

Міністерство освіти і науки України  
Шосткинський інститут Сумського державного університету  
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Худoley Г.М.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022р.

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

Система управління атмосферно-вакуумною установкою для перегонки нафти

Керівник проекту:  
(ст.викладач, к.т.н)

Серяков А.Г.

Дипломник:  
студент групи СУ-81ш

Антощенко Д.Р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри системотехніки та ін-  
формаційних технологій

\_\_\_\_\_ Г. М. Худолей

« 03 » травня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на бакалаврську роботу**

студент Антощенко Денис Романович

1. Тема проекту Система управління атмосферно-вакуумною установкою для пере-  
гонки нафти

Затверджено наказом директора інституту  
№ 36-ОД від « 03 » травня 2022 р.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи «21» червня 2022 р.

3. Вихідні дані до виконання роботи:

\_ - завдання кафедри \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки:

4.1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта управління.

4.2 Вибір каналів управління, сигналізації та блокувань.

4.3 Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захи-  
сту та алгоритмів управління.

4.4 Розрахункова частина.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. Перелік графічних матеріалів:

## 5.1 Функціональна схема автоматизації.

---

---

---

---

## 7. Календарний план:

№ етапу	Зміст етапу роботи	Строк виконання (початок-кінець)
1	Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз джерел інформації. Відбір аналогів та прототипів Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта керування.	08.05.2022 - 15.05.2022
2	Вибір каналів управління, сигналізації та блокувань. Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту, вибір алгоритмів управління. Схема автоматизації функціональна. Схеми електричні сигналізації.	16.05.2022 - 29.05.2022
3	Виконання розрахункової частини.	30.05.2022- 05.06.2022
4	Технічне оформлення проекту. Задача проекту керівнику.	07.06.2022 - 20.06.2022

## 8. Дата видачі завдання 04 травня 2022 року.

Керівник роботи \_\_\_ ст.викладач, к.т.н. \_\_\_ Серяков А.Г.  
вчені ступень та звання, посада Підпис Прізвище І.П.

Завдання до виконання прийняв:

Студент групи СУ - 81ш \_\_\_\_\_ Антощенко Д.Р.  
Підпис Прізвище І.П.

## РЕФЕРАТ

Антощенко Денис Романович. Система управління атмосферно-вакуумною установкою для перегонки нафти. Дипломна робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2022 рік.

Дипломна робота містить 39 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 41 рисунків, 4 таблиць.

Проект присвячений розробці системи управління атмосферно-вакуумною установкою для перегонки нафти. Автоматизація дозволяє зменшити потреби в кількості людських втручань в технологічний процес і зробити процес більш адаптивним до дій, які можуть виникнути в процесі роботи обладнання. Розробка системи управління даного технологічного процесу забезпечує управління великими потужними агрегатами в якому людські зусилля зводяться до налаштування та налагодження автоматичних пристроїв управління і регулювання.

Ключові слова: технологічний процес, система управління, алгоритм управління, програмований логічний контролер.

## ABSTRACT

Antoshchenko Denis Romanovich. Atmospheric-vacuum control system for oil distillation. Graduation project. Shostka Institute of Sumy State University. Shostka, 2022.

The graduation project contains 39 sheets of explanatory note, taking into account 41 figures, 4 tables.

The project is dedicated to the development of an atmospheric-vacuum control system for oil distillation. Automation reduces the need for human intervention in the technological process and make the process more adaptable to the actions that may occur during the operation of the equipment. The development of the control system of this technological process provides control of large powerful units in which human effort is reduced to the adjustment and adjustment of automatic control and regulation devices.

Keywords: technological process, control system, control algorithm, programmable logic controller.

# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ’ЄКТА УПРАВЛІННЯ.....	5
2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАНЬ.....	10
3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ І АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ.....	13
4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	27
ВИСНОВОК.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

## **ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

ЕОМ – електронна обчислювальна машина

АТ – атмосферна трубчаста установка

АВТ – атмосферно-вакуумна трубчаста установка

ТП – технологічний процес

ОУ – об'єкт управління

ПЛК – програмований логічний контролер

## ВСТУП

За минулі роки істотно змінився вигляд нафтопереробної промисловості, що стало наслідком значного збільшення одиничних потужностей установок, якісних змін у технології та конструктивному оформленні процесів, широкого впровадження засобів автоматизації та застосування ЕОМ при проектуванні та дослідженні діючих установок.

Це прискорило соціально-економічний розвиток регіонів, значно покращило постачання споживачів нафтопродуктами, створило можливість виходу на зовнішній ринок.

Зростає експорт нафтопродуктів, як у обсягу, так і по номенклатурі у далекому зарубіжжі, причому складається стійка тенденція зростання обсягів експорту дорожчих світлих товарів, які за якістю, відповідно і ціні, не поступаються світовому рівню.

Нафтопереробні заводи будують у місцях концентрованого споживання нафтопродуктів (таких як бензин, авіагас, дизельне паливо, вуглеводневі гази та топовий мазут, мастила), така позиція обґрунтована тим, що набагато рентабельніше транспортувати сировину (нафту) до місця концентрованого споживання, ніж перевозити з заводів, розташованих поблизу промислів. Це підтверджують і техніко-економічні розрахунки.

Технологічна схема будь-якого проектного заводу з переробки нафти визначається, насамперед, потребою в нафтопродуктах того чи іншого асортименту, якістю сировини, що переробляється, станом розробки тих чи інших технологічних процесів.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка та дослідження системи управління атмосферно-вакуумної установки для переробки нафти.

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

## 1.1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Первинна перегонка нафти — це перший технологічний процес переробки нафти. Установки первинної переробки є на кожному нафтопереробному заводі.

Перегонка, або дистиляція, - це процес поділу суміші взаємнорозчинних рідин на фракції, які відрізняються за температурами кипіння як між собою, так і з вихідною сумішшю. При перегонці суміш нагрівається до кипіння та частково випаровується; отримують дистилят та залишок, які за складом відрізняються від вихідної суміші. На сучасних установках перегонка нафти проводиться із застосуванням одноразового випаровування. При одноразовому випаровуванні низькокиплячі фракції, перейшовши в пари, залишаються в апараті і знижують парціальний тиск висококиплячих фракцій, що випаровуються, що дає можливість вести перегонку при більш низьких температурах.

При одноразовому випаровуванні та подальшій конденсації парів отримують дві фракції: легку, в якій міститься більше низькокиплячих компонентів, і важку, в якій міститься менше низькокиплячих компонентів, ніж у вихідній сировині, тобто при перегонці відбувається збагачення однієї фази низькокиплячими, а інший висококиплячими компонентами. При цьому досягти необхідного поділу компонентів нафти і отримати кінцеві продукти, що киплять у заданих температурних інтервалах, за допомогою перегонки не можна. У зв'язку з цим після одноразового випаровування нафтові пари піддають ректифікації.

Ректифікація — дифузійний процес поділу рідин, що різняться за температурами кипіння, за рахунок протиточного багаторазового контактування пари та рідини.

Контактування парів і рідини здійснюється у вертикальних циліндричних апаратах – ректифікаційних колонах, оснащених спеціальними пристроями – ректифікаційними тарілками або насадкою, - які дозволяють створити тісний контакт між парою, яка піднімається догори по колоні, та рідини, яка стікає вниз. Схема ректифікаційної колони представлена на рис 1.1.



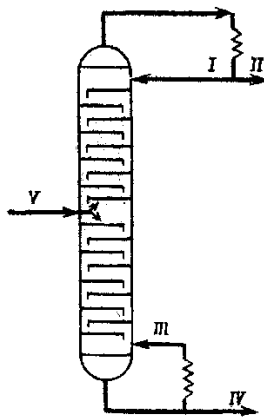


Рисунок 1.1 – Схема ректифікаційної колони:

I – холодне зрошування; II – ректифікатор; III – циркулюючий гарячий потік; IV – залишок; V – сировина

В середню частину у вигляді пари, рідини або парорідинної суміші подається сировина, яку необхідно розділити на дві частини - висококиплячу і низькокиплячу. В цій зоні відбувається – однократне випаровування нагрітої у печі або теплообміннику суміші на парову і рідинну фази.

В працюючій ректифікаційній колоні, через кожну тарілку проходять чотири потоки:

- рідина – яка стікає з тарілки, що лежить вище;
- пара – яка поступає з тарілки, що лежить нижче,
- рідина – яка піднімається з тарілки, що лежить нижче,
- пара, яка піднімається на тарілку, що лежить вище.

На установках первинної перегонки нафти одноразове випаровування та ректифікація, як правило, поєднуються. Для перегонки нафти використовують одноступінчасті та двоступінчасті трубчасті установки. Теплоту, необхідну для проведення процесу, отримують у трубчастих печей.

Первинна перегонка нафти здійснюється на трубчастих установках. Залежно від загальної схеми нафтопереробного заводу і властивостей нафти, що надходить для переробки, перегонку ведуть або на АТ, або на установках, що поєднують атмосферну та вакуумну перегонку, — АВТ.

