

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ П.В.Леонтьєв

«__»_____2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

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

на тему:

«Модернізація автоматизованої системи управління технологічним процесом
приготування розчинів для виготовлення піроксилінових порохів»

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

А.Г. Серяков

Магістрант:
студент групи СУмдн-02ш

П.О. Рибачков

ЗМІСТ

Список скорочень.....	3
Вступ.....	5
1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації	7
2 Вибір параметрів контролю, регулювання та сигналізації	11
3 Вибір каналів внесення регулюючих дій	14
3 Вибір засобів автоматизації	23
3.1 Нижній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом	23
3.2 Верхній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом	61
3.3 Розробка системи сигналізації.....	72
4 Алгоритм роботи системи	75
4.1 Опис алгоритму роботи системи	75
4.2 Програма перевірки працездатності	75
4.3 Основна програма	75
5 Розрахункова частина	80
5.1 Регулювання температури в реакторі плавлення.....	80
5.2 Регулювання рівня у мірнику	88
Висновок	106
Література	107

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.
- ВКПР – верхня концентрована межа поширення полум'я.
- ВМ – виконавчий механізм.
- ВО - виконавчий орган.
- ГДК – гранично-допустима концентрація.
- ДБФ – дибутилфталат.
- ДВК – довибухова концентрація.
- ДНТ – динітротолуол.
- ДФА – дифеніламін.
- ЕСКД – єдина система конструкторської документації.
- ЗІЗ – засоби індивідуального захисту.
- КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика.
- МЕК – міжнародна електротехнічна комісія.
- НКМП – нижня концентрована межа поширення полум'я.
- 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.
- ПВМ – пневматичний виконавчий механізм.
- ПВП – первинний вимірювальний перетворювач.
- ПЗП – постійний пристрій, що запам'ятовує.
- ПК – персональний комп'ютер.
- ПЕВМ – персональна електронно-обчислювальна машина.
- ПБ – правила безпеки.
- ПК – персональний комп'ютер.

ПЛК – програмований логічний контролер.

ПЧ – перетворювач частоти.

РКІ – рідкокристалічний індикатор.

РО — регулюючий орган.

САПР – система автоматизованого проектування.

САР – система автоматичного регулювання.

САУ — система автоматичного управління.

ОР – об'єкт регулювання.

ОУ – об'єкт управління.

ТБ – техніка безпеки.

ТП — технологічний процес.

ТО– термоперетворювач опору.

ТП – термопара.

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

ЧЕ – чутливий елемент.

ppm – (англ. parts per million, читається «пі-пі-ем», «частин на мільйон») або млн^{-1}

ВСТУП

Виробництво піроксилінових порохів за традиційною технологією – це шкідливе в усіх сенсах і небезпечне виробництво, яке потребує специфічних методів і приладів контролю і управління технологічними процесами. Пожежо- і вибухонебезпека практично на більшості операцій технологічного процесу виявляють особливі вимоги як для персоналу, так і для устаткування, які вирішуються за допомогою конструктивних, технологічних, організаційних заходів тощо.

Але людський фактор в силу фізіологічних обмежених можливостей людського організму за часом реакції і прийняття рішень, за одночасністю аналізу великою кількістю інформації про зміну значень параметрів і режимів протікання технологічних процесів, не може в повній мірі контролювати і управляти цими процесами, що може призводити до випуску неякісної продукції і утворення небезпечних виробничих ситуацій.

Впровадження спеціальних автоматичних пристроїв сприяє безаварійній роботі устаткування, виключає випадки травматизму, попереджає забруднення атмосферного повітря і водойм промисловими відходами.

В автоматизованому виробництві людина перемикається на творчу роботу - аналіз результатів управління, складання завдань і програм для автоматичних приладів, наладку складних автоматичних пристроїв і т. д.

Автоматизація технологічного процесу приготування розчинів для виробництва піроксилінових порохів передбачає попереднє проведення таких операцій, як приготування динітротолуолу, дибутилфталату і дифеніламіну. Для проведення даного технологічного процесу використовується різноманітне обладнання, як таке, що використовується в інших галузях хімічної промисловості, так і придатне тільки для даного процесу. На даний момент існуюча система управління і контролю даним технологічним процесом є застарілою, оскільки вона має такі недоліки: використовуються застарілі морально і фізично прилади КВП і А; наявні енергозатратні системи релейної логіки; відсутнє централізоване управління процесом. Це призводить до зниження надійності, перевитрати енергетичних і трудових ресурсів.

Приготування розчинів для виробництва піроксилінових порохів є невід'ємною частиною виробництва піроксилінових порохів. Суміш дибутилфталату, динітротолуолу і ефіру є пластифікатором пороху, а дифеніламін призначень для хімічної стійкості пороху при тривалому зберіганні. Тому автоматизація даного технологічного процесу є дуже важливою для оборонної галузі країни.

В даний час, тенденції апаратурного оформлення процесу приготування розчинів для виробництва піроксилінового пороху визначились, і прогрес у цій галузі техніки розвивається шляхом модернізації існуючого обладнання.

Завданням цієї роботи є дослідження технологічного процесу з метою можливої модернізації існуючої системи управління і створення системи управління з використанням сучасної техніки і методів керування для збільшення стійкості процесів до впливу зовнішніх збурень.

У магістерській роботі виконано роботу по розробці системи управління технологічним процесом приготування розчинів для виробництва піроксилінових порохів, визначені параметри для контролю, управління і сигналізації, розроблені канали контролю, управління, сигналізації, обрані засоби автоматизації, сучасні керуючі пристрої, що забезпечують нормальний хід цього процесу, а також автоматичне керування пуском і зупинкою обладнання у критичних ситуаціях і для проведення ремонтних робіт у штатному режимі.

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Опис технологічного процесу

Стадія підготовки сумішей у виробництві піроксилінових порохів є допоміжним, але вкрай важливим технологічним процесом, від якого в певній мірі залежить протікання основного технологічного процесу і якість виготовленої продукції.

Суміші мають різний склад, різне технологічне призначення, але у великій мірі технологічні схеми і апарати дуже схожі за своїми фізичними властивостями і функціональним призначенням.

В технології задіяні такі речовини: дибутилфталат (ДБФ), динітротолуол (ДНТ), дифеніламін (ДФА), діетиловий ефір (ефір).

Дибутилфталат - безбарвна масляниста рідина; температура кипіння 340 °С, добре розчинний в органічних розчинниках (етанолі, бензолі, ацетоні), малорозчинний у воді (~0,1 % при 20 °С).

Динітротолуол – суміш ізомерів, жовтий кристалічний порошок з характерним запахом; температура плавлення 54-71 °С. Температура спалаху 207°С. Температура samozапалювання 400°С. При змішуванні речовини у вигляді порошку або гранул із повітрям можливий вибух. При нагріванні може статися сильне горіння або вибух. Розкладається при нагріванні. Виділяє токсичні та їдкі вуглеводні, що містять оксиди азоту навіть без повітря. Використовується у виробництві порохів з підвищеною енергетикою, як охолоджуюча добавка.

Дифеніламін - безбарвні кристали, що темніють на світлі; температура плавлення 54-55 °С, температура кипіння 302 °С. Легко розчинний у діетиловому ефірі, бензолі, ацетоні, чотирихлористому вуглеці. Розчинність при 25 °С в 100 г етанолу - 44 г, метанолу - 57,5 г, води - 0,03 г. У виробництві пороху використовується як стабілізатором хімічної стійкості.

Діетиловий ефір - безбарвна, прозора, дуже рухлива, летюча рідина зі своєрідним запахом та пекучим смаком. Температура кипіння 35°С. Температура плавлення 116°С. Температура спалаху 45°С. Температура samozаймання: 160-180°С. Межа вибуховості, % обсягом повітря: 1.7-48. Розчинність у воді 6,5 % при 20 °С. Утворює азеотропну суміш із водою (т. кип. 34,15 °С; 98,74 % діетилового ефіру). Зміщується з етанолом, бензолом, ефірними та жирними оліями у всіх співвідношеннях. Легко спалахує, у тому числі пари; у певному співвідношенні з киснем або повітрям пари ефіру для наркозу вибухонебезпечні. Розкладається під дією світла, тепла, повітря та вологи з утворенням токсичних альдегідів, пероксидів та кетонів, що подразнюють дихальні шляхи. Пероксиди, що утворюються, нестійкі і вибухонебезпечні, вони можуть бути причиною

самозаймання діетилового ефіру при зберіганні і вибуху при його перегонці «досуха». У виробництві пороху використовується як розчинник-пластифікатор.

До складу технологічної схеми підготовки розчину ДФА + ефір і ДНТ + ДБФ входить таке основне обладнання:

- мірник для чистого ефіру, об'ємом 1,5 м³;
- бункер для ДФА;
- ваговий дозатор ДФА;
- змішувач розчину ДФА + ефір об'ємом 5 м³;
- витратна ємність розчину ДФА + ефір об'ємом 1,5 м³;
- мірник для чистого ефіру 0,1 м³;
- сітчастий фільтр;
- ємність для дибутилфталату об'ємом 1,5 м³;
- мірник дибутилфталату об'ємом 0,7 м³;
- мірник дінітротолуолу об'ємом 0,5 м³;
- змішувач для приготування розчину ДБФ+ДНТ;
- насос-дозатор для ДФА + ефір;
- реактор для плавлення динітротолуолу об'ємом 3 м³;
- змішувач для приготування розчину ДФА + ефір+ДБФ+ДНТ об'ємом 5 м³.

Співвідношення компонентів розчинів сумішей визначається маркою пороху, для виробництва якої готуються розчини.

Спрощена технологічна схема стадії приготування сумішей для виробництва піроксилінових порохів наведена на рис. 1.1.

Приготування розчину ДБФ+ДНТ.

Попередньо дибутилфталатом заповнюється ємність для внутрішньостадійного зберігання дибутилфталату. З цієї ємності самопливом дибутилфталат дозується у мірник дибутилфталату у кількості в залежності від необхідного співвідношення у розчині.

Кристалічний динітротолуол завантажується у реактор ДНТ, що складається з плавильника ДНТ та збірника ДНТ, сухою навіскою. Завантаження плавильника ДНТ відбувається наступним чином: ємність з динітротолуолом, зверху якої стаціонарно встановлюється вивантажувальний пристрій, піднімається за допомогою механічного підйомника, перевертається і ДНТ висипається у плавильник.

Плавильник має сорочку для підігріву, у яку подається пара з температурою 55-60 °С. Розплавлений динітротолуол стікає у збірник ДНТ у нижній частині реактора, який також підігрівається паром з температурою 55-60 °С через сорочку для підігріву.

Рідкий ДНТ із збірника самопливом дозується у мірник динітротолуолу у кількості в залежності від необхідного співвідношення у розчині. Мірник також підігрівається паром з температурою 55-60 °С через сорочку для підігріву.

Суміш ДНТ + ДБФ готують у змішувачі, який обладнаний лопатевою мішалкою - корпус чавунний, лопати бронзові. Компоненти суміші (дибутилфталат і динітротолуол) самопливом одночасно завантажуються у змішувач. Розчин у змішувачі в процесі перемішування охолоджується водою до температури 20 °С.

Приготування розчину ДФА + ефір.

Дифеніламін завантажується у бункер для внутрішньостадійного зберігання дифеніламіну, з якого виконується дозування ДФА за допомогою вагового дозатора у кількості, відповідно до марки порошу, у змішувач ДФА + ефір.

Ефіром заповнюється мірник ефіру у кількості, необхідній для приготування розчину ДФА + ефір пропорції. Ефір із мірника ефіру самопливом завантажується у змішувач приготування розчину ДФА + ефір. За необхідності, розчин ДФА + ефір коригується доливанням чистого ефіру з мірника до змішувача. Після приготування розчин ДФА + ефір самопливом через сітчастий фільтр виливається зі змішувача у витратну ємність ДФА + ефір.

Приготування розчину ДФА + ефір+ДБФ+ДНТ.

Розчин ДБФ+ДНТ самопливом зі змішувача розчину ДБФ+ДНТ виливається у змішувач розчину ДФА + ефір+ДБФ+ДНТ. Розчин ДФА + ефір із витратної ємності розчину ДФА + ефір насосом-дозатором перекачується у необхідній кількості у мірник розчину ДФА + ефір. Розчин ДФА + ефір із мірника розчину ДФА + ефір самопливом виливається у змішувач розчину ДФА + ефір+ДБФ+ДНТ. Із змішувача розчин ДБФ+ДНТ +ДФА + ефір самопливом виливається у мірник розчину ДФА + ефір+ДБФ+ДНТ, який надалі поступає на виробництво порошу.

Приблизний вміст ДБФ, ДНТ і ДФА у різновидах порохів наведений у табл. 1.1.

Таблиця 1.1_ Приблизний вміст ДБФ, ДНТ і ДФА у порохах

Різнавид порошу	ДБФ	ДНТ	ДФА
Звичайний гарматний піроксиліновий порох	1 %	-	1 %
Малогіроскопічний порох	1 %	10 %	1 %
Безполум'яний порох	3 %	5 %	1 %
Полум'ягасячий порох	3 %	3 %	1 %

Точні рецептурні співвідношення компонентів для приготування сумішей для різних марок порохів наведені у конкретних технологічних регламентах.

2 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА СИГНАЛІЗАЦІЇ

Контролю підлягають всі параметри регулювання. Контролю підлягають ті параметри, значення яких забезпечить правильний пуск, наладку, роботу, зупинку об'єкта управління (ОУ).

Контролю підлягають параметри, зміна яких може призвести до порушення нормального ходу технологічного процесу, виникнення браку або аварійної ситуації, загрози для здоров'я і життя персоналу.

Для оптимального проведення технологічного процесу необхідно підтримувати температуру 55-60 °С у плавильнику динітротолуолу, температуру 55-60 °С у збірнику динітротолуолу, температуру 55-60 °С у мірнику динітротолуолу, рівень 0-5 м у ємності для дибутилфталату, рівень 0-2 м у мірнику дибутилфталату, температуру 20-25 °С у змішувачі динітротолуолу і дибутилфталату, рівень 0-5 м у мірнику ефіру, вагу $5,3 \pm 0,5$ кг дифеніламіну в змішувач ДФА+ефір, тиск 0-0,04 МПа розчину ДФА+ефір перед сітчастим фільтром, тиск 0-0,04 МПа розчину ДФА+ефір після сітчастого фільтру, тиск 0-2,0 бар розчину ДФА+ефір після насоса-дозатора, рівень 0-5 м у мірнику ДФА+ефір, рівень 0-5 м у мірнику ДБФ+ДНТ +ДФА + ефір.

У технологічному процесі приготування сумішей для виробництва піроксилінових порохів застосовуються пожежо- і вибухонебезпечні реагенти. Тому, поряд з конструктивними, організаційними і технологічними заходами, необхідно контролювати значення граничних значень параметрів і блокувати (зупиняти) технологічний процес, вмикати аварійну сигналізацію і, в разі необхідності, проводити запуск системи технологічного пожежогасіння.

Середовище вважається вибухонебезпечним, якщо концентрація найбільш вибухонебезпечного газу перевищує 50% його НКМП (нижньої концентраційної межі поширення полум'я): для діетилового ефіру межа вибуховості, % за обсягом повітря: 1,7-48.

Перелік перерахованих параметрів наведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1_ Перелік параметрів, які впливають на хід технологічного процесу

Точка технологічної схеми	Параметр	Функція	Величина
Плавильник динітротолуолу	Температура динітротолуолу	Контроль, управління	55-60 °С
Збірник динітротолуолу	Температура динітротолуолу	Контроль, управління	55-60 °С
Мірник динітротолуолу	Температура динітротолуолу	Контроль, управління	55-60 °С
Мірник динітротолуолу	Рівень динітротолуолу	Контроль, управління	0 – 2 м
Ємність для дибутилфталату	Рівень дибутилфталату	Контроль, управління	0 – 5 м
Мірник дибутилфталату	Рівень дибутилфталату	Контроль, управління	0 – 2 м

Продовження таблиці 2.1

Точка технологічної схеми	Параметр	Функція	Величина
Змішувач ДБФ+ДНТ	Рівень суміші ДБФ+ДНТ	Контроль, управління	20 - 25 °С
Змішувач ДБФ+ДНТ	Температура суміші ДБФ+ДНТ	Контроль, управління	0 – 3 м
Мірник ефіру	Рівень ефіру	Контроль, управління	0 – 5 м
Вхід у змішувач ДФА+ефір	Вага дифеніламіну	Контроль, управління	5,3 ± 0,5 кг
Перед сітчастим фільтром	Тиск розчину ДФА+ефір	Контроль, сигналізація	0-0,04 МПа
Після сітчастого фільтру	Тиск розчину ДФА+ефір	Контроль, сигналізація	0-0,04 МПа
Витратна ємність для ДФА+ефір	Рівень розчину ДФА+ефір	Контроль, сигналізація	0 – 5 м
Після насоса-дозатора	Тиск розчину ДФА+ефір	Контроль, управління, сигналізація	0-2,0 бар
Мірник розчину ДФА+ефір	Рівень розчину ДФА+ефір	Контроль, управління	0 – 5 м
Мірник розчину ДНТ+ДБН+ДФА+ефір	Рівень розчину ДНТ+ДБН+ДФА+ефір	Контроль, управління	0 – 5 м
Стадія приготування сумішей	Концентрація парів ефіру	Контроль, управління, сигналізація	10-50% НКПР

Структурна схема автоматизації представлена на рисунку 2.1.

