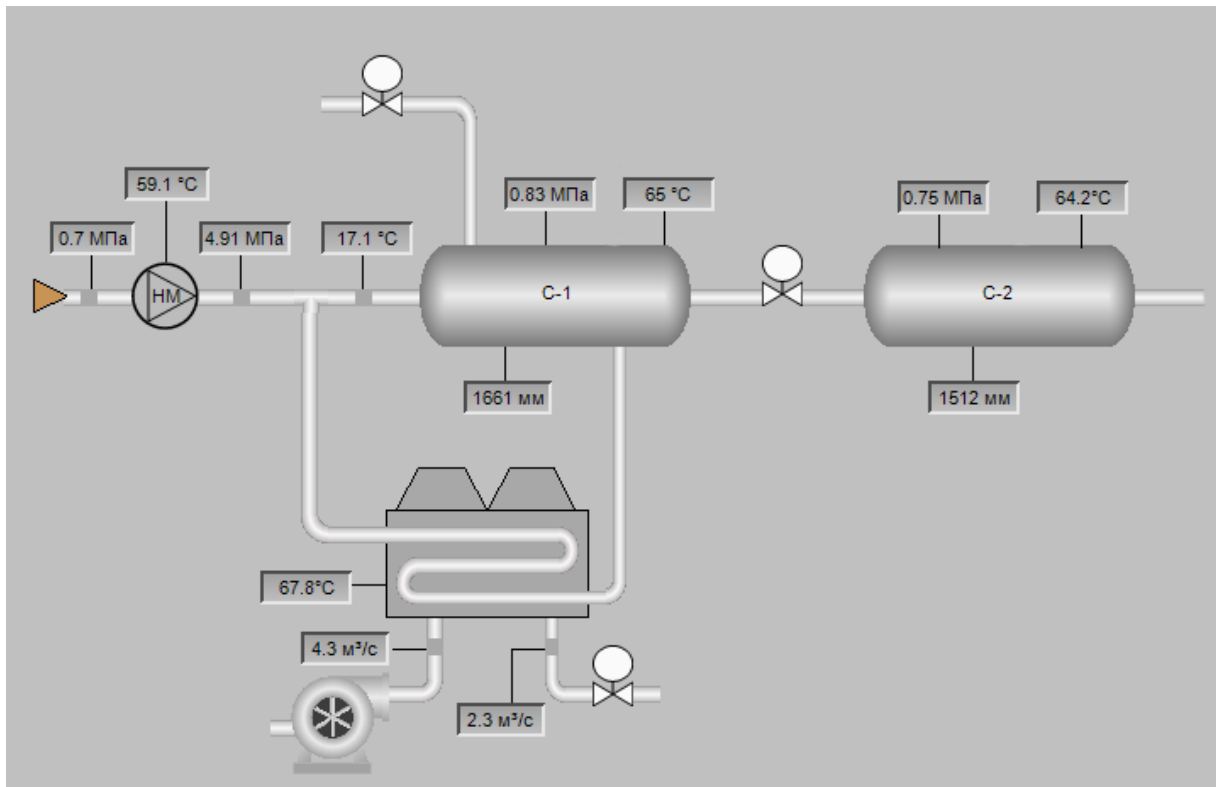


Рисунок 4.2 – Мнемосхема перекачки та сепарації нафти

SCADA система контуру деемульсації та стабілізації нафти

Як і минула SCADA - ця вмщує у собі блоки та механізми виконавчих процесів нафтопереробки. Інформація, що надходить з датчиків і перетворювачів стабілізаційної колони і деемульсаційної установки, відображаються в мнемосхемі.

Температури, тиск, витрати, рівень - за всіма параметрами стежить оператор, який у разі невиконання до нормованих значень може спинити технологічний процес або тимчасово загальмувати роботу певного механізму.