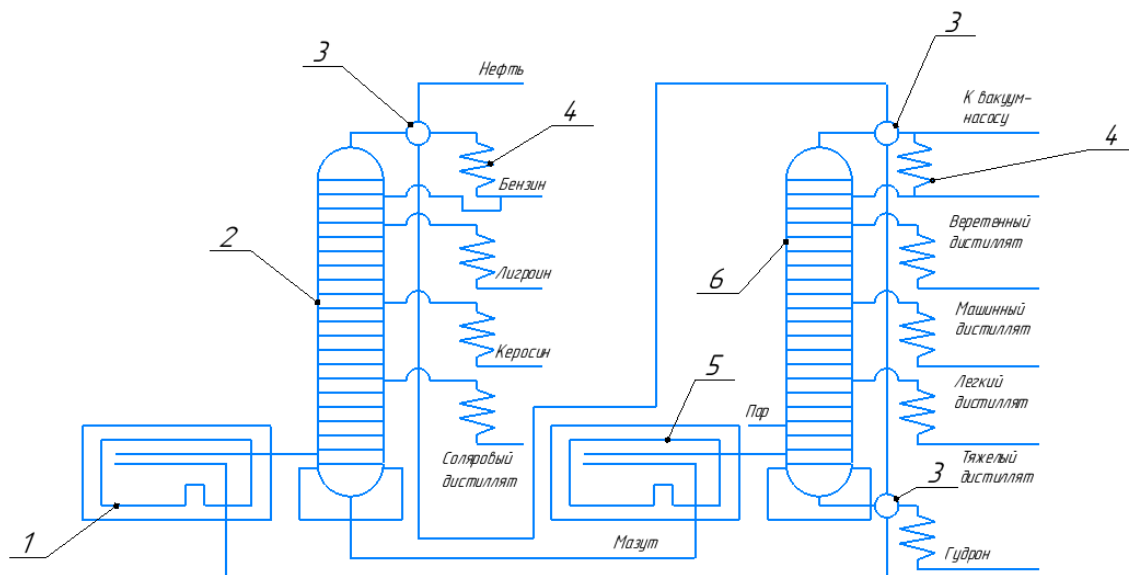


Рисунок 1.2 – Схема атмосферно-вакуумної установки для перегонки нафти:  
 1, 5 – трубчасті печі; 2, 6 – ректифікаційні колони; 3 – теплообмінники; 4 – конденса-  
 сатори

Нафта, як показано на рис. 1.2, подається на перегонку через теплообмінники, де вона нагрівається до 170—175 °С теплотою продуктів перегонки (утилізація теплоти), і надходить у трубчасту піч 1. Нагріта до 350 °С нафта подається до випарної частини колони 2, що працює під атмосферним тиском. Тут відбувається так зване одноразове випаровування нафти. При впуску у випарник нафта, нагріта в трубчастій печі, миттєво випаровується внаслідок різкого зниження тиску; при цьому витрачається частина теплоти. Пори низькокиплячих фракцій спрямовуються вгору назустріч стікаючої вниз рідини — флегмі, при зіткненні з якою вони охолоджуються та частково конденсуються. Рідина при цьому нагрівається і з неї випаровуються більш легкі фракції, тобто рідина збагачується важколетучими вуглеводнями, а пари - легколетучими. По висоті колони відбираються дистилляти різного складу в строго певних інтервалах температур. Так, при 300-350 °С конденсується і відбирається солярове масло, при 200-300 °С - гас, при 160-200 °С - лігроїнова фракція. З верхньої частини колони виводяться пари бензину, які охолоджуються і конденсуються в теплообмінниках 3 та 4. Частину рідкого бензину подають на зрошення колони 2. У нижній частині збирається мазут, який піддають подальшій перегонці для отримання з нього мастил у другій колоні ректифікації 6, що працює під вакуумом. При перегонці мазуту вакуум застосовується з метою запобігання розщепленню вуглеводнів під впливом високих температур. Попередньо мазут направляють у другу трубчасту піч 5, де він нагрівається до 400-420 °С. Пори, що утворилися, надходять у ректифікаційну колону 6, в якій підтримується залишковий тиск 5,3-8,0 кПа. Рідина, що стікає вниз по колоні, продувається гострою водяною парою для полегшення умов випаровування легких компонентів і для зниження температури в нижній частині колони. Асортимент продуктів вакуумної перегонки мазуту залежить від варіанта переробки

— масляної або паливної. По масляній схемі отримують кілька фракцій - легкий, середній та важкий масляні дистиляти; за паливною схемою отримують одну фракцію, звану вакуумним газойлем, що використовується як сировина каталітичного крекінгу або гідрокрекінгу. Дистиляти, одержувані за першою схемою, піддають спеціальному очищенню і потім змішують у різних співвідношеннях для отримання тих чи інших сортів масел. З нижньої частини колони виводиться гудрон - залишок перегонки нафти. Гудрон використовується як сировина для термічного крекінгу, коксування, виробництва бітуму та високов'язких масел.

Вихід продукції на установках прямої перегонки залежить від складу вихідної нафти та від технологічної схеми установки. На одному й тому ж заводі з однакової сировини на різних перегінних установках отримують різну кількість товарних продуктів.

## 1.2 СХЕМА РУХУ МАТЕРІАЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ

На підставі ТП складемо схему руху матеріальних потоків. Схема руху матеріальних потоків представлена на рис. 1.3.

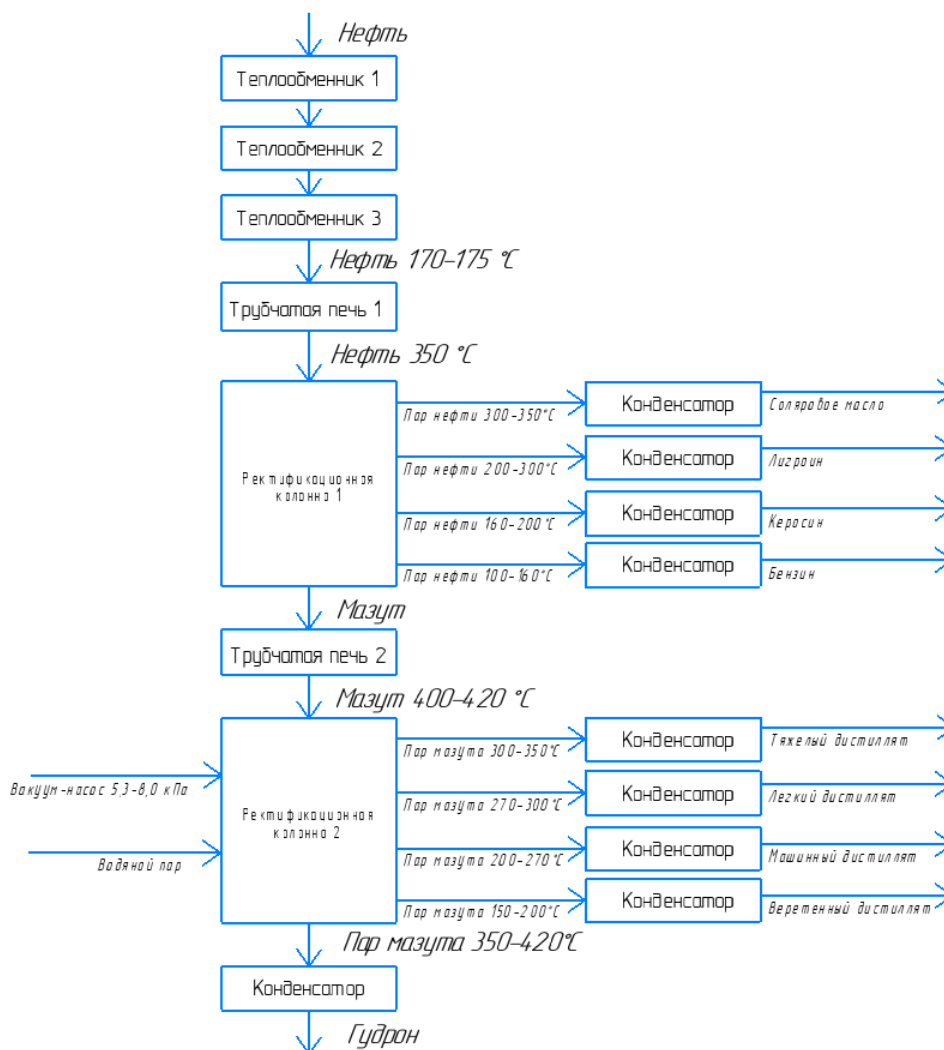


Рисунок 1.3 – Схема руху матеріально-інформаційних потоків

### 1.3 ПЕРЕЛІК ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІЗАЦІЇ, КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ

На основі схеми руху матеріальних потоків визначимо параметри для сигналізації, контролю і управління, які зведемо в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Перелік параметрів сигналізації, контролю і управління

Параметр	Точка технологічного процесу	Процес контролю	Діапазон вимірюваної величини
Температура	Трубчата піч 1	Сигналізація, контроль, управління	170 - 175 °С
Температура	Ректифікаційна колона 1	Сигналізація, контроль, управління	350 °С
Температура	Конденсатори першого етапу	Контроль, управління	100 - 350 °С
Температура	Ректифікаційна колона 2	Сигналізація, контроль, управління	400 - 420 °С
Тиск	Ректифікаційна колона 2	Сигналізація, контроль, управління	5,3 - 8,0 кПа
Концентрація водяного пару	Ректифікаційна колона 2	Сигналізація, контроль, управління	0,15 - 0,3 % мас/нафту
Температура	Конденсатори другого етапу	Контроль, управління	150 - 420 °С

## 2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАНЬ

При виборі регулюючих величин визначають цільове призначення процесу, взаємозв'язок його з іншими процесами, показник ефективності і значення, на якому він повинен підтримуватися. Після чого аналізується ймовірність надходження впливів, що обурюють ОУ. Визначаються шляхи усунення обурення або їх стабілізації. Впровадження автоматичних засобів контролю і сигналізації дозволяє забезпечити необхідну безпеку технологічного процесу. Виходячи з опису технологічного процесу системи управління атмосферно-вакуумної установки для перегонки нафти, визначені наступні канали управління:

### 2.1 КАНАЛ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ ТЕМПЕРАТУРИ В ТРУБЧАТІЙ ПЕЧІ 1

У відповідності з описом технологічного процесу підтримка температури на регламентному рівні 170 – 175 °С забезпечить якісні показники продукту. Здійснення стабілізації заданого значення рівня температури найбільш доцільно виконувати за допомогою зміни подачі нафти на вході в трубчатую піч 1.