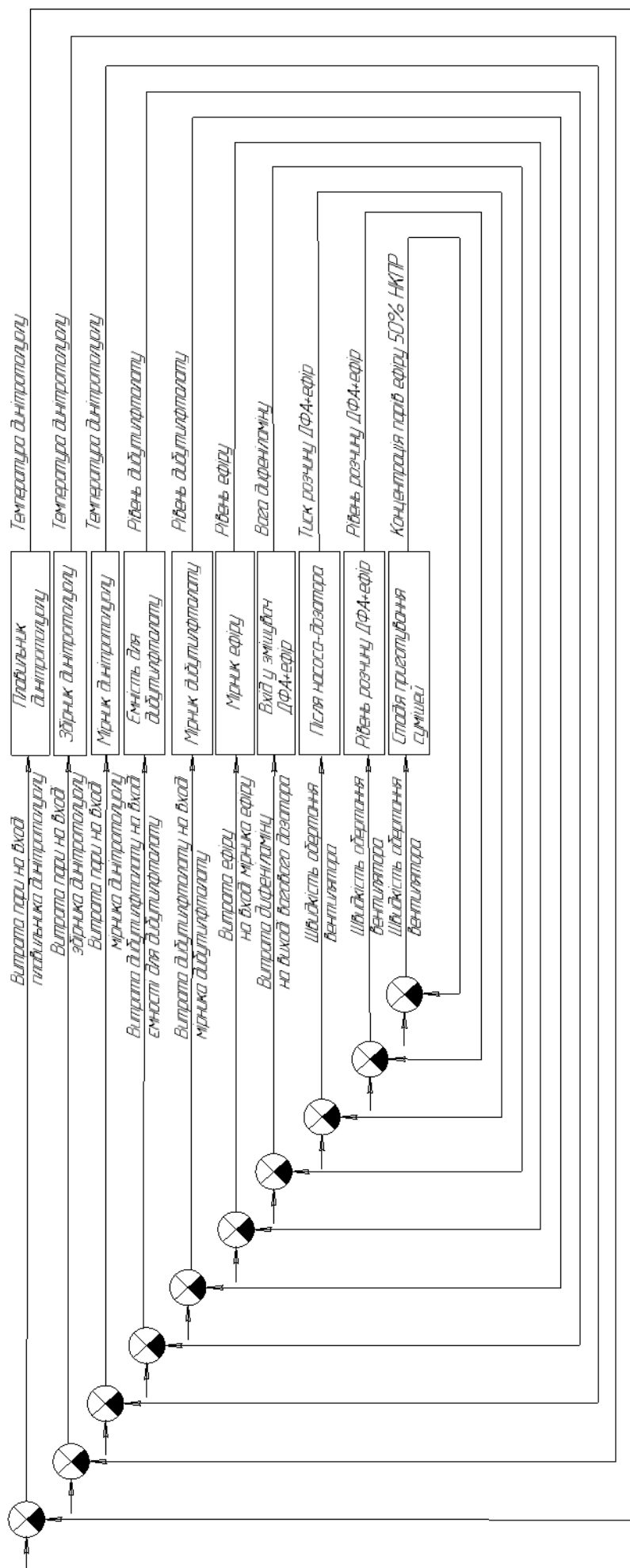


Рисунок 2.1-Структурна схема автоматизації.

3 ВИБІР КАНАЛІВ ВНЕСЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ДІЙ

Для кожного параметра технологічного процесу, який необхідно підтримувати в певному діапазоні, виберемо канали внесення регулюючих дій.[2]

3.1 Температуру диніротолуолу у плавильнику диніротолуолу будемо регулювати за допомогою зміни витрати пари шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі пари для підігріву плавильника диніротолуолу. Канал контролю і управління температурою представлений на рис. 3.1.

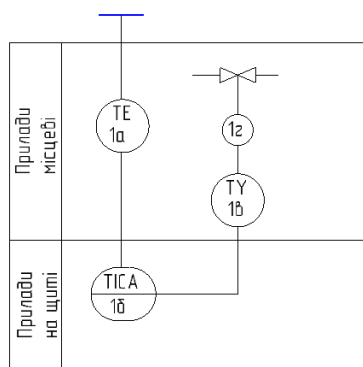


Рисунок 3.1 – Контур контролю і управління температурою диніротолуолу у плавильнику диніротолуолу.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

3.2 Температуру диніротолуолу у збірнику диніротолуолу будемо регулювати за допомогою зміни витрати пари шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі пари для підігріву збірника диніротолуолу. Канал контролю і управління температурою диніротолуолу у збірнику диніротолуолу представлений на рис. 3.2.

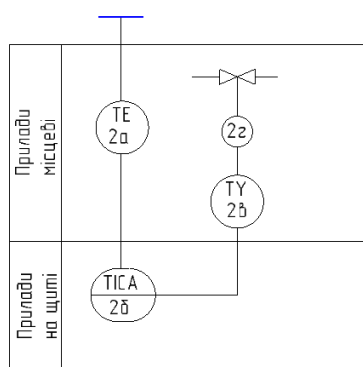


Рисунок 3.2 – Контур контролю і управління температурою диніротолуолу у збірнику диніротолуолу.

Структура каналу управління аналогічна попередній.

3.3 Температуру диніротолуолу у мірнику диніротолуолу будемо регулювати за допомогою зміни витрати пари шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі пари для підігріву мірника диніротолуолу. Канал контролю і управління температурою диніротолуолу у мірнику диніротолуолу представлений на рис. 3.3.

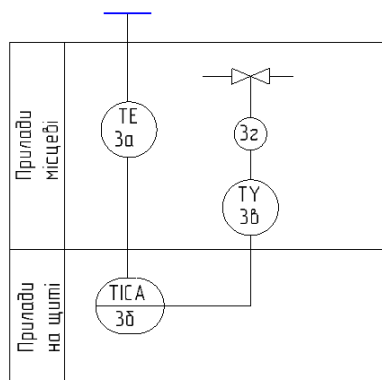


Рисунок 3.3 – Контур контролю і управління температурою диніротолуолу у мірнику диніротолуолу.

Структура каналу управління аналогічна попередній.

3.4 Рівень диніротолуолу у мірнику диніротолуолу будемо регулювати за допомогою зміни витрати диніротолуолу шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі диніротолуолу у мірник диніротолуолу.

Канал контролю і управління рівнем диніротолуолу у мірнику диніротолуолу представлений на рис. 3.4.

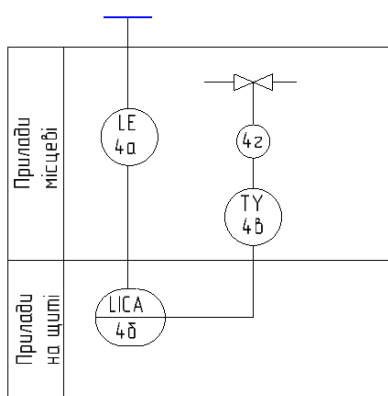


Рисунок 3.4 – Контур контролю і управління рівнем диніротолуолу мірнику диніротолуолу.

До складу каналу управління входить датчик рівня, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

3.5 Рівень дибутилфталату у ємності для дибутилфталату будемо регулювати за допомогою зміни витрати дибутилфталату шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі дибутилфталату у ємність дибутилфталату.

Канал контролю і управління рівнем дибутилфталату у ємність для дибутилфталату представлений на рис. 3.5.

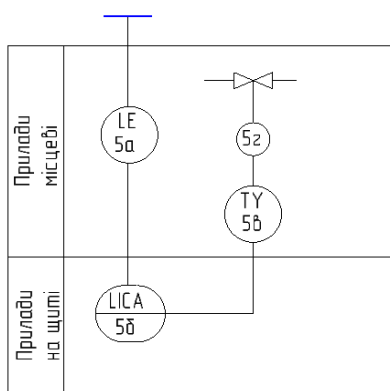


Рисунок 3.5 – Контур контролю і управління рівнем дибутилфталату у ємності для дибутилфталату.

Структура каналу управління аналогічна попередній.

3.6 Рівень дибутилфталату у мірнику дибутилфталату будемо регулювати за допомогою зміни витрати дибутилфталату шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі дибутилфталату у мірник із ємності для дибутилфталату.

Канал контролю і управління рівнем дибутилфталату у мірнику дибутилфталату представлений на рис. 3.6.

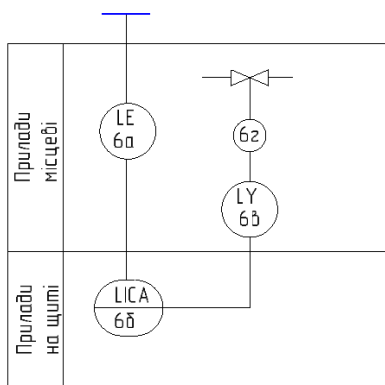


Рисунок 3.6 – Контур контролю і управління рівнем дибутилфталату у мірнику дибутилфталату.

Структура каналу управління аналогічна попередній.

3.7 Температуру суміші ДБФ+ДНТ у змішувачі ДБФ+ДНТ будемо регулювати за допомогою зміни витрати охолоджуючої води шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі охолоджуючої води для охолодження змішувача ДБФ+ДНТ. Канал контролю і управління температурою суміші ДБФ+ДНТ у змішувачі ДБФ+ДНТ представлений на рис. 3.7.

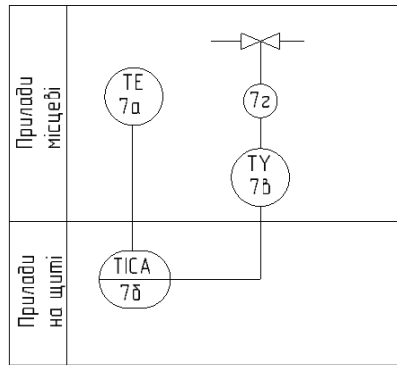


Рисунок 3.7 – Контур контролю і управління температурою суміші ДБФ+ДНТ у змішувачі ДБФ+ДНТ.

До складу каналу управління входить датчик температури, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

3.8 Рівень суміші ДБФ+ДНТ у змішувачі ДБФ+ДНТ будемо регулювати за допомогою зміни витрати ДБФ і ДНТ шляхом відкривання/закривання регулюючих клапанів на трубопроводах подачі ДБФ і ДНТ на вхід змішувача ДБФ+ДНТ у відповідності з рецептурою. Канал контролю і управління рівнем суміші ДБФ+ДНТ у змішувачі ДБФ+ДНТ представлений на рис. 3.8.

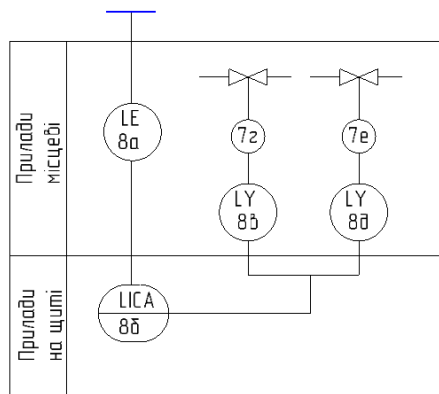


Рисунок 3.8 – Контур контролю і управління рівнем суміші ДБФ+ДНТ у змішувачі ДБФ+ДНТ.

До складу каналу управління входить датчик рівня, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчі механізми, виконавчі органи.

3.9 Рівень ефіру у мірнику ефіру будемо регулювати за допомогою зміни витрати ефіру шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі ефіру у мірник ефіру.

Канал контролю і управління рівнем ефіру у мірнику ефіру представлений на рис. 3.9.

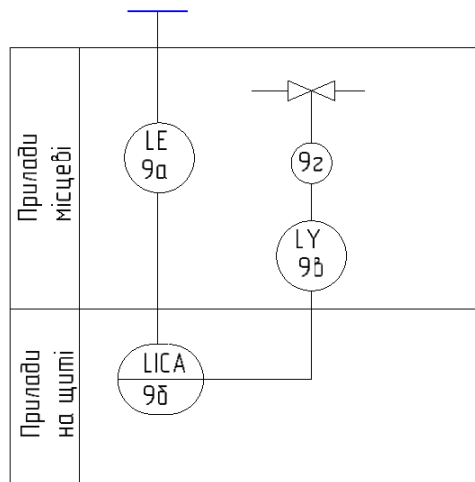


Рисунок 3.9 – Контур контролю і управління рівнем ефіру у мірнику ефіру.

До складу каналу управління входить датчик рівня, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

3.10 Вагу дифеніламіну на вхід у змішувач ДФА+ефір будемо регулювати за допомогою вагового дозатора дифеніламіну. Канал контролю і управління вагою дифеніламіну на вхід у змішувач ДФА+ефір представлений на рис. 3.10.

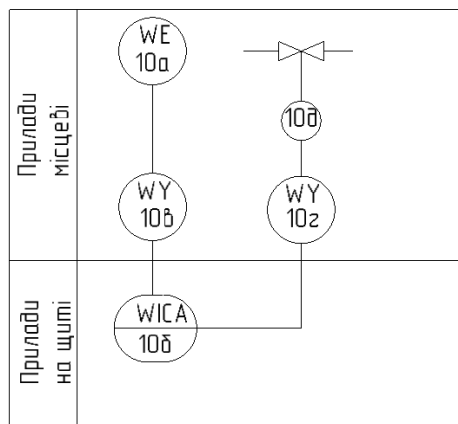


Рисунок 3.10 – Контур управління вагою дифеніламіну на вхід у змішувач ДФА+ефір.

До складу каналу управління входить датчик маси, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий орган.

3.11 Ступінь засміченості сітчастого фільтра будемо контролювати шляхом вимірювання диференціального тиску до і після сітчастого фільтра.

Канал контролю засміченості сітчастого фільтра представлений на рис. 3.11.

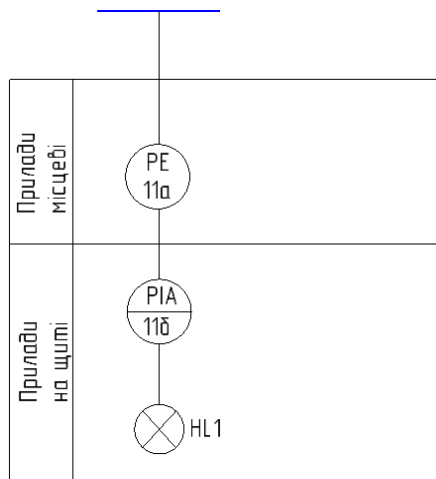


Рисунок 3.11 – Канал контролю засміченості сітчастого фільтру

До складу каналу управління входить датчик диференціального тиску, показуючий і сигналізуєчий пристрій.

3.12 Рівень розчину ДФА+ефір у витратній ємності для розчину ДФА+ефір будемо регулювати за допомогою зміни витрати ефіру шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі розчину ДФА+ефір у витратну ємність для розчину ДФА+ефір.

Канал контролю і управління рівнем розчину ДФА+ефір у витратній ємності для розчину ДФА+ефір представлений на рис. 3.12.

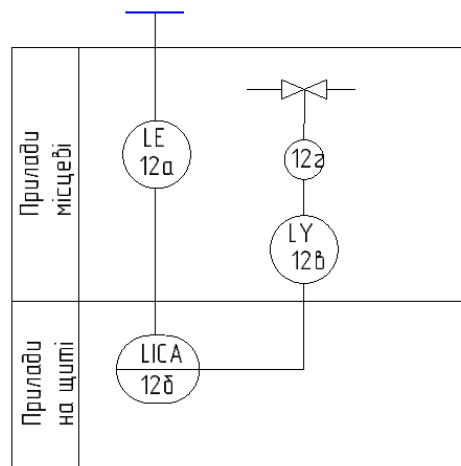


Рисунок 3.12 – Кантур контролю і управління рівнем розчину ДФА+ефір у витратній ємності для розчину ДФА+ефір.

До складу каналу управління входить датчик рівня, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

3.13 Тиск розчину ДФА+ефір після насоса-дозатора будемо регулювати за допомогою зміни обертів приводного двигуна насоса дозатора.

Канал контролю і управління тиском розчину ДФА+ефір після насоса-дозатора представлений на рис. 3.13.

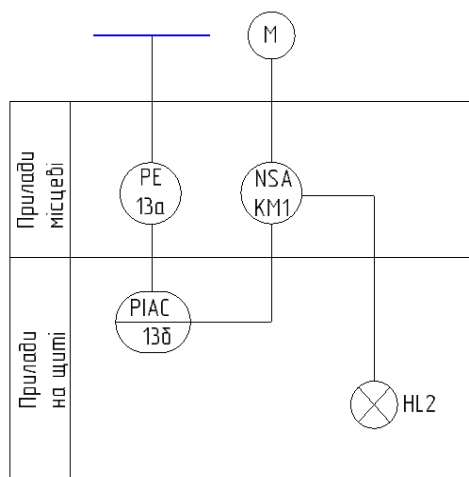


Рисунок 3.13 – Контур контролю і управління тиском розчину ДФА+ефір після насоса-дозатора.

До складу каналу управління входить датчик тиску, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

3.14 Рівень розчину ДФА+ефір у мірнику розчину ДФА+ефір будемо регулювати за допомогою зміни витрати розчину ДФА+ефір шляхом відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі розчину ДФА+ефір у мірник розчину ДФА+ефір і вмикання/вимикання насоса дозатора.

Канал контролю і управління рівнем розчину ДФА+ефір у мірнику розчину ДФА+ефір представлений на рис. 3.14.

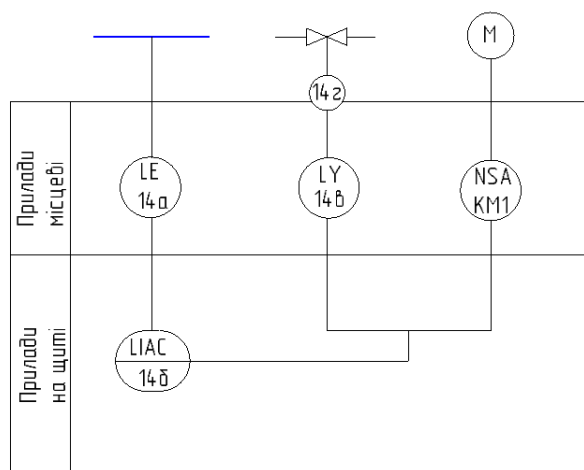


Рисунок 3.14 – Контур контролю і управління рівнем розчину ДФА+ефір у мірнику розчину ДФА+ефір.

До складу каналу управління входить датчик рівня, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

3.15 Рівень розчину ДНТ+ДБН+ДФА+ефір у мірнику розчину ДНТ+ДБН+ДФА+ефір будемо регулювати за допомогою зміни витрати розчину ДНТ+ДБН+ДФА+ефір шляхом

відкривання/закривання регулюючого клапана на трубопроводі подачі розчину ДНТ+ДБН+ДФА+ефір у мірник розчину ДНТ+ДБН+ДФА+ефір.

Канал контролю і управління рівнем розчину ДНТ+ДБН+ДФА+ефір у мірнику розчину ДНТ+ДБН+ДФА+ефір представлений на рис. 3.15.

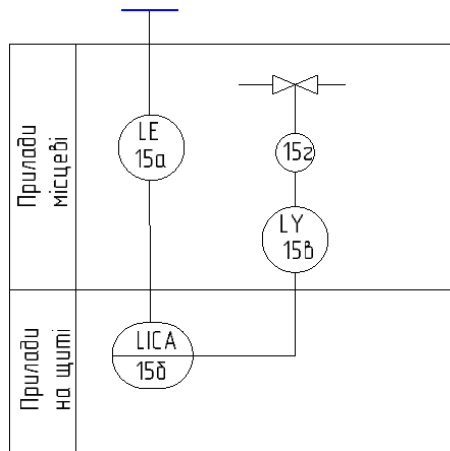


Рисунок 3.15 – Контур контролю і управління рівнем ефіру у мірнику ефіру.