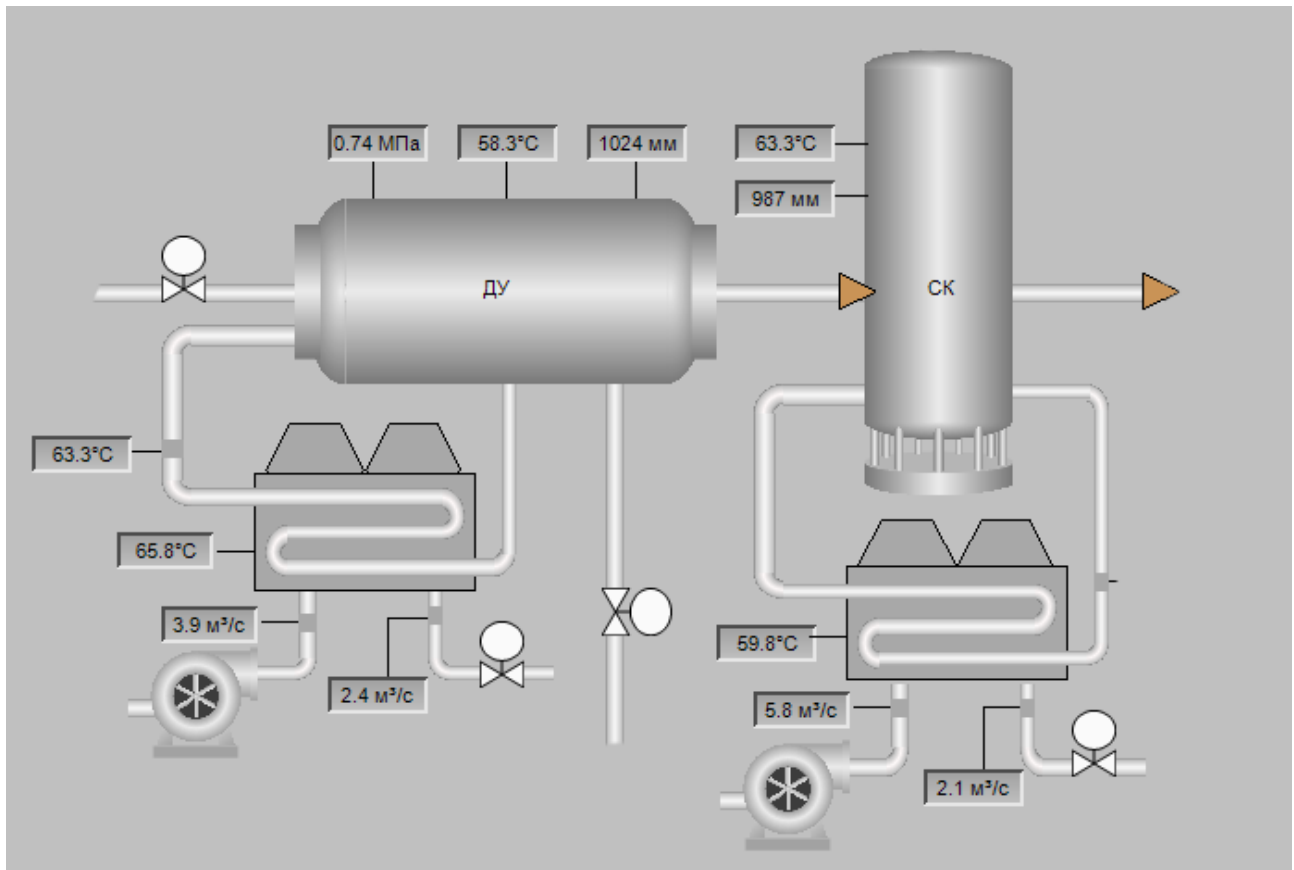


Рисунок 4.3 – Мнемосхема деемульсації та стабілізації нафти

SCADA система контуру перекачування газу

На цій схемі проводиться спостереження за належною роботою компресорної установки і резервуаром зберігання газу. Тиск компресора і рівень заповнення є основними параметрами в цій системі SCADA, крім того, ще наявні температура, тиск у самому резервуарі і величина витрат. Під час натискання на резервуар є можливість отримати детальну вказівку про склад газу: його густину, масу, теплоту спалювання і концентрацію.

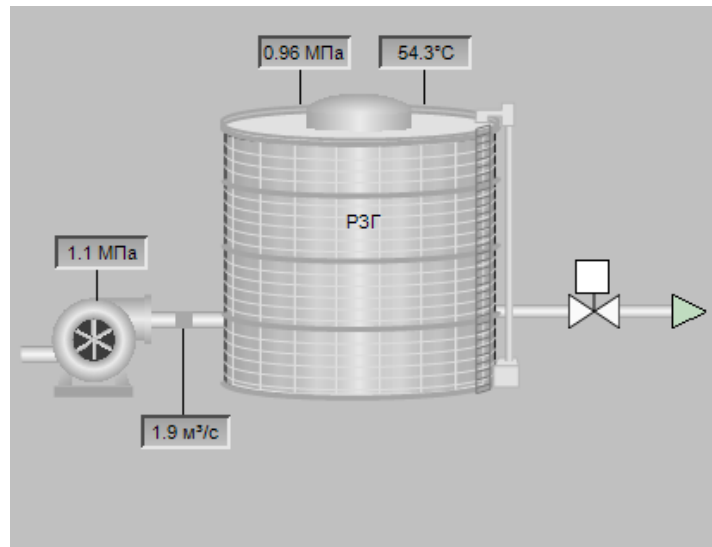


Рисунок 4.4 – Мнемосхема перекачування газу

SCADA система контуру очищення нафтопромислових стічних вод

Система містить установку очистки нафтопромислових стічних вод і подачу прісної води до резервуару. Заслінка, через яку проходить потік води, що надходить в установку, може регулюватися оператором в разі потреби. Коли рівень рідини досягає необхідного – заслінка відкривається.

Дані, що відображаються на мнемосхемі та під час детального огляду:

- тиск
- температура
- рівень наповнення резервуара й установки
- Щільність води і частинок нафти.
- в'язкість рідин
- частота та швидкість обертів лопатей

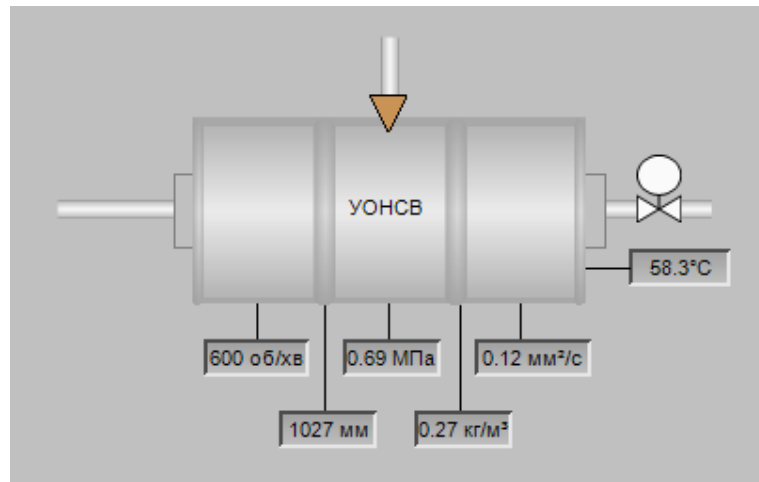


Рисунок 4.5 – Мнемосхема очищення нафтопромислових стічних вод

SCADA система контуру підтримання тиску в свердловинах

Доволі нескладна система, що включає в себе два насоси, які призначені для закачування води до нагнітальних свердловин, для процесу забезпечування і підтримки пластового тиску на родовищах.

Здійснюється спостереження за:

- температурою двигунів і підшипників насосів,
- тиском нафти в магістралі - до проходження агрегатів та після.