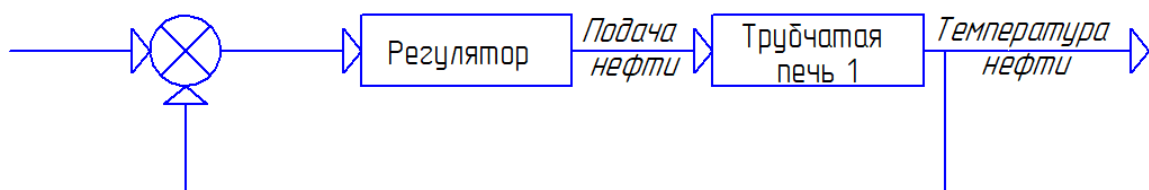


Рисунок 2.1 – Схема контура управління рівнем температури в трубчатій печі 1

### 2.2 КАНАЛ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ ТЕМПЕРАТУРИ В РЕКТИФІКАЦІЙНІЙ КОЛОНІ 1

У відповідності з описом технологічного процесу підтримка температури на регламентному рівні 350 °С забезпечить якісні показники продукту. Здійснення стабілізації заданого значення рівня температури найбільш доцільно виконувати за допомогою зміни подачі нафти на вході в ректифікаційну колону 1.

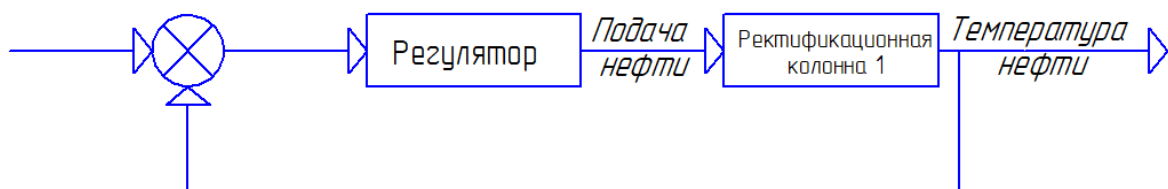


Рисунок 2.2 – Схема контура управління рівнем температури в ректифікаційній колоні 1

## 2.3 КАНАЛ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ ТЕМПЕРАТУРИ В КОНДЕНСАТОРАХ ПЕРШОГО ЕТАПУ

У відповідності з описом технологічного процесу підтримка температури на регламентному рівні 100 – 350 °С забезпечить якісні показники продукту. Здійснення стабілізації заданого значення рівня температури найбільш доцільно виконувати за допомогою зміни подачі пару нафти на вході в конденсатори першого етапу.

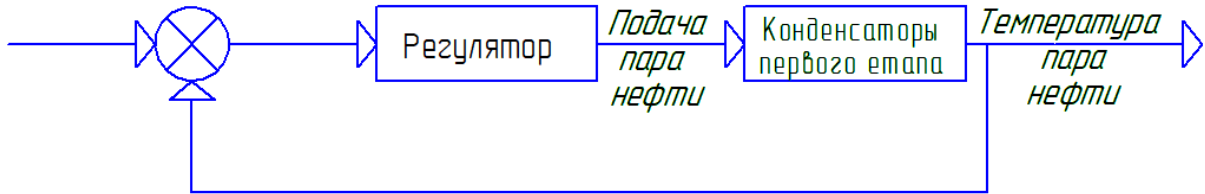


Рисунок 2.3 – Схема контура управління рівнем температури в конденсаторах першого етапу

## 2.4 КАНАЛ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ ТЕМПЕРАТУРИ В РЕКТИФІКАЦІЙНІЙ КОЛОНІ 2

У відповідності з описом технологічного процесу підтримка температури на регламентному рівні 400 – 420 °С забезпечить якісні показники продукту. Здійснення стабілізації заданого значення рівня температури найбільш доцільно виконувати за допомогою зміни подачі мазуту на вході в ректифікаційну колону 2.

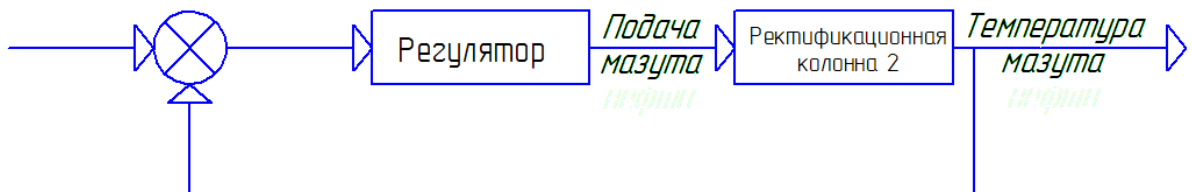


Рисунок 2.4 – Схема контура управління рівнем температури в ректифікаційній колоні 2

## 2.5 КАНАЛ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ ТИСКУ В РЕКТИФІКАЦІЙНІЙ КОЛОНІ 2

У відповідності з описом технологічного процесу підтримка тиску на регламентному рівні 5,3 – 8,0 кПа забезпечить якісні показники продукту. Здійснення стабілізації заданого значення рівня тиску найбільш доцільно виконувати за допомогою зміни подачі потоку на вході в ректифікаційну колону 2.

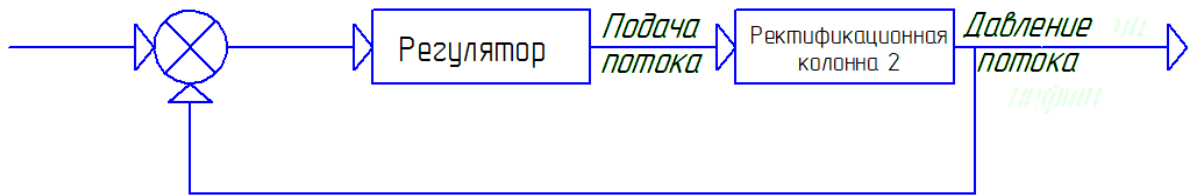


Рисунок 2.5 – Схема контура управління рівнем тиску в ректифікаційній колоні 2

## 2.6 КАНАЛ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ КОНДЕНСАЦІЇ ВОДЯНОГО ПАРУ В РЕКТИФІКАЦІЙНІЙ КОЛОНІ 2

У відповідності з описом технологічного процесу підтримка конденсації на регламентному рівні 0,15 – 0,3 % мас/нафту забезпечить якісні показники продукту. Здійснення стабілізації заданого значення рівня конденсації найбільш доцільно виконувати за допомогою зміни подачі водяного пару на вході в ректифікаційну колону 2.

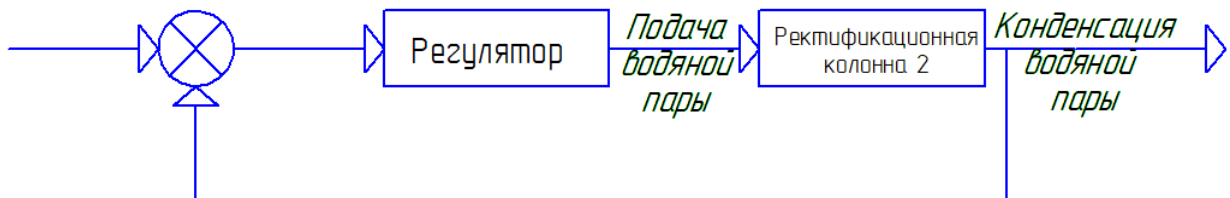


Рисунок 2.6 – Схема контура управління рівнем конденсації водяного пару в ректифікаційній колоні 2

## 2.7 КАНАЛ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ ТЕМПЕРАТУРИ В КОНДЕНСАТОРАХ ДРУГОГО ЕТАПУ

У відповідності з описом технологічного процесу підтримка температури на регламентному рівні 150 – 420 °С забезпечить якісні показники продукту. Здійснення стабілізації заданого значення рівня температури найбільш доцільно виконувати за допомогою зміни подачі пару мазуту на вході в конденсатори другого етапу.

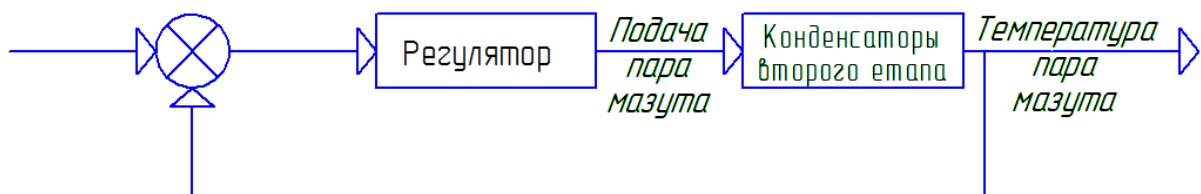


Рисунок 2.7 – Схема контура управління рівнем температури в конденсаторах другого етапу

### **3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ І АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ**

#### **3.1 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

Засоби автоматизації вибираються відносно до задач, які ставляться перед ними, а саме: умов їхньої експлуатації, функціонального призначення та параметрів узгодження різних рівнів управління. Для управління об'єктом використовується комплекс технічних засобів, до яких входять такі засоби автоматизації, як: давачі, виконуючі механізми, нормуючі та первинні перетворювачі, програмовані логічні контролери. Тому для розв'язання поставленої задачі по автоматизації були вибрані, відносно їхніх характеристик та експлуатаційним якостям, засоби автоматизації, що володіють необхідними якостями та надійністю роботи.