До складу каналу управління входить датчик рівня, перетворювач сигналу датчика, регулятор, перетворювач сигналу регулятора, виконавчий механізм, виконавчий орган.

3.16 Для запобігання вибухонебезпечній ситуації необхідно контролювати концентрацію 50 % (НКМП) ефіру у повітрі на стадії приготування сумішей.

Канал контролю, управління і сигналізації концентрації 50 % (НКМП) ефіру представлений на рис. 3.16.

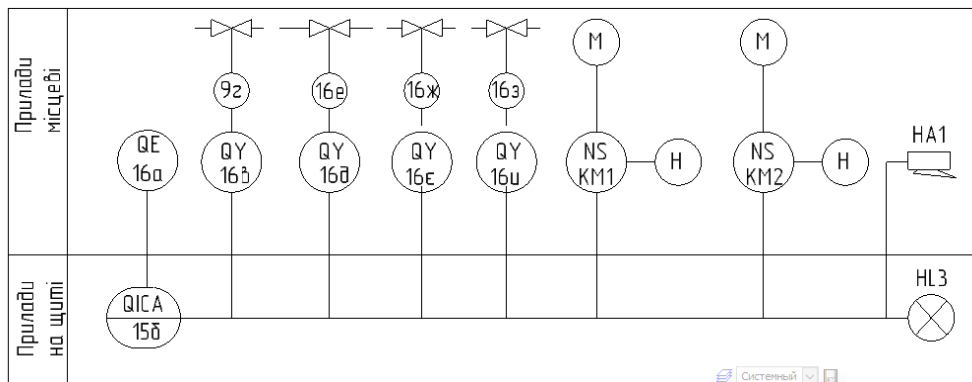


Рисунок 3.16– Контур контролю, управління і сигналізації концентрації парів ефіру

До складу каналу управління входить датчик концентрації парів ефіру, перетворювач сигналу датчика, контролер - універсальний регулятор, перетворювач сигналу контролера, виконавчий механізм, виконавчий органи управління витратою ефіру і обладнання для управління швидкістю обертання вентилятора.

На основі вибраних каналів контролю і внесення регулюючих дій розроблена функціональна схема автоматизації, наведена на рис. 3.17 і у додатку А.

3 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Беручи до уваги особливості процесу, топологію об'єкта, і розподіл функціональних елементів технологічного процесу по підприємству, обираємо дворівневу систему управління. Для зменшення вартості автоматизації виробництва і однаковості встановлюваного обладнання, а також для запобігання конфліктів у протоколі RS-485, у одному проєкті необхідне використання засобів автоматизації від одного виробника.

3.1 Нижній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом

Нижній рівень повинен розв'язувати задачі збору інформації за допомогою датчиків технологічних параметрів, контроль справності датчиків і ліній зв'язку, контроль параметрів та сигналізацію про відхилення їх за межі припустимих технологічних норм, а також передає їх в АСУ верхнього рівня.

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

3.1.1 Вибір датчиків температури

Вимірювання температури є однією з основних вимог практично при будь-яких умовах технологічних процесів. Коливання температури можуть мати значний вплив на якість, прибутковість і безпеку. Це справедливо по відношенню до різних галузей промисловості, таких як нафтогазова, енергетична, нафтопереробна, нафтохімічна, фармацевтична та ін. Температура реагентів в розглянутому технологічному процесі має важливе значення для отримання якісної продукції, безпечного протікання технологічного процесу, економне витрачання сировини. Точність безперервного контролю температури залежить від декількох факторів, у тому числі від правильного вибору датчика для конкретних завдань і технологічних процесів.

У більшості пристроїв використовуються датчики, засновані на двох технологіях. Вибір між ними визначається конкретними вимогами до технологічного процесу і його умовами.

Найбільш поширеними чутливими елементами для вимірювання температури є термометри опору (ТО) і термопари (ТП).

Не існує однозначної відповіді на питання, який тип чутливого елемента є більш ефективним у конкретній ситуації. При експлуатації кожного з них виникають негативні побічні ефекти, які необхідно взяти до уваги при виборі термодатчика.

Вимірювана температура у чотирьох різних точках технологічної схеми відрізняється незначно, тому можливо застосувати один тип датчика для всіх точок.

Термоперетворювач ТЭРА ТСМ 1-43н -100М - В - 3 - 100 - 10 - М20х1,5 - 40 - 2000 - МЭ - /-50..180/- Exd призначений для неперервного вимірювання температури різноманітних робочих середовищ (пар, газ, вода, сипучі матеріали, хімічні реагенти і т.п.), не агресивних до матеріалу корпусу датчика. Можуть використовуватися для вимірювання температури вибухонебезпечних сумішей газів, парів, а також легкозаймистих та вибухових речовин.

Зовнішній вигляд термоперетворювача ТЭРА ТСМ 1-43н -100М - В - 3 - 100 - 10 - М20х1,5 - 40 - 2000 - МЭ - /-50..180/- Exd зображений на рис. 3.1.

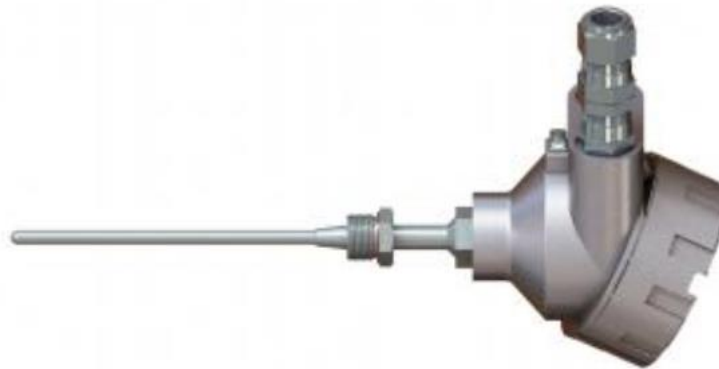


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд датчика температури ТЭРА ТСМ 1-43н -100М - В - 3 - 100 - 10 - М20х1,5 - 40 - 2000 - МЭ - /-50..180/- Exd.

Різновид моделі 1-43 з нерухомим штуцером і клемною головкою. Виконання "вибухонепроникна оболонка" Exd або "іскробезпечний ланцюг" Exia. Застосовується для вимірювання температури у вибухонебезпечних середовищах. Може постачатися у комплекті з зовнішньою гільзою і бобишкою. В клемну головку може вбудовуватися перетворювач сигналу в 4-20 мА або 4-20 мА з протоколом HART.

Технічні характеристики датчика температури ТЭРА ТСМ 1-43н -100М - В - 3 - 100 - 10 - М20х1,5 - 40 - 2000 - МЭ - /-50..180/- Exd наведені в табл. 3.1

Таблиця 3.1_ Технічні характеристики датчика температури ТЭРА ТСМ 1-43н -100М - В - 3 - 100 - 10 - М20х1,5 - 40 - 2000 - МЭ - /-50..180/- Exd

Характеристика	Значення
Тип моделі	Занурювальний
Тип та НСХ	ПВМ (50М, 100М)
Види вибухозахисту	Іскробезпечний електричний ланцюг "i" Вибухонепроникна оболонка "d"
Маркування вибухозахисту	II 1G Ex ia IIC T6...T1 Ga

Продовження табл. 3.1

Кількість ЧЕ	1 або 2
Схема з'єднання ЧЕ для ТЗ	2-,3-,4-х провідна, 2- провідна з двома ЧЕ
Тип спаю для термопар	Ізольований
Кріплення	Стандартно - М20х1,5
Тип головки	АХ
Різьба під кабельне введення в головку	М20х1,5
Матеріал захисної арматури стандартно на замовлення	н/ж сталь 12Х18Н10Т (АІSІ 321), н/ж сталь 10НХ17Н13М2Т (АІSІ 316 Ті)
Діапазон температури, °С	50...150 (для ПММ)
Робочий тиск	6,3 МПа

ОВЕН ДТСхх5. Термоопір з комутаційною головкою ЕХІА у вибухозахищеному виконанні призначений для безперервного вимірювання температури різних робочих середовищ (пар, газ, вода, сипучі матеріали, хімічні реагенти тощо), які не агресивні до матеріалу корпусу датчика. Можуть застосовуватися для вимірювання температури вибухонебезпечних сумішей газів, пар, а також легкозаймистих та вибухових речовин.

При експлуатації датчиків у вибухонебезпечних зонах необхідно використовувати вибухозахищене конструктивне виконання (в позначенні додається Ех) і для підключення до вторинних приладів необхідно використовувати бар'єр іскрозахисту ОВЕН ІСКРА.

Зовнішній вигляд термоперетворювача ОВЕН ДТСхх5- ЕХІА зображений на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд термоперетворювача ОВЕН ДТСхх5- ЕХІА.

Технічні характеристики термоперетворювача ОВЕН ДТСхх5- ЕХІА наведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2_ Технічні характеристики термоперетворювача ОВЕН ДТСхх5- ЕХІА

Характеристика	Значення
Номінальна статична характеристика (НРХ)	50М, 100М
Діапазон вимірюваних температур:	
- клас допуску А	-50...+120 °С
- клас допуску В та С	-50...+150 °С
Умовний тиск	0,1...6,3 МПа (залежно від конструктивного виконання)
Показник теплової інерції	не більше 10...30 с
Опір ізоляції	не менше 100 МОм
Кількість чутливих елементів	1 чи 2
Схема внутрішніх з'єднань провідників	2 – двопровідна 3 – трипровідна 4 – чотирипровідна
Виконання сенсора щодо корпусу	ізолюваний
Матеріал комутаційної головки	пластмасова, металева
Тип різьбового штуцера	метрична різьба, трубна різьба
Матеріал захисної арматури	сталь 12Х18Н10Т
Ступінь захисту за ГОСТ 14254	IP54 (IP65 для датчиків із металевою головкою)
Маркування вибухозахисту	0ExiaІІС Т1...Т6 Ga

Порівнявши технічні характеристики наведених датчиків, можна зробити висновок, що вони обидва задовольняють умовам використання в цьому технологічному процесі. Для використання виберемо датчик ТЕРА ТСМ 1-43н -100М - В - 3 - 100 - 10 - М20х1,5 - 40 - 2000 - МЭ - /-50..180/- Exd, який має сертифікат відповідності Укрстандартметрології.

3.1.2 Вибір датчиків рівня

Рівень компонентів сумішей у різних резервуарах приблизно однаковий, тому для усіх підійдуть однакові датчики рівня. Оскільки середовище вимірювання і робочі рідини потенційно пожежо- і вибухонебезпечні, то необхідно вибрати рівнемір у вибухозахищеному виконанні. Проведемо вибір між такими датчиками: ОВЕН ПДУ-І-Exd - поплавкові датчики рівня з аналоговим вихідним сигналом 4-20 мА у вибухозахищеному виконанні і рівнеміри Rosemount серії 5300, сертифіковані на іскробезпеку та на вибухобезпеку.

Поплавкові датчики рівня ОВЕН ПДУ-И-Exd призначені для безперервного перетворення рівня рідини на уніфікований аналоговий вихідний сигнал 4...20 мА.

Вибухозахист типу «вибухонепроникні оболонки «d» 1 Ex d ІС Т4 Gb дозволяє експлуатувати датчики у складі систем контролю рівня рідини на вибухонебезпечних виробництвах або в приміщеннях та установках, в яких знаходяться ємності з вибухонебезпечними середовищами: всілякі види палива, стоки нафтопереробних заводів, автопідприємств, хімічних виробництв тощо. Арматура датчика виготовляється з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т та AISI 316.

Зовнішній вигляд датчика рівня ОВЕН ПДУ-И-Exd наведений на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд датчика рівня ОВЕН ПДУ-И-Exd.

Технічні характеристики датчика рівня ОВЕН ПДУ-И-Exd наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3_ Технічні характеристики датчика рівня ОВЕН ПДУ-И-Exd

Характеристика	Значення
Діапазон перетворення рівня	250...6000 мм
Дискретність перетворення	5 або 10 мм (залежно від виконання)
Температура вимірюваного середовища	-60...+125 °С
Тиск	від вакууму до 2 МПа
Щільність робочого середовища	$\geq 0,65 \text{ г/см}^3$
Схема підключення	Двопровідна
Вид струму живлення	Постійний
Напруга живлення постійного струму	12...36 В
Потужність	не більше 1 Вт
Вихідний сигнал	4...20 мА
Розташування осі кріпильного отвору датчика у резервуарі	Вертикально
Діаметр зовнішньої оболонки з'єднувального кабелю	4...8 мм
Перетин з'єднувальних проводів	0,2...2 мм

Продовження таблиці 3.3

Характеристика	Значення
Матеріал робочої частини датчика	сталь 12X18H10T (шток) та AISI 316 (поплавок)
Ступінь захисту	згідно з ГОСТ 14254 IP67
Маркування	за ГОСТ 31610.0 (IEC 60079-0) 1 Exd ІС Т4 Gb
Температура довкілля	від -40 до +85 °С

Контрольоване середовище має бути неагресивним по відношенню до контактуючих з ним матеріалів датчика.

Особливості поплавкових датчиків рівня ОВЕН ПДУ-I-Exd.

Вибухозахищене виконання «вибухонепроникні оболонки «d» 1 Ex d ІС Т4 Gb.

Стойкі до піни та бульбашок і можуть працювати з в'язкими рідинами.

Можливе виготовлення з фланцевим кріпленням відповідно до ГОСТ 33259-2015 (DN≥65; PN≤25).

Термін служби щонайменше 12 років.

Радарні рівнеміри Rosemount серії 5300 застосовуються в наступних галузях промисловості: хімічної та нафтохімічної; нафтогазової; целюлозно-паперовий; фармацевтичній; харчовій промисловості та виробництві напоїв; контролю питної води та стічних вод; енергетиці (греблі та гідроелектростанції) для вимірювання середовищ: рідкі (нафта, темні та світлі нафтопродукти, вода, водні розчини, скраплений газ, кислоти та ін.), сипучі (пластик, зольний піл, цемент, пісок, цукор, злаки тощо).

В даний час випускається три моделі рівнемірів Rosemount серії 5300:

- модель 5301 для вимірювань рівня рідин або рівня межі розділу двох середовищ за повного занурення зонда.

- модель 5302 для одночасного вимірювання рівня рідин та рівня межі розділу двох середовищ.

- модель 5303/ для вимірювань рівня твердих/сипких середовищ.

Кожна з цих моделей має виконання, сертифіковані на іскробезпеку та навибухобезпечність.

Зовнішній вигляд рівнеміра Rosemount серії 5300 наведений на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд рівнеміра Rosemount серії 5300.

Технічні характеристики рівнеміра Rosemount серії 5300 наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4_ Технічні характеристики рівнеміра Rosemount серії 5300

Характеристика	Значення
Діапазон вимірів	від 0,1 до 50 м
Вихідні сигнали	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HARTLпротоколу або Foundation™ Fieldbus
Принцип дії	Рефлектометрія з часовою роздільною здатністю (TDR)
Базові умови	Однопровідний стандартний зонд, вода за температури 25°C
Випромінювана потужність	Номінальна 300 мкВт, максимальна 45 мВт
Час запуску	< 40 с
Похибка вимірювань	±3 мм або 0,03 % діапазону вимірювань, залежно від того, яке значення більше
Відтворюваність	±1 мм
Вплив температури довкілля	±0,2 мм/°C або ±30 проміле/°C вимірюваної величини, в залежності від того, який параметр є великим
Оновлення показань	< 1 раз на секунду

Продовження таблиці 3.4

Характеристика	Значення
Живлення	- HART®: 16-42,4 В постійного струму (16-30 В постійного струму для іскробезпечних приладів, 20-42,4 В постійного струму для вибухобезпечних приладів). - Foundation™ Fieldbus: 9-32 В постійного струму (9-30 В постійного струму для іскробезпечних приладів та 16-32 В постійного струму для вибухобезпечних/пожежобезпечних приладів)
Споживання струму в режим очікування (Foundation™Fieldbus)	21 мА
Рівні аварійного сигналу	Стандартно: низький рівень = 3,75 мА, високий рівень = 21,75 мА
Namur NE 43	низький рівень = 3,60 мА, високий рівень = 22,50 мА
Стандартні рівні	низьким рівнем = 3,9 мА, високим рівнем = 20,8 мА
Namur NE 43	низький рівень = 3,8 мА, високий рівень = 20,5 мА
Параметри іскробезпечного контуру	Модель з 4/20 мА/HART®: $U_i = 30$ постій. струму, $I_i = 130$ мА, $P_i = 1,0$ Вт, $C_i = 7,26$ нФ, $L_i = 0$ Н Модель з Foundation fieldbus: $U_i = 30$ В постій. струму, $I_i = 300$ мА, $P_i = 1,3$ Вт, $C_i = 0$ нФ, $L_i = 0$ Н
Різьбові отвори для встановлення кабелепроводів або кабельних ущільнень	1/2/14NPT

Продовження таблиці 3.4

Характеристика	Значення
Додатково	перехідники на M20x1,5, M12 4/штирковий адаптер eurofast або 4/штирковий адаптер minifast розміру А
Вихідний кабель	Екрановані виті пари, 0,5/2,5 мм
Міжповірочний інтервал L	2 роки

Модель 5301 (на додаток до вищезазначеного для застосування з повністю зануреним зондом): рівень межі розділу середовищ та відстань до поверхні кордону розділу середовищ.

Модель 5302 (на додаток до перерахованого вище): рівень межі розділу, швидкість зміни рівня межі розділу середовищ, відстань до поверхні межі розділу середовищ, обсяг верхньої рідини, об'єм нижньої рідини та товщина шару верхньої рідини.

Інструменти конфігурування HART®:

ПЗ Rosemount RadarMaster, портативний комунікатор моделі 375, ПЗ AMS Suite або будь-які інші сумісні хост/системи з підтримкою DD.

FOUNDATION™ fieldbus: ПЗ Rosemount RadarMaster, портативний комунікатор моделі 375,

DeltaV® або будь-які інші сумісні хост-системи з підтримкою DD (Описи пристрою).

Порівнявши технічні характеристики наведених датчиків, можна зробити висновок, що вони обидва задовольняють умовам використання в цьому технологічному процесі. Для використання виберемо рівнемір Rosemount моделі 5301.

3.1.3 Вибір датчиків ваги(маси)

Тензометричний датчик Esit SSP 20 кг

Тензодатчик Esit SSP 20 кг - професійний прилад спеціально розроблений для вимірювання маси різних вантажів. Одноточковий тензометричний датчик Esit SSP балкового типу при складанні встановлюється на вагові системи у яких одна точка зважування(конвеєрних, роликів, платформних на одному датчику), має міцну конструкцію стійку до ударів і всіляких пошкоджень. Корпус виконаний із нержавіючої сталі з антикорозійними властивостями. Компенсація у широкому температурному діапазоні, висока чутливість – важливі переваги датчиків SSP. Незважаючи на високу чутливість, тензодатчик здатний компенсувати зміну точок

навантажень та вплив температурного діапазону. Як правило, вони використовуються в платформних вагах малої потужності, які обладнані платформою не більше 50x50 см. Сучасна система захисту IP66 захищає електронний механізм від проникнення на нього пилу та вологи.

