Міністерство освіти і науки України
Шосткинський інститут
Сумського державного університету
Центр дистанційної і заочної форми навчання
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій
Спеціальність 6.151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри
_____ Худолей Г.М.
«__»_____2022 р.

Бакалаврська робота на тему:

# «Система управління технологічним процесом виробництва 2-нафтилгідразину»

Керівник роботи:
( старший викладач, к.т.н.) Худолей Г. М.

Бакалаврант:
студент групи СУз-81Ш Малоїд Ю. О.

Шостка – 2022 р.

# РЕФЕРАТ

Малоїд Юрій Олександрович. Система управління технологічним процесом виробництва 2-нафтилгідразина. Кваліфікаційна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямом 6.151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» –. Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка, 2022 р.

Бакалаврська робота містить 55 аркушів пояснювальної записки, 30 рисунків, 14 таблиць, 43 джерела інформації, конструкторську документацію, яка містить 3 креслення.

В бакалаврській роботі виконана розробка системи управління технологічним процесом виробництва 2-нафтилгідразина. Проведений аналіз технологічного процесу, обрані канали управління, зроблено вибір засобів автоматизації, а саме, датчиків, виконавчих механізмів, засобів сигналізації і контролера. Також були розроблені функціональна схема автоматизації, електрична схема зовнішніх з'єднань і алгоритм роботи системи, модель об'єкта управління температурою у реакторі поз.6, отримана його передатна функція.

Проведені розрахунки контуру управління температурою у реакторі поз.6. Обраний закон регулювання та визначені оптимальні параметри регулятора.

Ключові слова: система управління, автоматизація виробництва, параметр дії, параметр управління, аналоговий сигнал, дискретний сигнал, вузол управління, мікропроцесорний контролер.

# РЕФЕРАТ

Малоид Юрий Александрович. Система управления технологическим процессом производства 2-нафтилгидразина. Квалификационная работа образовательно-квалификационного уровня «бакалавр» по направлению 6.151 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии»-. Шосткинский институт Сумского государственного университета, Шостка, 2022 г.

Бакалаврская работа содержит 55 листов пояснительной записки, 30 рисунков, 14 таблиц, 43 источника информации, конструкторскую документацию, содержащую 3 чертежа.

В бакалаврской работе выполнена разработка системы управления технологическим процессом производства 2-нафтилгидразина. Выполнен анализ технологического процесса, выбраны каналы управления, сделан выбор средств автоматизации, а именно, датчиков, исполнительных механизмов и контроллера. Также были разработаны функциональная схема автоматизации, электрическая схема внешних соединений и алгоритм работы системы, модель объекта управления, получена его передаточная функция.

Проведены расчеты контура управления температурой в реакторе поз.6. Выбран закон регулирования и определены оптимальные параметры регулятора.

Ключевые слова: система управления, автоматизация производства, параметр воздействия, параметр управления, аналоговый сигнал, дискретный сигнал, узел управления, микропроцессорный контроллер

SUMMARY

Maloid Yuriy Oleksandrovych. Process control system for 2-naphthylhydrazine production. Qualification work of educational and qualification level "bachelor" in the direction 6.151 "Automation and computer-integrated technologies"- Shostka Institute of the Sumy State University, Shostka, 2022.

The bachelor's work contains 55 sheets of an explanatory note, 30 figures, 14 tables, 43 sources of information, design documentation containing 3 drawings.

In the bachelor's work, the development of a technological process control system for the production of 2-naphthylhydrazine was carried out. The analysis of the technological process is carried out, the control channels are selected, the choice of automation tools is made, namely, sensors, actuators and a controller. Also, a functional diagram of automation, an electrical diagram of external connections and an algorithm for the operation of the system, a model of a control object were developed, its transfer function was obtained.

Calculations of the temperature control loop in the reactor pos. 6 have been carried out. The regulation law was chosen and the optimal parameters of the regulator were determined.

Keywords: control system, production automation, impact parameter, control parameter, analog signal, discrete signal, control unit, microprocessor controller.

**ЗМІСТ**

Список скорочень ... 3
Вступ ... 4
1 Конструктивно-технологічний аналіз об’єкта автоматизації ... 5
2 Дослідження матеріальних потоків у технологічному процесі, побудова схеми інформаційних потоків ... 8
3 Вибір параметрів контролю, регулювання та сигналізації ... 10
4 Вибір каналів внесення регулюючих дій ... 12
5 Вибір засобів автоматизації ... 19
5.1 Вибір датчиків ... 19
5.2 Вибір регулюючих органів ... 23
5.3 Вибір виконавчих механізмів ... 31
5.4 Вибір контролера ... 31
5.5 Вибір інтерфейсу ... 36
6 Вибір топології системи і розробка структурної схеми ... 39
7 Розрахункова частина ... 42
7.1 Побудова математичної моделі системи управління ... 42
7.2 Вибір закону регулювання регулятора і його розрахунок ... 44
7.3 Вибір фільтра ... 47
7.4 Моделювання контуру управління ... 48
8 Алгоритм роботи системи управління ... 50
Висновок ... 52
Література ... 53

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце.

АСУ – автоматизована система управління.

АСУП – автоматизована система управління підприємством.

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом.

АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

ВМ – виконавчий механізм.

ГДК – гранично-допустима концентрація.

КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика.

МЕК – міжнародна електротехнічна комісія.

МК – мікроконтролер.

ММ – математична модель.

МП – мікропроцесор.

ОЗП – оперативний пристрій, що запам'ятовує.

ОУ – об'єкт управління.

П – пропорційний.

ПІ – пропорційно-інтегральний.

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференційний.

ПВП – первинний вимірювальний перетворювач.

ПЗП – постійний пристрій, що запам'ятовує.

ПК – персональний комп’ютер.

ПЕВМ – персональна електронно-обчислювальна машина.

ПК – персональний комп'ютер.

ПЛК – програмований логічний контролер.

РКІ – рідкокристалічний індикатор.

РО — регулюючий орган.

САР – система автоматичного регулювання.

САУ — система автоматичного управління.

ТП — технологічний процес.

# ВСТУП

Автоматизація технологічних процесів є одним з вирішальних факторів підвищення продуктивності і поліпшення умов праці.

Автоматизація призводить до поліпшення основних показників ефективності виробництва: збільшення кількості, поліпшення якості та зниження собівартості продукції, підвищення продуктивності праці. Впровадження автоматичних пристроїв забезпечує високу якість продукції, скорочення шлюбів і відходів, зменшення витрат сировини і енергії, зменшення чисельності основних робітників. Також впровадження спеціальних автоматичних пристроїв сприяє безаварійної роботи устаткування, виключає випадки травматизму, попереджає забруднення навколишнього середовища.

Комплексна автоматизація виробництв хімічної промисловості передбачає не тільки автоматичне забезпечення нормального перебігу процесів з використанням різних автоматичних пристроїв (контролю, регулювання, сигналізації), а й автоматичне керування пуском і зупинкою апаратів для ремонтних робіт і в критичних ситуаціях.

Завдання, які вирішуються при автоматизації сучасних хімічних виробництв, дуже складні. В останні роки широке застосування знаходять системи автоматичного регулювання (САР) забезпечують максимальний позитивний ефект функціонування технологічного об'єкта при мінімальних витратах сировини, енергії і т. і.

Завданням цієї роботи є розробка системи управління технологічним процесом виробництва 2-нафтілгідразіна. Це завдання вирішується за допомогою впровадження сучасних засобів автоматизації, а також мікропроцесорної техніки, яка дає можливість контролювати технологічний процес з великою точністю.

Основний зміст роботи викладено у семи розділах, де виконано аналіз технологічного процесу, зроблено вибір засобів автоматизації, розроблений алгоритм роботи системи управління виробництвом, розроблена функціональна схема автоматизації, алгоритм роботи системи, а також схема зовнішніх з'єднань.

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Хімізм процесу виробництва [1]

Свіжоотриманий 2-нафтилгідразин є світло-жовтим кристалічним порошком, швидко темніє на повітрі з утворенням продукту червоно-коричневого кольору, призначений для застосування в органічному синтезі. Температура плавлення 122-126 °С

Важко розчинний у гарячій воді, ефірі, легко розчинний в гарячому етанолі, метанолі, бензолі, хлороформі.

Формула: $C_{10}H_{10}N$.

Процес отримання 2-нафтилгідразина заснований на реакції взаємодії 2-нафтол з гідразин-гідратом, виділенням технологічного продукту і перекристалізацією його з метанолу.

1.2 Опис технологічного процесу [1]

В апарат поз.6 рис. 1.1 через мірник поз.2 завантажується за допомогою вакууму 200 л (206 кг) гідразин-гідрату. Потім при перемішуванні в апарат поз.6 завантажується 150 кг β-нафтол за допомогою вагового дозатора поз.5. Далі подається охолоджуюча вода на холодильник поз.1 і пар в сорочку апарату поз.6.

Потім вміст апарату поз.6 нагрівається до температури (112-115) °С. Далі робиться витримка реакційної маси при цій температурі протягом 10 годин.

Далі в реактор поз.7 завантажується через мірник поз.3 1200 л профільтрованої артезіанської води. Потім при перемішуванні реакційну масу в кількості 320 л з апарату поз.6 зливають в апарат поз.7.

Припиняється надходження охолоджувальної води на холодильник поз.1 і надходження пари в сорочку апарату поз.6.

Потім виконується фугування і промивка продукту артезіанською водою на центрифузі поз.8. Після заповнення кошика центрифуги поз.8 продуктом, проводять промивання продукту водою, яка подається з лінії артезіанської води. При цьому лужність продукту (в перерахунку на NaOH) досягає показника (0,2-0,5) pH. Якщо лужність менша або більша (0,2-0,5) pH, то продукт може розкластися.

Перекристалізація 2-нафтилгідразину.

В апарат поз.10 завантажується за допомогою вакууму через мірник поз. 4 1200 л метанолу. Потім при перемішуванні в апарат поз.10 завантажується 300 л 2- нафтилгідразину технічного і за допомогою вагового дозатора поз.9 завантажується 1,5 кг вугілля активованого. Далі подається пара в сорочку апарату поз.10.

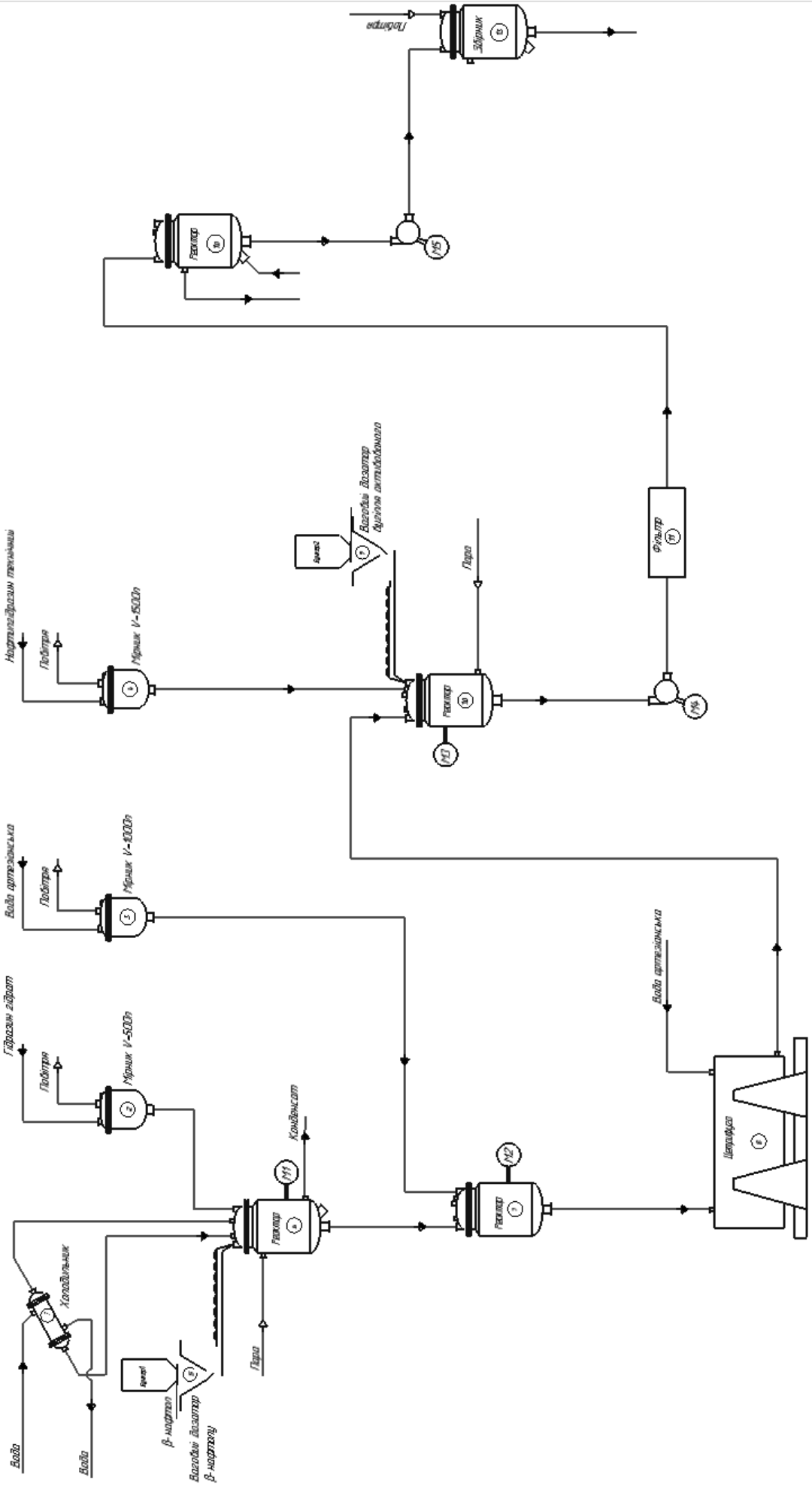


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва 2-нафтилгідразину

Потім реакційна маса нагрівається до температури (58-60) °С і проводиться витримка при цій температурі протягом 30 хвилин.

Далі подається охолоджуюча вода на апарат поз.12 і проводиться завантаження реакційної маси за допомогою вакууму через фільтр поз.11 в апарат поз.12 в кількості 1500 л.

Далі реакційну масу апарату поз.12 при перемішуванні охолоджують до температури (15-20) °С і витримують при цій температурі протягом 1,5 години.

Охолоджена маса через нижній спуск апарату поз. 12 зливається в збірник поз.13 і потім відправляється на сушку і фасування. Вихід сухого продукту становить 240-260 кг.