Нафтопереробна промисловість передбачає використання датчиків трьох типів: рівня, температури та тиску. Так, пристрої, що вимірюють температуру дозволяють стабілізувати технологічний процес, контролювати параметри, важливі для його ефективності та безпеки. Під контролем датчиків також працюють ректифікаційні колони, що дозволяє оптимізувати витрату енергії і гарантувати стабільну якість продукту.

Датчики використовуються як обладнання для автоматизації технологічних процесів. Пристрої оснащуються корпусом з нержавіючої сталі, що забезпечує їхню стійкість до впливу агресивних хімічних середовищ.

Багато моделей працюють як індуктивні безконтактні і можуть встановлюватися безпосередньо в ємність, на трубопровід або для контролю елементів запобіжної або запірної арматури.

Кожна модель має свій температурний діапазон і допустимий робочий тиск. Щодо датчиків рівня, то вони в обов'язковому порядку враховують специфічні характеристики рідин — їхню підвищену в'язкість, щільність і вибухонебезпечність. Для контролю рівня ємності зазвичай використовують моделі поплавкового типу.



### 3.1.1 Вибір датчиків для вимірювання температури:

#### а) HDT-500



Рисунок 3.1 – Датчик температури HDT-500

HDT-500 інтегрований температурний передавач вимірює температуру вимірюваного середовища, використовуючи опір платиного резистора як функцію температури. Продукт складається з трьох частин: датчика температури, схеми компенсації та конверсії. Він має переваги стабільної роботи, високої чутливості та високої надійності. Також даний температурний передавач має повністю зварену структуру активного різьблення та простий в установці. Він широко використовується в нафтовій техніці, хімічній техніці, насосах та компресорах, електричній енергії, котлах, природному газі та інших автоматизованих системах вимірювання температури та контролю.

#### Характеристики HDT-500:

- Діапазон вимірювань: -200 – 600 °C
- Джерело живлення: 24 В
- Вихідний сигнал: 4 – 20 мА
- Захист корпусу: IP65
- Похибка вимірювання: 0.5%

## б) Yokogawa YTA710



Рисунок 3.2 – Датчик температури YTA710

Прилад YTA710 являє собою високоточним вимірювальним перетворювачем температури, що приймає вхідні сигнали від термопар, термометрів опору, омичних або мілівольтних пристроїв постійного струму і перетворює їх для передачі у вигляді сигналу 4...20 мА постійного струму. YTA710 підтримує протоколи зв'язку HART, BRAIN та FOUNDATION Fieldbus. Прилад зі зв'язком HART сертифікований на відповідність до рівня SIL 2 вимог безпеки.

### Характеристики YTA710:

- Діапазон вимірювань: -200 – 850 °C
- Джерело живлення: 24 В
- Вихідний сигнал: 4 – 20 мА
- Захист корпусу: IP67
- Похибка вимірювання: 0.5%

Обидва датчики температури відповідають нашим вимогам і практично нічим не відрізняються один від одного. Однак YTA710 має більш широкий діапазон вимірювань, кращий захист корпусу і виробник завоював набагато більше довіри. Тож ми зупинимося на YTA710.

### 3.1.2 Вибір датчиків для вимірювання рівня:

## a) Rosemount 3300



Рисунок 3.3 – Датчик рівня Rosemount 3300

Рівномір Rosemount 3300 - надійне та економічне рішення для вимірювання рівня та межі розділу середовищ у рідких середовищах. Рівномір Rosemount 3300 не має частин, що рухаються, не вимагає калібрування і на нього практично не впливають умови процесу. Прилад дозволяє вимірювати рівень рідини та межу розділу середовищ та сигналізувати про досягнення верхнього/нижнього рівня. Рівнеміри 3300 застосовуються в багатьох галузях промисловості: хімічній та нафтохімічній, нафтогазовій, целюлозно-паперовій; фармацевтичній; харчової промисловості та виробництва напоїв; контролю питної води та стічних вод; енергетиці (греблі та гідро- та електростанції).

### Характеристики Rosemount 3300:

- Напруга живлення: від 16 до 42 В;
- Діапазон вимірюваних рівнів від 0,1 до 23,5 м;
- Вихідний сигнал: 4-20 мА;
- Похибка вимірювання до  $\pm 5$  мм;
- Виконання вибухозахищення Exd;
- Ступінь захисту від впливу пилу і води: IP66

## б) УЛМ-11А1

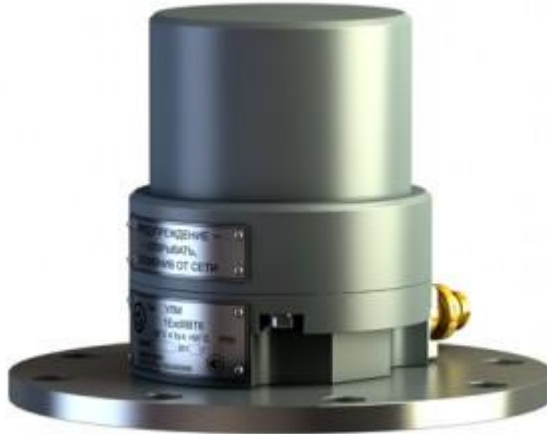


Рисунок 3.4 – Датчик рівня УЛМ-11А1

Безконтактний радарний рівнемір УЛМ-11А1 орієнтований на вирішення загальнотехнологічних завдань вимірювання рівня у різних резервуарах з рідкими продуктами та сипучими матеріалами. Завдяки відсутності контакту з вимірюваним продуктом рівнемір УЛМ-11А1 ідеально підходить для вимірювання рівня більшості як нейтральних, так і агресивних, вибухонебезпечних, харчових та високов'язких продуктів. Поєднує в собі оптимальну ціну, високу надійність та точність вимірів.

### Характеристики УЛМ-11А1:

- Напруга живлення: 24 В;
- Діапазон вимірюваних рівнів від 0,6 до 30 м;
- Вихідний сигнал: 4-20 мА;
- Похибка вимірювання до  $\pm 3$  мм;
- Виконання вибухозахищення Exd;
- Ступінь захисту від впливу пилу і води: IP65

Обидва датчики рівня відповідають нашим вимогам. Rosemount 3300 має краще захист і більш задовільний діапазон вимірювань, серед переваг УЛМ-11А1 можна виділити лише менший рівень похибки. Зупиняємось на Rosemount 3300.

### 3.1.3 Вибір датчиків для вимірювання тиску:

#### а) Yokogawa EJX530A



Рисунок 3.5 – Датчик тиску Yokogawa EJX530A

Високоєфективний датчик надлишкового тиску EJX530A містить монокристалічний кремнієвий чутливий резонансний елемент і може бути використаний для вимірювання тиску рідини, газу або пари. Його вихідний сигнал 4÷20 мА постійного струму відповідає величині тиску, що вимірюється. Датчик забезпечує швидкий відгук, дозволяє здійснювати дистанційний контроль та встановлення параметрів за допомогою цифрового зв'язку з BRAIN або HART-комунікатором, має в своєму розпорядженні функцію діагностики та додатковий вихід стану для сигналізацій по верхній/нижній межі тиску. Багатоточкова технологія вимірювання забезпечує розширену діагностику, що дозволяє виявляти такі порушення, як блокування імпульсної лінії або поломка теплотраси. Також можна використовувати протокол зв'язку по шині FOUNDATION Fieldbus та PROFIBUS PA.

#### Характеристики Yokogawa EJX530A:

- Діапазон вимірювання: від 0 до 10 МПа або від 0 до 2 МПа, залежно від комплектації;
- Вихідний сигнал: 4-20 мА;
- Допустима температура робочого середовища: від -40 до 120 °С;
- Допустима температура довкілля: від -40 до 85 °С;
- Напруга живлення: від 10,5 до 42 В;
- Виконання вибухозахищення: EExdIICT6;
- Виконання іскро безпеки: EExiaIICT5;
- Захист від впливу пилу та води: IP67.

## б) НМР 331



Рисунок 3.6 – Датчик тиску НМР 331

Високоточний сучасний перетворювач – датчик тиску НМР 331 інтелектуальний для технологічних процесів поєднує новітні досягнення мікропроцесорної електроніки та технології аналогових сенсорів. Датчик тиску НМР 331 призначений для безперервного перетворення вимірюваної величини – тиску (абсолютного або надлишкового) рідких та газоподібних (у тому числі газоподібного кисню та кисневмісних газових сумішей) середовищ (у тому числі агресивних) в уніфікований струмовий вихідний сигнал та цифровий сигнал на базі HART-протоколу.

### Характеристики НМР 331:

- Діапазон вимірювання: від 0,017 до 60 Мпа;
- Вихідний сигнал: 4-20 мА;
- Допустима температура робочого середовища: від -40 до 125 °С;
- Допустима температура довкілля: від -40 до 80 °С;
- Напруга живлення: від 12 до 36 В;
- Виконання вибухозахищення: ЕЕхdІІСТ5;
- Виконання іскро безпеки: ЕЕхіаІІСТ4;
- Захист від впливу пилу та води: ІР65.

Обидва датчики задовольняють наші потреби. ЕJX530А безпечніше та надійніше за всіма параметрами, а також набагато дешевше. НМР 331 має ширший діапазон вимірювань, проте діапазон влаштовує нас у обох датчиків. Виходячи з порівняння, очевидним вибором буде ЕJX530А.