Зовнішній вигляд тензодатчика Esit SSP 20 кг наведений на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд тензодатчика Esit SSP 20 кг.

Технічні характеристики тензодатчика Esit SSP 20 кг наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5_ Технічні характеристики тензодатчика Esit SSP 20 кг

Характеристика	Значення
Тип	Платформа
Номінальне навантаження, кг	20
Клас точності	C1, C3
Дискретність за класом, (nls)	1000, 3000
Загальна похибка, %	$\leq \pm 0,05$ $\leq \pm 0,02$
Похибка повернення на нуль (DR), % E _{max}	0,008
Мінімальне навантаження, % E _{max}	0
Максимальне навантаження, % E _{max}	100
Допустиме горизонтальне навантаження, % E _{max}	100
Руйнівне навантаження, % E _{max}	200
Деформація (при E _{max}), мм	$\leq 0,6$
Максимальна напруга збудження (U _{max}), В	15
РКП (C _n), мВ/В	$2 \pm 0,1\%$
Нульовий баланс > %FS	$\leq \pm 1,0$
Вхідний опір	$385 \pm 20 \Omega$
Вихідний опір	$350 \pm 3 \Omega$
Опір ізоляції	$\geq 500 M\Omega$
Компенсований температурний діапазон, °С	-10...+40
Робочий діапазон , °С	- 40...+80

Продовження таблиці 3.5

Характеристика	Значення
Матеріал (DIN)	Нержавіюча сталь
Клас захисту	IP66
Довжина кабелю, м	5
Діаметр кабелю, мм	5
Вага нетто кг	0,8

Тензодатчик Keli AMI 5-40 кг.

KELI AMI – це тензометричні датчики одноточкового типу, виготовлені з алюмінію. Виконані для використання за схемою single point, мають покращену герметизацію. Завдяки високим метрологічним характеристикам цей тип датчиків знаходить широке застосування у багатьох промислових системах ваги.

Зовнішній вигляд тензодатчика Keli AMI 5-40 кг наведений на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд тензодатчика Keli AMI 5-40 кг.

Технічні характеристики тензодатчика Keli AMI 5-40 кг наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6_ Технічні характеристики тензодатчика AMI 5-40 кг

Характеристика	Значення
Тип тензодатчика	Одноточковий
Матеріал корпусу	Алюмінієвий сплав
Клас точності	C3
Клас захисту датчика	IP65
Якість	Normal
Номінальне навантаження (E _{max})	5, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 35, 40 кг
Чутливість	2,0±0,2mV/V

Продовження таблиці 3.6

Характеристика	Значення
Нелінійність	$\pm 0,02\%$ F.S
Похибка у показанні приладу за рахунок гістерезису	$\pm 0.02\%$ F.S
Кріп (30 хв)	$\pm 0,02\%$ F.S
Температурне відхилення чутливості	$\pm 0,02\%$ F.S/10 °C
Вхідний опір	404 \pm 10 Ω
Вихідний опір	350 \pm 5 Ω
Ізоляційний опір	≥ 2000 M Ω
Номинальний діапазон робочих температур	-10...+40°C
Експлуатаційний діапазон температур	-20...+ 80 °C
Допустиме перевантаження	150% F.S
Руйнівне навантаження	200% F.S
Напруга живлення	10...12 V постійний струм
Кабель	1 м
Максимальний розмір платформи	300x300

Порівнявши технічні характеристики наведених датчиків, можна зробити висновок, що вони обидва задовольняють умовам використання в цьому технологічному процесі, але тензодатчик Keli AMI 5-40 кг має широкий ряд номінальних навантажень, що надає можливість гнучко перебудувувати вузол дозування. Для використання виберемо тензодатчик Keli AMI 5-40 кг.

Для формування стандартного сигналу тензодатчика в керуючу систему необхідно застосувати нормуючий перетворювач.

Термінал ваговий вибухозахищений ТВВ призначений для вимірювання та перетворення сигналів ваговимірювальних тензорезисторних датчиків у цифровий код, отримання та передачі інформації через послідовний інтерфейс RS-485 до іншого обладнання, відображення результатів вимірювання на вбудованому цифровому дисплеї. Термінали використовуються як комплектуючий виріб у складі ваговимірювальних тензорезисторних систем, таких як електронні ваги, дозатори, інше контрольне та технологічне обладнання.

Зовнішній вигляд вигляд терміналу вагового вибухозахищеного ТВВ наведений на рис. 3.7.



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд терміналу вагового вибухозахищеного ТВВ.

Принцип дії терміналу полягає у формуванні електричної напруги живлення ваговимірювальних тензорезисторних датчиків з наступним аналого-цифровим перетворенням відношення напруги вихідного сигналу датчика до його напруги живлення у цифрову інформацію. При прикладенні до ваговимірювального датчика навантаження маса, що зважується, перетворюється на електричний сигнал, який посилюється і за допомогою аналого-цифрового перетворювача перетворюється на цифрову форму. Цифровий сигнал обробляється мікропроцесором, виводиться на табло терміналу та через інтерфейс RS-485 передається в систему керування тензометричним пристроєм чи комп'ютер. При застосування у ваговимірювальних системах результат перетворення може бути представлений в одиницях маси та використаний для управління технологічного обладнання.

Термінал має маркування вибухозахисту 2Exe[ia]IICT6 X, Ex iaD tD A21 IP67 60 °C та ступінь захисту оболонки IP67 за ГОСТ 14254-96, відноситься до вибухозахищеного електрообладнання за ГОСТ 30852.0-2002, ГОСТ 30852.10-2002 і може встановлюватися у вибухонебезпечних зонах 2 ГОСТ Р МЭК 61241.10-2007.

Знак "X" після маркування вибухозахисту означає, що термінал випускається з постійно підключеним кабелем живлення та RS485.

Робота терміналу у всіх режимах здійснюється під управлінням вбудованого програмного забезпечення «Програма ТВВ». Можливість доступу до вбудованого програмного забезпечення після установки апаратного захисту в процесі виготовлення приладу відсутня. Термінал може працювати з контролерами, що мають інтерфейсний вхід RS485 і підтримують протокол MODBUS RTU, та з ПЕОМ з операційною системою Windows XP або Windows 7, що мають інтерфейсний вхід RS232 або USB.

Передача результатів вимірювання від терміналу на комп'ютер здійснюється за допомогою допоміжної програми «Конфігуратор ПМ-ТВВ», за допомогою якої задаються параметри зв'язку терміналу з комп'ютером. На екрані монітора у вікні конфігуратора відображаються результати вимірювання, а також, у зоні «Ідентифікація», ідентифікаційне найменування та номер версії програмного забезпечення терміналу.

Програма "Конфігуратор ПМ-ТВВ" на метрологічні характеристики терміналу не впливає.

Програма і параметри налаштування модулів введення сигналів, що зберігаються в програмному запам'ятовувальному пристрої, що перепрограмується (ППЗУ), не можуть змінюватися без застосування спеціальних засобів (користувачеві не поставляються).

Метрологічні та технічні характеристики терміналу вагового вибухозахищеного ТВВ наведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7_ Технічні характеристики терміналу вагового вибухозахищеного ТВВ

Характеристика	Значення
Діапазон перетворення вхідного сигналу ваговимірювального тензорезисторного датчика, мВ/В	0...2,0
Межі допустимої наведеної похибки вимірювання та перетворення сигналу ваговимірювального тензорезисторного датчика в код для всього діапазону вимірювання в робочих умовах, %	±0,025
Максимальна кількість перевірочних поділів терміналу (nind)	3000
Напруга живлення ваговимірювального датчика (Uexс),	від 3,0 до 4,5
Діапазон вхідного сигналу (Umin) ... (Umax), мВ	0...14,0
Мінімальна вхідна напруга, що припадає на перевірочну розподіл (Δ Umin), мкВ	1
Мінімальний та максимальний повні опори ваговимірювального тензорезисторного датчика (RLmin...RLmax), Ом,	300...1000
Частка межі допустимої похибки терміналу від межі допустимої похибки ваговимірювальних тензорезисторних систем, (pind)	0,5
Кількість ваговимірювальних датчиків, що підключаються, шт	1
Схема підключення ваговимірювального датчика	4-провідна
Довжина кабелю підключення ваговимірювального датчика, м	не більше 6
Живлення терміналу	від джерела постійного струму 24±2,4
Потужність, Вт	не більше 3
Час встановлення показань, с	не більше 3
Тип індикатора	WG24064A-YYH-VLB

Продовження таблиці 3.7

Характеристика	Значення
Число розрядів індикації результату виміру	5
Температура навколишнього середовища °С	+5...+40
відносна вологість повітря при 35 °С і нижчих температурах без конденсації вологи, %	трохи більше 80
атмосферний тиск, кПа	66...107
Термін служби, років	не менше 10

Перетворювач маси ПМ (далі перетворювач) призначений для вимірювання та перетворення сигналів ваговимірювальних тензорезисторних датчиків у цифровий код, отримання та передачі інформації через послідовний інтерфейс RS-485 до іншого обладнання.

Перетворювач використовується як комплектуючий виріб у складі ваговимірювальних тензорезисторних систем, таких як електронні ваги, дозатори, інше контрольне та технологічне обладнання.

Зовнішній вигляд перетворювача маси ПМ наведений на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд перетворювача маси ПМ.

Принцип дії полягає у формуванні електричної напруги живлення ваговимірювальних тензорезисторних датчиків з наступним аналого-цифровим перетворенням відношення напруги вихідного сигналу датчика до напруги його живлення цифрову інформацію. При прикладенні до ваговимірювального датчика навантаження, що зважується, маса перетворюється на електричний сигнал, який посилюється і за допомогою аналого-цифрового перетворювача перетворюється на цифрову форму. Цифровий сигнал обробляється мікропроцесором та через інтерфейс RS-485 передається в систему управління тензометричним пристроєм чи комп'ютер. При застосуванні у ваговимірювальних системах результат перетворення може бути представлений в одиницях маси та використаний для управління технологічне обладнання.

Перетворювачі мають герметичний корпус зі ступенем захисту оболонки IP67 ГОСТ 14254-96, іскробезпечний вхідний ланцюг для підключення датчика, відносяться до вибухозахищеному електрообладнанню групи II за ГОСТ 30852.0-2002, ГОСТ 30852.10-2002 з маркуванням з вибухозахисту IExd [ia] IICT6 X, Ex iaD tD A21 IP67 60°C та можуть встановлюватися у вибухонебезпечних зонах приміщень класів 1, 2, 21 та 22, згідно класифікації ДЕРЖСТАНДАРТ Р ЕК 61241.10-2007.

Знак "X" після маркування вибухозахист означає, що перетворювачі випускається з постійно підключеним кабелем живлення та RS485.

Метрологічні та технічні характеристики перетворювача маси ПМ наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8_Технічні характеристики перетворювача маси ПМ

Характеристика	Значення
Діапазон перетворення вхідного сигналу ваговимірювального тензорезисторного датчика, мВ/В	0...2,0
Межі допустимої наведеної похибки вимірювання та перетворення сигналу ваговимірювального тензорезисторного датчика в код для всього діапазону вимірювання в робочих умовах, %	±0,025
Максимальна кількість перевірочних поділів терміналу (nind)	3000
Напруга живлення ваговимірювального датчика (Uexс), В	від 3,0 до 4,5
Діапазон вхідного сигналу (Umin) ... (Umax), мВ	0...14,0
Мінімальна вхідна напруга, що припадає на перевірочну розподіл (ΔU_{min}), мкВ	1
Мінімальний та максимальний повні опори ваговимірювального тензорезисторного датчика (RLmin...RLmax), Ом	300...1000
Частка межі допустимої похибки терміналу від межі допустимої похибки ваговимірювальних тензорезисторних систем, (pind)	0,5
Кількість ваговимірювальних датчиків, що підключаються, шт	1
Схема підключення ваговимірювального датчика	4-провідна
Довжина кабелю підключення ваговимірювального датчика, м	не більше 5
Живлення перетворювача від джерела постійного струму, В	24±2,4
Температура навколишнього середовища °С	+5...+40
відносна вологість повітря при 35 °С і нижчих температурах без конденсації вологи, %	не більше 80
атмосферний тиск, кПа	66...107
Термін служби, років	не менше 10

Порівнявши технічні характеристики терміналу вагового вибухозахищеного ТВВ і перетворювача маси ПМ, можна зробити висновок, що вони обидва задовольняють умовам

використання в цьому технологічному процесі, але термінал ваговий вибухозахищений ТВВ має більш широкий функціонал у вигляді індикатора, що для даної системи не є необхідним, а лише створює зручність при роботі у ручному режимі зважування. Для використання виберемо перетворювач маси ПМ.

3.1.4 Вибір датчиків тиску

Для вимірювання тиску після насоса-дозатора розглянемо два датчики тиску для роботи у вибухозахищеному виконанні.

Датчик ОВЕН ПД200-ДИ-EXD моделі 315 у вибухозахищеному виконанні призначений для перетворення надлишкового та надмірно-вакуумметричного тиску на уніфікований вихідний сигнал 4...20 мА постійного струму та цифровий сигнал стандарту HART. ПД200-ДИ-EXD оснащений ємнісним сенсором з керамічною мембраною, металевим кабельним введенням та приєднувальним штуцером М20×1,5. Застосування ємнісного сенсора забезпечує високу точність вимірів.

Робочим середовищем для датчика ОВЕН ПД200-ДИ-EXD моделі 315 є неагресивні по відношенню до матеріалів мембрани та ущільнювача сенсора газоподібні та рідкі середовища. ОВЕН ПД200-ДИ-EXD у вибухозахищеному виконанні призначений для роботи у складі систем автоматичного регулювання та контролю технологічних процесів у різних галузях промисловості, на категоризованих небезпечних об'єктах, у вибухонебезпечних зонах, у тому числі на нафтопереробних підприємствах, нафто- та газопроводах, розподільчих станціях.

Зовнішній вигляд датчика ОВЕН ПД200-ДИ-EXD наведений на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд датчика ОВЕН ПД200-ДИ-EXD.

Основні характеристики перетворювача ПД200-ДИ-EXD

- вимірювання надлишкового та надлишково-вакуумметричного тиску газоподібних та рідких середовищ, нейтральних до оксиду алюмінію (Al_2O_3);

- перетворення вимірної величини тиску в уніфікований сигнал 4...20 мА постійного струму та цифровий сигнал стандарту HART;

- десятикратна перевантажувальна здатність (від номіналу сенсора);

- клас точності – 0,1;

- ступінь захисту корпусу датчика тиску IP65;

- заводостійкість задовольняє вимоги до обладнання згідно з ДСТУ ІЕС 61326-1:2014.

Технічні характеристики датчика ОВЕН ПД200-ДИ-EXD наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9_ Технічні характеристики датчика ОВЕН ПД200-ДИ-EXD

Найменування	Значення
Межа вимірюваного тиску (ВПП)	від 0,00063 до 6,0 МПа;
Межі основної похибки вимірювання	$\pm 0,1$ % ДВ
Діапазон робочих температур навколишнього повітря	-20 (-40 *) ... 70 °С
Діапазон температур вимірюваного середовища	40...100 °С
Вихідний сигнал постійного струму	4...20 мА
Виконання з вибухозахисту	"Вибухонепроникна оболонка" 1Exd ІСТ6Gb
Перевантажувальна здатність	не менше 800% від ВПП
Граничний тиск перевантаження	не менше 1500% від ВПП
Напруга живлення	18...42 В
Опір навантаження	Не менше 250 Ом
Ступінь захисту корпусу	IP65
Міжповірочний інтервал	2 роки
Середній час напрацювання	500 000 год
Середній термін служби	12 років

Датчик тиску 060G4306, серія MBS 4701 вибухозахищений (Danfoss) призначений для використання в небезпечних середовищах, забезпечує надійні високоточні вимірювання тиску навіть в жорстких умовах. Датчики тиску випускаються у вибухозахищеному виконанні класу EEx (ІС Т6) у відповідності з вимогами АTEX 100а. Широка номенклатура перетворювачів тиску передбачає вихідний сигнал 4-20 мА, вимірювання абсолютного або відносного тиску, різні діапазони вимірювання від 0-1 до 0-600 бар, можливість установки нуля та діапазону, штекерне електричне з'єднання і різноманітні варіанти приєднання імпульсних ліній тиску. Відмінна вібростійкість, міцна конструкція, висока ступінь електромагнітної сумісності та захисту від

радіоперешкод, а також високе значення допустимої робочої температури забезпечують відповідність MBS 4701 найбільш суворим вимогам, які виявляються до промислових установок.

Зовнішній вигляд датчика тиску 060G4306, серія MBS 4701 наведений на рис. 3.10.



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд датчика тиску 060G4306, серія MBS 4701.

Технічні характеристики датчика тиску 060G4306, серія MBS 4701 наведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10_ Технічні характеристики датчика тиску 060G4306, серія MBS 4701

Найменування	Значення
Діапазони тиску	0-6 бар
ном. вихідний сигнал (захищений від короткого замикання)	4 - 20 ма
Напруга живлення, UB з захистом від полярності)	10 – 28 В постійного струму
Залежність від напруги живлення	$\leq \pm 0,05\% \text{ FS} / 10 \text{ В}$
Обмеження струму (лінійний вихідний сигнал до $1,5 \times$ номінального діапазону)	30 – 35 мА
Точність (включаючи нелінійність, гістерезис і повторюваність)	$\pm 0.5\% \text{ FS}$
Нелінійність BFSL (відповідність)	$\leq \pm 0.2\% \text{ FS}$
Гістерезис і повторюваність	$\leq \pm 0.1\% \text{ FS}$
Діапазон теплової помилки (компенсований діапазон температур)	$\leq \pm 1\% \text{ FS}$
Час реакції	
Рідини з в'язкістю $< 100 \text{ сСт}$	$< 4 \text{ мс}$
Повітря і газу	$< 4 \text{ мс}$
Тиск перевантаження (статичний)	$6 \times \text{FS}$ (max. 1500 bar)
Тиск розриву	$> 6 \times \text{FS}$ (max. 2000 bar)
З'єднання	G - 1/2 зовнішнє
Електричне з'єднання	Pg 9, EN 175301-803-A зовнішнє і внутрішнє
Робоча температура (TS)	-40...+125 °C

Продовження таблиці 3.10

Довговічність, P: 10 – 90% FS	> 3 × 10 ⁶ циклів
Вибухозахищеність	Ex II 1G EEx ia IIC T4 - T6 відповідно до АTEX 100a Можливо використання у вибухонебезпечній атмосфері: зона 0, зона 1 зона 2 (гази і пари)

Порівнявши технічні характеристики датчика ОВЕН ПД200-ДИ-EXD і датчика тиску 060G4306, серія MBS 4701, можна зробити висновок, що вони обидва задовольняють умовам використання в цьому технологічному процесі, але датчик тиску 060G4306, серія MBS 4701 дешевший, що і визначає вибір. Для використання виберемо датчик тиску 060G4306, серія MBS 4701.