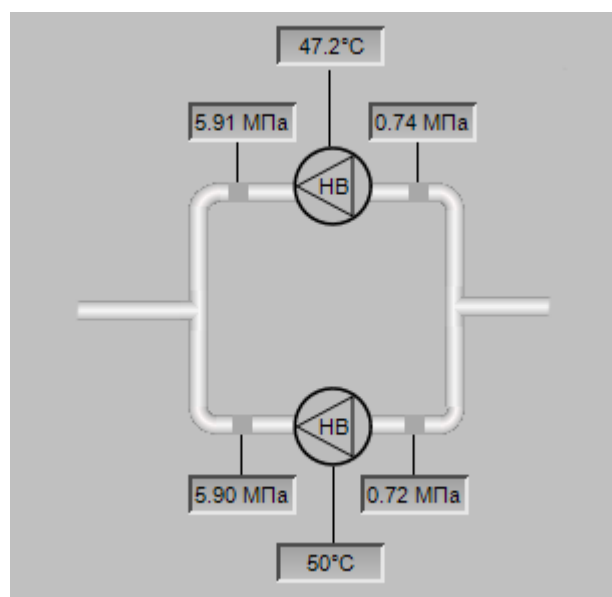


Рисунок 4.6 – Мнемосхема підтримання тиску в свердловинах

SCADA система резервуару збереження нафти

Для запобігання витрат нафти під час її зберігання і транспортування додержуються таких норм: дотримання і забезпечення технічної роботи і герметичності резервуара; контроль герметичності клапанів, запірної арматури і фланцевих з'єднань

Під час натискання на зображення резервуара на головній мнемосхемі розкривається спливаюче вікно з детальною інформацією щодо цього резервуара:

- рівні нафтової сировини і підтоварної води в сховищі;
- масу й об'єм нафтопродукту;
- обсяг підтоварної води;
- надлишковий тиск парів нафтопродуктів;
- значення рівня за попередній і поточний час, зміну рівня;
- густина, щільність та концентрація нафти;
- тренди параметрів;

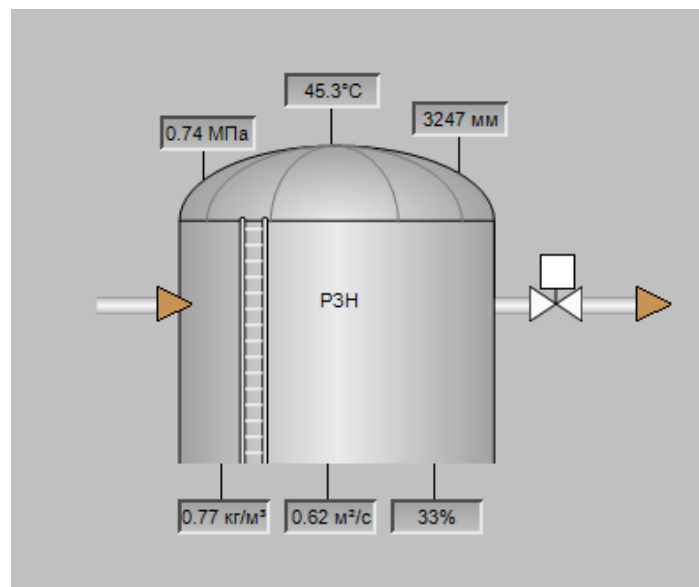


Рисунок 4.7 – Мнемосхема резервуару збереження нафти

4.2 Розробка програми регулятора на мові програмування FBD

Однією з популярних мов програмування ПЛК (програмованих логічних контролерів) є графічна мова функціональних блокових діаграм FBD – Function Block Diagram. Ця мова, разом з іншими мовами стандарту МЭК 61131-3, такими як мова сходової логіки (LD), у своїй архітектурі використовує схожість електронних схем. [21]

Написана цією мовою програма для контролера складається з певного списку ланцюгів, які виконуються по черзі зверху вниз. Крім того, тут є можливість присвоєння окремим ланцюгам міток, в цьому випадку стане доступним використання інструкцій переходу на мітку, щоб змінювати послідовність виконання ланцюгів, і створювати умови та цикли.

Отже, програма, написана графічною мовою FBD, являє собою набір взаємопов'язаних функціональних блоків, виходи та входи яких з'єднані лініями зв'язку. Лінії зв'язку відображають певні програмні змінні, які використовуються для обміну даними між блоками.

Окремий блок несе у собі певну функцію (логічне «ні», «і», лічильник тощо. буд.), у своїй один блок може мати кілька виходів і входів. Спочатку значення змінних задаються константами чи спеціальних входів, а їх виходи пов'язуються далі з іншими змінними програми або з виходами ПЛК.

На малюнку показано приклад програми, написаної мовою функціональних блокових діаграм FBD. Як бачите, це зображення програми дуже чітко показує алгоритм, що робить цю мову досить простою та зручною для розробки ПЗ для ПЛК.

Під час програмування на мові FBD використовуються стандартні блоки з бібліотек та блоки, написані на FBD або інших мовах відповідно до стандарту МЭК 61131-3. Блок є елементом програми, свого роду підпрограмою, функціональним блоком або функцією (логічне «АБО», «НЕ», «І», таймер, тригер, лічильник, обробка аналогового сигналу, математична операція тощо).