### 3.1.4 Вибір датчиків для вимірювання витрат:

#### а) KROHNE H250 M40



Рисунок 3.7 – Датчик витрат KROHNE H250 M40

H250 M40 є стандартним ротаметром для технологічних процесів і сектору виробництва виробів для виробників комплектного обладнання. У ротаметрі вимірювання витрати рідин та газів механічним методом поєднується з високотехнологічними комунікаційними можливостями. Модульна концепція приладу передбачає можливість дооснащення. Можливе дооснащення додатковими модулями електроніки або їх заміна будь-коли без переривання технологічного процесу. Таким чином, його функціональне наповнення адаптується до нових вимог: від аналогового виміру витрати без додаткового електроживлення до цифрової інтеграції до шинної системи. H250 M40 виготовляється з різних матеріалів та доступний у різноманітних версіях. Міцний суцільнометалевий витратомір може застосовуватися в умовах високого тиску, високих температур або для агресивних робочих середовищ.

#### Характеристики KROHNE H250 M40:

- Діапазон вимірювань: 0,01 – 120 м<sup>3</sup>/г
- Клас точності: 1,6 та 2,5
- Робоча температура: від -200 до +300 °С
- Максимальний робочий тиск: 1000 бар
- Вихідний сигнал: 4 – 20 мА
- Клас захисту: IP65

## б) Yokogawa RAMC



Рисунок 3.8 – Датчик витрат Yokogawa RAMC

Ротаметр із малим ходом використовується для вимірювання витрати рідин та газів. Його спеціальним призначенням є робота у турбулізованих, каламутних чи агресивних середовищах. Прилад встановлюється на трубопроводі вертикально з напрямком потоку знизу-вгору. У конічній металевій трубці особливої форми знаходиться поплавець, що здійснює концентричні рухи. Позиція поплавця магнітним способом передається на індикатор.

### Характеристики Yokogawa RAMC:

- Діапазон вимірювань: 0,0025 – 130 м<sup>3</sup>/г
- Клас точності: 1,6 та 2,5
- Робоча температура: -200 – 370 °C
- Максимальний робочий тиск: 700 бар
- Вихідний сигнал: 4 – 20 мА
- Клас захисту: IP67

Обидва датчики відповідають нашим вимогам. Серед переваг Yokogawa RAMC можна виділити ширший діапазон обчислень та робочої температури, а також більш надійний захист. KROHNE H250 M40 може похвалитися вищим максимальним робочим тиском. Ми можемо взяти будь-який з цих датчиків, однак оскільки ми вже вибирали датчики виробництва Yokogawa, зробимо це і цього разу.



### 3.1.5 Вибір ПЛК:

Контролер вибираємо по наступним критеріям: забезпечення необхідної швидкодії, достатній обсяг пам'яті, можливість узгодження з АРМ, простота налаштування і експлуатації, а також з огляду на кількість входів і виходів, їх вид. Таким чином, для управління технологічним процесом можливе використання наступних контролерів:

#### а) ОВЕН ПЛК150



Рисунок 3.9 – Контролер ОВЕН ПЛК150

ОВЕН ПЛК150 – моноблочний програмований логічний контролер з дискретними та аналоговими входами/виходами. Здійснює вимірювання вхідних аналогових та дискретних сигналів, формує аналогові та цифрові керуючі сигнали. Призначений для побудови систем керування малими та середніми об'єктами автоматизації, а також створення систем диспетчеризації.

#### Особливості контролеру ПЛК150:

- Компактний пластиковий корпус із кріпленням для монтажу на DIN-рейку.
- Наявність дискретних входів/виходів.
- Наявність аналогових входів/виходів.
- Послідовні порти обміну даними RS-485 та RS-232.
- Наявність порту Ethernet.
- Збільшення кількості дискретних та аналогових входів та виходів здійснюється за допомогою підключення зовнішніх модулів вводу/виводу через будь-який з інтегрованих інтерфейсів.
- Відсутність операційної системи, що підвищує надійність роботи контролера.

- Швидкість спрацьовування дискретних входів досягає 10 кГц (при використанні підмодулів лічильника).
- Підтримується робота із широким спектром аналогових датчиків, включаючи термопари.
- Незалежні один від одного інтерфейси на борту: Ethernet, послідовні порти, USB Device (для програмування пристрою).
- Розширений робочий діапазон температур довкілля: від  $-20$  до  $+70$   $^{\circ}\text{C}$ .
- Вбудована акумуляторна батарея, що забезпечує резервне живлення для коректного збереження даних при раптовому зникненні напруги живлення. Під час роботи від батареї запускається алгоритм, що переводить вихідні елементи в безпечний стан.
- Вбудований годинник реального часу, що працює від батареї.
- Можлива робота з нестандартними протоколами обміну даними по кожному з портів, що дає можливість підключати до контролера лічильники електрики, води та газу, зчитувачі штрих-кодів тощо.

#### б) VIPA SYSTEM 200V



Рисунок 3.10 – Контролер VIPA SYSTEM 200V

System 200V - модульний ПЛК, призначений для реалізації централізованих і розподілених систем керування. Програмується за допомогою WinPLC та/або STEP7 компанії Siemens. Компактна конструкція та підтримка системи команд Simatic S7-300 забезпечують високу ефективність застосування пристроїв цієї серії. Наявність у складі серії різних інтерфейсних та комунікаційних модулів дозволяє використовувати контролери у розподілених системах керування з комплексною мережевою структурою.

Широкий набір модулів розширення забезпечує вирішення за допомогою обладнання System 200V практично будь-яких завдань автоматичного керування малого та середнього рівня складності.

Особливості контролера System 200V:

- Вбудована робоча пам'ять
- Вбудована завантажувальна пам'ять для тривалого зберігання програм та даних – робота без додаткової картки пам'яті
- Вбудована ОЗУ з резервним живленням від акумулятора
- Підтримка стандартних карт MMC для зберігання програм та даних
- Вбудований порт MPI
- Вбудований порт Ethernet з підтримкою протоколів ISO on TCP, TCP/IP, UDP, RFC1006 та Modbus TCP
- Підтримка промислових мереж PROFIBUS DP, CANopen, DeviceNet, INTERBUS, Modbus TCP
- Можливість застосування у складі централізованих та розподілених систем керування
- Модульна конструкція
- Невелика кількість каналів у сигнальних модулях
- Можливість підключення до ЦПП до 32 модулів розширення в один ряд

Обидва контролери добре вписуються за вимогами, щоб визначитися з вибором необхідно зробити порівняльну таблицю характеристик:

Таблиця 3.1 – Порівняння контролерів

<b>Характеристика</b>	<b>ОВЕН ПЛК150</b>	<b>VIPA SYSTEM 200V</b>
Обсяг пам'яті	8 Мб	128 Кб
Кількість дискретних входів/виходів	6/4	12/12
Кількість аналогових входів/виходів	4/2	8/8
Інтерфейси	Ethernet 100 Base-T, RS-232, RS-485	MPI
Протоколи	ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON, ModBus-TCP, GateWay (протокол CODESYS)	Profibus DP Slave

Кожен із контролерів має свої недоліки та переваги перед один одним. ПЛК150, не дивлячись на меншу кількість входів/виходів, виглядає краще за свого конкурента, а знаючи, що у нас є можливість використання додаткових модулів введення/виведення аналогових і дискретних сигналів, ми з упевненістю вибираємо ПЛК150 для нашої системи.

Додатково до нашого контролеру нам потрібні: модуль вводу аналогових сигналів ОВЕН МВ110-8А, модуль виводу аналогових сигналів ОВЕН МВ110-6У та модуль виводу дискретних сигналів ОВЕН МВ110-16Р.

## 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Досліджуваний об'єкт – теплообмінники 1-3, а саме їх забезпечення підтримки рівня температури нафти в діапазоні 170 – 175 °С.

Мета – отримати перехідний процес з наступними показниками:

- Час перехідного процесу: 150 с;
- Перерегулювання: 30 %.

### 4.1 Отримання математичного опису об'єкта управління

При подачі на вхід одиничного ступінчастого сигналу отримаємо криву розгону такого вигляду (рис. 4.1):

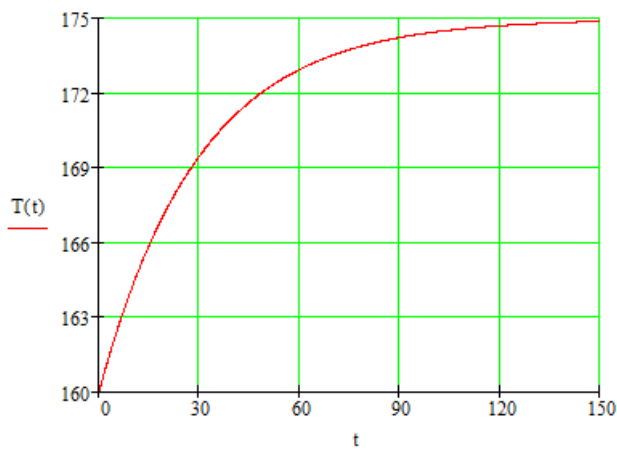


Рисунок 4.1 – Крива розгону об'єкта управління

Виконуємо нормування даної кривої розгону. Для цього кожне значення вихідної величини ділимо на 174,9 (рис. 4.2):

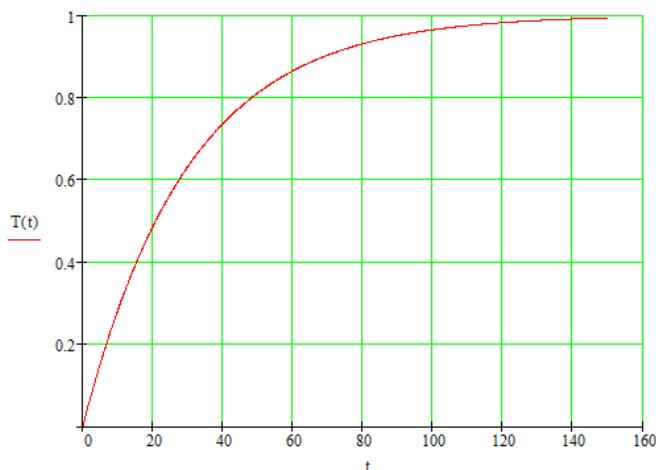


Рисунок 4.2 – Нормована крива розгону об'єкта управління

Для визначення передаточної функції скористаємося методом Орманса. Завдяки цьому методу можливо визначити дві домінуючі постійні об'єкта управління відповідно до кривої розгону:

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

Визначення передаточної функції відбувається наступним чином:

- 1) З нормованої кривої розгону визначаємо час, що відповідає значенню  $h = 0,7$  і позначаємо його  $t_7$ . З графіка цей час дорівнює 36,5 секунд.
- 2) Отриману величину інтервалу ділимо на три частини. Піднімаємо перпендикуляр до кривої розгону і визначаємо величину  $h_{H4}$ . Відповідно до нашого графіка  $h_{H4} = 0,33$  (рис. 4.3).
- 3) Аналітично доведено зв'язок між точками кривої розгону і параметрами моделі, а саме  $t_7 = 1,2 * (T_1 + T_2)$ .