Для вимірювання тиску перед і після сітчастого фільтра розглянемо два диференціальні датчики тиску для роботи у вибухозахищеному виконанні.

Вибухозахищений перетворювач диференціального тиску - PD-39X Eі сертифікований в АTEX та підходить для використання в областях з високими ризиками вибухів. Можливі вибухонебезпечні зони застосування перетворювачів тиску, категорії та групи вибухонебезпечних сумішей газів та пари з повітрям.

Перетворювач тиску PD-39X – це перетворювач різниці тисків, особливістю якого є використання двох сенсорів абсолютного тиску, що дозволяє витримувати навантаження по перепаду з обох боків. З урахуванням цієї особливості даний датчик найбільш раціонально застосовувати для завдань, де перепад, що вимірюється, є величиною одного порядку з величиною статичного (опорного тиску)

Зовнішній вигляд перетворювача диференціального тиску - PD-39X Eі наведений на рис. 3.11.



Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд перетворювача диференціального тиску - PD-39X E1.

Датчики за замовчуванням мають цифровий вихід RS485, але можуть бути також оснащені аналоговим виходом на вибір: 4...20 мА / 0...10 В / 0...2,5 В / 0...5 В / 0,1...2,5 В.

Додатковим застосуванням цього датчика може бути одночасне вимірювання тиску в двох процесах, при цьому обов'язково використовувати цифровий вихід і отримати 2 сигнали тиску, 2 сигнали за температурою і сигнал різниці тиску.

Технічні характеристики перетворювача диференціального тиску - PD-39X E1 наведені в табл. 3.11.

Таблиця 3.11_ Технічні характеристики перетворювача диференціального тиску - PD-39X E1

Найменування	Значення
Діапазони тиску	від 0...3 до 0...300 бар
Вихідний сигнал	RS485; 4 ... 20 мА / 0 ... 10 В
Основна похибка	0,05% ВПІ
Температура роботи/зберігання	-40...100 °С
Приєднання	G1/4" внутрішня, для кожного сенсора
Електричне підключення	Binder-plug 723 (5 pole) DIN 43650 plug MIL C-26482 plug (6 pole)
Матеріал	Нержавіюча сталь 316L
Частота вимірів	200 Гц

Датчик тиску ROSEMOUNT 3051CD3A02A1BSJB4I1L4Q4 Rosemount 3051CD. Перетворювач різниці тисків з сенсорним модулем на базі ємнісного осередку для вимірювання різниці тисків

Вимірювані середовища: газ; рідина, зокрема. нафтопродукти; пара. Конструкція корпусу сенсорного модуля Corplanar™.

Зовнішній вигляд датчика тиску ROSEMOUNT 3051CD3A02A1BSJB4I1L4Q4 Rosemount 3051CD наведений на рис. 3.12.



Рисунок 3.12 – Зовнішній вигляд датчика тиску ROSEMOUNT 3051CD3A02A1BSJB4I1L4Q4 Rosemount 3051CD.

Технічні характеристики датчика тиску ROSEMOUNT 3051CD3A02A1BSJB4I1L4Q4 Rosemount 3051CD наведені в табл. 3.12.

Таблиця 3.12_Технічні характеристики датчика тиску ROSEMOUNT 3051CD3A02A1BSJB4I1L4Q4 Rosemount 3051CD

Найменування	Значення
Діапазони тиску	від -2,48 до 2,48 бар
Перенастроювання діапазонів вимірювань до	150:1
Основна наведена похибка	±0,04%
Нестабільність нульового значення	±0,125% за 5 років у реальних умовах експлуатації
Корпус	алюміній, каб.введення M20*1,5
Вибухозахищене виконання Відповідність стандарту функціональної безпеки IEC 61508 (MEK 61508)	- SIL 2 (SIL 3 – при резервуванні)

Продовження таблиці 3.12

Найменування	Значення
Вихідні сигнали:	4...20 мА з цифровим сигналом на базі HART-протоколу, можливість перемикання між 5-ю та 7-ю версіями HART; економічний 0,8...3,2; 1...5 В з цифровим сигналом на базі HART-протоколу; цифровий на базі протоколу Foundation Fieldbus; цифровий на базі протоколу Profibus; бездротовий WirelessHART
Мембрана	Неіржавіюча сталь 316L SST
Міжповірочний інтервал	4 роки

Порівнявши технічні характеристики датчика тиску 060G4306, серія MBS 4701 і датчика тиску ROSEMOUNT 3051CD3A02A1BSJB4I1L4Q4 Rosemount 3051CD, можна зробити висновок, що вони обидва задовольняють умовам використання в цьому технологічному процесі, але датчик тиску ROSEMOUNT 3051CD3A02A1BSJB4I1L4Q4 Rosemount 3051CD має ширший функціонал, що може знадобитися при модернізації, що і визначає вибір. Для використання виберемо датчик тиску ROSEMOUNT 3051CD3A02A1BSJB4I1L4Q4 Rosemount 3051CD.

3.1.5 Вибір датчиків концентрації

Оскільки технологічний процес пожежо- і вибухонебезпечний необхідно для запобігання можливій пожежі і вибуху вимірювати концентрацію небезпечних парів і газів у повітрі на стадії виготовлення розчинів технологічних сумішей. Саме небезпечними є пари диетилового ефіру. Для виявлення їхньої небезпечної концентрації розглянемо декілька приладів.

Стаціонарний сигналізатор ЩИТ-3 призначений для автоматичного безперервного контролю вмісту горючих газів і пар та їх сукупності, токсичних газів та кисню в повітрі робочої зони, контролю рівня води, видачі світлової та звукової сигналізації про перевищення встановлених рівнів вмісту вимірюваних компонентів, комутації зовнішніх електричних ланцюгів постійного та змінного струму.

Сигналізатор ЩИТ-3 застосовується на різних об'єктах хімічної, нафтохімічної, газової та інших галузей промисловості, при видобутку, переробці, транспортуванні нафти та газу, на підприємствах зв'язку, у комунальному господарстві для раннього виявлення небезпек, що виходять від: токсичних газів та пар; вибухонебезпечних газів та пари; нестачі (надлишку) кисню; затоплення приміщень ґрунтовою та каналізаційною водою.

Зовнішній вигляд стаціонарного сигналізатора ЩИТ-3 наведений на рис. 3.13.



Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд стаціонарного сигналізатора ЩИТ-3.

Технічні та експлуатаційні характеристики:

- довільність конфігурації каналів виміру в сигналізаторі, що гарантує високу гнучкість та індивідуальність застосування;
- вибухозахищене виконання;
- висока надійність;
- поканальна аварійна сигналізація із підключенням зовнішніх пристроїв;
- оснащеність інтерфейсом для роботи з периферійними пристроями через цифровий зв'язок (RS485);
- безперервний автоматичний контроль, що не вимагає пробопідготовки;
- програмне керування роботою сигналізатора, захищене від несанкціонованого доступу паролем;
- довжина зв'язку між датчиками та блоком БПС до 1000 м;
- дисплей на рідких кристалах з безперервною індикацією вмісту компонентів, що вимірюються, по кожному каналу;
- сигналізації про вихід температури навколишнього та контрольованого середовища за нормовані межі.

Сигналізатори ЩІТ-3 можуть мати від одного до чотирьох каналів. До складу сигналізаторів ЩІТ-3 входять датчики (від одного до чотирьох) та блок живлення та сигналізації (БПС-152 – одноканальний, БПС-153 – двоканальний, БПС-154 – триканальний, БПС-155 – чотириканальний).

Контроль діетилового ефіру (етилового ефіру, етоксиетану, сірчаного ефіру, «етилу окису») використовується канал виміру СН4 (з датчиком ДТХ-152-1).

Датчики ДТХ-152- можуть встановлюватися у вибухонебезпечних зонах, у яких можуть утворюватися вибухонебезпечні суміші категорій ПА, ПВ, ПС ГРУП Т1 - Т4 згідно з ГОСТ 12.1.011-78.

Вхідні (вихідні) ланцюги блоків БПС-152, БПС-153, БПС-154, БПС-155 виконані іскробезпечними з рівнем вибухозахисту ів для вибухонебезпечної суміші категорії ПС за ГОСТ 22782.5-78.

Технічні характеристики сигналізатора ЩІТ-3 наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.13_Технічні характеристики сигналізатора ЩІТ-3

Найменування	Значення
Канал виміру	СН4
Діапазон вимірювань	від 0 до 50% НКПР
Поріг спрацьовування	20 та 40% НКПР
Час спрацьовування, з, не більше	10
Час прогріву, хв.	трохи більше 5
Робоча температура	від -45 до +50 °С
Потужність - не більше	25 ВА (для чотириканального виконання)
Середнє напрацювання на відмову	не менше 30000 год.
Повний середній термін служби	не менше 10 років

Найменування	Значення
Електроживлення	
основне	від мережі змінного струму напругою 220+22 В, частотою 50 Гц
резервне	від зовнішнього джерела постійного струму (аккумуляторної батареї) напругою 12,0 В

Газоаналізатор парів спирту "Дозор-С" стаціонарний призначений для:

- безперервного та автоматичного контролю до вибухонебезпечних концентрацій парів спирту у повітрі приміщень та відкритих просторах;
- видачі світлової та звукової сигналізації, а також комутації зовнішніх електричних кіл при перевищенні встановлених значень концентрації. Значення порогів спрацьовування виставляється під час випуску продукту може бути змінено на вимогу замовника у діапазоні від 5 до 50 % НКПР;
- перетворення виміряного значення концентрації речовини у вихідний сигнал постійного струму (для сигналізаторів, що мають струмовий вихідний сигнал);
- перетворення вимірюваного значення концентрації речовини та стану порогових пристроїв у вихідний цифровий сигнал інтерфейсу RS 232 або RS 485 (для сигналізаторів, що мають вихідний цифровий сигнал);
- видачі сигналу для блокування зовнішніх електричних ланцюгів при відключенні живлення сигналізатора.

Зовнішній вигляд стаціонарного газоаналізатора парів спирту "Дозор-С" наведений на рис. 3.14.



Рисунок 3.14 – Зовнішній вигляд стаціонарного газоаналізатора парів спирту "Дозор-С".

Технічні характеристики стаціонарного газоаналізатора парів спирту "Дозор-С" наведені в табл. 3.14.

Таблиця 3.14_ Технічні характеристики стаціонарного газоаналізатора парів спирту "Дозор-С"

Найменування	Значення
Кількість вимірювальних каналів	від 1 до 5
Діапазон вимірювань сигналізаторів по перевірконому компоненту	від 0 до 50% НКПР (від 0 до 0,5% про.)

Продовження таблиці 3.14

Найменування	Значення
Ступінь захисту корпусу БПС згідно з ГОСТ 14254.1.1.2	IP 65
Рівень звукового тиску сигналізатора на відстані 1 м від сигналізатора	щонайменше 65 дБ
Середнє напрацювання на відмову сигналізатора	критерій відмови не менше 35000 год сигнал "ВІДМОВА"
Повний середній термін служби сигналізатора	щонайменше 12 років
Межі допустимої основної абсолютної похибки сигналізаторів за перевірковим компонентом	±5 % НКПР
Діапазон робочих температур	від -40 до +50 °C
Живлення:	
Основне	~220 В; ±220В; ±24В
Резервне	±24В, ~220В, ±12В
Пороги включення сигналізації, % НКПР:	
Попереджувальна	“ПОРИГ 1” – 10 (0,1% об.)
Передаварійна	“ПОРИГ 2” – 20 (0,2% об.)
сигнал "Відмова"	"Відмова"
Вихідні сигнали:	
управління виконавчими пристроями	“сухий” контакт реле
струмовий вихід	2 А, 220 В 0-5 мА, або 4-20 мА
цифровий вихід	RS 232 або RS 485
Лінія зв'язку БПС-ДЖ	3-х-провідна, перешкодозахищена, до 1200 м

Стационарний газоаналізатор парів спирту "Дозор-С" підтримує визначення концентрації парів діетилового ефіру.

Переваги стаціонарного сигналізатора пари спирту "Дозор-С"

- мікропроцесорна система обробки інформації, а також самодіагностики;

- інтегрована світлова та звукова сигналізація на кожен вимірювальний канал;
- цифровий відліковий пристрій концентрації газу;
- автоматичне підстроювання "нуля";
- перешкодозахищена лінія зв'язку "Датчик-БПС";
- можливість керування зовнішніми виконавчими пристроями;
- наявність струмових та цифрових виходів;
- можливість одночасного контролю до вибухонебезпечних концентрацій та ГДК шкідливих газів.

Порівнявши характеристики стаціонарного сигналізатора ЩИТ-3 і газоаналізатора парів спирту "Дозор-С" стаціонарного, можна зробити висновок, що вони обидва задовольняють умовам використання в цьому технологічному процесі, але газоаналізатор парів спирту "Дозор-С" має декілька порогів спрацювання сигналізації і перешкодозахищені лінії зв'язку, тому для використання виберемо газоаналізатор парів спирту Дозор-С-1-18-6156-1 стаціонарний в комплекті з 1-им датчиком, настінне кріплення БПС, струмовий вихід 4-20мА, живлення 220В.

3.1.6 Вибір регулюючих (відсічних) клапанів

Всі клапани повинні мати вибухозахищене виконання, нейтральну реакцію на регульоване середовище.

Для регулювання витрати пари для обігріву апаратів з динітротолуолом і для регулювання витрати охолоджуючої води для охолодження розчину суміші ДБФ+ДНТ розглянемо наступні клапани.

Регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 застосовуються для управління витратою або тиском потоків пари, масляного теплоносія, гарячої води, газів та інших рідких або газоподібних робочих середовищ. Приводяться в дію лінійним електричним приводом із дискретним або безперервним регулюванням. Серія регулюючих клапанів Ari-Stevi Smart виготовляється в діапазоні приєднувальних діаметрів DN 15 ... 500. Включає в себе регулюючі клапани Ari-Stevi 440 з сальниковим ущільненням штока і Ari-Stevi 441 з сальфонним ущільненням штока з нержавіючої сталі для роботи з небезпечними і токсичними середовищами.

Корпуси клапанів виготовляються з різних марок чавуну, вуглецевої та нержавіючої сталей. Різноманітне виконання затворів (параболічний, шліцевий, розвантажений по тиску, з додатковим м'яким ущільненням для збільшення класу герметичності клапана в закритому стані) дозволяє підібрати найбільш підходящу внутрішню конструкцію регулюючих клапанів під певне завдання, забезпечуючи високу точність регулювання технологічного процесу.

Регулюючі клапани Ari-Stevi 440/441 оснащуються електроприводами Ari-Premio/Ari-Premio-Plus 2G власної розробки компанії Ari-Armaturen. Приводи забезпечують високу продуктивність – зусилля, створюване приводами: 2,2кН, 5кН, 12кН, 15кН, 25кН та надійність - до 1200 циклів включення приводу на годину в режимі регулювання. Приводи оснащуються двигунами BLDC (безщіткові електродвигуни постійного струму) із захистом від перегріву, які значно знижують енергоспоживання приводу, забезпечують виключно плавний та тихий хід штока регулюючого клапана. Також застосовуються електричні приводи Ari-FR (з функцією безпеки зі зворотною пружиною, що закриває клапан у разі збою електроживлення приводу), а також промислові електроприводи AUMA (в основному для великих клапанів діаметрів). При необхідності можуть застосовуватися і пневматичні приводи Ari-DP односторонньої дії. Всі приводи можуть комплектуватися додатковим набором опцій: кінцеві та проміжні контакти-вимикачі, потенціометри, аналогові датчики зворотного зв'язку, позиціонери.

Зовнішній вигляд регулюючого клапану Ari-Stevi 440/441, оснащеного електроприводом, наведений на рис. 3.15.



Рисунок 3.15 – Зовнішній вигляд регулюючого клапану Ari-Stevi 440/441, оснащеного електроприводом.

Технічні характеристики регулюючих клапанів Ari-Stevi 440/441 наведені в табл. 3.15.

Таблиця 3.15_ Технічні характеристики регулюючих клапанів Ari-Stevi 440/441

Модель клапану	Ari-Stevi 440	Ari-Stevi 441
Номінальні діаметри	DN 15...250	
Номінальний тиск, бар	PN 16, 25, 40	
Діапазон значень kvs	2,5...1000	
Ущільнення штока та робоча температура клапана	Шевронне кільце з PTFE: -10 ... +220 °C Сальник із PTFE: -10 ... +250 °C Кільце EPDM: - 10...+150°C Чистий графіт: -60...450°C	Сильфонне: -60...450°C
Виконання затвора стандартне	DN 15 ... 150: параболічний затвор (ущільнення металу по металу) DN 200...250: шліцевий затвор (ущільнення метал по металу)	
Виконання затвору опціональне	DN 65...150: шліцевий затвор DN 15 ... 150: параболічний затвор з підвищеною герметичністю (клас IV-S1) DN 25 ... 150: параболічний затвор розвантажений за тиском DN 15 ... 150: параболічний затвор з м'яким ущільненням PTFE (Tmax = 200 °C)	
Витратна характеристика	модифікована рівнопроцентна або лінійна (на вибір)	
Діапазон регулювання	50:1 для параболічного затвора 30: 1 для шліцевого затвору	
Клас герметичності	метал/метал: клас протікання затвора IV за DIN EN 60534-4 метал/PTFE: клас протікання затвора VI за DIN EN 60534-4	

Продовження таблиці 3.15

Модель клапану	Ari-Stevi 440	Ari-Stevi 441
Матеріали		
Корпус	арт. 12.440 / 12.441: чавун EN-JL1040 (PN16) арт. 22.440 / 22.441: чавун EN-JS1049 (PN16) арт. 23.440 / 23.441: чавун EN-JS1049 (PN25) арт. 34.440/34.441: сталь 1.0619+N (PN25) арт. 35.440/35.441: сталь 1.0619+N (PN40) арт. 54.440/54.441: н/ж сталь 1.4408 (PN25) арт. 55.440/55.441: н/ж сталь 1.4408 (PN40)	
Внутрішні елементи	різні марки н/ж сталей	

Електропривід регулюючих клапанів ARI-PREMIO / ARI-PREMIO PLUS 2G.