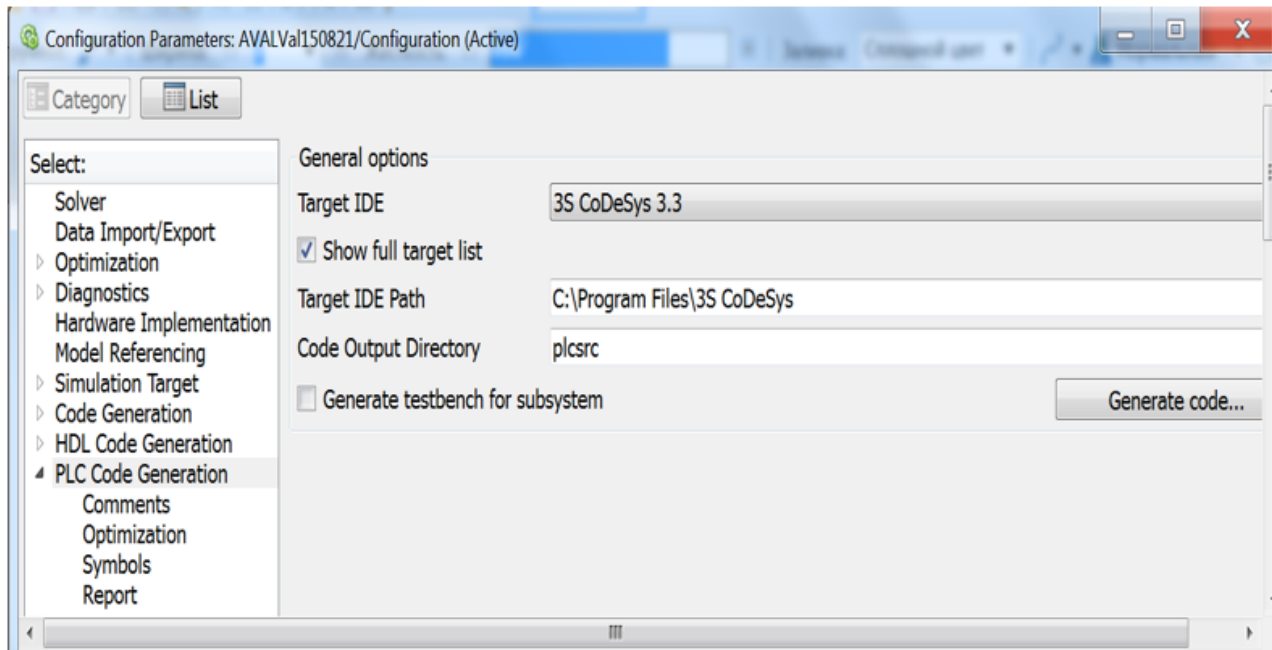
З таких блоків графічно складаються вирази, що утворюють ланцюги: до виходу одного блоку приєднується наступний блок, за ним інший блок, утворюючи таким чином ланцюги. По ходу ланцюга порядок виконання блоків відповідає порядку їх з'єднання, а результат виконання ланцюга подається на вихід ПЛК чи записується в якусь внутрішню змінну.

Засоби реалізації регулятора.

Відповідно до наявних зразків побудови автоматизованих систем керування підігрівачів нафти [15], з'являються приклади використання середовища MATLAB при моделюванні та розробці різних SCADA систем [16,17]. Такий підхід дає можливість впровадити результати моделювання регуляторів до керування досліджуваним об'єктом. Моделювання алгоритмів РР процесу обігріву нафти (рис. 11) показало можливість його реалізації на ПЛК, що наявні на ринку програмно-апаратних засобів [18].

Засобом прискорення отримання оцінок конкретного варіанту розробки є додаток MATLAB- Simulink PLC Coder [19]. Цей інструмент дає змогу автоматично генерувати структурований текст для ПЛК в форматах файлів, що використовуються в засобах розробки користувача.

Для генерації коду ПЛК із Simulink моделі користуємось схемами з регуляторами, які присутні у схемах моделей. Обов'язковою умовою отримання коректного програмного коду регулятора є перехід із безперервної s -форми до дискретної z -форми та завдання часового інтервалу дискретизації. Після визначення регулятора як підсистеми, що взаємодіє з об'єктом керування, задаються параметри підсистеми (*Subsystem Parameters*) та формується статус підсистеми (*Treat as atomic unit*). Це дає змогу перейти до опції *PLC Code Generation* (рис. 4.1) для вибраного типу ПЛК (3S CoDeSys, Siemens і т. і.). Результатом генерації коду є текст програми на мові ST стандарту MEK 61131-3 модифікації 3S CoDeSys, яка відповідає вибраному ПЛК ОВЕН.



* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem "AVALVal150821/Subsystem"

Рисунок 4.7 – Екран налаштувань генерації коду ПЛК із Simulink моделі

Файли даних та алгоритмів є інструментом інтеграції розробленого програмного забезпечення в вибрані мікропроцесорні засоби, які утворюють середовище виконання – MSRT. Із середовища виконання здійснюється опитування, візуалізація та архівування параметрів процесу.

Вибір середовища Promotic Scada обумовлює ієрархічну логіку проектування – від загальних до дрібних, таким чином реалізуючи об’єктний підхід к побудови проекту. Це надає розробникам проекту можливостей використання шаблонів, тиражування і наслідування, тим самим розширюючи набір інструментів автоматизації процесу проектування.

Для нашого випадку–дворівневої структури автоматизації, згідно мнемосхеми рис. 4.7, до якої входить піч обігріву ПТБ, зв’язок між рівнями керування організовується з допомогою OPC сервера. Попереднє відлагодження режимів обміну даними із засобами автоматизації нижнього рівня здійснюється з використанням додатку “MATLAB OPC Server”.