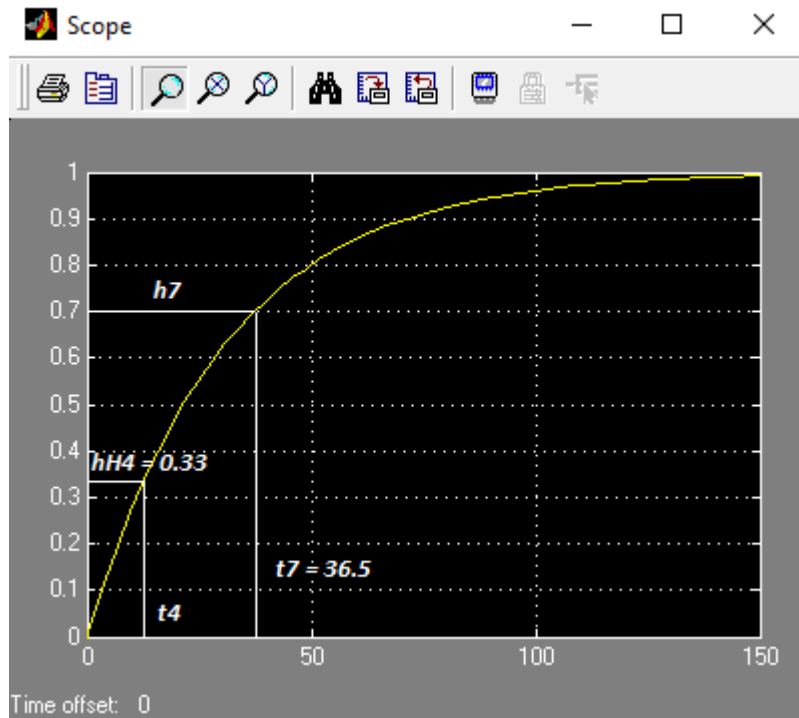


Рисунок 4.3 – Крива розгону з необхідними побудовами

- 4) Для визначення постійних часу об'єкта управління використовується допоміжна величина  $Z^2$ , яку знаходять по номограмі (рис 4.4):

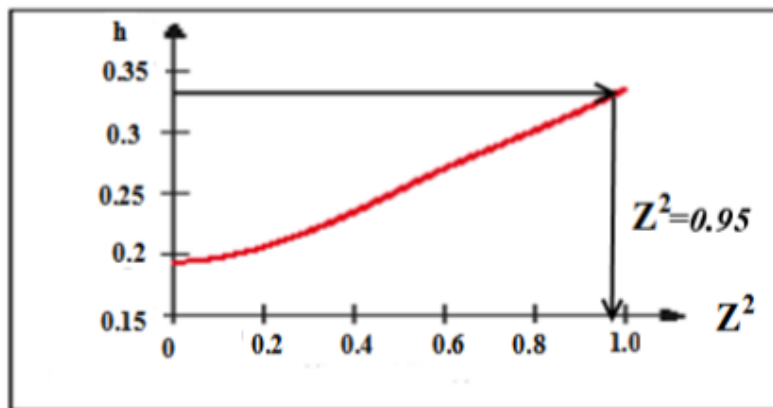


Рисунок 4.4 – Номограма для визначення величини  $Z^2$

- 5) Для визначення постійних часу об'єкта управління  $T_1$  і  $T_2$  використовуються наступні формули:

$$T_1 = \frac{t_7}{2.4}(1+z) \quad T_2 = \frac{t_7}{2.4}(1-z)$$

$$T_1 = 30 \quad T_2 = 0.7$$

- 6) Так як  $T_1 \gg T_2$  можемо перейти до моделі першого порядку:

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{1+Tp}$$

- 7) Результуюча передаточна функція має наступний вигляд:

$$W(p) = \frac{1}{30p + 1}$$

## 4.2 Перевірка адекватності моделі критерієм Фішера

Відповідно до цього методу необхідно весь інтервал часу поділити на 10 частин і потім визначити  $Y_{\text{експ}}$  і  $Y_{\text{мод}}$ . Ці значення записані до таблиці 1.

Таблиця 4.1 – Значення, отримані з перехідних характеристик

$Y_{\text{експ}}$	0.36	0.61	0.76	0.85	0.9	0.95	0.96	0.97	0.99	1
$Y_{\text{мод}}$	0.38	0.63	0.78	0.86	0.92	0.96	0.97	0.98	0.99	1
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Оцінка дисперсії визначається за наступною формулою (всі розрахунки проведено в математичному пакеті MathCad):

$$Y_e := \begin{pmatrix} 0.36 \\ 0.61 \\ 0.76 \\ 0.85 \\ 0.9 \\ 0.95 \\ 0.96 \\ 0.97 \\ 0.99 \\ 1 \end{pmatrix} \quad Y_m := \begin{pmatrix} 0.38 \\ 0.63 \\ 0.78 \\ 0.86 \\ 0.92 \\ 0.96 \\ 0.97 \\ 0.98 \\ 0.99 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$Seks := \frac{1}{9} \sum_{i=0}^9 (Y_{e_i} - 0.835)^2 \quad Smod := \frac{1}{9} \sum_{i=0}^9 (Y_{m_i} - 0.847)^2$$

$$Seks = 0.043 \quad Smod = 0.041$$

$$F := \frac{Seks}{Smod}$$


---


$$F = 1.055$$

Згідно таблиці Фішера для  $f_1 = 10$ ,  $f_2 = 10$  визначаємо критерій Фішера. Для даних значень він дорівнює 2,98.

Так як згідно таблиці Фішера отриманий критерій менше ніж критерій по таблиці ( $1,055 < 2,98$ ) можна вважати, що дана модель адекватна.

### 4.3 Вибір регулятора та його параметрів налаштування

Збираємо схему регулювання за допомогою математичного пакету MATLAB (рис 4.5):

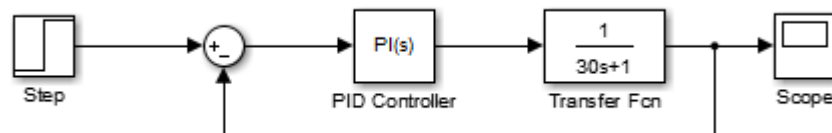


Рисунок 4.5 – Схема для моделювання

Вибирати будемо між промисловими ПІ, ПІД – регуляторами, головними критеріями при виборі будуть час регулювання та перерегулювання. В кінці буде приведена таблиця з параметрами всіх регуляторів, за допомогою якої ми оберемо найоптимальніший варіант. Підбір параметрів регулювання проводиться переміщенням необхідного повзунка.



### 4.3.1 Безперервний паралельний ПІ-регулятор

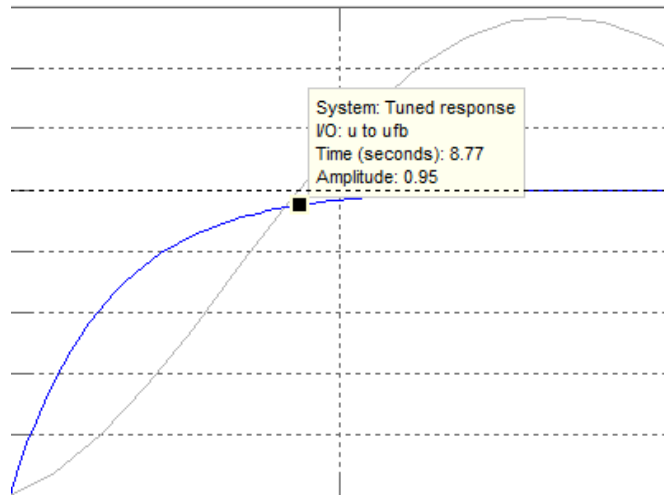


Рисунок 4.6 – Результати моделювання безперервного паралельного ПІ-регулятора

#### Controller parameters

Proportional (P): 10.2486746295305

Integral (I): 0.341622487651015

Рисунок 4.7 – Налаштування безперервного паралельного ПІ-регулятора

В результаті налаштування отримали: коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора  $P = 10,249$ ; інтегральний коефіцієнт  $I = 0,342$ ; перерегулювання  $\sigma = 0\%$ ; час перехідного процесу  $t_{\text{пр}} = 8,77$  с.