Потужні та компактні лінійні електричні приводи Ari-Premio для трьохпозиційного (дискретного) керування регулюючим клапаном та Ari-Premio Plus 2G із вбудованим позиціонером для керування клапаном за допомогою аналогового сигналу від контролера (керуючий сигнал 0-10В або 0/4-20 мА).

Особливості електроприводів ARI-PREMIO / ARI-PREMIO PLUS 2G:

- Клас захисту IP65.
- Захист двигуна від перегріву.
- Кінцеві вимикачі та вимикачі за зусиллям.
- Ручне аварійне керування.
- Кількість допустимих включень за годину: 1200.
- Трипозиційне керування (привід Ari-Premio) та аналогове 4..20 mA, 0...10 В (для Ari-Premio Plus 2G).
- Можливість зміни типу витратної характеристики (для Ari-Premio Plus) та швидкості переміщення штока.

Електропривід зі зворотною пружиною (функцією безпеки) FR1.2 I FR2.1

Електроприводи з вбудованою зворотною пружиною, що забезпечує автоматичне відкриття або закриття регулюючого клапана у разі зникнення електроживлення приводу.

Особливості електроприводів FR1.2 I FR2.1:

- Клас захисту IP66 (FR1.2) та IP54 (FR2.1).

- Зворотна пружина забезпечує закриття або відкриття клапана при зникненні живлення.
- Напруга живлення: AC/DC 24V, 220V.

Електропривід AUMA SAR для регулюючих клапанів.

Потужні електроприводи для регулюючих клапанів (включаючи варіант вибухозахищеного виконання приводу).

Особливості електроприводів AUMA SAR:

- Велике зусилля закриття.
- Клас захисту IP67, IP68.
- Вимикач по моменту, що крутить.
- Ручне аварійне керування.
- Захист двигуна від перегріву.
- Кількість допустимих вимкнень за годину: від 1200 до 300 залежно від потужності.
- Вибухозахисне виконання.

Сервопривідний електромагнітний клапан Burkert 0407 для нейтральних середовищ у тому числі для пари з паровим поршнем і сідлом з нержавіючої сталі, що дозволяє уникнути корозії та залипання при спрацьовуванні Використовується у вакуумних лініях, автоклавах, текстильній та деревообробній промисловості, для парогенераторів та систем опалення.

Зовнішній вигляд сервопривідного електромагнітного клапану Burkert 0407 наведений на рис. 3.16.



Рисунок 3.16 – Зовнішній вигляд сервопривідного електромагнітного клапану Burkert 0407.

Технічні характеристики сервопривідного електромагнітного клапану Burkert 0407 наведені в табл. 3.16.

Таблиця 3.16_Технічні характеристики сервопривідного електромагнітного клапану Burkert 0407.

Найменування	Значення
Середовище	нейтральне: гаряча вода, пара
Тиск робочого середовища, бар	0...10
Перетин Ду	від 13 до 50 мм
Макс. в'язкість	21 мм ² /с
Температура середовища	0...+180 °С
Макс. навколишня температура	+55 °С
Напруга живлення	220 ±10% В 50 Гц
Електричне підключення	Кабельний роз'єм для кабелю Ø 7 мм (в комплекті)
Клас захисту	IP 65 з кабельним роз'ємом
Тривалість включення	100% безперервна робота
Споживана потужність	
Перетин Ду, мм 13 – 40 50	Підйом 100 ВА АС, Утримання 35/14 ВА/Вт АС/DC Підйом 100 ВА АС, Утримання -/12 ВА/Вт АС/DC, 30 Вт DC
Матеріал корпусу	Латунь, чавун
Ущільнення	Тефлон/графіт
Положення при монтажі	Будь-яке, переважно приводом вгору

Для клапанів з універсальним струмом (UC) кабельний роз'єм поставляється з вбудованим однофазним мостом.

Порівнявши характеристики регулюючого клапану з електроприводом ARI-STEVI 440/441 і сервопривідного електромагнітного клапану Burkert 0407, можна зробити висновок, що вони обидва задовольняють умовам використання в цьому технологічному процесі, але регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441 має більшу кількість типорозмірів Ду, що робить його більш універсальним. Тому для використання у даному технологічному процесі

для регулювання потоків пари, охолодженої води, дибутилфталату, дифеніламіну і діетилового ефіру виберемо регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441.

3.1.7 Вибір перетворювача частоти

Для керування тиском після насоса-дозатора шляхом зміни обертів привідного двигуна і продуктивністю витяжного вентилятора зміною частоти обертання робочого колеса вентилятора необхідно вибрати частотний регулятор.

На ринку представлена велика кількість виробників перетворювачів частоти, - азійських, європейських, американських та ін. Широкий асортимент продукції дає можливість здійснити вибір перетворювача частоти з оптимальним поєднанням вартості та функціональності. Найбільшою популярністю користується продукція таких виробників перетворювачів частоти, як Siemens (перетворювачі Micromaster), ABB, Control Techniques, Schneider Electric (перетворювачі Altivar), Danfoss, Lenze. До менш відомих європейських виробників перетворювачів частоти відносяться Vacon, Elettronica Santerno, Emotron. До найбільш популярних американських виробників відносяться General Electric. Серед азійських компаній найбільш відома продукція таких виробників перетворювачів частоти, як японські Mitsubishi Electric, Omron, Hitachi, Toshiba, Fuji Electric, корейські та тайванські LG Hyundai Electronics, Long Shenq Electronic, Delta Electronics. Перетворювачі частоти випускає також Китай, але китайські перетворювачі частоти, на відміну від корейських, не вирізняються високою якістю. Є також російські виробники перетворювачів частоти – до найбільш популярних відносяться “Комбарко”, “Веспер”, “Эрасиб”, “Вектор”.

Вимоги до асортименту продукції виробника частотних перетворювачів:

Можливість управління по моменту.

Необхідна точність та діапазон регулювання моменту.

Можливість реалізації зворотного зв'язку по моменту.

Виносний пульт управління та налаштування.

Наявність конфігурованого аналогового виходу.

Можливість управління аналоговим сигналом.

Можливість збереження та конфігурації налаштування. на ПК.

Наявність інтерфейсу RS-232.

Всі викладені вимоги в лінійці своїх моделей виконуються у кількох виробників. Зупинимо вибір на перетворювачі частоти німецького виробника Lenze, зовнішній вигляд яких представлений на рис 3.17.



Рисунок 3.17 – Зовнішній вигляд перетворювачів частоти Lenze 8200 vector.

Насос приводиться в рух мотор-редуктором з двигуном 4A71A4Y2 потужністю 0,55кВт. Момент опору на валу може змінюватися при постійній швидкості, також необхідно працювати з повним моментом двигуна в області нульових частот. Даним вимогам відповідає ПЧ Lenze 8200 vector - E82EV551K4C, вартістю 25038 грн.

Вентилятор відцентровий радіальний ВР 86-77 №5 1-е виконання продуктивністю 4,5-5,3 тис. м³/год приводиться в рух двигуном АІР80В4 потужністю 1,5 кВт. Для нього підходить ПЧ Lenze 8200 vector E82EV152K4C вартістю 37635 грн. Перетворювачі Lenze8200_Vector Vector 0,25...90 кВт були розроблені спеціально для інтелектуальних приводів. Вони мають високий к.к.д. і дозволяють здійснити як спеціальні, так і гнучкі приводні рішення з урахуванням оптимізації процесу і простоти управління.

3.1.8 Вибір бар'єрів іскрозахисту

Бар'єри іскрозахисту використовуються в системах автоматичного контролю і управління технологічними процесами хімічних, нафтопереробних і інших промислових підприємств з пожежо- та вибухонебезпечними умовами виробництва, де можуть бути вибухонебезпечні суміші газів, парів, а також легкозаймисті та вибухові речовини (пил, порошок).

Установка бар'єрів іскрозахисту дозволена тільки поза вибухонебезпечною зоною, або у вибухонепронекній оболонці.

Двоканальний бар'єр іскрозахисту з функцію автоматичного відновлення після спрацьовування БИЗоН 2Ех.24.12 призначений для забезпечення іскробезпеки електричних кіл живлення і сигнальних кіл перетворювачів, які встановлені у вибухонебезпечних зонах.

Канал «Живлення» призначений для живлення одного первинного перетворювача з вихідним струмовим сигналом 0-5 мА / 0-20 мА / 4-20 мА постійного струму, або для живлення напругою + 24В постійного струму одного пристрою, встановленого у вибухонебезпечній зоні.

Канал «Сигнальний» призначений для прийому/передачі сигналів цифрових інтерфейсів RS-485 / RS-422 або для передачі дискретних сигналів від датчиків із виходом «сухий контакт» амплітудою до 10В постійного струму.

Бар'єр відповідає вимогам ДСТУ EN 60079-0:2017 і ДСТУ EN 60079-11:2017, має вихідні іскробезпечні електричні кола рівня «Іа» і маркування вибухозахисту ЕХ ІІ (1) G [Ех іа Gа] ІІВ та призначений для установки за межами вибухонебезпечних зон.

Зовнішній вигляд бар'єру іскрозахисту БІЗоН 2Ех.24.12 наведений на рис. 3.18.



Рисунок 3.18 – Зовнішній вигляд бар'єру іскрозахисту БІЗоН 2Ех.24.12.

Технічні характеристики бар'єру іскрозахисту БІЗоН 2Ех.24.12 наведені в табл. 3.17.

Таблиця 3.17_ Технічні характеристики бар'єру іскрозахисту БІЗоН 2Ех.24.12

Параметр	Канал «Живлення»	Канал «Сигнальний»
Кількість каналів	1	1
Напруга холостого ходу $U_{хх}$, не більше	25 В	10 В
Струм навантаження I_n , не більше	50 мА	40 мА
Опір каналу	210 Ом	190 Ом
Сумарна ємність кабелю і навантаження	0,4 мкФ	3,5 мкФ
Сумарна індуктивність кабелю і навантаження	1 мГн	4,5 мГн
Максимальна напруга на виході бар'єра в аварійному режимі U_0 , не більше	27 В	12,75 В
Максимальний струм на виході бар'єра в аварійному режимі I_0 , не більше	165 мА	90 мА
Маркування вибухозахисту	Ех ІІ (1) G [Ех іа Gа] ІІВ	
Відповідність стандартам	ДСТУ EN 60079-0:2017 і ДСТУ EN 60079- 11:2017	
Ступінь захисту	IP20	
Робочій діапазон температур	-20...+60 °С	
Відносна вологість	< 80 % (без конденсації)	
Тип монтажу	Кріплення на DIN-рейку 35 мм	

Бар'єр іскрозахисту БІЗ-21 призначений для забезпечення іскробезпеки електричних кіл технічних засобів автоматизації, що встановлюються у вибухонебезпечних зонах приміщень і зовнішніх установок.

Бар'єр іскрозахисту БІЗ-21 встановлюється поза вибухонебезпечною зоною і забезпечує захист іскробезпечних ліній від впливу напруги до 250 В, обмежуючи значення струму і напруги до іскробезпечних.

Зовнішній вигляд бар'єру іскрозахисту БІЗ-21 наведений на рис. 3.19.



Рисунок 3.19 – Зовнішній вигляд.

В залежності від необхідного типу сигналу бар'єр позначається наступним чином:

БІЗ-21-А01 – бар'єр іскрозахисту сигналу постійного струму 0-5 мА, постійної напруги 0-10 В, електричного кола напруги живлення постійного струму 24 В, дискретних сигналів з рівнем напруги до 24 В, сигналу інтерфейсу RS-485;

БІЗ-21-А02 – бар'єр іскрозахисту сигналів постійного струму 0-20 мА та 4-20 мА;

БІЗ-21-Т01 – бар'єр іскрозахисту сигналів від термоперетворювачів опору, підключених за трипровідною схемою;

БІЗ-21-Т02 – бар'єр іскрозахисту сигналів від термоперетворювачів опору, підключених по чотирьохпровідною схемою;

БІЗ-21-Т03 – бар'єр іскрозахисту сигналів від термоелектричних перетворювачів (термопар).

Бар'єр дозволяє підключення іскробезпечного обладнання з наступними типами сигналів:

- аналогові вхідні і вихідні сигнали постійного струму з діапазоном 0-5 мА та постійної напруги з діапазоном 0-10 В (БІЗ-21-А01);

- електричні кола напруги живлення постійного струму з номінальним значенням до 24В (БІЗ-21-А01);
- сигнали інтерфейсу RS-485 (БІЗ-21-А01);
- дискретні вхідні і вихідні сигнали з рівнем напруги до 24 В і струмом до 20 мА (БІЗ-21-А01);
- аналогові вхідні і вихідні сигнали постійного струму з діапазоном 0-20 мА та 4-20 мА (БІЗ-21-А02);
- сигнали від термоперетворювачів опору, підключені по трьохпровідній схемі (БІЗ-21-Т01);
- сигнали від термоперетворювачів опору, підключені по чотирьохпровідній схемі (використовуються два бар'єри БІЗ-21-Т02);
- сигнали від термоелектричних перетворювачів – термопар (БІЗ-21-Т03).

Технічні характеристики бар'єру іскрозахисту БІЗоН 2Ех.24.12 наведені в табл. 3.18.

Таблиця 3.18_ Технічні характеристики бар'єру іскрозахисту БІЗоН 2Ех.24.12

Характеристика	Тип бар'єру			
	1	1	0,5	1
Кількість кіл у бар'єрі	1			
Рівень іскробезпеки електричного кола	II(1)G[ExiaGa]IIC			
Максимально допустиме значення напруги (U_m), при якому забезпечується іскробезпека кола	250 В			
Максимальна вихідна напруга бар'єру (U_0)	31,4 В		13,8 В	
Максимальний вихідний струм бар'єру (I_0)	50 мА	90 мА	116 мА	
Прохідний опір бар'єру	від 660 до 700 Ом	від 450 до 550 Ом	від 140 до 162 Ом	
Опір однієї гілки бар'єру	ввід 330 до 350 Ом		ід 70 до 81 Ом	від 70 до 81 Ом
Різниця опорів між гілками	Не нормується		0,02 Ом	
Максимально допустима ємність кола, що захищається (C_0)	0,055 мкФ		0,68 мкФ	

Продовження таблиці 3.18

Характеристика	Тип бар'єру		
	Максимально допустима індуктивність кола, що захищається (L0)	1,5 мГн	0,7 мГн
Струм спрацювання запобіжників	50 мА		
Струм витоку для вхідної напруги, не більше:			
24 В	5 мкА		-
4 В	1 мкА		1 мкА
0,1 В	0,1 мкА		0,1 мкА

Вибираємо бар'єр іскрозахисту БІЗ-21, оскільки він найбільш універсальний для безпечного управління в пожежо- вибухонебезпечних технологіях.

3.2 Верхній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом

Верхній рівень АСУ виконує функції діалогової взаємодії з оператором, включаючи в себе індикацію, накопичення та аналіз даних.

Основні функції управління, реалізуються шляхом підбору необхідних технічних засобів.

3.2.1 Вибір контролера

Для вибору контролера зведемо вхідні та вихідні сигнали контролера в таблиці 3.19 та 3.20.

Таблиця 3.19 – Вхідні сигнали контролера

Параметр	Об'єкт управління	Вхідний сигнал
Температура динітротолуолу	Плавильник динітротолуолу	4...20 mA
Температура динітротолуолу	Збірник динітротолуолу	4...20 mA
Температура динітротолуолу	Мірник динітротолуолу	4...20 mA
Рівень динітротолуолу	Мірник динітротолуолу	4-20 mA із цифровим сигналом на базі HART-протоколу або Foundation™ Fieldbus
Температура суміші ДБФ+ДНТ	Змішувач ДБФ+ДНТ	4...20 mA

Продовження таблиці 3.19

Параметр	Об'єкт управління	Вхідний сигнал
Рівень дибутилфталату	Ємність для дибутилфталату	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу або Foundation™ Fieldbus
Рівень дибутилфталату	Мірник дибутилфталату	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу або Foundation™ Fieldbus
Рівень дибутилфталату	Мірник дибутилфталату	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу або Foundation™ Fieldbus
Рівень суміші ДБФ+ДНТ	Змішувач ДБФ+ДНТ	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу або Foundation™ Fieldbus
Рівень ефіру	Мірник ефіру	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу або Foundation™ Fieldbus
Вага дифеніламіну	Вхід у змішувач ДФА+ефір	RS-485
Тиск розчину ДФА+ефір	Перед сітчастим фільтром	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу або Foundation™ Fieldbus
Тиск розчину ДФА+ефір	Після сітчастого фільтру	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу або Foundation™ Fieldbus
Рівень розчину ДФА+ефір	Витратна ємність для	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу або Foundation™ Fieldbus
Тиск розчину ДФА+ефір	Після насоса-дозатора	4...20 мА
Рівень розчину ДФА+ефір	Мірник розчину ДФА+ефір	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу або Foundation™ Fieldbus
Рівень розчину ДНТ+ДБН+ДФА+ефір	Мірник розчину ДНТ+ДБН+ДФА+ефір	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу або Foundation™ Fieldbus
Концентрація парів ефіру	Стадія приготування сумішей	0...5 мА, або 4...20 мА

Таблиця 3.20 – Вихідні сигнали контролера

Параметр	Об'єкт управління	Вихідний сигнал
Регулювання витрати пари	Вхід плавильника динітротолуолу	4..20 mA, 0...10 V
Регулювання витрати пари	Вхід збірника динітротолуолу	4..20 mA, 0...10 V
Регулювання витрати пари	Вхід мірника динітротолуолу	4..20 mA, 0...10 V
Регулювання витрати динітротолуолу	Вхід мірника динітротолуолу	4..20 mA, 0...10 V
Регулювання витрати дибутилфталату	Вхід ємності для дибутилфталату	4..20 mA, 0...10 V
Регулювання витрати дибутилфталату	Вхід мірника дибутилфталату	4..20 mA, 0...10 V
Регулювання витрати охолодженої води	Вхід змішувача ДБФ+ДНТ	4..20 mA, 0...10 V
Регулювання витрати дибутилфталату	Вхід змішувача ДБФ+ДНТ	4..20 mA, 0...10 V
Регулювання витрати динітротолуолу	Вхід змішувача ДБФ+ДНТ	4..20 mA, 0...10 V
Регулювання витрати ефіру	Вхід мірника ефіру	4..20 mA, 0...10 V
Регулювання витрати ДФА	Вхід у змішувач ДФА+ефір	4..20 mA, 0...10 V
Витрата розчину ДФА+ефір	Вхід витратної ємності розчину ДФА+ефір	4..20 mA, 0...10 V
Оберти привода насоса-дозатора	Насос-дозатор	4...20 mA
Витрата ДФА+ефір	Вхід мірника розчину ДФА+ефір	4..20 mA, 0...10 V
Оберти привода витяжного вентилятора	Стадія приготування сумішей	4...20 mA
Сигналізація засміченості	Сітчастий фільтр	Лог. 1
Сигналізація тиску	Насос-дозатор	Лог. 1
Сигналізація світлова парів ефіру	Індикатор сигналізації	Лог. 1
Сигналізація звукова парів ефіру	Сирена сигналізації	Лог. 1

На основі викладених даних означимо вимоги до портів контролера (табл. 21).