# 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ, ПОБУДОВА СХЕМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ

Будь-який технологічний процес виробництва характеризується рядом основних і допоміжних матеріальних і енергетичних потоків, які визначають кількісні і якісні показники технологічного процесу та відповідні показники готової продукції. Зважаючи на те, що якісні показники продукції в режимі реального часу контролювати не завжди можна, їхні значення досягаються шляхом підтримання показників матеріальних потоків і параметрів середовища обробки (реакцій) матеріалів (реагентів). Тому для наочного уявлення матеріальних, енергетичних потоків і пов’язаних з ними інформаційних потоків між складовими в технологічному процесі виробництва 2-нафтілгідразіну має істотне значення схема матеріально- інформаційних потоків (рис. 2.1).

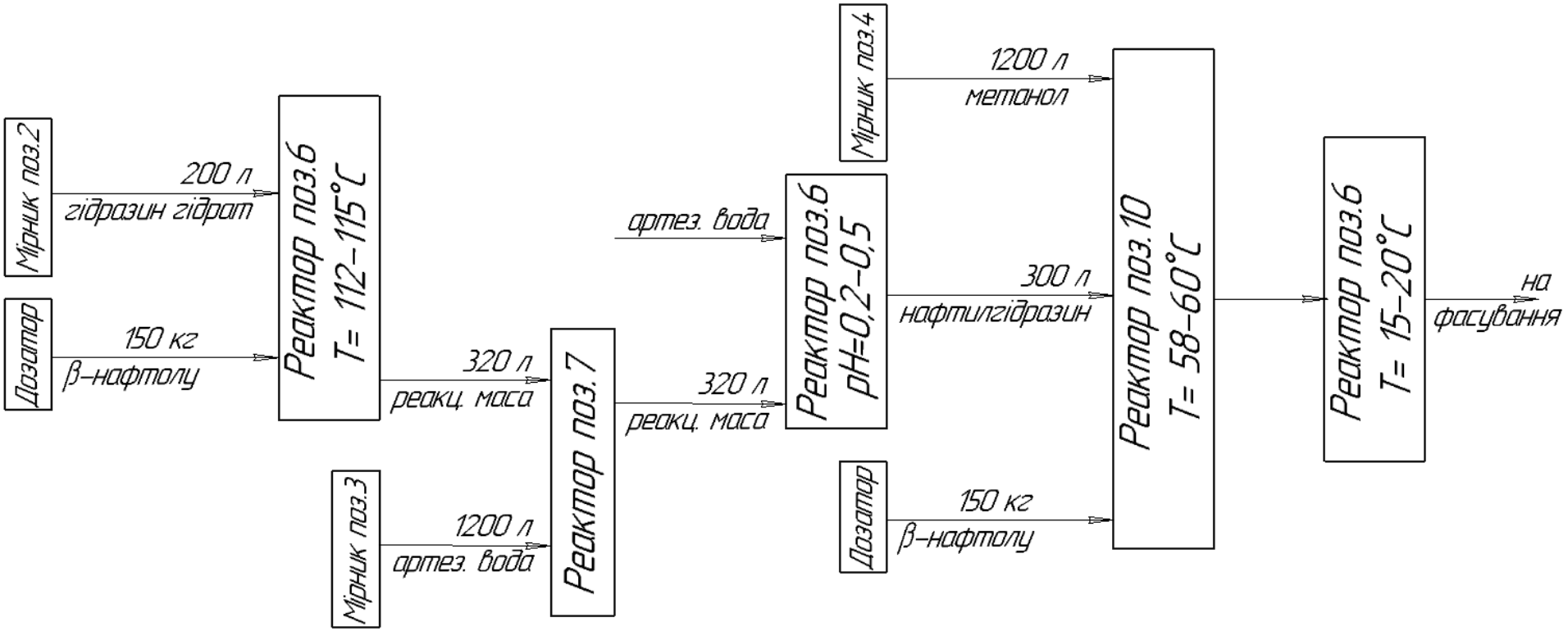


Рисунок 2.1- Схема матеріально-інформаційних потоків технологічного процесу виробництва 2-нафтилгідразина

## 3 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ

Виходячи з аналізу технологічної схеми (рис. 1.1) і процесу виробництва параметри для сигналізації, контролю і управління наведені в таблиці 2.1

Як об'єкт управління розглядається технологічний процес виробництва 2-нафтілгідразіну.

Таблиця 3.1_ Перелік параметрів, які впливають на хід технологічного процесу

| Параметр | Позиція технологічної схеми | Функція | Відхилення | Значення | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Min | Max |
| Температура | Реактор поз.6 | Контроль, управління | 5% | 112°С | 115°С |
| Температура | Реактор поз.10 | Контроль, управління | 5% | 58°С | 60°С |
| Температура | Реактор поз.12 | Контроль, управління | 5% | 15°С | 20°С |
| Рівень | Мірник V=500 л | Контроль, управление | 5% | 0,34 м | 0,85 м |
| Рівень | Мірник V=1500 л | Контроль, управління | 5% | 1,4 м | 1,75 м |
| Рівень | Мірник V=1500 л | Контроль, управління | 5% | 1,4 м | 1,75 м |
| Рівень | Реактор поз.12 | Контроль, управління | 5% | 1 м | 1,7 м |
| Диференціальний тиск | Фільтр | Сигналізація, контроль, управління | 5% | 1,5 кгс/см$^2$ | 1,8 кгс/см$^2$ |
| Витрата | Реактор поз.6 | Контроль, управління | 5% | 10,7 л/хв. | 10,7 л/хв. |
| Витрата | Реактор поз.10 | Контроль, управління | 5% | 5 л/хв. | 5 л/хв. |
| Маса | Ваговий дозатор β-нафтола | Контроль, управління | 5% | 150 кг | 150 кг |
| Маса | Ваговий дозатор вугілля активованого | Контроль, управління | 5% | 1,5 кг | 1,5 кг |
| Лужність | Центрифуга | Контроль, управління | 5% | 0,2 | 0,5 |

Структурна схема автоматизації подана на рисунку 3.1.

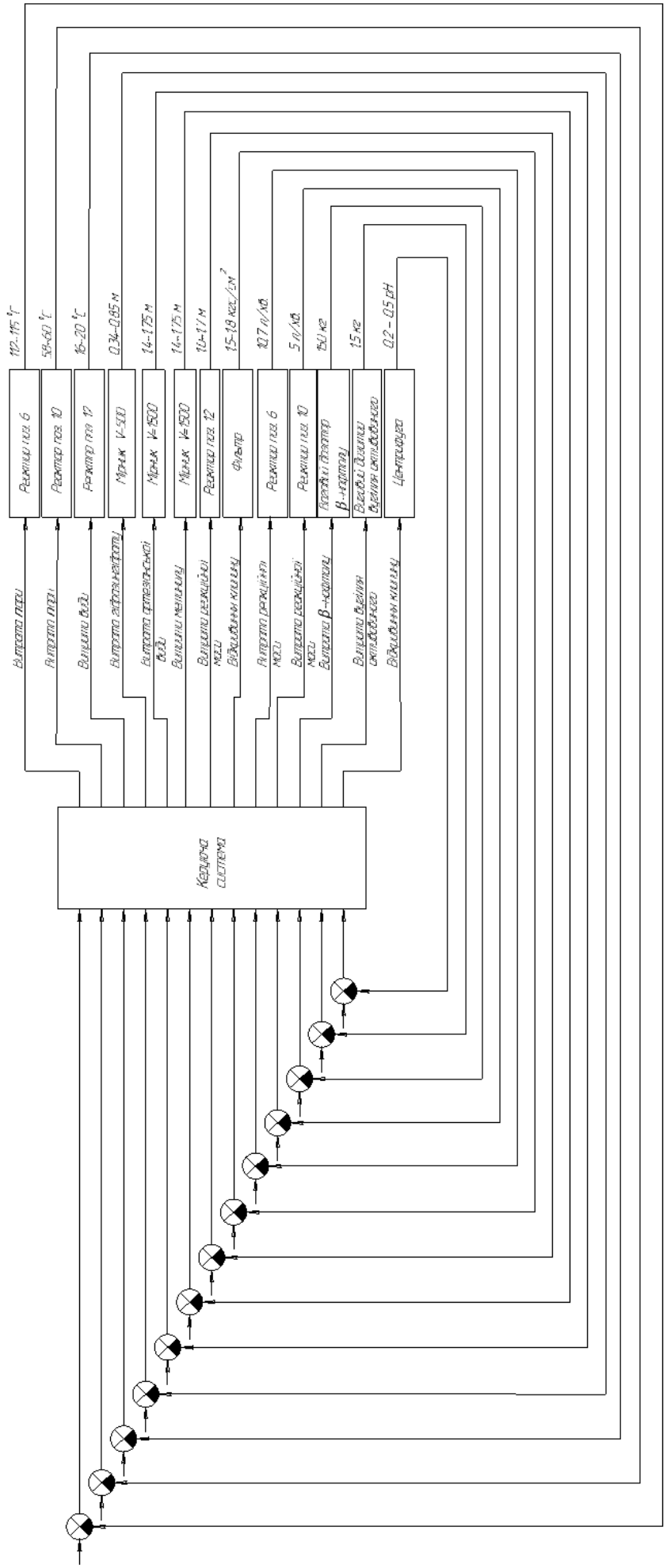


Рисунок 3.1-Структурна схема автоматизації.

# 4 ВИБІР КАНАЛІВ ВНЕСЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ДІЙ

4.1 Канали контролю і управління

4.1.1 Температура реакційної маси в Реактор поз.6

Для нормального протікання реакції взаємодії 2-нафтол з гідразингідратом необхідно підтримувати температуру в межах 112 - 115 °С. Для цього в Реактор поз.6 установлений датчик температури, а на трубопроводі подачі пари, необхідної для підтримки температури, установлений регулюючий клапан.

4.1.2 Температура реакційної маси в Реактор поз.10

Для нормального протікання процесу перекристалізації 2-нафтілгідразіна необхідно підтримувати температуру в межах 58 - 60 ° С. Для цього в реакторі поз.10 установимо датчик температури, а на трубопроводі подачі пари, необхідної для підтримки температури, установимо регулюючий клапан.

4.1.3 Температура реакційної маси в Реактор поз.12

Для нормального протікання технологічного процесу необхідно підтримувати температуру в межах 15 - 20 ° С. Для цього в реакторі поз.12 установимо датчик температури, а на трубопроводі подачі охолоджуючої води, необхідної для підтримки температури, установимо регулюючий клапан.

4.1.4 Рівень гідразин гідрату в мірнику поз.2

Максимальний рівень гідразин гідрату в мірнику поз.2 становить 0,85 метра, а рівень, необхідний для нормального протікання технологічного процесу, складає 0,34 метра. Для підтримки необхідного рівня в мірнику поз.2 установимо датчик рівня, а на трубопроводі подачі гідразин гідрату в мірник поз.2 установимо регулюючий клапан. Також установимо регулюючий клапан на трубопроводі для подачі гідразин гідрату в Реактор поз.6.

4.1.5 Рівень артезіанської води в мірнику поз.3

Максимальний рівень артезіанської води в мірнику поз.3 становить 1,75 метр, а рівень, необхідний для нормального протікання технологічного процесу, складає 1,4 метра. Для підтримки необхідного рівня в мірнику поз.3 установимо датчик рівня, а на трубопроводі подачі артезіанської води установлений регулюючий клапан. Також установимо регулюючий клапан на трубопроводі для подачі артезіанської води в Реактор поз.7.

4.1.6 Рівень метанолу в мірнику поз.4

Максимальний рівень метанолу в мірнику поз.4 становить 1,75 метра, а рівень, необхідний для нормального протікання технологічного процесу, складає 1,4 метра. Для підтримки необхідного рівня в мірнику поз.4 установимо датчик рівня, а на трубопроводі подачі метанолу

установимо регулюючий клапан. Також установимо регулюючий клапан на трубопроводі для подачі метанолу в Реактор поз.10.

4.1.7 Рівень реакційної маси в Реактор поз.12

Максимальний рівень реакційної маси в Реактор поз.12 становить 1,7 метра, а рівень, необхідний для нормального протікання технологічного процесу, становить 1 метр. Для підтримки необхідного рівня в Реактор поз.12 установимо датчик рівня, а на трубопроводі подачі реакційної маси установимо регулюючий клапан.

4.1.8 Диференціальний тиск у фільтрі поз.11

Для нормального протікання технологічного процесу диференціальний тиск у фільтрі поз.11 необхідно підтримувати в межах 1,5 – 1,8 кгс/см$^2$. Для цього в фільтрі поз.11 установимо датчик тиску, а на трубопроводі подачі реакційної маси установимо регулюючий клапан. У разі засмічення фільтра передбачена автоматична зупинка двигунів і перекриття клапанів подачі сировини.

4.1.9 Витрата реакційної маси

Витрата реакційної маси, необхідна для нормального протікання технологічного процесу, складає 10,7 л/хв. Для забезпечення необхідної витрати на трубопроводі подачі реакційної маси установимо витратомір, а на трубопроводі подачі реакційної маси в Реактор поз.7 установимо регулюючий клапан.

4.1.10 Витрата реакційної маси

Витрата реакційної маси, необхідна для нормального протікання технологічного процесу становить 5 л/хв. Для забезпечення необхідної витрати на трубопроводі подачі реакційної маси установимо витратомір, а на трубопроводі для подачі реакційної маси в Реактор поз.10 установимо клапан.

4.1.11 Маса β-нафтол у ваговому дозаторі поз.5

Маса β-нафтол, необхідна для нормального протікання технологічного процесу, становить 150 кг. Для підтримки необхідної маси у ваговому дозаторі поз.5 установимо датчик маси, а на бункері 1 подачі β-нафтол установимо шибер.

4.1.12 Маса вугілля активованого у ваговому дозаторі поз.9

Маса вугілля активованого, необхідна для нормального протікання технологічного процесу, становить 1,5 кг. Для підтримки необхідної маси у ваговому дозаторі поз.9 установимо датчик маси, а на бункері 2 подачі вугілля активного установимо шибер.

4.1.13 Лужність реакційної маси в центрифузі поз.8

Для нормального протікання технологічного процесу кислотність в центрифузі необхідно підтримувати в межах 0,2-0,5. Для цього в центрифузі установимо pH датчик, а на трубопроводі подачі артезіанської води у центрифугу поз.8 установимо регулюючий клапан.