### 4.3.2 Безперервний ідеальний ПІ-регулятор

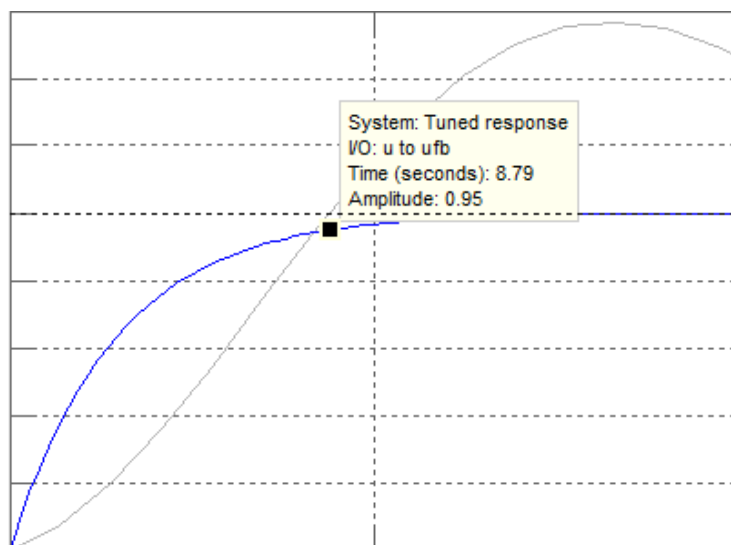


Рисунок 4.8 – Результати моделювання безперервного ідеального ПІ-регулятора

Controller parameters	
Proportional (P):	10.2486746295305
Integral (I):	0.0333333333333333

Рисунок 4.9 – Налаштування безперервного ідеального ПІ-регулятора

В результаті налаштування отримали: коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора  $P = 10,249$ ; інтегральний коефіцієнт  $I = 0,033$ ; перерегулювання  $\sigma = 0\%$ ; час перехідного процесу  $t_{\text{пр}} = 8,79$  с.

### 4.3.3 Дискретний паралельний ПІ-регулятор

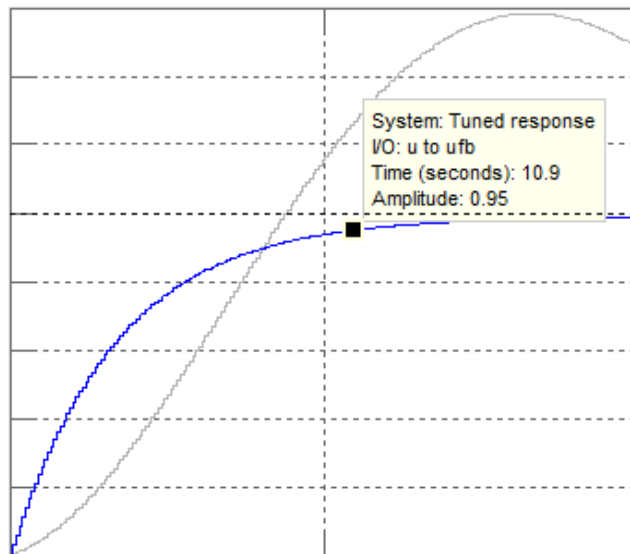


Рисунок 4.10 – Результати моделювання дискретного паралельного ПІ-регулятора

Controller parameters	
Proportional (P):	8.74658771316462
Integral (I):	0.253801409818202

Рисунок 4.11 – Налаштування дискретного паралельного ПІ-регулятора

В результаті налаштування отримали: коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора  $P = 8,747$ ; інтегральний коефіцієнт  $I = 0,254$ ; перерегулювання  $\sigma = 0\%$ ; час перехідного процесу  $t_{\text{пр}} = 10,9$  с.

#### 4.3.4 Дискретний ідеальний ПІ-регулятор

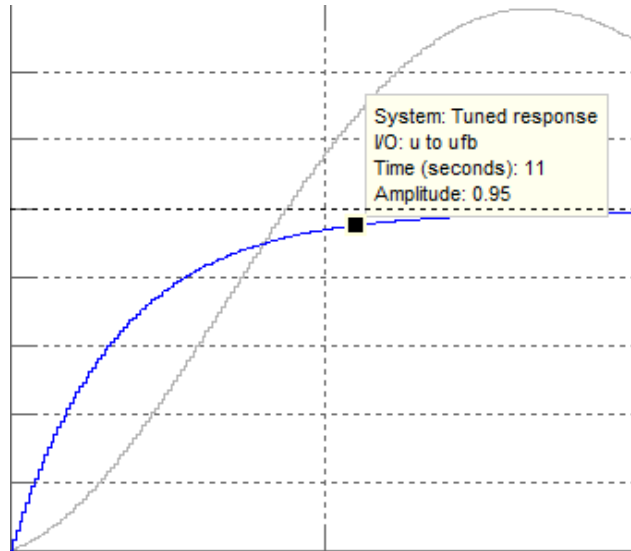


Рисунок 4.12 – Результати моделювання дискретного ідеального ПІ-регулятора

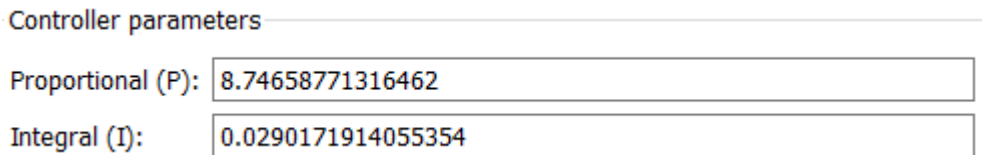


Рисунок 4.13 – Налаштування дискретного ідеального ПІ-регулятора

В результаті налаштування отримали: коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора  $P = 8,747$ ; інтегральний коефіцієнт  $I = 0,029$ ; перерегулювання  $\sigma = 0\%$ ; час перехідного процесу  $t_{\text{пр}} = 11$  с.

#### 4.3.5 Безперервний ідеальний ПІД-регулятор

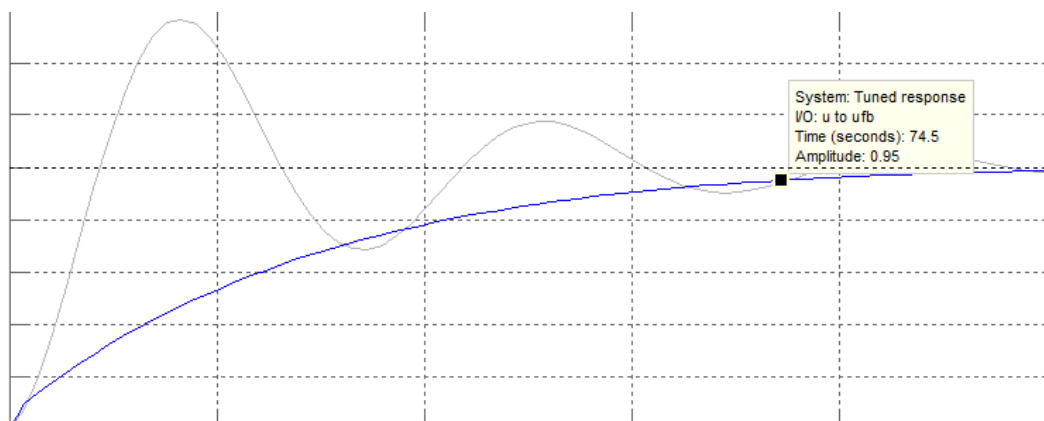


Рисунок 4.14 – Результати моделювання безперервного ідеального ПІД-регулятора

Controller parameters	
Proportional (P):	1.12320816697767
Integral (I):	0.0353946037254857
Derivative (D):	1.45782941060027

Рисунок 4.15 – Налаштування безперервного ідеального ПД-регулятора

В результаті налаштування отримали: коефіцієнт підсилення ПД-регулятора  $P = 1,123$ ; інтегральний коефіцієнт  $I = 0,035$ ; час диференціювання  $D = 1,457$ ; перерегулювання  $\sigma = 0\%$ ; час перехідного процесу  $t_{\text{пр}} = 74,5$  с.

#### 4.3.6 Безперервний паралельний ПД-регулятор

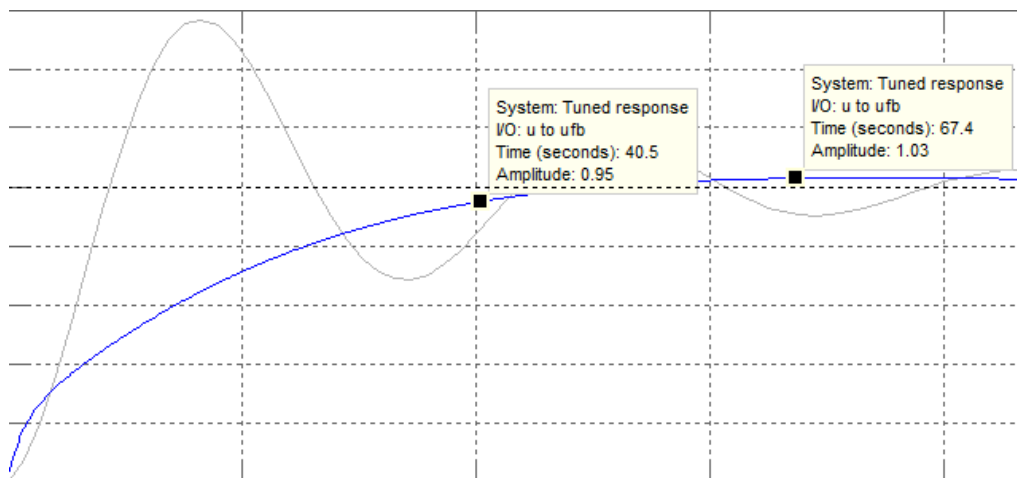


Рисунок 4.16 – Результати моделювання безперервного паралельного ПД-регулятора

Controller parameters	
Proportional (P):	1.74733681692433
Integral (I):	0.0803404280636384
Derivative (D):	6.00484476284847

Рисунок 4.17 – Налаштування безперервного паралельного ПД-регулятора

В результаті налаштування отримали: коефіцієнт підсилення ПД-регулятора  $P = 1,747$ ; інтегральний коефіцієнт  $I = 0,08$ ; час диференціювання  $D = 6,004$ ; перерегулювання  $\sigma = 3\%$ ; час перехідного процесу  $t_{\text{пр}} = 40,5$  с.