Таблиця 3.21 - вимоги до портів контролера

Сигнали	Кількість сигналів
Аналогові вхідні	17
Дискретні вхідні	1
Аналогові вихідні	16
Дискретні вихідні	4

Для реалізації управління даним процесом застосуємо ОВЕН ПЛК 160 з модулями розширення.

Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК160 застосовується для створення систем управління малими та середніми об'єктами, побудову систем диспетчеризації, побудову системи управління та диспетчеризації на базі ОВЕН ПЛК можлива як за допомогою дротових засобів – використовуючи вбудовані інтерфейси Ethernet, RS-232, RS-485, так і за допомогою бездротових засобів – використовуючи радіо, GSM, ADSL модеми.

Конструктивні особливості ОВЕН ПЛК 160

Контролер виконано в компактному DIN-рейковому корпусі

Розширення кількості точок вводу\виводу здійснюється шляхом підключення зовнішніх модулів вводу\виводу будь-яким із вбудованих інтерфейсів.

Обчислювальні ресурси ОВЕН ПЛК160

У контролері закладені потужні обчислювальні ресурси при відсутності операційної системи:

– високопродуктивний процесор RISC архітектури ARM9, с частотою 180 МГц компанії Atmel;

– великий об'єм оперативної пам'яті – 8 МБ;

– великий об'єм постійної пам'яті – Flash пам'ять, 4 МБ;

– об'єм енергонезалежної пам'яті, для зберігання змінних – до 16 КБ.

Зовнішній вигляд ПЛК160 представлений на рис. 3.20.



Рисунок 3.20 – Зовнішній вигляд ОВЕН ПЛК160

Електричні параметри.

- Два варіанти живлення для кожного контролера:
- змінний струм: (90-265)В, (47...63)Гц;
- постійний струм: (18-29)В.
- Невелика споживана потужність до 10 Вт.
- Дискретні входи – 16.
- Дискретні виходи – 12.
- Аналогові входи – 8.
- Аналогові виходи – 4.
- Всі дискретні входи контролера вимірюють сигнал 24В.
- Тип сигналу може бути як n-p-n, так та р-n-p.
- Дискретні виходи типу Р - реле.
- «Швидкі» аналогові входи, для підключення уніфікованих датчиків струму, напруги.

Дискретні виходи контролерів даної лінійки можуть бути налаштовані на видачу ШІМ, або генератора с високою точністю.

Оскільки вбудованих аналогових входів недостатньо, то існує необхідність використання додаткових модулів вводу аналогових сигналів.

3.2.2 Модуль вводу аналогового сигналу

Прилад застосовується для перетворення вимірюваних аналогових сигналів у цифровий код та передачі результатів вимірювання у мережу RS-485. Призначається для побудови автоматизованих систем збору даних у різноманітних областях промисловості, сільського та комунального господарства, на транспорті.

Зовнішній вигляд модуля введення аналогового сигналу ОВЕН МВ110-24.8АС представлений на рис. 3.21.



Рисунок 3.21 – Зовнішній вигляд ОВЕН МВ110-24.8АС.

Аналогові входи приладу можуть працювати в наступних режимах:

- вимірювання струму в діапазоні від 4 до 20 мА;
- вимірювання струму в діапазоні від 0 до 20 мА;
- вимірювання струму в діапазоні від 0 до 5 мА;
- вимірювання напруги в діапазоні від 0 до 10 В.

Прилад працює в мережі RS-485 за протоколами ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON.

Прилад має наступні групи гальванічно ізольованих кіл:

- кола живлення приладу;
- кола інтерфейсу RS-485;
- кола вихода вбудованого джерела постійного струму напругою 24 В.

Електрична стійкість ізоляції всіх груп кіл, виключаючи групу кіл живлення, відносно один одного – 750 В, відносно групи кіл живлення – 3000 В.

Прилад не є Майстром мережі, тому мережа RS-485 повинна мати Майстер мережі, наприклад, ПК із запущеною на ньому SCADA-системою, контролер або регулятор.

До приладу додається безкоштовний OPC-драйвер та бібліотека стандарту WIN DLL, який рекомендується використовувати при підключенні приладу до SCADA-систем та контролерів інших виробників.

Конфігурування приладу здійснюється на ПК через адаптер інтерфейсу RS-485/RS-232 або RS-485/USB (наприклад, ОВЕН АС3-М або АС4) за допомогою програми «Конфігуратор М110», що входить до комплекту постачання.

Технічні характеристики модуля введення аналогового сигналу ОВЕН МВ110-24.8АС представлені в таблиці 3.22

Таблиця 3.22 – технічні характеристики модуля введення аналогового сигналу ОВЕН МВ110-24.8АС

Назва	Значення
Кількість аналогових каналів вимірювання	8
Роздільна здатність:	
– для діапазонів струмів від 4 до 20 мА та від 0 до 20 мА, мкА не більше	4
– для діапазону струму від 0 до 5 мА, мкА не більше	1
– для діапазону напруги від 1 до 10 В, мВ, не більше	2
Напруга живлення	24 В постійного струму
Споживана потужність, ВА, не більше	8
Вихідна напруга вбудованого джерела живлення, В	24 ± 3
Максимальний струм навантаження вбудованого джерела живлення, А	0,18
Максимальний струм навантаження вбудованого джерела живлення, А	0,18
Вхідний опір в режимі вимірювання струму від 0 до 20 мА та від 4 до 20 мА, Ом	від 130 до 250
Вхідний опір в режимі вимірювання напруги від 0 до 10 В, кОм, не менше	200
Період оновлення результатів вимірювання по кожному каналу, мс	5 ± 2 %
Межа основної приведенної похибки, %	0,25
Межа додаткової приведенної похибки, викликаної зміною температури на 10 °С в межах робочого діапазону температур, %	0,12
Інтерфейс зв'язку з майстром мережі	RS-485
Максимальна кількість приладів, одночасно приєднаних до мережі RS-485, не більше	32
Максимальна швидкість обміну по інтерфейсу RS-485, біт/с	115200
Ступінь захисту корпусу	IP20

Прилад відповідає вимогам по стійкості до перешкод у відповідності до ГОСТ Р 51522 для обладнання класу А.

Для даного ТП необхідний 1 модуль швидкісного введення аналогових сигналів МВ110-220.8АС.

3.2.3 Модуль виводу струмового аналогового сигналу

Модуль аналогового виводу ОВЕН МУ110-8И застосовується для перетворення цифрових сигналів, що передаються по мережі RS-485, в аналогові сигнали діапазоном від 4 до 20 мА для управління виконавчими механізмами або для передачі сигналів приладам реєстрації та самописцям.

Зовнішній вигляд ОВЕН МУ110-8И представлений на рис. 3.22.



Рисунок 3.22 – Зовнішній вигляд ОВЕН МУ110-8И

ОВЕН МУ110-8И працює в мережі RS-485 за протоколами ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON.

ОВЕН МУ110-8И не є Майстром мережі, тому мережа RS-485 повинна мати Майстер мережі, наприклад, ПК із діючою на ньому SCADA-системою, контролер або регулятор. В якості майстра мережі можуть використовуватися прилади ОВЕН ТРМ151, ТРМ133, контролери ОВЕН ПЛК та ін.

До МУ110 надається безкоштовний OPC-драйвер та бібліотека стандарту WIN DLL, які рекомендується використовувати при підключенні приладу до SCADA-систем та контролерів інших виробників.

Конфігурування МУ110 здійснюється за допомогою ПК через адаптер інтерфейсу RS-485/RS-232 або RS-485/USB (наприклад, ОВЕН АС3-М або АС4, відповідно) за допомогою програми «Конфігуратор М110», що входить в комплект постачання.

Прилад відповідає вимогам по стійкості до перешкод у відповідності до ГОСТ Р 51522 для обладнання класу А.

Для даного технологічного процесу нам необхідно 2 таких модулі. Виходи, що залишилися, можна використовувати при модернізації обладнання, без додавання пристроїв.

Основні технічні характеристики ОВЕН МУ110-8И представлені в табл. 3.23.

Таблиця 3.23 _ Основні технічні характеристики ОВЕН МУ110-8И

Параметр	Значення
Кількість аналогових вихідних елементів	8
Тип аналогових вихідних елементів	ЦАП «параметр – струм 4...20мА»
Основна приведена похибка ЦАП	Не більше $\pm 0,5\%$
Інтерфейс зв'язку з комп'ютером	RS-485
Максимальна швидкість обміну за інтерфейсом RS-485	115 200 біт/с
Протокол зв'язку, що використовується для передачі інформації	ОВЕН; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON
Напруга живлення: - МУ110-220.8И - МУ110-24.8И - МУ110-224.8И	- 90...264 В змінного струму (номінальна напруга 220 В) частотою 47...63 Гц - 18...29 В постійного струму (номінальна напруга 24 В) - 90...264 В змінного струму (номінальна напруга 220 В) частотою 47...63 Гц або 20...37,5 В постійного струму (номінальна напруга 24 В)
Споживана потужність	Не більше 6 ВА
Діапазон напруг живлення виходу	10...36 В
Опір навантаження, під'єданого до виходу	0...1300 Ом
Умови експлуатації: - температура навколишнього повітря - відносна вологість повітря при 25°C та нижче без конденсації вологи - атмосферний тиск	-10...55°C 80 %RH 86...106,7 кПа
Ступінь захисту корпусу	IP20

3.2.5 Вибір панелі оператора

Для наглядного відображення значень параметрів та оперативного управління, а також ведення архіву подій або значень застосуємо сенсорну графічну панель оператора ОВЕН СПЗ-307.

Функціональні особливості операторської панелі:

- Завантаження програми через USB кабель. Підключення панелі до персонального комп'ютера для завантаження програми здійснюється за допомогою USB-кабеля. Для початку роботи з панеллю достатньо встановити програму «Конфігуратор СП300» із вбудованим драйвером та підключити панель до USB-кабелю.

- Завантаження програми через USB flash накопичувач.

- Також є можливість завантажити програму в панель за допомогою USB-flash-накопичувача (доступно тільки в розширених модифікаціях СП307-Р, СП310-Р). Функцію зручно використовувати у випадках, коли немає можливості з'єднати ПК та панель оператора по USB кабелю для завантаження програми.

- Архівування на USB flash накопичувач. Архівування на USB-flash-накопичувач виконується в форматі CSV. В редакторі таблиць на ПК(MS Excel або Google-таблиці) дані можуть бути представлені в зручному для вас вигляді, наприклад, в виді графіку значень температури за рік. Окрім запису архіву, дані можна зчитати з USB-flash-накопичувача в СПЗхх. Зчитані дані можна представити у вигляді графіку, таблиці або переслати по мережі в ПЛК.

- Створення скриптів. Написання невеликих програм (скриптів) на «СИ» подібній мові значно розширює можливості операторського інтерфейсу. Скрипти використовуються як допоміжні логічні блоки до основних елементів візуалізації. Скрипти не підходять для написання програми управління технологічним процесом; для подібних задач в асортименті ОВЕН є клас таких пристроїв, як панельні контролери (СПК).

- Побудова графіків. Для представлення інформації на операторському інтерфейсі у вигляді графіків доступні кілька видів елементів. ХУ-графік дозволяє побудувати криву по ХУ координатам. Графік зі зберіганням історії відображає криву стану однієї або кількох змінних з можливістю перегляду історії записів, наприклад, графіка температури в минулому місяці. Графік реального часу показує дійсний стан змінної без можливості перегляду історії, що заощаджує пам'ять.

- Таблиці підходять для ведення історії подій, є можливість гортати історію інформації, наприклад, запис аварійних станів. Також в таблицях можна виконувати підтвердження подій натисканням на відповідне повідомлення.

– Завантаження зовнішніх зображень. Є можливість завантажити зображення у форматі jpg та використовувати його в програмі як підложку або як активний елемент, наприклад, як кнопку.

– Створення анімації. Завдяки анімації інтерфейс системи ЛМІ стає інтуїтивно зрозумілим. З завантажених зображень в форматі jpg можливе створення анімованих зображень. Наприклад, обертання вентилятора з заданою швидкістю або переміщення якогось об'єкту за заданими координатами.

– Налаштування рівнів доступу. Закладено багаторівневе обмеження прав доступу до операторського інтерфейсу панелі. Можна налаштувати до 12 рівнів. Для кожного з рівнів задається свій логін та пароль.

Зовнішній вигляд панелі оператора ОВЕН СПЗ-307 представлений на рис. 3.23.

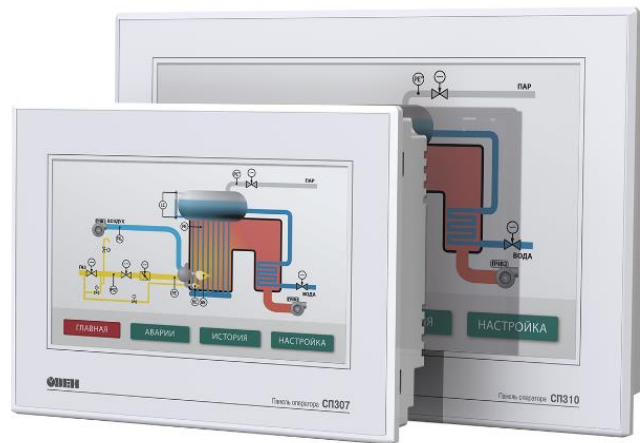


Рисунок 3.23 – Зовнішній вид панелі оператора ОВЕН СПЗ-307

3.2.6 Вибір блока живлення

Для живлення ПЛК, модуля вводу, панелі оператора, ПТС-164, електроприводу виконавчого механізму а також датчиків оберемо блок живлення. Застосуємо 10 4-канальних блоків живлення ОВЕН БП14Б-Д4 .

Зовнішній вигляд блока живлення ОВЕН БП14Б-Д4 представлений на рис. 3.23.



Рисунок 3.23 – 4-канальний блок живлення ОВЕН БП14Б-Д4

Основні технічні характеристики ОВЕН МУ110-8И представлені в табл. 3.24.

Таблиця 3.24 _ Основні технічні характеристики ОВЕН БП14Б-Д4

Частота вхідної змінної напруги:	47...63 Гц
Межа спрацьовування захисту за струмом:	не більше 1,5 I _{max}
Максимальна вихідна потужність:	60 Вт
Нестабільність вих. напруги при вимірюванні напруги живлення:	±0,2 %
Продовження таблиці 3.23	
Нестабільність вих. напр. при вимірюванні струму навантаження від 0,1 I _{max} до I _{max} :	±0,25 %
Робочий діапазон температур:	-20...+50 °С
Коефіцієнт температурної нестабільності вихідної напруги в робочому діапазоні температур:	±0,025 % / °С
Рівень радіоперешкод за ГОСТ Р 51527	група С
Вихідна напруга:	24 ± 1 % В
Амплітуда пульсацій вихідної напруги:	120 мВ
Макс. струм навантаження I _{max} :	2,5 А
Струм споживання	1,03...0,41 А

3.3 Розробка системи сигналізації

Для здійснення технологічної сигналізації скористаємося блоком технологічної сигналізації ПТС-164.

Блок технологічної сигналізації застосовується для узагальненої та поканальної сигналізації параметрів технологічних процесів, значення яких в процесі роботи перевищують ті або інші технологічні уставки. Використовується в локальних та комплексних системах

промислової автоматизації виробничих процесів в схемах технологічної та аварійної сигналізації.

Прилад технологічної сигналізації ПТС-164 складається з одного блоку ПТС-25 (ведучий пристрій або прилад узагальненої сигналізації) та одного або кількох блоків ПТС-85 (ведене пристрій або прилад поканальної сигналізації).

Функціональні можливості.

Виконувані функції:

- Світлодіодна індикація спрацьовування поканальної (ПТС-85) та узагальненої сигналізації (ПТС-25);
- Підключення зовнішніх світлодіодних індикаторів (через клемний з'єднувач або роз'єм ГТС-Б);
- Вибір типу сигналу сигналізації - статичний сигнал (постійне свічення) або динамічний з частотою F1 або F2. Використання F1 та F2 направлено на два різноманітних (за тоном, силою звучання) звукових пристроїв;
- Квитування (зняття) сигналізації виконується за допомогою кнопки, що під'єднується до клем ПТС-25;
- Перевірка (тестування) сигналізації виконується за допомогою кнопки, що під'єднується до клем ПТС-25.

Пристрій ПТС-25 (ведучий) містить:

- Два незалежних канали сигналізації, що перемикаються контактами частоти F1 та F2;
- Задатчик частоти сигналів сигналізації F1 та F2;
- Вузол квитування (зняття) сигналізації;
- Вузол перевірки сигналізації;
- Пристрій ПТС-85 (ведений) містить:
 - Вісім незалежних каналів сигналізації з можливістю поканального вибору сигналу сигналізації та номеру каналу спрацьовування сигналізації ПТС-25.

Зовнішній вигляд приладу технологічної сигналізації ПТС-64 представлений на рис. 3.24.



Рисунок 3.24 - Зовнішній вид приладу технологічної сигналізації ПТС-164

Підключення приладу технологічної сигналізації ПТС-164 здійснюється наступним чином. До ведучого пристрою ПТС-25 приєднуються від одного до восьми ведених пристроїв ПТС-85. Схема підключення приладу представлена на рис. 3.25.

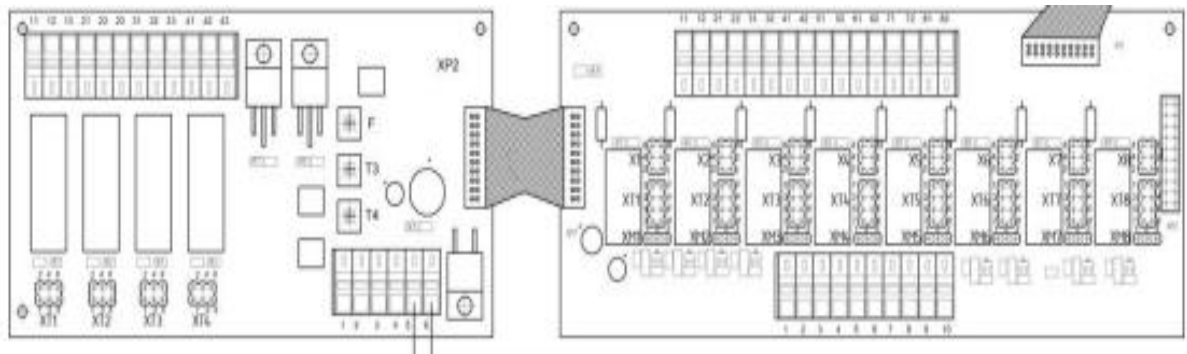


Рисунок 3.25 – Схема підключення приладу ПТС 164

4 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ

4.1 Опис алгоритму роботи системи

В загальному вигляді система працює за алгоритмом, що представлено на малюнку 4.1.