4.2 Локальні контури управління

4.2.1 Локальний контур управління температурою реакційної маси в Реактор поз. 6

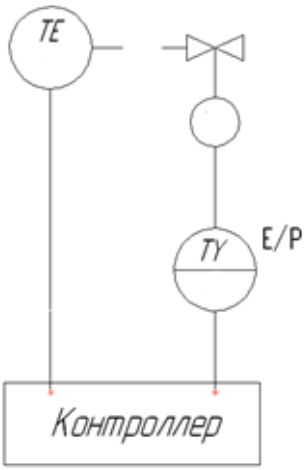


Рисунок 4.1 – Локальний контур управління

4.2.2 Локальний контур управління температурою реакційної маси в Реактор поз. 10

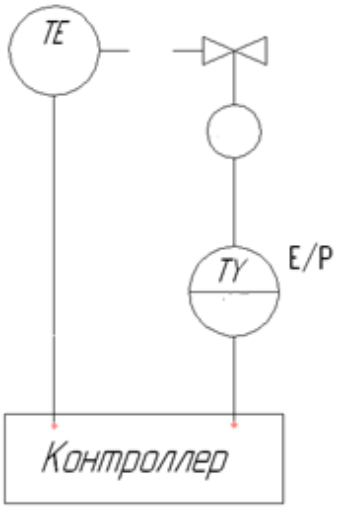


Рисунок 4.2 – Локальний контур управління

4.2.3 Локальний контур управління температурою реакційної маси в реакторі поз. 12

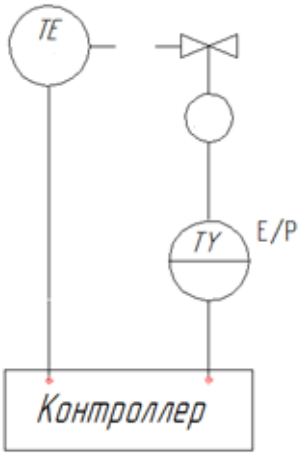


Рисунок 4.3 – Локальний контур управління

3.2.4 Локальний контур управління рівнем гідразин гідрату в мірнику поз. 2

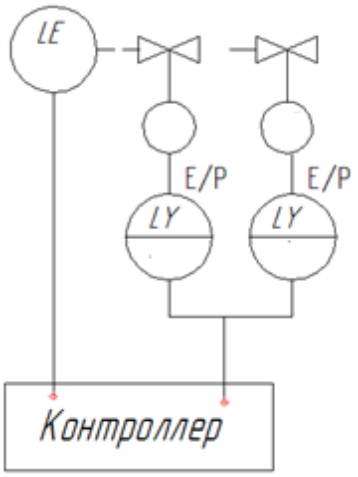


Рисунок 4.4 – Локальний контур управління

4.2.5 Локальний контур управління рівнем артезіанської води в мірнику поз. 3

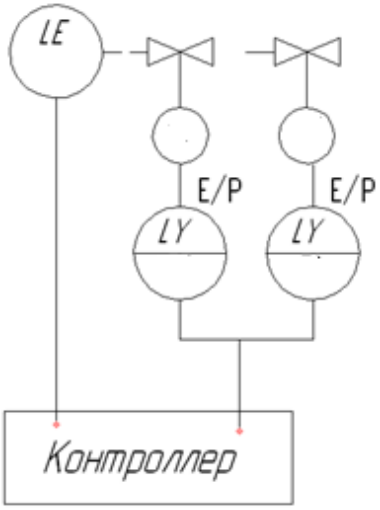


Рисунок 4.5 – Локальний контур управління

4.2.6 Локальний контур управління рівнем метанолу в мірнику поз.4

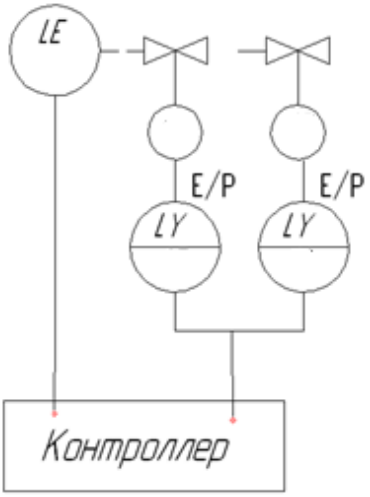


Рисунок 4.6 – Локальний контур управління

3.2.7 Локальний контур управління рівнем реакційної маси в Реактор поз.12

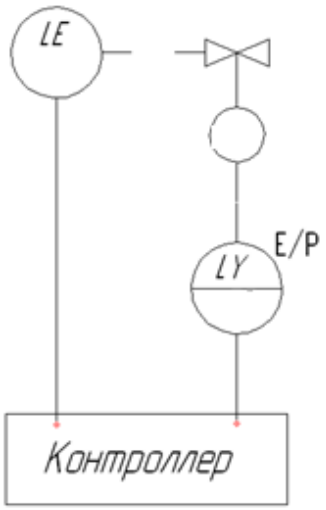


Рисунок 4.7 – Локальний контур управління

3.2.8 Локальний контур управління тиском у фільтрі поз.11

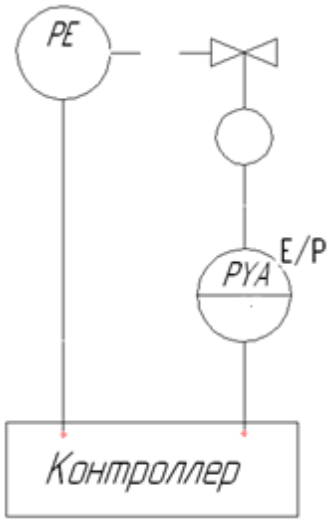


Рисунок 4.8 – Локальний контур управління

3.2.9 Локальний контур управління витратою реакційної маси

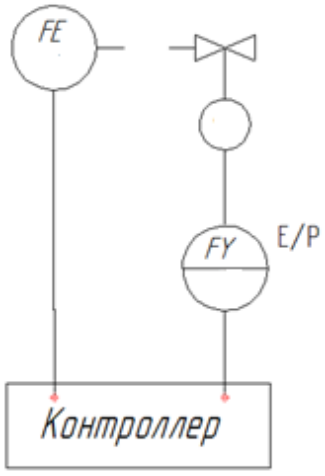


Рисунок 4.9 – Локальний контур управління

3.2.10 Локальний контур управління витратою реакційної маси

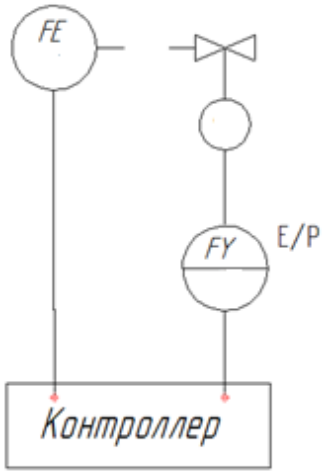


Рисунок 4.10 – Локальний контур управління

3.2.11 Локальний контур управління масою β-нафтол у ваговому дозаторі поз.5

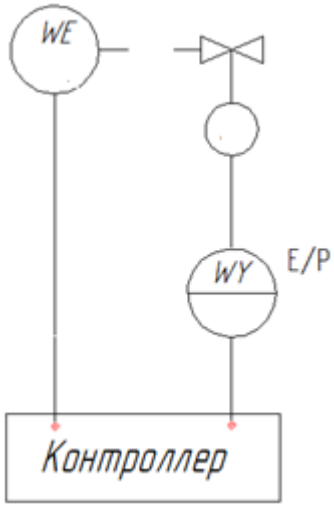


Рисунок 4.11 – Локальний контур управління

3.2.12 Локальний контур управління масою вугілля активованого у ваговому дозаторі поз.9

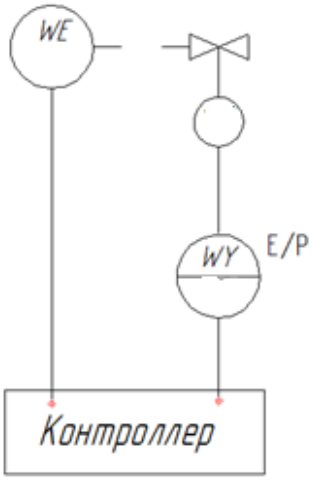


Рисунок 4.12 – Локальний контур управління

3.2.13 Локальний контур управління лужністю реакційної маси в центрифузі поз.8

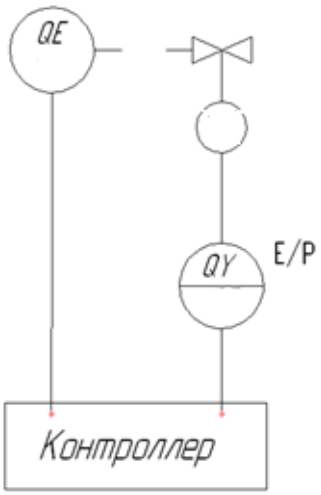


Рисунок 4.13 – Локальний контур управління

Відповідно до локальних контурів і технологічної схеми розробленана функціональна схема технологічним процесом виробництва 2-нафтилгідразину 2-нафтилгідразину (СУз-71Ш.6.151.13А2).

# 5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 5.1 Вибір датчиків

Для вимірювання параметрів технологічного процесу потрібно вибрати датчики, що відповідають необхідним межам вимірювань, точності, умовам застосування.

### 5.1.1 Контроль температури реакційної маси в Реактор поз.6

Для вимірювання температури в реакторі можливе використання таких датчиків: термоопору з нормуючим перетворювачем ДТС-И[9] і термоперетворювач ИТ-1[10], порівняльні характеристики яких наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Порівняльні характеристики датчиків

| Найменування | ДТС-И | ИТ-1 |
|---|---|---|
| діапазон вимірювання, °С | 0…+150 | -50…+1000 |
| Номінальне значення напруги живлення (постійного струму), В | 24 | 9…30 |
| Діапазон вихідного струму перетворювача, мА | 4…20 | 4…20 |
| Показник теплової інерції, с | 20…40 | 35…50 |
| Похибка | 0,5 % | 1 % |
| Діапазон робочих температур, °С | -40…85 | -10…+50 |
| вартість, грн. | 1045 | 1235 |

Порівнявши технічні характеристики датчиків ДТС-И та ИТ-1, а також їх вартість, можна зробити висновок, що обидва датчика мають уніфікований вихідний сигнал і вибухозахищене виконання. Але датчик ДТС-И має кращу точність вимірювання і вартість нижча, ніж у ИТ-1. Тому будемо використовувати датчик температури ДТС-И.

### 5.1.2 Контроль температури реакційної маси в Реактор поз.10

Так як межі вимірювання температури реакційної маси в Реактор поз.10 схожі з межами вимірювання температури реакційної маси в Реактор поз.6, то будемо використовувати датчик температури ДТС-И. Це дозволить зменшити вартість автоматизації виробництва.

### 5.1.3 Контроль температури реакційної масі в Реактор поз.12

Так як межі вимірювання температури реакційної маси в Реактор поз.12 схожі з межами вимірювання температури реакційної маси в Реактор поз.6, то будемо використовувати датчик температури ДТС-И. Це дозволить зменшити вартість автоматизації виробництва.

### 5.1.4 Контроль рівня гідразин гідрату в мірнику поз.2

Для вимірювання рівня в мірнику можливе використання таких датчиків: NivoCAP CT-200[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] і одноелектродний ДС.К[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], порівняльні характеристики яких наведена в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Порівняльні характеристики датчиків

| Найменування | NivoCAP CT-200 | ДС.К |
|---|---|---|
| Діапазон вимірювання | 0,2 – 3 м | 0 – 1,95 |
| Клас точності | ±0,25 | 0,3% |
| Напруга живлення | 12 – 36 В | 9 – 30 В |
| Вид вихідного сигналу | 4 – 20 мА | 4 – 20 мА |
| Захист від пилу і води | IP 68 | IP 65 |
| Вартість | 1050 грн | 1200 грн |

Порівнявши технічні характеристики датчиків NivoCAP CT-200 і ДС.К, а також їх вартість, можна зробити висновок, що обидва датчика мають уніфікований вихідний сигнал і вибухозахищене виконання. Але датчик NivoCAP CT-200 має кращу точність вимірювання і вартість нижча, ніж у ДС.К. Тому будемо використовувати датчик рівня NivoCAP CT-200.

### 5.1.5 Контроль рівня артезіанської води в мірнику поз.3

Так як діапазон виміру датчика рівня NivoCAP CT-200[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] достатній для вимірювання рівня артезіанської води в мірнику поз.3, то будемо використовувати датчик рівня NivoCAP CT-200. Це дозволить зменшити вартість автоматизації виробництва.

### 4.1.6 Контроль рівня метанолу в мірнику поз.4

Так як межі вимірювання рівня метанолу в мірнику поз.4 схожі з межами вимірювання рівня артезіанської води в мірнику поз.3, то будемо використовувати датчик рівня NivoCAP CT-

200[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Це дозволить зменшити вартість автоматизації виробництва.

### 5.1.7 Контроль рівня реакційної маси в Реактор поз.12

Так як межі вимірювання рівня реакційної маси в Реактор поз.12 схожі з межами вимірювання рівня артезіанської води в мірнику поз.4, то будемо використовувати датчик рівня NivoCAP CT-200[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Це дозволить зменшити вартість автоматизації виробництва.

### 5.1.8 Контроль диференціального тиску в фільтрі поз.11

Для вимірювання диференціального тиску в фільтрі можливе використання таких датчиків: перетворювач різниці тисків ДМЭ-МИ[13] і ЗОНД-10-ДД-1161[14], порівняльні характеристики яких наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Порівняльні характеристики датчиків

| Найменування | ДМЭ-МИ | ЗОНД-10-ДД-1161 |
|---|---|---|
| Діапазон вимірювання | 0 – 2,5 кгс/см$^2$ | 1,6кПа - 0,25МПа |
| Клас точності | 1 | 0,5 |
| Напруга живлення | ~ 220 В | 18 – 36 В |
| Вид вихідного сигналу | 4 – 20 мА | 4 – 20 мА |
| Захист від пилу і води | IP 65 | IP 51 |
| Вартість | 1325 грн | 950 грн |

Порівнявши технічні характеристики датчиків ДМЭ-МИ і ЗОНД-10-ДД-1161, а також їх вартість, можна зробити висновок, що обидва датчика мають уніфікований вихідний сигнал. Але датчик ЗОНД-10-ДД-1161 має кращу точність вимірювання і вартість нижча, ніж у ДМЭ-МИ. Тому будемо використовувати датчик тиску ЗОНД-10-ДД-1161.

### 5.1.9 Контроль витрати реакційної маси

Для вимірювання витрати реакційної маси можливе використання таких датчиків: витратомір DFM-IV[15] і DIGMESA FM[16], порівняльні характеристики яких наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Порівняльні характеристики датчиків

| Найменування | DFM-IV | DIGMESA FM |
|---|---|---|
| Діапазон вимірів | 1 – 25 л/хв. | 0,25 – 17 л/хв. |
| Клас точності | ±2 % | 0,5 % |
| Діаметр трубопроводу | 12,5 мм – 4,5 м | 4 мм – 7 м |
| Вид вихідного сигналу | 4 – 20 мА | 4 – 20 мА |
| Температура середовища | -40…+150 °С | -10…100 °С |
| Вартість | 1150 грн | 980 грн |

Порівнявши технічні характеристики датчиків DFM-IV і DIGMESA FM, а також їх вартість, можна зробити висновок, що обидва датчика мають уніфікований вихідний сигнал. Але датчик DIGMESA FM має кращу точність вимірювання і вартість нижча, ніж у DFM-IV. Тому будемо використовувати датчик витрати DIGMESA FM.