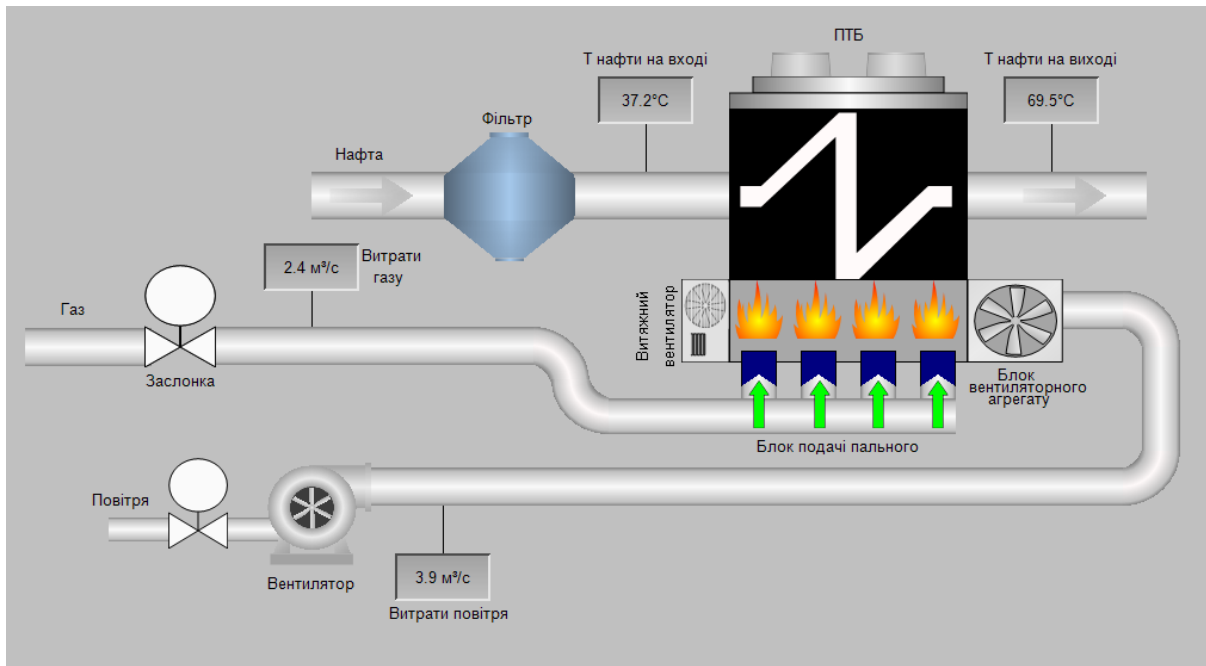


Рисунок 4.7 – Мнемосхема шляхового підігрівача нафти

Налаштування режимів здійснюється з допомогою функціональних блоків MATLAB Simulink-«OPC Config», «OPC Read» та «OPC Write», які відносяться до розділу «OPC Toolbox» [20]. На схемі рис. 4.8, яка відображує взаємодію регулятора положення засувки (OBJECT) із SCADA-системою, функціональні блоки «OPC Read» та «OPC Write» забезпечують запис та зчитування інформації в тег сервера відповідно до його налаштувань.

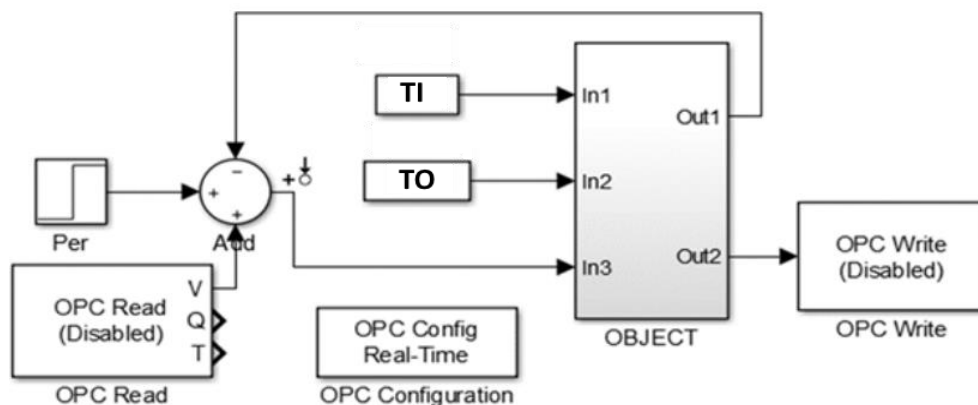


Рисунок 4.8 – Схема зв'язку із OPC сервером

Функціональний блок «OPC Config» дає змогу конфігурації зв'язку із OPC сервером (зокрема шини Modbus), налаштувань обробки помилок, що виникають при обміні інформацією.

Перехід до практичної реалізації OPC сервера, що організує взаємодію між SCADA-системою та регуляторами нижнього рівня (ОВЕН ПЛК100), здійснюється шляхом використання протоколу обміну Modbus Universal.

Розробка та програмування алгоритму для регулятора

Для створення програм-алгоритмів використовується українське програмне забезпечення таке як «Editor of FBD-programs ALFA».

Пакет програм ALFA використовується для програмування функціональних блоків мікропроцесорних контролерів.

Мова функціональних блоків (Function Block Diagram – FBD) призначена для розробки алгоритмів у вигляді діаграм функціональних блоків.

Зазначимо, що основне призначення редактора ALFA полягає у тому, щоб забезпечити максимально зручне інтерактивне середовище для програмування контролерів мікропроцесорів. Програма для контролера складається з готових алгоритмів, представлених у вигляді функціональних блоків шляхом їх вибору з бібліотеки алгоритмів, розміщення на робочому полі та зв'язування між собою за допомогою ліній зв'язку.[21]

Буфер обміну редактора ALFA дозволяє розмістити в ньому цілі FBD-програми, що дозволяє написати нову програму для контролера, використовуючи макет кількох існуючих програм. Це дозволяє повторно використовувати готові алгоритми в умовах конкретного завдання, витрачаючи мінімум часу на їх модифікацію.

Режим налагодження FBD-програми, реалізований у редакторі ALFA, дозволяє налагоджувати роботу контролера, підключеного через інтерфейс RS-485, в режимі реального часу.

Розробка програми

Для автоматичного підтримання постійної температури в печі потрібно розробити відповідну програму регулятора у контролері.

Регулятор співвідношення «газ-повітря» та підтримання номінальної температури в печі.