#### 4.3.7 Дискретний паралельний ПД-регулятор

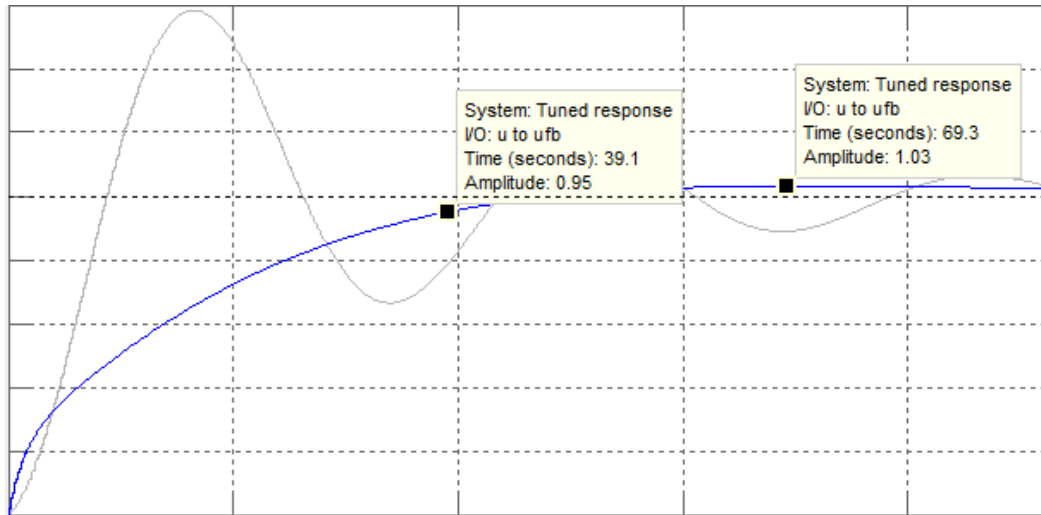


Рисунок 4.18 – Результати моделювання дискретного паралельного ПІД-регулятора

Controller parameters

Proportional (P):	1.8029670170839
Integral (I):	0.0839437583404803
Derivative (D):	6.28332428460711

Рисунок 4.19 – Налаштування дискретного паралельного ПІД-регулятора

В результаті налаштування отримали: коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора  $P = 1,803$ ; інтегральний коефіцієнт  $I = 0,084$ ; час диференціювання  $D = 6,283$ ; перерегулювання  $\sigma = 3\%$ ; час перехідного процесу  $t_{\text{пп}} = 39,1$  с.

#### 4.3.8 Дискретний ідеальний ПІД-регулятор

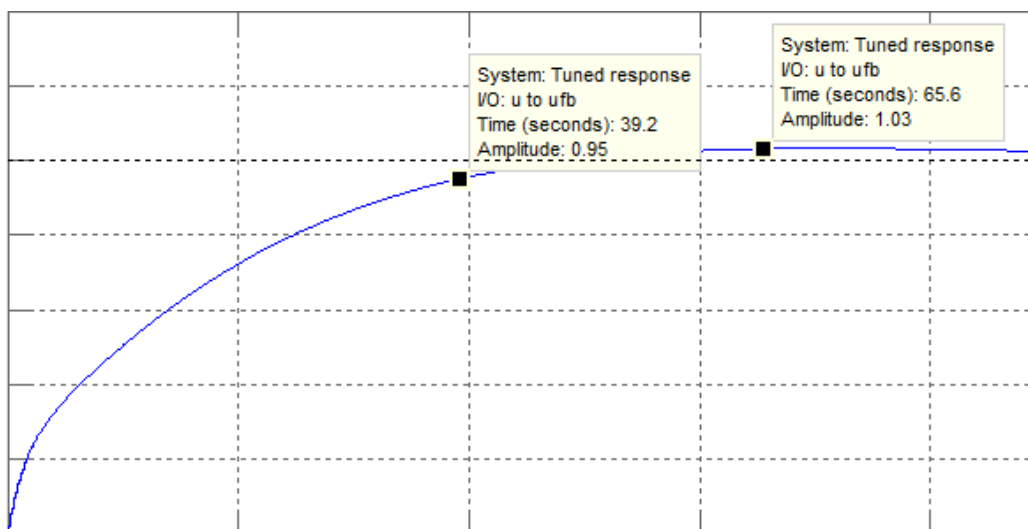


Рисунок 4.20 – Результати моделювання дискретного ідеального ПІД-регулятора

Controller parameters	
Proportional (P):	1.8029670170839
Integral (I):	0.0465586766397147
Derivative (D):	3.4849912533451

Рисунок 4.21 – Налаштування дискретного ідеального ПІД-регулятора

В результаті налаштування отримали: коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора  $P = 1,803$ ; інтегральний коефіцієнт  $I = 0,046$ ; час диференціювання  $D = 3,484$ ; перерегулювання  $\sigma = 3\%$ ; час перехідного процесу  $t_{\text{пп}} = 39,2$  с.

Таблиця 4.1 – Результати регулювання

Регулятор	P	I	D	$\sigma$	$t_{\text{пп}}$
Безперервний паралельний ПІ-регулятор	10,249	0,342	-	0%	8,77
Безперервний ідеальний ПІ-регулятор	10,249	0,033	-	0%	8,79
Дискретний паралельний ПІ-регулятор	8,747	0,254	-	0%	10,9
Дискретний ідеальний ПІ-регулятор	8,747	0,029	-	0%	11
Безперервний ідеальний ПІД-регулятор	1,123	0,035	1,457	0%	74,5
Безперервний паралельний ПІД-регулятор	1,747	0,08	6,004	3%	40,5
Дискретний паралельний ПІД-регулятор	1,803	0,084	6,283	3%	39,1
Дискретний ідеальний ПІД-регулятор	1,803	0,046	3,484	3%	39,2

Проаналізувавши таблицю 4.1 можемо зробити висновок, що безперервний паралельний ПІ-регулятор має самі оптимальні показники серед всіх регуляторів та повністю задовольняє нашим вимогам.

## **ВИСНОВОК**

У ході даної бакалаврської роботи було досліджено та розроблено систему управління атмосферно-вакуумної установки для перегонки нафти. Також були розроблені контури управління, функціональна та електрична схеми. Обрані сумісні з системою та робочим середовищем датчики, ПЛК з модулями аналогових та дискретних сигналів. За допомогою розрахункової частини обрано регулятор та отримано перехідний процес з задовільними для нас показниками.

Підвищення якості продукції, пришвидшення технологічного процесу та зведення кількості працівників до мінімуму, все це – результат використання сучасних методів управління та засобів автоматизації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів / укладачі: В. Д. Черв'яков, О.Ю. Журавльов, І.В. Щокотова. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 69с.
2. Методичні вказівки з оформлення графічної частини конструкторської документації проектів автоматизації. Структурні, функціональні та принципові схеми / укладач О.Ю. Журавльов. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – 48с
3. Оборудование подготовки и переработки нефти и газа [Текст]: учебное пособие для студентов. Л. В. Таранова, А. Г. Мозырев; ТюмГНГУ. - ТюмГНГУ, 2014. – 236с.
4. Общая химическая технология, Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г., 1990. – 464с.
5. Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. Л.: Недра, 2017. – 263с.
6. Проектирование и эксплуатация нефтебаз: Учебник для вузов, С.Г. Едигаров, В.М. Михайлов, А.Д. Прохоров, В.А. Юфин – М.: Недра, 2017. – 135с.
7. Шишкин Г.В. Довідник по проектуванню нафтобаз. – Л.: Недра, 2018. – 201с.
8. Відомості про датчик температури HDT-500. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://trade-control.com.ua/ua/products/huadia-hdt500>
9. Відомості про датчик температури Yokogawa YTA710. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://trade-control.com.ua/ua/products/yokogawa-yta710>
10. Відомості про датчик рівня Rosemount 3300. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://trade-control.com.ua/ua/products/rosemount-3300>
11. Відомості про датчик рівня УЛМ-11А1. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.limaco.ru/ru/production/101/164/>
12. Відомості про датчик тиску Yokogawa EJX530A. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://trade-control.com.ua/ua/products/yokogawa-ejx530a>
13. Відомості про датчик тиску HMP 331. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://geonorma.com.ua/p1059048-hmp-331-datchik.html>
14. Відомості про датчик витрат KROHNE H250 M40. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ua.krohne.com/ru/pribory/izmereniya-raskhoda/raskhodometry/rotametry/h250-m40/>
15. Відомості про датчик витрат Yokogawa RAMC. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://vodomer.com.ua/shop/metallicheskie-rotametry-serii-ramc/>



16. Відомості про ПЛК ОВЕН ПЛК150. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://owen.ua/ru/programmiruemye-logicheskie-kontrollery/programmiruemyj-logicheskij-kontroller-oven-plk150>
17. Відомості про ПЛК VIPA SYSTEM 200V. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://vipa.com.ua/products/control-systems/200v.html>