### 5.1.10 Контроль витрати реакційної маси

Так як межі вимірювання витрати схожі з межами вимірювання витрати реакційної маси, то будемо використовувати датчик витрати DIGMESA FM[16]. Це дозволить зменшити вартість автоматизації виробництва

### 5.1.11 Контроль маси β-нафтол у ваговому дозаторі поз.5

Для вимірювання маси β-нафтол у ваговому дозаторі можливе використання таких датчиків: F60X200C3CH10e [18] і PM150HSP [17], порівняльні характеристики яких наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 - Технічні характеристики датчиків

| Основні характеристики | F60X200C3CH 10e | PM150HSP |
|---|---|---|
| Діапазон вимірювання | 0 – 150 кг | 0 – 200 кг |
| Клас точності | 0,1 % | 0,25 % |
| Напруга живлення | 10 – 15 В | 10 – 15 В |
| Вид вихідного сигналу | 4…20 мА | 4…20 мА |
| Ступінь захисту | IP68 | IP68 |
| Вартість, грн | 975 | 1095 грн |

Порівнявши технічні характеристики датчиків F60X200 C3CH10e і PM150HSP, а також їх вартість, можна зробити висновок, що обидва датчика мають уніфікований вихідний сигнал. Але датчик F60X200C3CH10e має кращу точність вимірювання і вартість нижча, ніж у PM150HSP. Тому будемо використовувати датчик маси F60X200C3CH10e.

### 5.1.12 Контроль маси вугілля активованого у ваговому дозаторі поз.9

Так як межі вимірювання маси вугілля активованого у ваговому дозаторі поз.9 схожі з межами вимірювання маси β-нафтол у ваговому дозаторі поз.5, то будемо використовувати датчик маси F60X200C3CH10e[18]. Це дозволить зменшити вартість автоматизації виробництва.

### 5.1.13 Контроль лужності реакційної маси в центрифузі поз.8

Для вимірювання лужності реакційної маси в центрифузі можливе використання таких датчиків: ИЩП-4[19] і АНИОН-7020[20], порівняльні характеристикки яких наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Технічні характеристики датчиків

| Основні характеристики | ИЩП-4 | АНИОН-7020 |
|---|---|---|
| Діапазон вимірювання | 0,1 – 10 | 0,1 - 100 |
| Клас точності | 1 % | 2,5 % |
| Напруга живлення | 220 В | 220 іі автономне 7…1,5 В |
| Вид ихідного сигналу | 4…20 мА | 4…20 мА |
| Ступінь захисту | IP65 | IP67 |
| Вартість, грн | 950 | 1025 грн |

Порівнявши технічні характеристики датчиків ИЩП-4 і АНИОН-7020 а також їх вартість, можна зробити висновок, що обидва датчика мають уніфікований вихідний сигнал. Але датчик ІЩП-4 має кращу точність вимірювання і вартість нижча, ніж у АНИОН-7020. Тому будемо використовувати датчик лужності ИЩП-4.

## 5.2 Вибір регулюючих органів

### 5.2.1 Канал управління температурою в Реактор поз.6.

Для регулювання температури реакційної суміші в Реактор поз.6 необхідно регулювати витрату пари шляхом зміни положення клапана.

Відповідно до регламенту технологічного процесу витрата пари становить 0,5 $м^3$/хв.

Виконуємо розрахунок діаметра трубопроводу і діаметра клапана для управління подачею пари.

Для забезпечення регулювання подачі пари в межах 0 – 0,5 $м^3$/хв. розраховуємо необхідний діаметр трубопроводу.

Внутрішній діаметр трубопроводу d, м

$$d = 18.8\sqrt{\frac{Q}{v}} \quad (5.1)$$

де $Q$ - витрата, м$^3$/с, $v$ - швидкість потоку, м/с.

$Q = 0{,}5\ м^3/хв = 0{,}0083\ м^3/с$

$V = 40\ м/с$

таким чином

$$d = 18{,}8\sqrt{\frac{0{,}0083}{40}} = 0{,}27\ м$$

Вибираємо клапан з діаметром проходу ДУ=0,3 м.

Клапан регулюючий двоходовий V16G [21].

Основні технічні характеристики:

Умовний прохід ДУ - 300 мм.

Умовний тиск Ру – 16.

Робоча температура - (-10 ... + 200 °С)

Приєднання - фланцеве

Тип приводу  електропривод типу PSL-AMS.

### 5.2.2 Канал управління температурою в Реактор поз.10.

Для регулювання температури реакційної маси в Реактор поз.10 необхідно регулювати витрату пари шляхом зміни положення клапана.

Згідно з регламентом технологічного процесу витрата пари становить 0,35 м$^3$/хв.

Виконуємо розрахунок діаметра трубопроводу і діаметра клапана для управління подачею пари.

Для забезпечення регулювання подачі пари в межах 0 – 0,35 м$^3$/хв. розраховуємо необхідний діаметр трубопроводу за формулою 5.1

$Q = 0{,}35\ м^3/хв = 0{,}0058\ м^3/с$

$V = 40\ м/с$

таким чином

$$d = 18{,}8\sqrt{\frac{0{,}0058}{40}} = 0{,}23\ м$$

Вибираємо клапан з діаметром проходу ДУ=0,2 м.

Клапан регулюючий двоходовий V16G [23].

Основні технічні характеристики:

Умовний прохід ДУ - 200 мм.

Умовний тиск Ру – 16.

Робоча температура - (-10 ... + 200 °С)

Приєднання - фланцеве

Тип приводу  електропривод типу PSL-AMS.

### 5.2.3 Канал управління температурою в Реактор поз.12.

Для регулювання температури реакційної маси в Реактор поз.12 необхідно регулювати витрату охолоджуючої води шляхом зміни положення клапана.

Згідно з регламентом технологічного процесу витрата охолоджуючої води становить 0,25 $м^3$/хв.

Виконуємо розрахунок діаметра трубопроводу і діаметра клапана для управління подачею охолоджуючої води.

Для забезпечення регулювання подачі пари в межах 0 – 0,25 $м^3$/ хв. розраховуємо необхідний діаметр трубопроводу за формулою 5.1

$$Q = 0{,}25\ м^3/хв = 0{,}0042\ м^3/с$$
$$V = 40\ м/с$$

таким чином

$$d = 18{,}8\sqrt{\frac{0{,}0042}{40}} = 0{,}19\ м$$

Вибираємо клапан з діаметром проходу ДУ=0,2 м.

Клапан регулюючий двоходовий V16G [23].

Основні технічні характеристики:

Умовний прохід ДУ - 200 мм.

Умовний тиск Ру – 16.

Робоча температура - (-10 ... + 200 °С)

Приєднання - фланцеве

Тип приводу  електропривод типу PSL-AMS.

### 5.2.4 Канал управління рівнем в мірнику поз.2.

Для регулювання рівня гідразин гідрату в мірнику необхідно регулювати витрату гідразин гідрату шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі гідразин гідрату в мірник, а також на трубопроводі подачі гідразин гідрату в Реактор поз.6.

Згідно з регламентом технологічного процесу витрата гідразин гідрату становить 100 л/хв.

Виконуємо розрахунок діаметра трубопроводу і діаметра клапана для управління подачею гідразин гідрату.

Для забезпечення регулювання подачі гідразин гідрату в межах 0 - 100 л/хв. розраховуємо необхідний діаметр трубопроводу за формулою 5.1.

$Q = 100$ л/хв. $= 1{,}67 \cdot 10^{-3}$ м$^3$/с
$V = 40$ м/с
таким чином

$$d = 18{,}8\sqrt{\frac{1{,}67 \cdot 10^{-3}}{40}} = 0{,}24 \text{ м}$$

Вибираємо клапан з діаметром проходу ДУ=0,25 м.

Клапан регулюючий двоходовий V16G [21].

Основні технічні характеристики:

Умовний прохід ДУ - 200 мм.

Умовний тиск Ру – 16.

Робоча температура - (-10 ... + 200 °С)

Приєднання - фланцеве

Тип приводу  електропривод типу PSL-AMS.

### 5.2.5 Канал управління рівнем в мірнику поз.3.

Для регулювання рівня артезіанської води в мірнику необхідно регулювати витрату артезіанської води шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі води в мірник, а також на трубопроводі подачі води в Реактор поз.7.

Згідно з регламентом технологічного процесу витрата артезіанської води становить 600 л/хв.

Виконуємо розрахунок діаметра трубопроводу і діаметра клапана для управління подачею артезіанської води.

Для забезпечення регулювання подачі артезіанської води в межах 0 - 600 л/хв. розраховуємо необхідний діаметр трубопроводу за формулою 5.1.

$Q = 600$ л/хв. $= 0{,}01$ м$^3$/с
$V = 40$ м/с
таким чином

$$d = 18{,}8\sqrt{\frac{0{,}01}{40}} = 0{,}29 \text{ м}$$

Вибираємо клапан з діаметром проходу ДУ=0,3 м.

Клапан регулюючий двоходовий V16G [21].

Основні технічні характеристики:

Умовний прохід ДУ - 300 мм.

Умовний тиск Ру – 16.

Робоча температура - (-10 ... + 200 °С)

Приєднання - фланцеве

Тип приводу  електропривод типу PSL-AMS.

### 5.2.6 Канал управління рівнем в мірнику поз.4.

Для регулювання рівня метанолу в мірнику необхідно регулювати витратіу метанолу шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі метанолу в мірник, а також на трубопроводі подачі метанолу в Реактор поз.10.

Згідно з регламентом технологічного процесу витрата метанолу становить 600 л/хв.

Виконуємо розрахунок діаметра трубопроводу і діаметра клапана для управління подачею метанолу.

Для забезпечення регулювання подачі метанолу 0 - 600 л/хв. розраховуємо необхідний діаметр трубопроводу за формулою 5.1.

$Q = 600$ л/хв. $= 0{,}01$ м$^3$/с
$V = 40$ м/с
таким чином

$$d = 18{,}8\sqrt{\frac{0{,}01}{40}} = 0{,}29 \text{ м}$$

Вибираємо клапан з діаметром проходу ДУ=0,3 м.

Клапан регулюючий двоходовий V16G [21].

Основні технічні характеристики:

Умовний прохід ДУ - 300 мм.

Умовний тиск Ру – 16.

Робоча температура - (-10 ... + 200 °С)

Приєднання - фланцеве

Тип приводу -  електропривод типу PSL-AMS.

### 5.2.7 Канал управління рівнем в Реактор поз.12.

Для регулювання рівня реакційної маси в Реактор поз.12 необхідно регулювати витрату реакційної маси шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі реакційної маси в Реактор.

Згідно з регламентом технологічного процесу витрата реакційної маси становить 300 л/хв.

Виконуємо розрахунок діаметра трубопроводу і діаметра клапана для управління подачею реакційної маси.

Для забезпечення регулювання подачі реакційної маси в межах 0 - 300 л/хв. розраховуємо необхідний діаметр трубопроводу за формулою 5.1.

$Q = 300$ л/хв. $= 1{,}67 \cdot 10^{-3}$ м$^3$/с
$V = 40$ м/с
таким чином

$$d = 18{,}8\sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-3}}{40}} = 0{,}21 \text{ м}$$

Вибираємо клапан з діаметром проходу ДУ=0,2 м.

Клапан регулюючий двоходовий V16G [23].

Основні технічні характеристики:

Умовний прохід ДУ - 200 мм.

Умовний тиск Ру – 16.

Робоча температура - (-10 ... + 200 °С)

Приєднання - фланцеве

Тип приводу  електропривод типу PSL-AMS.

### 5.2.8 Канал управління витратою в Реактор поз.7.

Для регулювання витрати реакційної маси в Реактор поз.7 необхідно проводити її вимір і регулювання шляхом зміни положення клапана.

Згідно з регламентом технологічного процесу витрата реакційної маси становить 10,7 л/хв.

Виконуємо розрахунок діаметра трубопроводу і діаметра клапана для управління подачею реакційної маси.

Для забезпечення регулювання подачі реакційної маси в межах 0 - 10,7 л/хв. розраховуємо необхідний діаметр трубопроводу за формулою 5.1.

$Q = 10{,}7$ л/хв. $= 1{,}78 \cdot 10^{-4}$ м$^3$/с
$V = 3$ м/с
таким чином

$$d = 18{,}8\sqrt{\frac{1{,}78 \cdot 10^{-4}}{3}} = 0{,}14 \text{ м}$$

Вибираємо клапан з діаметром проходу ДУ=0,15 м.

Клапан регулюючий двоходовий V16G [24].

Основні технічні характеристики:

Умовний прохід ДУ - 150 мм.

Умовний тиск Ру – 16.

Робоча температура - (-10 ... + 200 °С)

Приєднання - фланцеве

Тип приводу  електропривод типу PSL-AMS.

### 5.2.9 Канал управління витратою в Реактор поз.10.

Для регулювання витрати реакційної маси в Реактор поз.10 необхідно проводити її вимір і регулювання шляхом зміни положення клапана.

Згідно з регламентом технологічного процесу витрата реакційної маси становить 5 л/хв.

Виконуємо розрахунок діаметра трубопроводу і діаметра клапана для управління подачею реакційної маси.

Для забезпечення регулювання подачі реакційної маси в межах 0 - 5 л/хв. розраховуємо необхідний діаметр трубопроводу за формулою 5.1.

$Q = 5$ л/хв. $= 8{,}33 \cdot 10^{-5}$ м$^3$/с
$V = 3$ м/с
таким чином

$$d = 18{,}8\sqrt{\frac{8{,}33 \cdot 10^{-5}}{3}} = 0{,}09 \text{ м}$$

Вибираємо клапан з діаметром проходу ДУ=0,1 м.

Клапан регулюючий двоходовий V16G [25].

Основні технічні характеристики:

Умовний прохід ДУ - 100 мм.

Умовний тиск Ру – 16.

Робоча температура - (-10 ... + 200 °С)

Приєднання - фланцеве

Тип приводу  електропривод типу PSL-AMS.

### 5.2.10 Канал управління кислотністю в центрифузі поз.8.

Для регулювання кислотністю необхідно регулювати витрату артезіанської води шляхом зміни положення клапана на трубопроводі подачі води.

Згідно з регламентом технологічного процесу витрата артезіанської води становить 70 л/хв.

Виконуємо розрахунок діаметра трубопроводу і діаметра клапана для управління подачею артезіанської води.

Для забезпечення регулювання подачі реакційної маси в межах 0 - 70 л/хв. розраховуємо необхідний діаметр трубопроводу за формулою 5.1.

$Q = 70$ л/хв. $= 1{,}17 \cdot 10^{-3}$ м$^3$/с
$V = 40$ м/с
таким чином

$$d = 18{,}8\sqrt{\frac{1{,}17 \cdot 10^{-3}}{40}} = 0{,}1 \text{ м}$$

Вибираємо клапан з діаметром проходу ДУ=0,1 м.

Клапан регулюючий двоходовий V16G [25].

Основні технічні характеристики:

Умовний прохід ДУ - 100 мм.

Умовний тиск Ру – 16.