Призначення:

- утримувати постійну задану величину температури в межах точності регулювання шляхом зміни подачі палива
- підтримувати задане співвідношення між кількістю палива та повітря у всьому діапазоні зміни подачі палива, що визначається за графіком.

Починати потрібно з простих аналогових ввідів (блоків), з яких буде надходити інформація з датчиків тиску та датча температури.



Рисунок 4.9 – Аналогові блоки

Далі йде реалізація контуру зони нечутливості регулятора, який складається з блоків:

- компаратору CMP що виконує функцію порівнювального пристрою
- мультиплектора MUX, який забезпечує перемикання каналів
- суматора SUMM

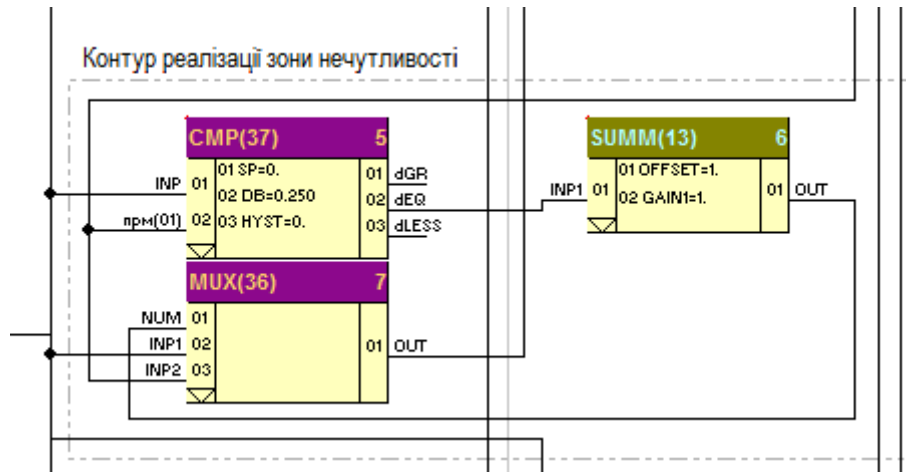


Рисунок 4.10 – Dead zone

Для забезпечення автоматичного задання значення тиску повітря для його подальшого використання для зміни подачі палива використовується блок кусочно-лінійної функції Linear де виконується графічний розв'язок співвідношення «газ-повітря»

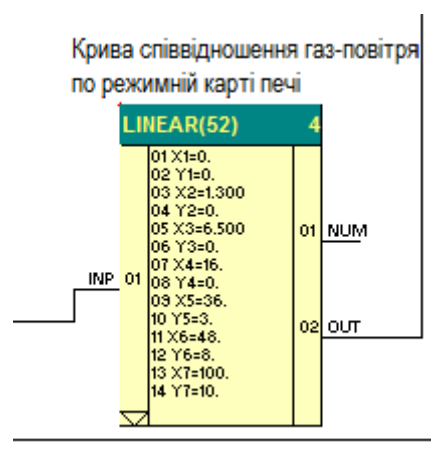


Рисунок 4.11 – Блок Linear

Далі йде налаштування функціонального блоку, що слугує для побудови контуру ПІД-регулятора.

Завдяки блоку керування станом DSET можна вручну задати потрібне значення на регулятор.

Блоки DOT потрібні для дискретного виводу на виконавчий механізм тобто на заслінку.

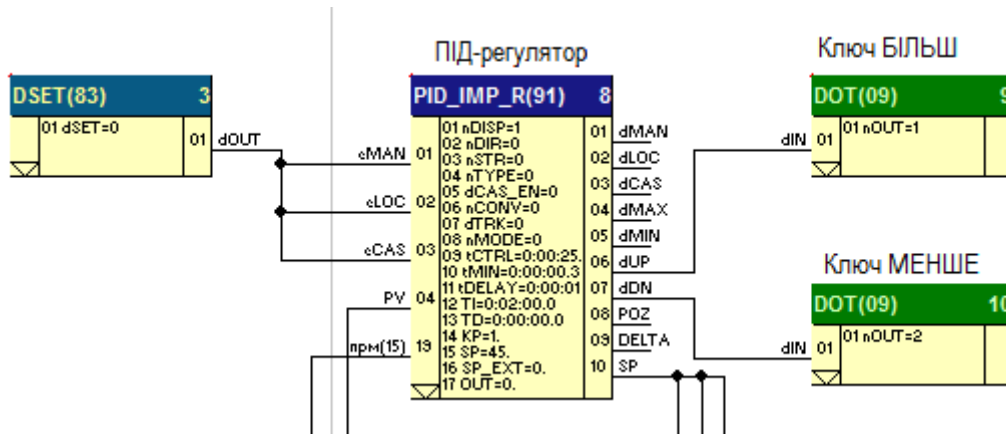


Рисунок 4.12 – контур ПІД-регулятор

Останнє, що потрібно це функціональний блок панелі індикації USER, на який виводяться відповідні параметри та значення.

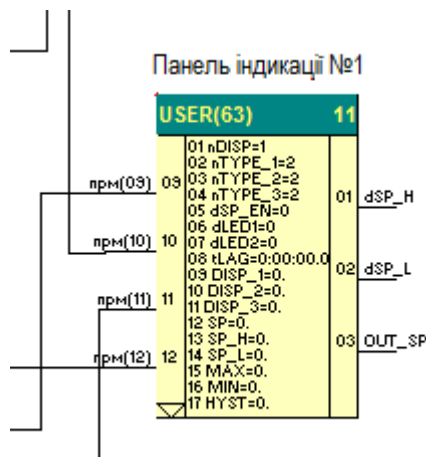


Рисунок 4.13 – Блок панелі індикації

Завдяки програмному коду FBD контролера можна керувати витратами повітря та газу на задані оптимальні значення температури печі, що забезпечить

енергоефективність експериментальної установки та задовольнить показники якості системи.