Робоча температура - (-10 ... + 200 °С)

Приєднання - фланцеве

Тип приводу  електропривод типу PSL-AMS.

### 5.2.1 Канал управління масою β-нафтолу у дозаторі поз.5.

Для регулювання маси β-нафтолу у дозаторі поз.5 застосуємо засувку шиберну (ножовий затвор) АКО DN050-DN250 типу С з електромашинним приводом. Засувка шиберна (ножовий затвор) типу С є засувкою міжфланцевого монтажу з встановленим напрямом потоку (односідельними) для роботи на сипучих (пилоподібних або гранульованих) середовищах.

Шиберні засувки для сипучих середовищ використовуються насамперед у хімічній промисловості, в гірничій справі, в харчовій промисловості і у виробництві напоїв, в сільському господарстві і при випуску кормів.

Варіанти приводів ножових засувок для сипучих середовищ

У стандартному виконанні шибер в засувки для сипучих середовищ виготовляється з неіржавіючої сталі класу AISI 304 або AISI 316.

Герметизація ножа в моноблочному корпусі забезпечується еластичним ущільненням з опорним кільцем з нержавіючої сталі, проте може виконуватися і без використання еластомерів (ущільнення в сідлі «метал-по-металу»). В якості стандартного еластоміру для сідельних ущільнень в засувки для сипучих середовищ використовується EPDM (етилен-пропіленовий каучук).

Макс. тиск засувок для сипучих середовищ АКО, тип С DN050-DN250: 10/3 бар

### 5.2.2 Канал управління масою вугілля активованого у дозаторі поз.9.

Для регулювання маси вугілля активованого у дозаторі поз.9 застосуємо засувку шиберну (ножовий затвор) АКО DN050-DN250 типу С з електромашинним приводом, оскільки умови експлуатації схожі.

## 5.3 Вибір виконавчих механізмів

### 5.3.1 Пристрій плавного пуску

Для управління електродвигунами змінного струму, які піддаються вимушеним і небажаним піковим навантаженням у процесах пуску і зупинки, для усунення електричних проблем, пов'язаних зі стрибками напруги і струму, що виникають під час пуску безпосередньою подачею напруги і перемиканням зірка-трикутник і ін. проблем використовується пристрій плавного пуску типу SSB-21 компанії Diada Group (Україна). За допомогою систем плавного пуску SSB-21 можна здійснювати плавний пуск і зупинку систем, зводячи механічні та електричні перевантаження до мінімуму.

Технічні характеристики пристрою плавного пуску SSB-21-10 [26]:

- Напруга мережі 400 В;
- Номінальні потужності двигунів 2,2; 3; 4 кВт;
- Діапазон номінальних струмів 5-10 А

## 5.4 Вибір контролера

Контролер вибираємо виходячи із забезпечення необхідної швидкодії, обсягу пам'яті, можливості узгодження з АРМ, простоти налаштування і експлуатації, а також з огляду на кількість входів і виходів, їх вид.

Вхідні і вихідні сигнали зведені відповідно в табл. 5.7 і табл. 5.8.

Таблиця 5.7 - Вхідні сигнали

| Сигнал | Вид сигналу | Величина |
|---|---|---|
| Вхідний | Аналоговий | 4…20 мА |
| Вхідний | Аналоговий | 4…20мА |
| Вхідний | Аналоговий | 4…20мА |
| Вхідний | Аналоговий | 4…20мА |
| Вхідний | Аналоговий | 4…20мА |
| Вхідний | Аналоговий | 4…20мА |

| | | |
|---|---|---|
| Вхідний | Аналоговий | 4…20мА |
| Вхідний | Аналоговий | 4…20мА |
| Вхідний | Аналоговий | 4…20мА |
| Вхідний | Аналоговый | 4…20мА |
| Вхідний | Аналоговий | 4…20мА |
| Вхідний | Аналоговий | 4…20мА |
| Вхідний | Аналоговий | 4…20мА |

Вхідних сигналів 13: аналогових - 13, дискретних - 0.

Таблиця 5.8 - Вихідні сигнали

| Сигнал | Вид сигнала |
|---|---|
| Вихідний | Аналоговий |
| Вихідний | Аналоговий |
| Вихідний | Аналоговий |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |
| Вихідний | Позиційний |

Вихідних сигналів 17: аналогових - 3, дискретних - 14.

Таким чином, для управління технологічним процесом можливе використання наступних контролерів: Овен ПЛК-154[27] і Овен ПЛК-150[28]. Технічні характеристики ПЛК представлені в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 - Технічні характеристики контролерів

| Основні характеристики | Овен ПЛК-154 | Овен ПЛК-150 |
|---|---|---|
| центральний процесор | 32-х разрядний RISC-процесор 200 МГц на базі ядра ARM9 | 32-х разрядний RISC-процесор 200 МГц на базі ядра ARM9 |
| Обсяг оперативної пам'яті | 16 MB | 8 MB |

| | | |
|---|---|---|
| Обсяг енергонезалежної пам'яті зберігання ядра CODESYS, програм і архівів | 4 МВ* | 4 МВ* |
| Розмір Retain-пам'яті | 4 кВ** | 4 кВ** |

Продовження таблиці 5.9

| Основні характеристики | Овен ПЛК-154 | Овен ПЛК-150 |
|---|---|---|
| Час виконання циклу ПЛК | Мінімальний 250 мкс (нефіксований), типовий від 1 мс | Мінімальний 250 мкс (нефіксований), типовий від 1 мс |
| | | |
| Кількість каналів введення; аналогових/дискретних | 4/4 | 4/6 |
| Кількість каналів виведення; аналогових/дискретних | 4/4 | 4/2 |
| Вхідні сигнали | 4 – 20 мА | 4 – 20 мА |
| Вихідні сигнали | Реле 230 В, 4А, 4 – 20 мА | Реле 230 В, 4А, 4 – 20 мА |
| Інтерфейс | Ethernet 10/100 Mbps, RS-485, RS-232 | Ethernet 10/100 Mbps, RS-485, RS-232 |
| Живлення від мережі змінного струму | 220 В, 50 Гц 24 В | 220 В, 50 Гц 24 В |
| Ступінь захисту по ГОСТ 14254-96 | IP 20 | IP20 |
| Модулі розширення: | | |
| Модуль аналогового введення (кількість входів) | 1 (8) | 1 (8) |
| Модуль аналогового виведення (кількість виходів) | 2 (16) | 2 (16) |
| Модуль дискретного виведення (кількість виходів) | 1 (8) | 1 (8) |

Порівнявши технічні характеристики промислових контролерів Овен ПЛК154 і Овен ПЛК-150, можна робити висновок, що Овен ПЛК154 має більший обсяг пам'яті, кількість аналогових входів, а також кількість аналогових і дискретних виходів. ПЛК154 має широкі функціональні можливості: вбудований годинник реального часу з власним джерелом живлення; вбудований динамік для подачі звукових сигналів, керований як простий дискретний вихід

контролера; можливість «гарячої» заміни програми без зупинки контролера. Підтримка модулів введення/виведення і операторських панелей, зв'язок зі SCADA-системами. Великий обсяг внутрішньої незалежної пам'яті дає можливість зберігати проект CoDeSys безпосередньо в контролері. Тому будемо використовувати промисловий контролер ПЛК154.

Рисунок 5.1 – Контролер Овен ПЛК-154

Рисунок 5.2 – Модуль аналогового введення МВ110-220.8АС[29]

Прилад призначений для перетворення вимірюваних аналогових сигналів в цифровий код і передачі результатів вимірювання в мережу RS-485. Призначається для побудови автоматизованих систем збору даних. Технічні характеристики представлені в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 _ Технічні характеристики модуля МВ110-220.8АС[29]

| Найменування | Значення |
|---|---|
| Напруга живлення | від 90 до 264 В змінного струму (номінальна напруга 220 В) частотою від 47 до 63 Гц |
| Споживана потужність, ВА, не більше | 8 |
| Межа основної зведеної похибки,% | 0,25 |
| Межа додаткової зведеної похибки, викликаної зміною температури на 10 ° С в межах робочого діапазону температур,% | 0,12 |
| Кількість аналогових каналів вимірювання | 8 |
| Вхідний сигнал | 4 - 20 мА |
| Вхідний опір у режимі вимірювання струму 4 - 20 мА, Ом | від 130 до 250 |
| Період оновлення результатів вимірювання по кожному каналу, мс | 5 ± 2 % |
| Вихідна напруга вбудованого джерела живлення, В | 24 ± 3 |
| Максимальний струм навантаження вбудованого джерела | 0,18 |

| | |
|---|---|
| живлення, А | |
| Інтерфейс зв'язку з майстром мережі | RS-485 |
| Максимальна кількість приладів, що одночасно підключаються до мережі RS-485, не більше | 32 |
| Максимальна швидкість обміну по інтерфейсу RS-485, біт/с | 115200 |

Продовження таблиці 5.10

| Найменування | Значення |
|---|---|
| Протоколи зв'язку, що використовуються для передачі інформації | ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON |
| Ступінь захисту корпусу | IP20 з боку передньої панелі, IP00 з боку клемної колодки |

Модуль аналогового виведення МУ110-220.8И[30]

Рисунок 5.3 – Модуль аналогового виведення МУ110-220.8И[30]

Прилад призначений для перетворення цифрових сигналів, які передаються по мережі RS-485, в аналогові сигнали діапазоном від 4 до 20 мА для управління виконавчими механізмами або для передачі сигналів приладів реєстрації та самописцям. Технічні характеристики представлені в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 _ Технічні характеристики модуля МУ110-220.8И[30]

| Найменування | Значення |
|---|---|
| Напруга живлення | від 90 до 264 В змінного струму (номінальна напруга 220 В) частотою від 47 до 63 Гц |
| Споживана потужність, ВА, не більше | 6 |
| Кількість аналогових вихідних елементів | 8 |
| Тип аналогових вихідних елементів | ЦАП «параметр – струм 4…20 мА» |
| Основна приведена похибка ЦАП,%, не більше | ± 0,5 |
| Найменування | Значення |
| Опір навантаження, що підключається до виходу, Ом | 0...1300 |
| Діапазон напруг живлення виходу, В | 10...36 |

| | |
|---|---|
| Інтерфейс зв'язку з комп'ютером | RS-485 |
| Максимальна швидкість обміну по інтерфейсу RS-485, біт/сек | 115200 |
| Протокол зв'язку, який використовується для передачі інформації | ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON |
| Ступінь захисту корпусу | IP20 |

Модуль дискретного виводу МУ110-220.8Р[31]

Рисунок 5.4 – Модуль дискретного виводу МУ110-220.8Р[31]

Прилад призначений для управління за сигналами з мережі RS-485 вбудованими дискретними вихідними елементами, використовуваними для підключення виконавчих механізмів з дискретним керуванням. Технічні характеристики представлені в таблиці 5.12:

Таблиця 5.12 _ Технічні характеристики модуля МУ110-220.8Р

| Найменування | значення |
|---|---|
| Напруга живлення | від 90 до 264 В змінного струму (номінальна напруга 220 В) частотою від 47 до 63 Гц |
| Споживана потужність, ВА, не більше | 6 |
| Кількість дискретних вихідних елементів | 8 |
| Тип дискретних вихідних елементів | Реле електромагнітне 4 А при напрузі не більше 250 В 50 Гц і cos φ> 0,4 або 4 А при постійній напрузі не більше 24 В |
| Інтерфейс зв'язку з комп'ютером | RS-485 |
| Максимальна швидкість обміну по інтерфейсу RS-485, біт/сек | 115200 |

Продовження таблиці 5.12

| Найменування | значення |
|---|---|
| Протокол зв'язку, який використовується для передачі інформації | ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON |
| Ступінь захисту корпусу | IP20 |

### 5.5 Вибір інтерфейсу

Для забезпечення необхідної достовірності передачі даних при великій дальності використовується уніфікований інтерфейс RS485. Тому для зв'язку модулів розширення з промисловим контролером, будемо використовувати вказаний інтерфейс з відповідними протоколами.

Інформаційні мережі, засновані на даному інтерфейсі, набули найбільшого поширення при проектуванні промислових мереж автоматизації. Це високошвидкісний і перешкодостійкий послідовний інтерфейс, який дозволяє створювати мережі шляхом паралельного підключення до 32 пристроїв до однієї фізичної лінії. По інтерфейсу RS485 дані передаються за допомогою «симетричного» (диференціального) сигналу по двох лініях (A і B). Максимальна довжина лінії зв'язку між крайніми пристроями може становити до 1200 м (і більше з використанням повторювачів). Швидкість передачі становить 115200 біт/с.

Для зв'язку промислового контролера з АРМ також будемо використовувати інтерфейс RS485. Оскільки для під'єднання зовнішнього обладнання до ПК використовується інтерфейс RS232, то для узгодження двох даних інтерфейсів необхідно використовувати автоматичний перетворювач інтерфейсів. Для цих цілей будемо використовувати автоматичний перетворювач інтерфейсів RS232/RS485 ОВЕН АС3-М-220 [7]. Технічні характеристики представлені в табл. 5.13:

Таблиця 5.13 _ Технічні характеристики перетворювача інтерфейсів АС3-М-220

| Живлення | |
|---|---|
| Напруга | 85…245 В, 47…60 Гц |
| Споживана потужність | не більше 0,5 ВА |
| Допустима напруга гальванічної ізоляції входів | не менше 1500 В |
| Інтерфейс RS-232 | |
| Діапазон напруги вхідного сигналу | ±5…15 В |
| Діапазон напруги вихідного сигналу | ±9…11 В |
| Довжина лінії зв'язку із зовнішнім пристроєм | не більше 10 м |
| Швидкість обміну даними | до 115200 біт/с |
| Використовувані лінії передачі даних | TxD, RxD, GND |
| Інтерфейс RS-485 | |
| Діапазон напруги вхідного сигналу | 0,2…5 В |
| Діапазон напруги вихідного сигналу | 1,5…5 В |
| Довжина лінії зв'язку із зовнішнім пристроєм | не більше 1200 м |
| Кількість приладів в мережі | без використання підсилювача сигналу не |

| | |
|---|---|
| | більше 32; з використанням підсилювача сигналу не більше 256 |
| Використовувані лінії передачі даних | A(D +), B(D –) |
| Корпус | |
| Габаритні розміри | 54x95x57 мм |
| Ступінь захисту | IP20 |
| Кріплення | на DIN-рейку |

Перетворювач забезпечує взаємне перетворення сигналів інтерфейсів RS232 і RS485, автоматичне визначення напрямку передачі даних.

# 6 ВИБІР ТОПОЛОГІЇ СИСТЕМИ І РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Структура автоматизованої системи управління визначається її задачами в сфері діяльності підприємства, зв'язками структурних підрозділів, задіяних в управлінні, напрямками і і формами передачі інформації.

Як правило, структура відображає концепцію центрального стратегічного управління і розподіленого оперативного (диспетчерського) і є моделлю інтегрованої автоматизованої системи управління.

Сучасні системи управління складними об'єктами промислової технології будуються за ієрархічним принципом. Це означає, що система управління такими об'єктами розчленовується на ряд систем, які стоять на різних рівнях підпорядкування. Система вищого рангу, орієнтуючись на загальний (глобальний) критерій управління, видає команди на включення або відключення окремих локальних об'єктів, а також здійснює вибір локальних критеріїв управління цими об'єктами. Локальні системи управління здійснюють підтримку заданих оптимальних режимів як в пускових, так і в нормальних експлуатаційних умовах. Будучи нижнім ієрархічним рівнем автоматичних систем управління промисловими об'єктами локальні системи здійснюють функції вимірювання, контролю та регулювання основних технологічних параметрів, що характеризують стан технологічного процесу. Кількість регульованих параметрів в окремо взятій локальній системі управління невелике і становить один або два параметри. Із загальної кількості систем управління сучасним виробництвом локальні системи складають близько 80%. Якість роботи локальних систем управління багато в чому визначає стабільність і якість вихідного продукту, а отже і рентабельність виробництва.

На рис. 6.1 представлена модель трирівневої структурної схеми автоматизованої системи сучасного виробництва, як однієї з найпоширеніших[5].

Нижній рівень цієї схеми становлять вимірювальні прилади і виконавчі механізми. Наразі вони можуть бути аналоговими або цифровими (інтелектуальними). Аналогові представляють виміряну величину у вигляді рівня напруги або струму. Цифрові ж мають вбудовані пристрої перетворення і представляють виміряну величину у вигляді цифрового сигналу, що відповідає специфікації протоколу передачі даних, визначеного для цих пристроїв. Як правило, для кожного типу існують свої протоколи і формати обміну інформацією. Для обміну інформацією з приладами першого типу, необхідно використовувати АЦП/ЦАП (Аналого-цифрові/Цифро-аналогові перетворювачі).

Із приладами другого типу можна обмінюватися інформацією безпосередньо мережею передачі даних. Наступний рівень схеми - контролери. Вони виконують функцію автоматичного керування технологічним процесом. Метою управління є видача сигналів на виконавчі механізми в результаті обробки даних про стан технологічних параметрів, отриманих за допомогою вимірювальних приладів, за певними алгоритмами.

Сервери технологічних даних забезпечують обмін інформацією між технологічними пристроями і мережею персональних комп'ютерів. Вони підтримують протокол роботи з технологічними пристроями і протокол роботи з мережею персональних комп'ютерів. Дані про поточні параметри технологічного процесу можуть бути використані для контролю стану технологічного процесу і управління ним з автоматизованих робочих місць операторів; для архівування історії зміни технологічних параметрів; для формування сумарних звітних форм з метою надання інформації керівному персоналу. У цій схемі, SCADA-система (абревіатура за іноземною класифікацією) представлена серверами технологічних даних та автоматизованими робочими місцями операторів.

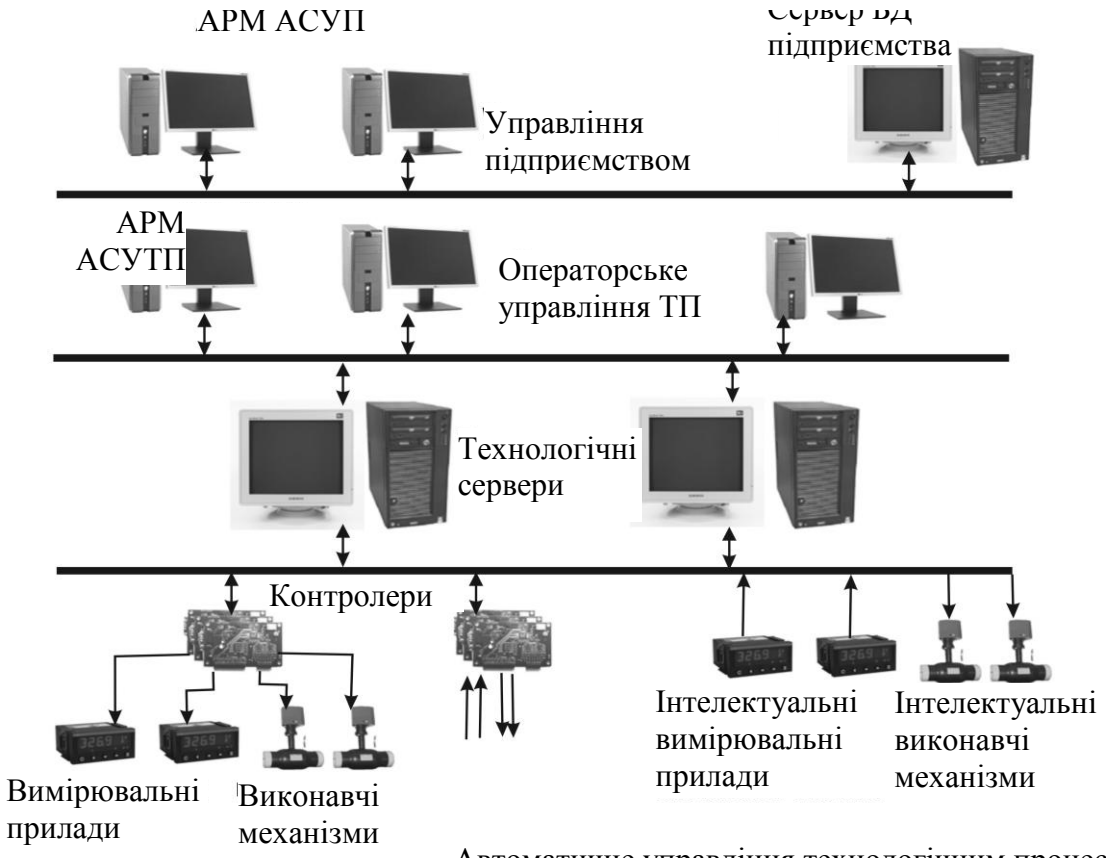


Рисунок 6.1 - Узагальнена структурна схема трирівневої автоматизованої системи управліннясучасного виробництва

Сучасна SCADA система - це набір інструментальних засобів і виконавчих модулів, призначених для створення автоматизованих робочих місць операторів зі спостереження за станом технологічного процесу і керування ним.

Відзначимо функції SCADA-систем:[8]

1) збір, первинну обробку та накопичення інформації про параметри технологічного процесу і стан обладнання від промислових контролерів і інших цифрових пристроїв, безпосередньо пов'язаних з технологічної апаратурою;

2) відображення інформації про поточні параметри технологічного процесу на екрані монітора у вигляді графічних мнемосхем;

3) відображення графіків поточних значень технологічних параметрів в реальному часі за заданий інтервал;

4) виявлення критичних (аварійних) ситуацій;

5) виведення на екран монітора технологічних та аварійних повідомлень;

6) архівування історії зміни параметрів технологічного процесу;

7) операторське управління технологічним процесом;

8) надання даних про параметри технологічного процесу для їх використання в системах управління підприємством.

На третьому рівні сервери баз даних підприємства формують зведені плани роботи за всією номенклатурою продукції, отримують дані з рівня оперативного управління і створюють звіти про випуск продукції і формування виробничих і фінансових показників.

Така структура за принципом відкритих систем може бути розширена в певному напрямку і також – обмежена.

# 7 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

## 7.1 Побудова математичної моделі системи управління

Крива розгону, знята з об'єкта управління, представлена на рисунку 7.1.

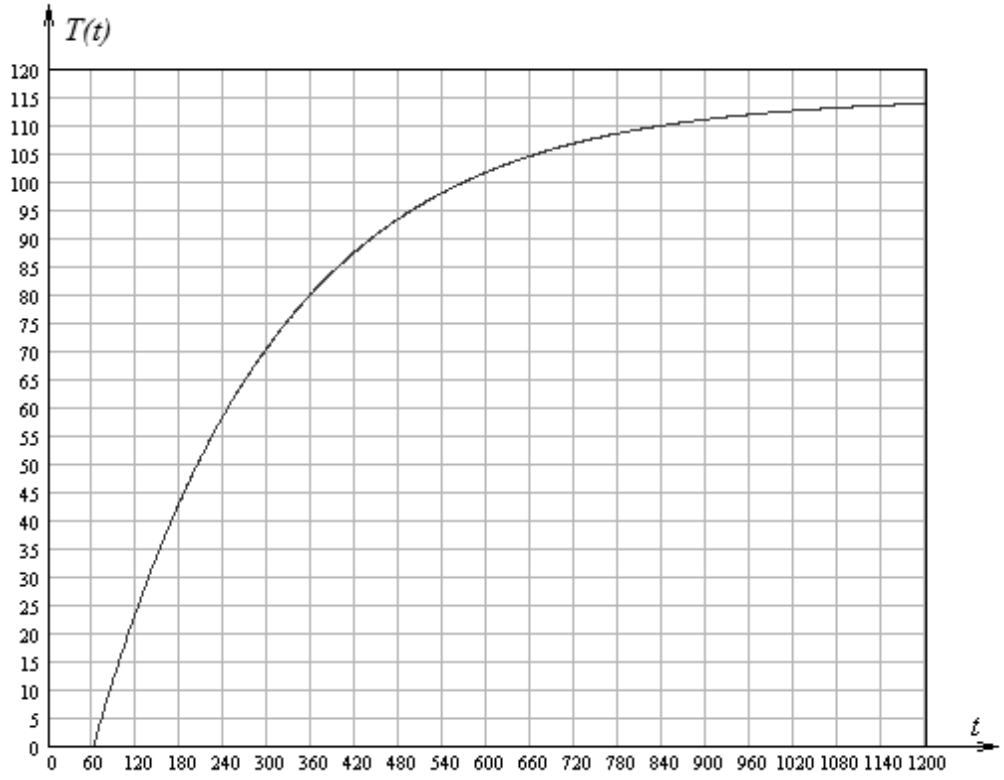


Рисунок 7.1 — Крива розгону

Для визначення математичної моделі об'єкта управління, подамо криву розгону в нормованому вигляді(рисунок 7.2).

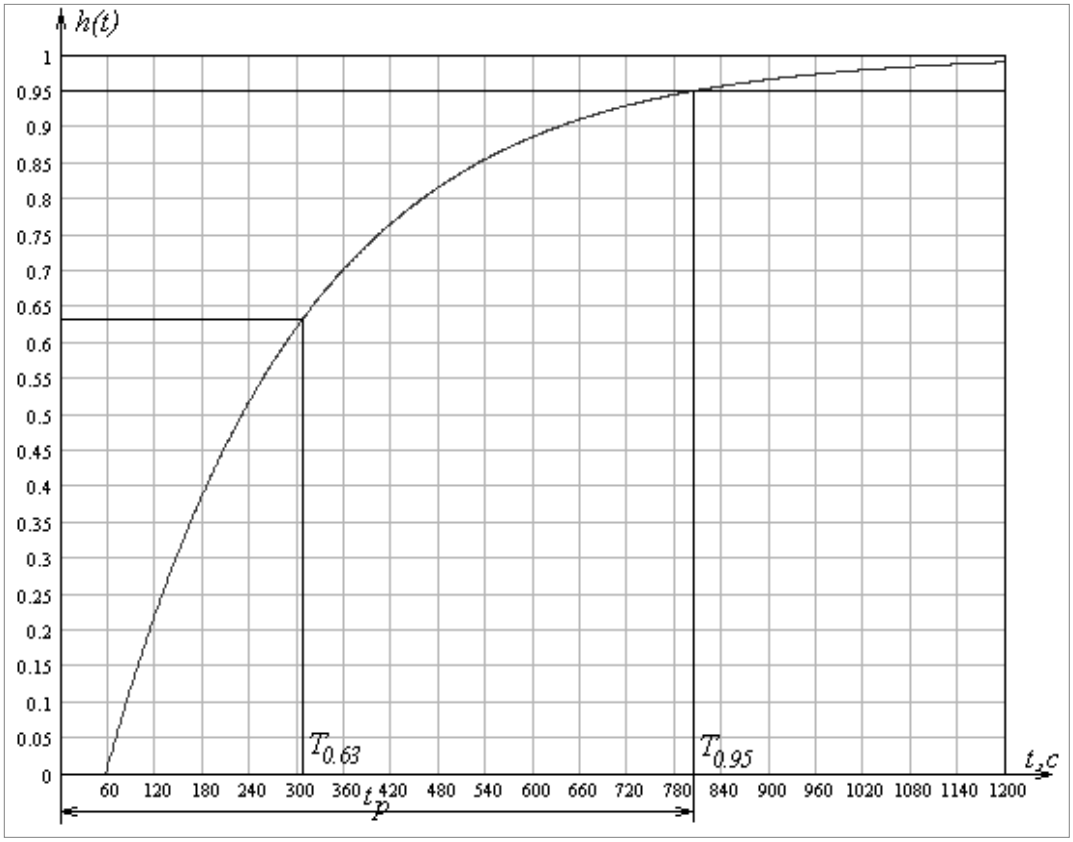


Рисунок 7.2 – Перехідна характеристика об'єкта управління

Об'єкт з такою перехідною характеристикою можна описати функцією передачі інерційної ланки з транспортним (чистим) запізненням.

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau \cdot s}}{T \cdot s + 1} \tag{7.1}$$

Коефіцієнт передачі $k$ визначається відношенням вихідного і вхідного сигналу в сталому режимі $k = \frac{Y_{вых}}{x}$ або по статичній характеристиці $\boxed{k = \frac{\Delta x}{\Delta y}}$ .

$$k = \frac{1}{1} = 1$$

$T_{0,63} = 310 - \tau_{об} = 310 - 60 = 250$ с;

$T_{0,95} = 805 - \tau_{об} = 805 - 60 = 745$ с.

Передавальна функція об'єкта управління має такий вигляд:

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau \cdot s}}{Ts + 1} = \frac{1 \cdot e^{-60s}}{249.17s + 1} \quad . \tag{7.2}$$

### 7.2 Вибір закону регулювання регулятора і його розрахунок

7.2.1 Вибір закону регулювання регулятора

Вибір типу регулятора і визначення його параметрів залежить від прийнятого критерію якості регулювання. Пропорційний регулятор дає постійну статичну помилку, ПІД-регулятор при використанні управління зі зворотним зв'язком застосовується, коли в системі є дві і більше великі постійні часу, в іншому випадку досить ПІ-регулятора.

7.2.2 Розрахунок налаштувань ПІ-регулятора методом РЧХ[32]

На підставі властивостей і характеристик об'єкта управління (ОУ), обраної структури САР і закону регулювання проводиться розрахунок параметрів регулятора, що забезпечують оптимальне, за будь-яким критерієм якості, протікання перехідного процесу в системі. Одним з можливих є метод РЧХ.

У даному розрахунку розглядається випадок, коли ОУ представлений аперіодичною ланкою першого порядку з запізненням, а регулятор реалізує ПІ-закон регулювання з незалежними налаштуваннями.