Загальний вигляд програми на мові програмування FBD в програмному забезпеченні ALFA

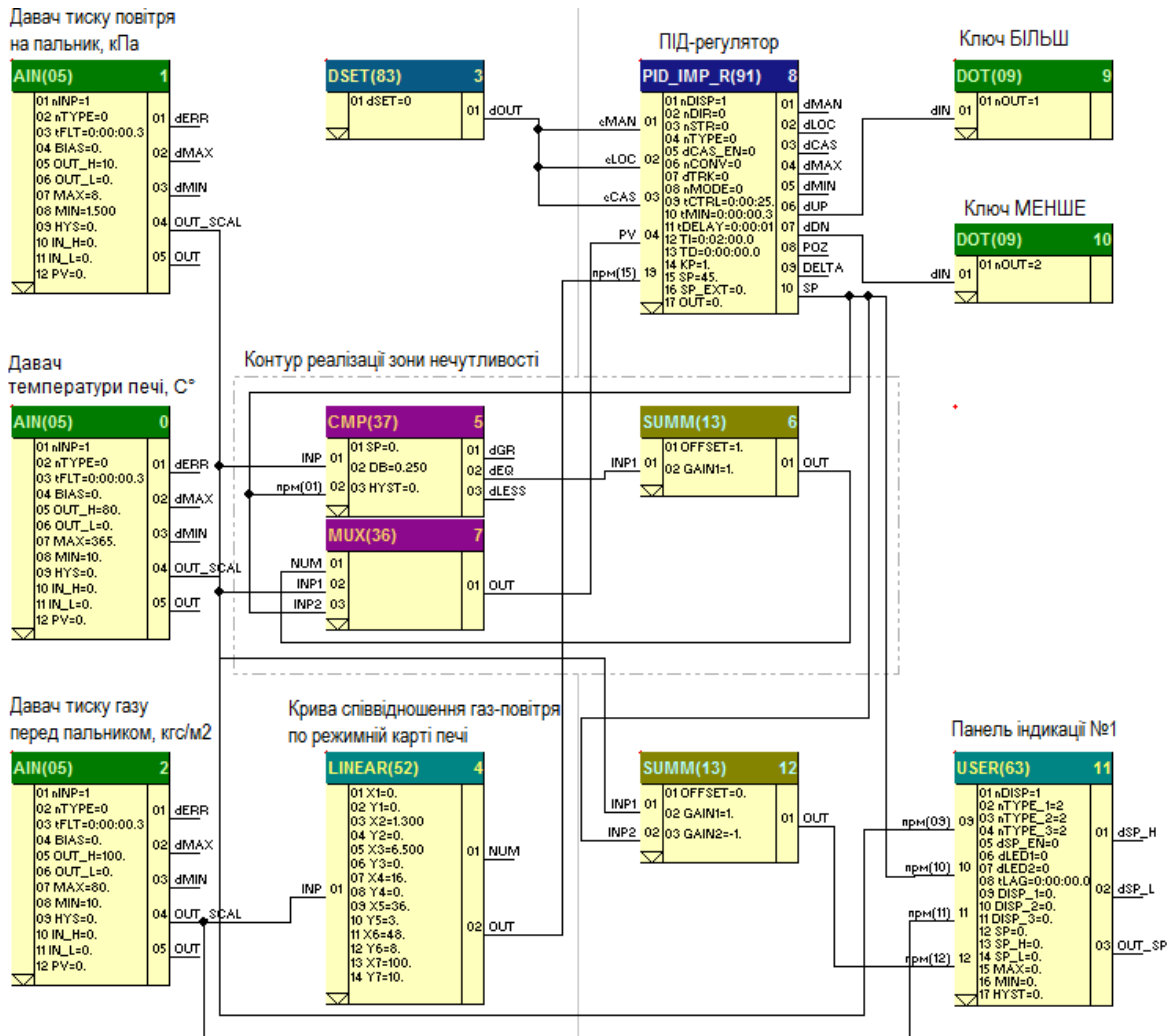


Рисунок 4.14 – Програма процесу регулювання заслінкою

Основні параметри налаштування регулятора:

1. Діапазон шкали датчика тиску повітря на пальник: 0...10 кПа (властивості 05 та 06 блоку

№1 AIN(05)).

2. Діапазон шкали датчика тиску газу перед пальником: 0...100 кгс/м² (властивості 05 та 06

блоку №2 AIN(05)).

3. Діапазон шкали датчика температури: 0...80 °С (властивості 05 та 06 блоку №0 AIN(05)).

4. Задане значення тиску повітря: вибирається автоматично за графіком співвідношення

"газ-повітря" (блок №4 LINEAR (52)).

5. Задане значення температури: 45 °С. (властивість 15 блоку №8 PID_IMP_R(91), задається з передньої панелі контролера).

6. Зона нечутливості регулятора: 0,25 кПа (°С) (властивість 02 блоку №5 CMP(37)).

7. Час повного ходу МЕО (90 град.): 25 сек. (Властивість 09 блоку №8).

8. Мінімальна тривалість імпульсу: 0,3 сек. (Властивість 10 блоку №8).

9. Затримка між перемиканням ключів БІЛЬШ-МЕНШЕ: 1 сек (властивість 11 блоку №8).

10. Демпфер по каналу вимірювання довжини повітря: 0,3 сек. (Властивість 03 блоку №1 AIN(05)).

11. Демпфер по каналу вимірювання довжини газу: 0,3 сек. (Властивість 03 блоку №2 AIN(05)).

12. Демпфер: 0,3 сек. (Властивість 03 блоку №0 AIN(05)).

13 Коефіцієнт посилення регулятора: 1 (властивість 14 блоку №8).

14. Час інтегрування регулятора: 120 сек. (Властивість 12 блоку №8).