Об'єкт управління представлений передатною функцією (вираз 7.2).

Як типовий застосовується перехідний процес зі ступенем загасання $\psi = 0.75 \div 0.9$. Вибираємо ступінь загасання перехідного процесу $\psi = 0.75$, якій відповідає показник коливальності $m = 0.336$.

Визначимо діапазон робочих частот за розширеною АФЧХ об'єкта регулювання. Для цього отримаємо розширену АФЧХ об'єкта управління з передавальної функції $W(s)$.

$$W_o(\omega) = \frac{\exp(-\omega \cdot (60j - m))}{249.17 \cdot \omega \cdot (j - m) + 1} \tag{7.3}$$

Розширена АФЧХ ПІ-регулятора з двома незалежними параметрами налаштування,

$$W_{ПИ}(s) = k_1 + \frac{1}{T_u \cdot s} = k_1 + \frac{k_0}{s}$$

описувана передатною функцією

має вигляд:

$$W_{ПИ}(\omega) = \frac{\sqrt{(k_0 - m \cdot \omega \cdot k_1)^2 + (\omega \cdot k_1)^2}}{\omega \cdot \sqrt{m^2 + 1}} \cdot e^{j\left(-\frac{\pi}{2} + arctg\frac{\omega k_1}{k_0 - m\omega k_1} - arctgm\right)}$$

Далі визначається дійсна $RW(\omega)$ і уявна $IW(\omega)$ частини інверсної розширеної АФЧХ об'єкта управління, для чого слід виконати такі перетворення:

$$W_0^*(\omega) = \frac{1}{W_0(\omega)}$$

$$RW(\omega) = \mathrm{Re}(W_0^*(\omega))$$

$$IW(\omega) = \mathrm{Im}(W_0^*(\omega))$$

подамо вираз розширеної АФЧХ ПІ-регулятора в алгебраїчній формі і підставивши у вираз

$$\boxed{\begin{array}{l}\mathrm{Re}(W_{ПИ}(\omega)) = RW(\omega)\\ \mathrm{Im}(W_{ПИ}(\omega)) = IW(\omega)\end{array}}$$

отримаємо параметричне завдання рівняння лінії рівного загасання (ЛРЗ) як функції частоти:

$$\begin{array}{l} k_0(\omega) = \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot IW(\omega) \\ k_1(\omega) = m \cdot IW(\omega) - RW(\omega) \end{array} \qquad (7.4)$$

Визначимо значення частот, при яких розширена АФЧХ об'єкта регулювання перетинає осі координат третього квадрата.

Перше значення частоти може бути отримано, якщо прирівняти до нуля дійсну частину розширеної АФЧХ об'єкта регулювання і вирішити отримане рівняння щодо "ω".

Друге значення частоти може бути отримано, якщо прирівняти до нуля уявну частину розширеної АФЧХ об'єкта регулювання і вирішити отримане рівняння щодо "ω".

Оскільки високої точності при визначенні інтервалу частот не потрібно, то простіше ці рівняння вирішити графічно. Для цього побудуємо допоміжні графіки залежності дійсної та уявної частин від частоти.

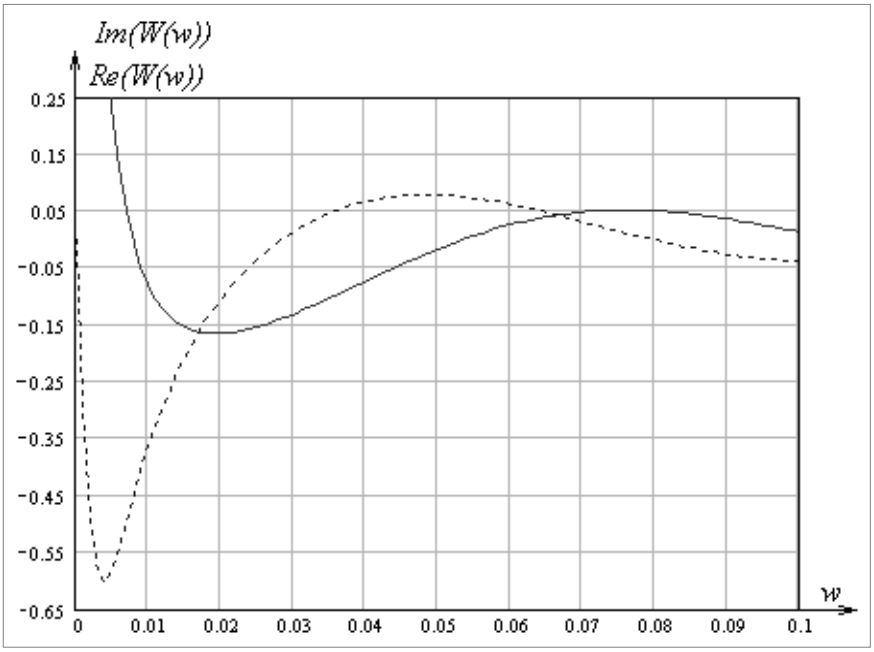


Рисунок 7.3 – Графік залежності дійсної та уявної частин від частоти

У знайденому діапазоні робочих частот будуємо відповідно до виразами (7.4) лінію рівного загасання для заданого значення. ЛРЗ представлена на рисунку 7.4.

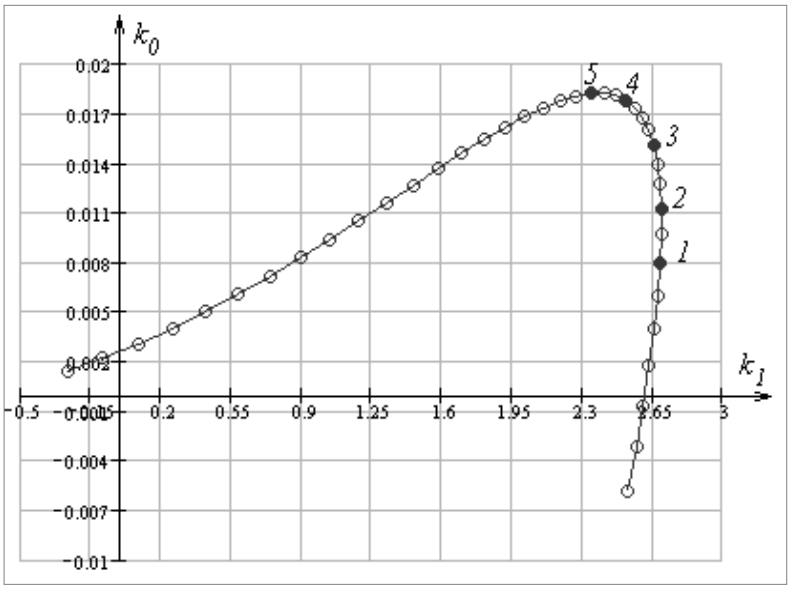


Рисунок 7.4 – Графік лінії рівного загасання

Кожній точці на ЛРЗ відповідає задана ступінь коливальності перехідного процесу в САР. Для вирішення питання про те, яку точку на ЛРЗ вибрати, розглянемо характер зміни перехідного процесу в САР при різних настройках, що відповідають точкам 1, 2, 3, 4 і 5 ЛРЗ на рисуннку 7.4. За допомогою математичного пакета Mathcad отримаємо графіки перехідного процесу для кожної точки (рисунок 7.5):

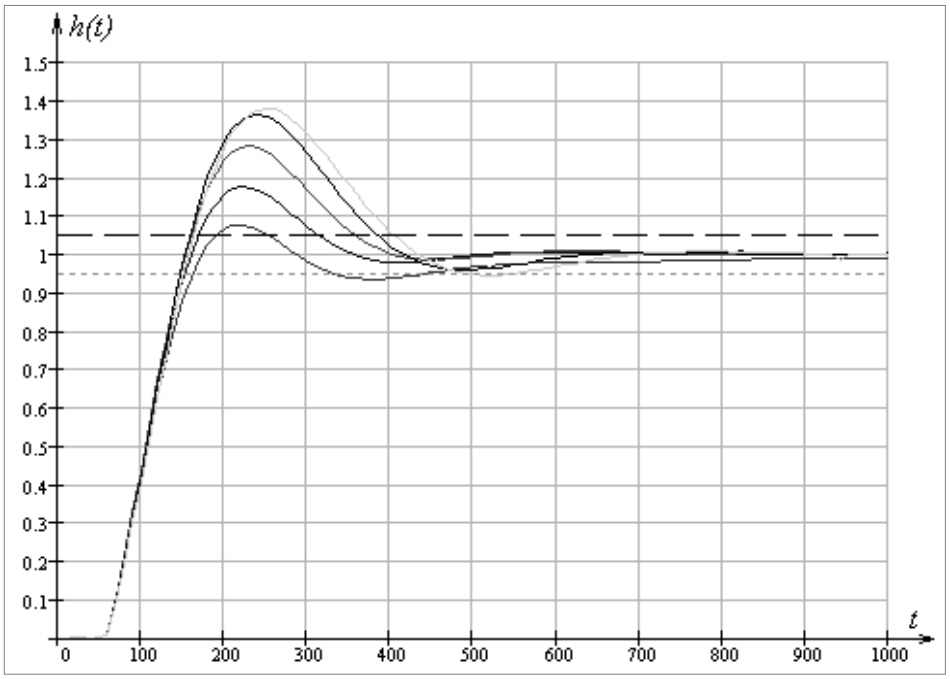


Рисунок 7.5 – Графіки перехідних процесів при різних настройках регулятора

Оптимальні настройки ПІ регулятора знаходяться в точці 2. Графік перехідного процесу при оптимальних настройках регулятора $k_1 = 2.696,\ k_0 = 0.0114,\ T_u = \frac{1}{k_0} = 87.72\ c$ поданий на рисунку 7.6.

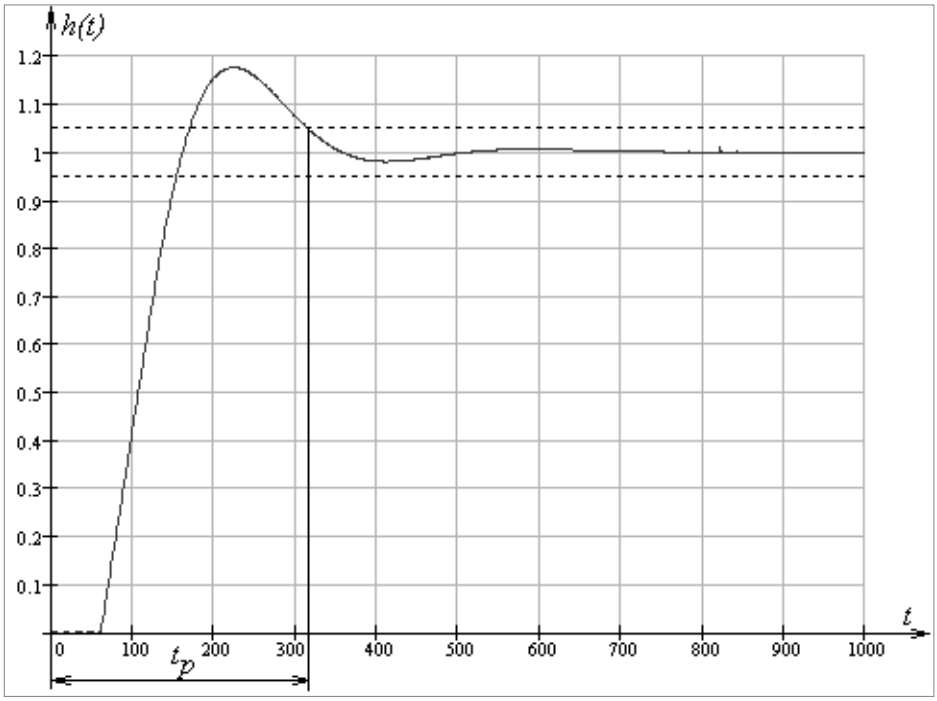


Рисунок 7.6 – перехідна характеристика

Таким чином, обрані налаштування регулятора забезпечують задовільні показники якості: перерегулювання $\delta = 18$ % і час перехідного процесу $t_p = 316$ с.

### 7.3 Вибір фільтра

Згладжуванням називають операцію виділення корисного сигналу вимірювальної інформації з його суми із завадою. На практиці застосовують кілька алгоритмів згладжування. При згладжуванні даних експерименту проводиться операція усереднення за допомогою інтерполяційних поліномів, що забезпечують отримання уточненого значення за заданим значенням і ряду відомих біля лежачих значень. Для здійснення згладжування використовуються цифрові фільтри (ЦФ), які розрізняються за методом проведення операції усереднення і по ширині вікна згладжування.

Два найбільш важливих типи- змінного середнього і експоненційного згладжування, що використовуються в промисловості, майже завжди базуються на одному з простих ФНЧ.

Для нашої системи застосовуємо експонентний фільтр.

У безперервному варіанті експонентний фільтр є елементарно реалізованою одноємнісною ланкою з передавальної функцією виду:

$$W_{э.ф.}(s) = \frac{\gamma}{\gamma + s}$$

де γ - коефіцієнт експоненціального згладжування (параметр настройки фільтра), обираний з умови мінімізації середньої квадратичної похибки роботи фільтра.

У дискретній формі алгоритм фільтрації за методом експоненціального згладжування представляє собою рекурентне співвідношення виду

$$\hat{y}(k\Delta t) = y[(k-1)\Delta t] + \gamma\{x(k\Delta t) - y[(k-1)\Delta t]\}, \qquad (7.3.2)$$

де $x(k\Delta t)$ - поточне значення входу;

$y[(k-1)\Delta t]$ - значення виходу в момент попереднього опитування.

Використання рекурентного співвідношення, незалежно від необхідного інтервалу видачі значення $\hat{y}(k\Delta t)$, дозволяє для зберігання проміжних значень в оперативній пам'яті ЕОМ виділити всього одне слово.

З рекурентного співвідношення видно, що при $\gamma = 1$ вихідний сигнал ЦФ повторює вхідний сигнал, а, наприклад, при $\gamma = 0.1$ шум помітно пригнічується, проте ЦФ вносить значне запізнювання.

На підставі проведених розрахунків, отримали ЦФ, що має передавальну функцію виду:

$$W_{э.ф.}(p) = \frac{0.85}{0.85 + s}.$$

### 7.4 Моделювання контуру управління

Моделюємо систему управління, використовуючи математичний пакет MATLAB (середовище Simulink). Отриману передавальну функцію регулятора вбудували в схему моделювання. У схемі моделювання є канал, що імітує вплив перешкод. Ці перешкоди надходять на той же акумулятор, що і сигнал від об'єкта управління. Схема, що моделює роботу контуру управління, представлена на рисунку 7.7.

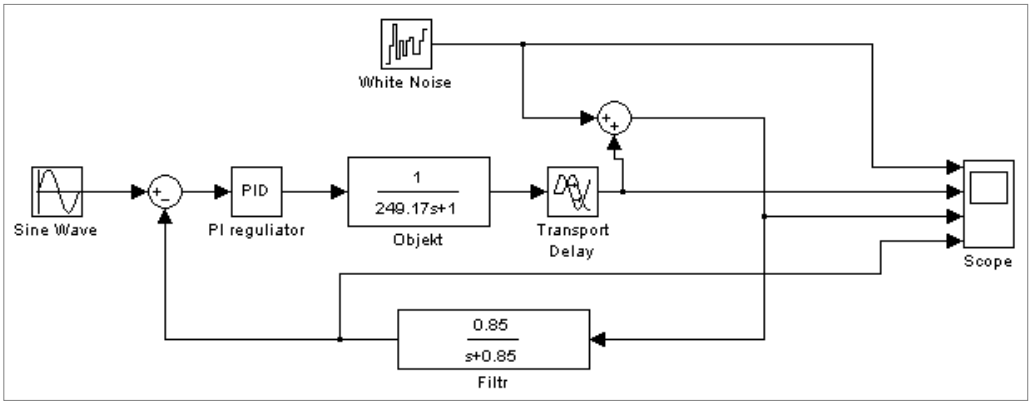


Рисунок 7.7 – Модель контура управління

Результати моделювання контуру управління представлені на рисунку 7.8.

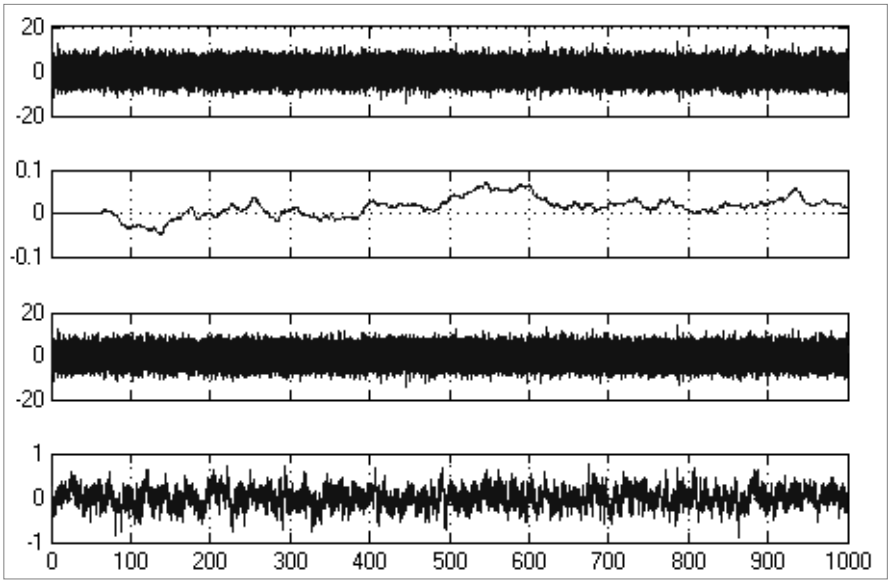


Рисунок 7.8 – Осцилограми збурюючого, зашумленого, відфільтрованого і вхідного сигналів відповідно

Перехідна характеристика системи після введення в контур фільтру представлена рисунку 7.9.

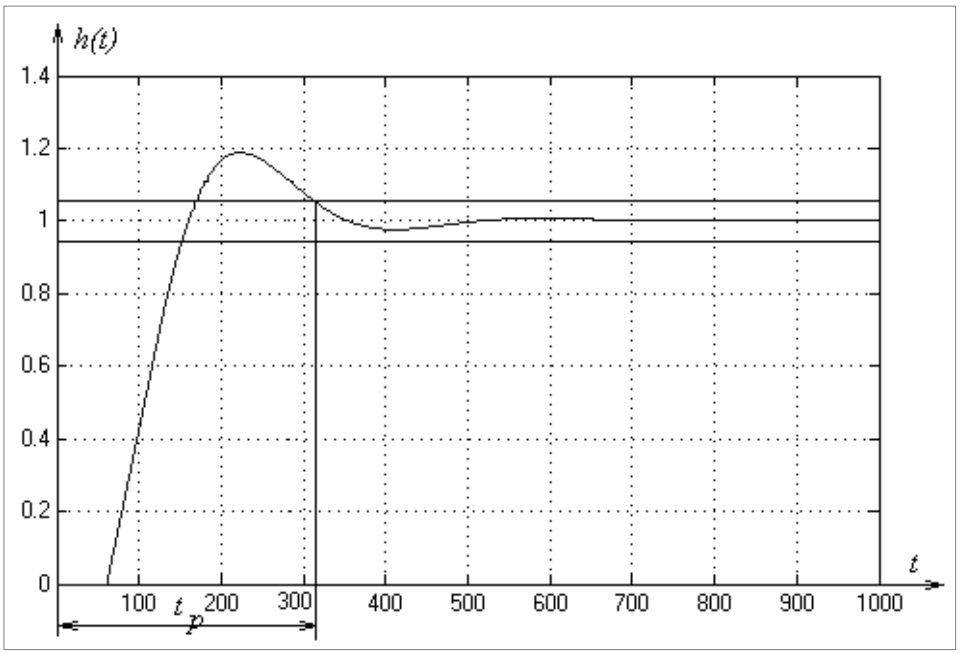


Рисунок 7.9 – Перехідна характеристика контуру управління

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіку, такі:

- Перерегулювання $\sigma = 19\%$,

- Час перехідного процесу $t_p = 315\,c$.

Введення фільтра в контур управління не призвело до істотних викривлень перехідного процесу.

# 8 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Перед запуском процесу проводиться попередня перевірка готовності до роботи. Перевіряється працездатність і справність двигунів і виконавчих механізмів. Проводиться опитування всіх датчиків і установка параметрів регулювання. Потім система переходить в режим очікування команди оператора. Після підтвердження оператором готовності система починає виконання циклу виробництва 2-нафтілгідразіна.

Алгоритм управління процесом виробництва 2-нафтілгідразіна дає уявлення про послідовність реалізованих дій. Розглянемо докладніше процес виробництва 2-нафтілгідразіна: спочатку проводиться дозування реагентів; потім виконується безпосередньо виробництво 2-нафтьлгідразіне; далі здійснюється перекристалізація і очищення 2-нафтілгідразіна. Кожен етап є окремою підпрограмою.

Підпрограма дозування реагентів. Спочатку проводиться відкриття клапанів подачі гідразин гідрату, метанолу та артезіанської води в мірники. Потім проводиться опитування 3-х датчиків рівня, після чого отримані дані обробляються. Підпрограма опитування датчиків полягає в знятті показань і записи даних в масив даних. Підпрограма обробки даних полягає в порівнянні масиву отриманих даних з масивом граничних значень регульованих величин. У разі виходу і-го параметра за встановлені межі система видає керуючий вплив, що полягає в закритті відповідного клапана. Після закриття клапанів подачі гідразин гідрату, метанолу та артезіанської води в мірники відкривається клапан подачі гідразин гідрату в апарат поз.6. Після зливу гідразин гідрату закривається відповідний клапан. Потім включається двигун М1 і відкривається клапан подачі β-нафтол в апарат поз.6. Проводиться опитування датчика маси. Коли маса β-нафтол досягає необхідного значення проводиться закриття клапана подачі відповідного реагенту в апарат поз.6 і зупинка двигуна М1. Потім відкривається клапан подачі охолоджуючої води на холодильник поз.1, а також відкривається клапан подачі пари в сорочку апарату поз.6. Далі виконується опитування датчика температури і проводиться регулювання параметра. Потім відкривається клапан подачі профільтрованою артезіанської води в реактор поз.7. Після зливу води закривається відповідний клапан. Далі включається двигун М2 і відкривається клапан подачі реакційної маси в реактор поз.7. Потім закривається клапан подачі охолоджуючої води на холодильник поз.1 і клапан подачі пари в сорочку апарату поз.6. Далі відкривається клапан подачі реакційної маси на центрифугу поз.8. Проводиться опитування датчика витрати і в разі виходу параметра за вказану межу проводиться закриття відповідного клапана. Потім відкривається клапан подачі води і проводиться опитування датчика лужності. У разі виходу параметра за вказану межу проводиться

закриття клапана подачі води. Далі система переходить до виконання підпрограми наступного етапу. Решта етапів виконуються так само.

Опитування датчиків температури і рівня. Проводиться запис показання датчика. Потім порівнюється отримане значення з заданим. Якщо показання датчика не відповідають нормі, то виконується ПІ-регулювання і видається необхідна керуючий вплив. В результаті регулювання відбувається стабілізація параметра на заданому рівні.

Підпрограма ПІ-регулювання. На початку підпрограми відбувається обнулення початкових значень інтеграла і помилок. Потім зчитується значення керованого параметра і обчислюється відхилення від норми (неузгодженість). Потім обчислюються пропорційна і інтегральна складові керуючого впливу. Потім видається керуючий вплив. Для подальшого процесу необхідно перевизначення змінних і узгодження швидкодії.

У разі виникнення аварійної ситуації система виконує зупинку двигунів, припиняє подачу хімічних речовин і вмикає сигналізацію.

Блок-схеми алгоритмів роботи наведені в додатку В.

# ВИСНОВОК

В роботі виконана розробка системи управління технологічним процесом виробництва 2-нафтилгідразина. Виконано аналіз технологічного процесу, обрані канали управління, зроблено вибір засобів автоматизації, а саме, датчиків, виконавчих механізмів, засобів сигналізації і контролера. Також були розроблені функціональна схема автоматизації і алгоритм роботи системи, модель об'єкта управління температурою у реакторі поз.6, отримана його передатна функція.

Проведені розрахунки контуру управління температурою у реакторі поз.6. Обраний закон регулювання та визначені оптимальні параметри регулятора.

## ЛІТЕРАТУРА


1. Технологический регламент производства 2-нафтилгидразина.
2. Process Control of Technological Processes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=process-control-of-technological-processes
3. Deciding Upon Control-System Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ethanolproducer.com/articles/1456/deciding-upon-control-system-technology
4. В.А. Голубятников, В.В. Шувалов Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, – М.: Химия, 1972. – 248 с.
5. Проектування систем автоматизації: Навч пос. / М.С. Пушкар, С.М. Проценко, 2013.-268 с.
6. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справ пос. / А.С. Клюев Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Клюев; под ред. А.С. Клюева – М.: Энергоатомиздат, 1990.-464 с.
7. A Guide to the Automation Body of Knowledge (2nd Edition) Trevathan, Vernon L. (2006) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAGABKE07/viewerType:toc//root_slug:guide-automation-body?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content
8. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К.: Видавництво Ліра-К, 2015— 340 с.
9. Термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: https://www.owen.ru/uploads/re_dts-i_dtp-i_1848.pdf
10. Термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом ИТ-1, ИТ-1-Ex [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mano-term.ru/opisanie/termopreobrazovatel-it-1-it-1-ex
11. Емкостной уровнемер широкого применения NivoCap [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/nivocap
12. Одноэлектродные датчики ДС.1, ДС.2, ДС.П, ДС.К [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://www.mashprom.com.ua/%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8-%D0%B4%D1%81-1-%D0%B4%D1%81-2-%D0%B4%D1%81-%D0%BF-%D0%B4%D1%81/

13. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЙ ДМЭ-МИ, ДМЭУ-МИ, ДМЭР-МИ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ukrgazavt.com.ua/products/preobrazovateli-davlenij-dme-mi-dmeu-mi-dmer-mi/
14. Датчик перепада давления ЗОНД-10-ДД-1161 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mano-term.ru/opisanie/zond-10-dd-1161
15. Стационарный бесконтактный ультразвуковой расходомер DFM-IV [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: http://www.artvik.ru/pdf/archive/dfm_iv.pdf
16. Расходомеры Digmesa серии FM [Електронний документ]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: http://alart.su/upload/katalogi/katalog_digmesa_rashodomery.pdf
17. Тензодатчик PM 150 HSP [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://t-automation.by/400511/
18. Тензодатчик F60X200 C3 CH 10e [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://t-automation.by/sensors/weight/scaime/
19. ИЩП-4 измеритель щелочности [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ptk-kip.ru/publics/item/4226
20. АНИОН-7020 кондуктометр-солемер лабораторный переносной [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.td-anion.ru/catalog/konduktometry/anion-7020.htm
21. Регулирующие клапана V16G, V25G http://pasador.ru/v16g/
22. “лектропривод типа PSL-AMS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ps-automation.com/produkte/ps-ams-psl/?lang=ru
23. Клапан регулирующий V16G DN15-200 PN16 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://asteama.ru/catalogues/control_valves/actuators_control_valves/ADCA_V16G
24. Клапан регулирующий фланцевый двухходовой односедельный Ду150, Ру16 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://pasador.ru/v16g-150-klapan-regulirujushij-flancevyj-dvuhhodovoj-odnosedelnyj-du150-ru16-kvs310-m3ch/
25. Регулирующий клапан под электро- и пневмопривод для пара, жидкостей и газов температурой до 200 °C [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://pasador.ru/v16g/

26. Устройство плавного пуска SSB-21-18 до 7,5 кВт; 3х400В [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://220volt.com.ua/ustrojstvo-plavnogo-puska-i-tormozheniya-abb-psr6-600-70-1sfa896104r7000/
27. ПЛК154. Программируемый логический контроллер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://owen.ua/ru/programmiruemye-logicheskie-kontrollery/programmiruemyj-logicheskij-kontroller-oven-plk154
28. ПЛК150. Программируемый логический контроллер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://owen.ua/ru/programmiruemye-logicheskie-kontrollery/programmiruemyj-logicheskij-kontroller-oven-plk150
29. МВ110-8АС. Модуль скоростного ввода аналоговых сигналов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://owen.ua/ru/moduli-vvoda-vyvoda/modul-skorostnogo-vvoda-analogovyh-signalov-oven-mv110-8as
30. Модуль аналогового вывода ОВЕН МУ110-8И [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.owen-pribor.ru/products/description/device/modul-analogovogo-vivoda-oven-mu110-8i
31. МУ110-8Р. Модуль дискретного вывода [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://owen.ua/ru/moduli-vvoda-vyvoda/modul-diskretnogo-vyvoda-oven-mu110-8r
32. Худолей Г.М. Конспект лекцій і практик з ТАУ, 2015.
33. Advanced PID Control Åström, Karl J.; Hägglund, Tore (2006) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAPIDC001/viewerType:toc//root_slug:advanced-pid-control?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAPIDC001/viewerType:toc//root_slug:advanced-pid-control?b-cat-name=Process%20Design%2C%20Control%20%26%20Automation&b-cat-slug=process-design-control-automation&b-cat-id=197&b-order-by=name&b-sort-by=ascending&b-filter-by=all-content
34. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов. Инструктивные материалы. Для студентов специальности 6.091401 "Компьютеризованные системы управления и автоматики". - Сумы.: СумГУ, 1998. – 77 с.
35. 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.
36. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Національний стандарт України. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.