На панелі індикації №1 відображаються такі параметри:

Дисплей ПАРАМЕТР - тиск повітря на пальник, кПа; температура в печі, °С;

Дисплей ЗАВДАННЯ – задане значення тиску повітря по режимній карті, кПа; задане значення температури печі, °С;

Дисплей ВИХІД - тиск газу перед пальником, кгс/м²; неузгодженість регулятора;

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи було детально розглянуто об'єкт – нафтодобувну станцію та її складові частини, основним з яких є шляховий обігрівач нафти. У роботі описаний технологічний процес, контури управління та функціональні задачі об'єкта керування.

Заради досягнення максимального вилучення людського фактору в роботі станції та її складових установок – запропоновано автоматизовану систему управління.

Система вирішує низку функціональних завдань по енергоефективному управлінню технологічними процесами.

Були вирішені наступні задачі задля оптимізації процесу керування:

1. Розроблена функціональна схема програмно -технічних засобів системи керування технологічним процесом обігріву нафти.
2. Проведено дослідження моделі керування процесом обігріву нафти.
3. Моделювання алгоритмів та перевірка можливостей налаштувань досліджуваних регуляторів для процесу обігріву нафти показало доцільність реалізації та перспективу їх розбудови на контролерах, що наявні на ринку програмно-технічних засобів автоматизації.
4. Введення гнучкого зворотнього зв'язку в релейних регуляторах значно покращує якість регулювання.
5. Відпрацьована методика налаштувань релейного регулятора із використанням методу фазової площини, який використовується при синтезі регуляторів нелінійних об'єктів.
6. Розроблена програма для алгоритму регулятора на мові програмування FBD.
7. Спроектовано SCADA систему для автоматизованої системи нафтодобувної станції та введено до неї регулятор

Основні наукові результати роботи.

1. Проаналізовано фактори енергозберігаючого керування процесом обігріву нафти.
2. Розроблена математична модель процесу обігріву нафти
3. Показана доцільність використання релейних регуляторів при керування процесом обігріву нафти.
4. Розглянуто можливості впровадження дослідженого регулятора.
5. Доведена ефективність гнучкого зворотного зв'язку в релейних регуляторах процесів з затримкою у часі та значними сталими часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. "Offshore Production Facilities". Archived from the original on 7 January 2012. Retrieved 29 May 2017.
2. Гужель Ю.А. Процессы и аппараты химической технологии: Учебное пособие. Часть вторая. Тепловые процессы и аппараты/Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2020. – 65с.
3. Pike, John. "Fixed Platform". Retrieved 29 May 2017.
4. Kovaliuk, D. O., Huza, K. M., & Kovaliuk, O. O. (2018). Development of SCADA System based on Web Technologies. International Journal of Information Engineering and Electronic Business (IJIEEB), 10(2), 25-32
5. Tang C. et al. Electrocatalytic Refinery for Sustainable Production of Fuels and Chemicals // Angewandte Chemie - International Edition. 2021. Vol. 60, № 36.
6. Griffiths S. et al. Decarbonizing the oil refining industry: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options // Energy Research and Social Science. 2022. Vol. 89.
7. Ткачев В.С., Мурза С.Я. Разработка математической модели печи обжига фарфора //Materialy II Miedzynarodowej naukowe-praktycznej konferencji “Wykszta cenie I naura bez granic, – Praha. –Tom 1 Technicznt nauki Przemysi, 2005. –С. 74 –78.
8. Мандра А. Г. Анализ связанной системы автоматического регулирования уровня воды в баке системы химводоподготовки, URL: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book3/10.php>
9. CoMeta - system SCADA do zastosowań wbudowanych, www.cometa.com.pl [dostęp 2020-06-24].
10. Valeev A.R. et al. Developing a method for diagnostics of oil and gas pumping equipment using three-axis strain gauge sensor // Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry. 2022. Vol. 2022, № 1.
11. Revin P.O. et al. Research of atmospheric corrosion activity on oil pumping stations with tank farms // Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation. 2021. Vol. 11, № 1.

12. "American Blackout". National Geographic Channel. Retrieved 14 October 2016
13. Шеремет О. І., Ткаченко О. О. Теоретичні аспекти синтезу релейних регуляторів для електроприводів постійного струму//Научный вестник ДГМА, 2017. – № 3 (24Е). – С. 97–102.
14. Кулінченко Г. В. , Панич А. О., Леонтьев П. В., Шикура А. Ю. Релейний регулятор печі обігріву нафти // International scientific innovations in human life. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference. – Manchester, United Kingdom: Cognum Publishing House, 2022. – P. 209-217.
15. Силаев, А. А., Семенов А. В. Разработка автоматизированной системы управления подогревателем нефти ПТБ–10Э// Технические науки: проблемы и перспективы: материалы VI Международной. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2018г.). – Санкт-Петербург : Свое издательство, 2018. – С. 32–35.
16. Ковалюк Д. О., Ковалюк О. О., Бородин В. І., Степанюк М. М. Інтеграція програмних засобів систем керування. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Київ, 2019. –Том 30 (69) Ч. 1 № 1. –С. 56–60.
17. Orazbayev B. et al. DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS AND OPTIMIZATION OF OPERATION MODES OF THE OIL HEATING STATION OF MAIN OIL PIPELINES UNDER CONDITIONS OF FUZZY INITIAL INFORMATION // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 6, № 2–114.
18. "Crippled No Longer: Matlab Now Runs on AMD CPUs at Full Speed - ExtremeTech". www.extremetech.com. Retrieved October 29, 2020.
19. Manners, David (September 24, 2020). "MathWorks updates Simulink and MATLAB families". Electronics Weekly. Retrieved November 23, 2020.
20. Kaniuk G.I. et al. Energy Efficient Control by the Group of Oil Pumping Stations Operation // Problems of the Regional Energetics. 2021. № 4.
21. W. Bolton (2011) Programmable Logic Controllers. p. 14