Після ввімкнення живлення система перевіряє працездатність всіх пристроїв, згодом, в разі несправності, система видає повідомлення про несправності, після чого буде очікувати подальших дій оператора.

В разі вдалої перевірки система виконує ініціалізацію всіх пристроїв та буде очікувати команди старту роботи. Після надходження команди старту запускається програма запуску системи. Дана програма необхідна для того, щоб запобігти від аварійних ситуацій під час запуску. Коли програма запуску виконає повний запуск системи, система перемкнеться на основну програму, за якою та продовжує працювати.

4.2 Програма перевірки працездатності

Алгоритм перевірки працездатності представляє собою такий порядок дій.

Спочатку система подає запит готовності контролеру та буде очікувати відповіді протягом деякого часу до спрацьовування сторожового таймера. Якщо контролер не відповідає протягом цього часу, то робиться висновок, що система несправна, якщо ж контролер відповідає на запит, то система переходить до перевірки виводів контролера, послідовно відправляючи запити кожному з них та очікуючи відповіді. Якщо хоча би один пристрій не відповідає, система робить висновок про несправність. Якщо всі модулі вводу/виводу справні, то система переходить до перевірки датчиків, як і в попередньому випадку надсилаючи запити та очікуючи на відповідь. Якщо всі пристрої та датчики справні, система виходить з програми.

4.3 Основна програма

Основна програма роботи системи являє собою складний циклічний алгоритм. В процесі виконання основного алгоритму система виконує опитування датчиків, запис значень в пам'ять, визначення сигналів неузгодженості та корекцію параметрів. При закінченні процесу або при виникненні аварійної ситуації передбачено плавну зупинку системи для запобігання погіршення ситуації та попередження виходу ситуації з-під контролю.

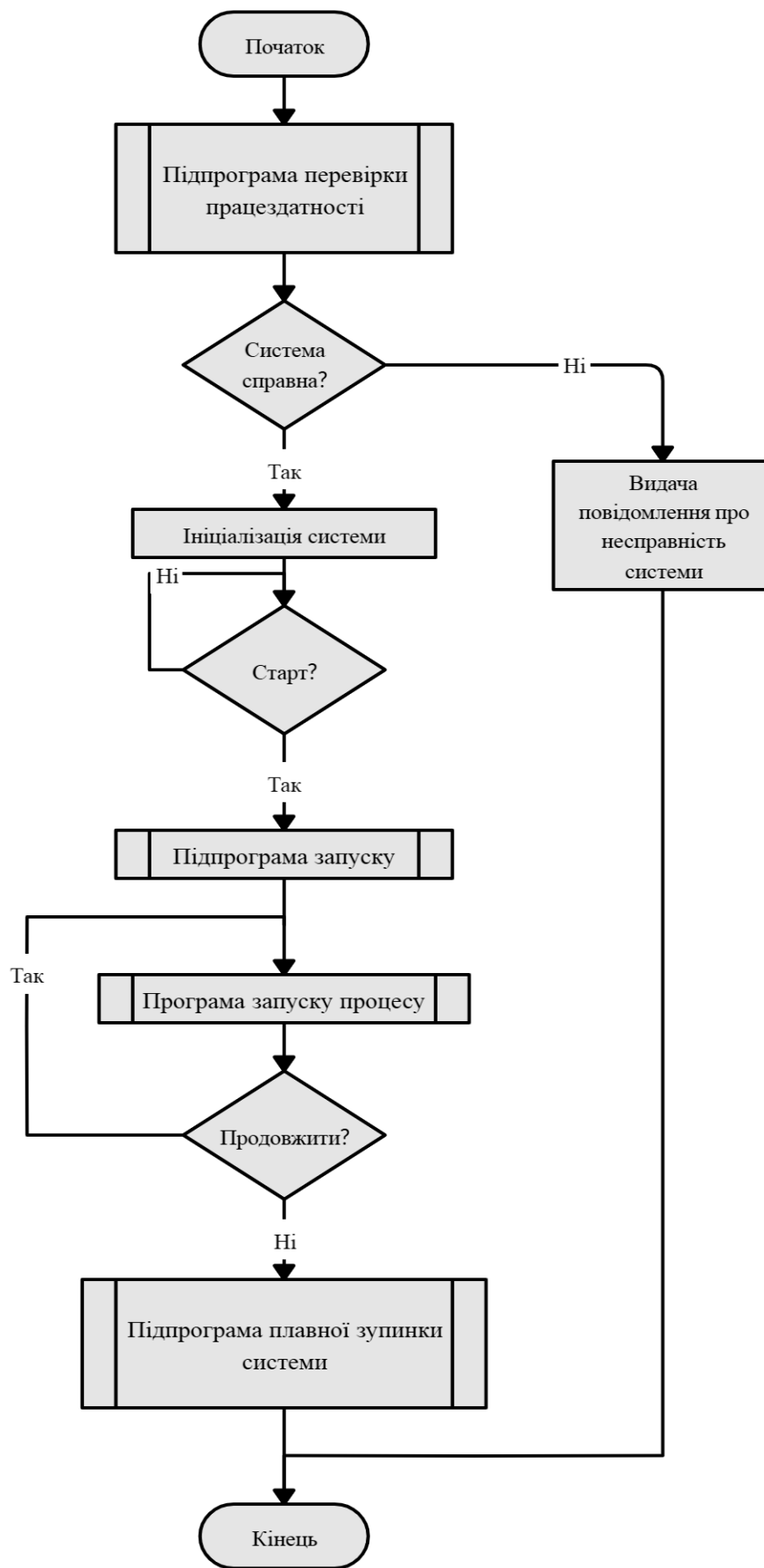
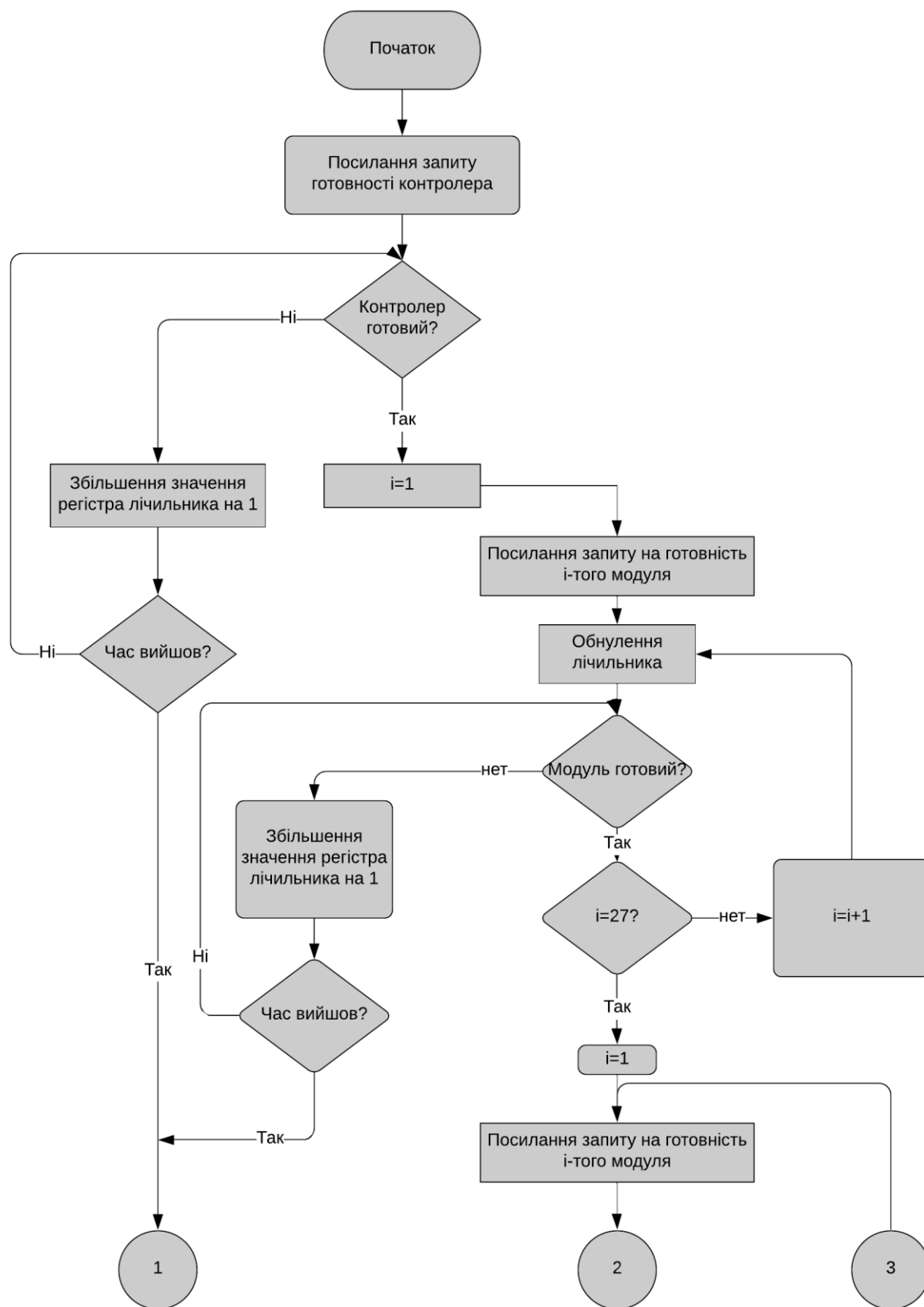


Рисунок 4.1 Загальний алгоритм роботи системи



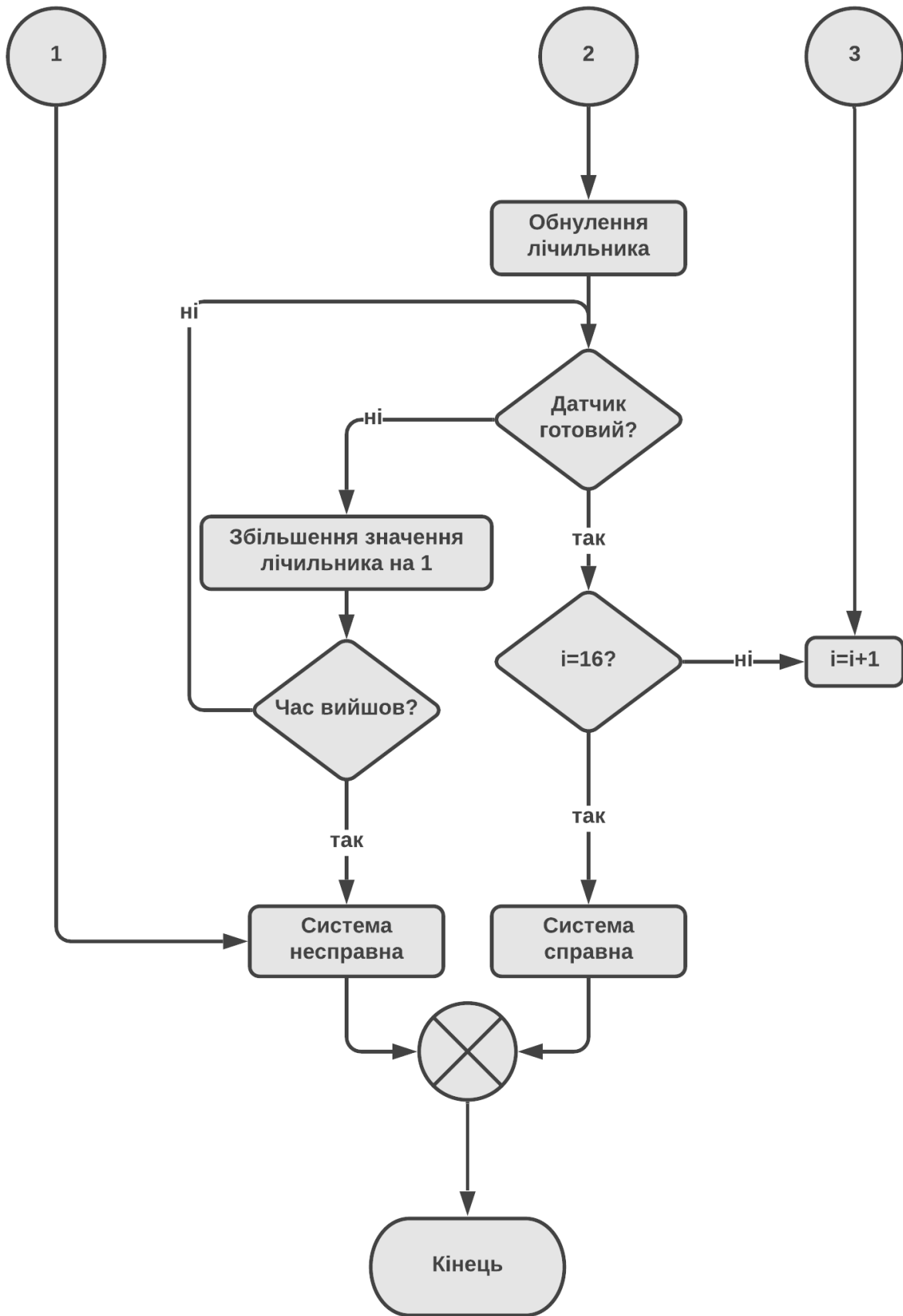


Рисунок 4.2 – Алгоритм перевірки працездатності системи

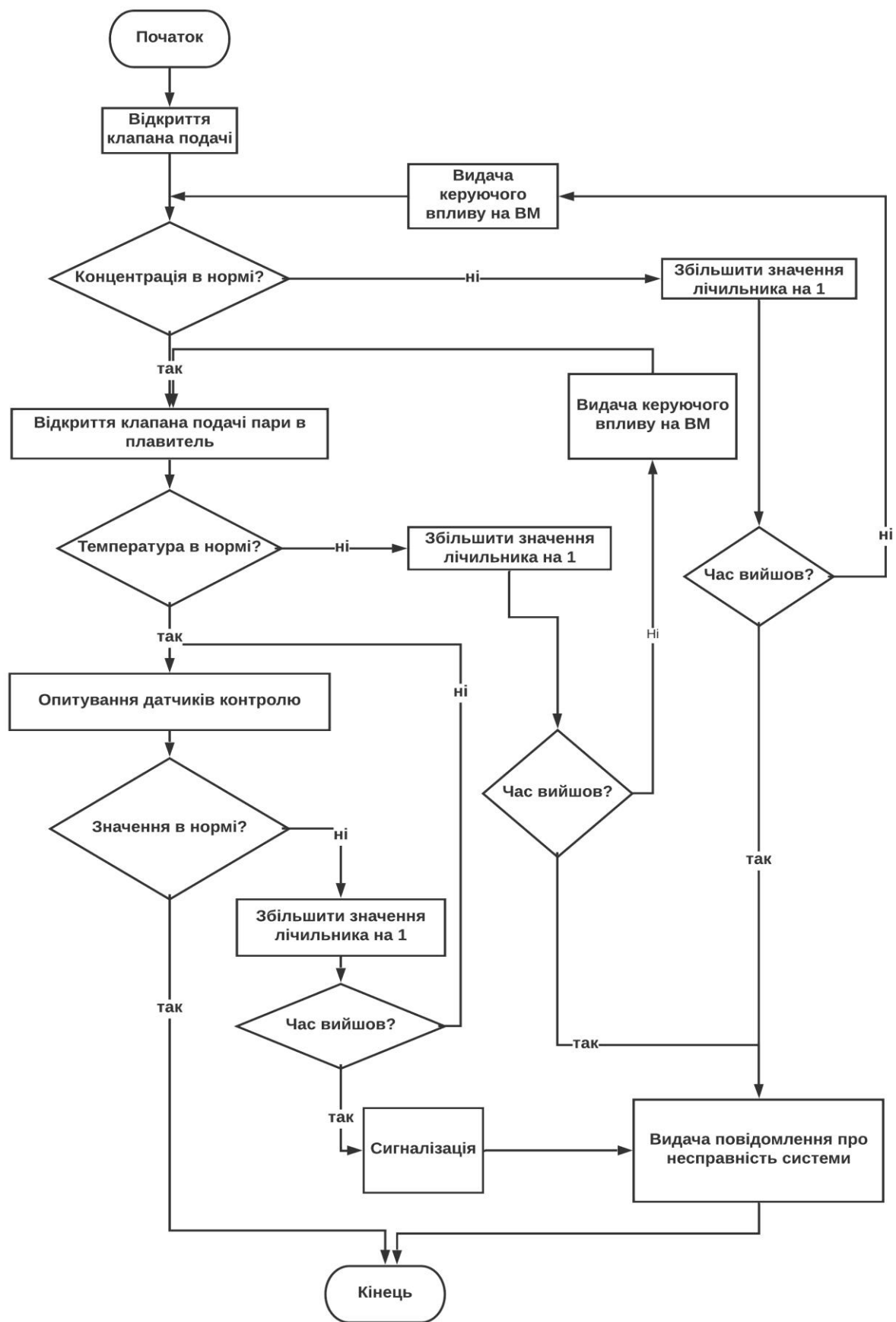


Рисунок 4.3 – Алгоритм основної програми

5 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

В розглянутому технологічному процесі є 2 характерні технологічні операції, які відіграють значну роль у отриманні якісної продукції: операція плавлення динітротолуолу і дозування необхідної кількості реагента у певному резервуарі.

5.1 Регулювання температури в реакторі плавлення

У першому випадку об'єктом управління розглядається реактор плавлення динітротолуолу. Реактор являє собою закриту ємність з сорочкою обігріву. У верхній частині ємності розташований люк для завантаження динітротолуолу. Плавлення динітротолуолу та підтримання температури в ємності здійснюється паром низького тиску, що надходить до сорочки обігріву. Температура в ємності повинна бути в межах від 55-60 °С. Точність управління $\pm 5^\circ\text{C}$.

5.1.1 Отримання математичного моделі об'єкта управління

В результаті дослідження реального об'єкта управління отримана крива розгону, зображена на рис. 5.1.

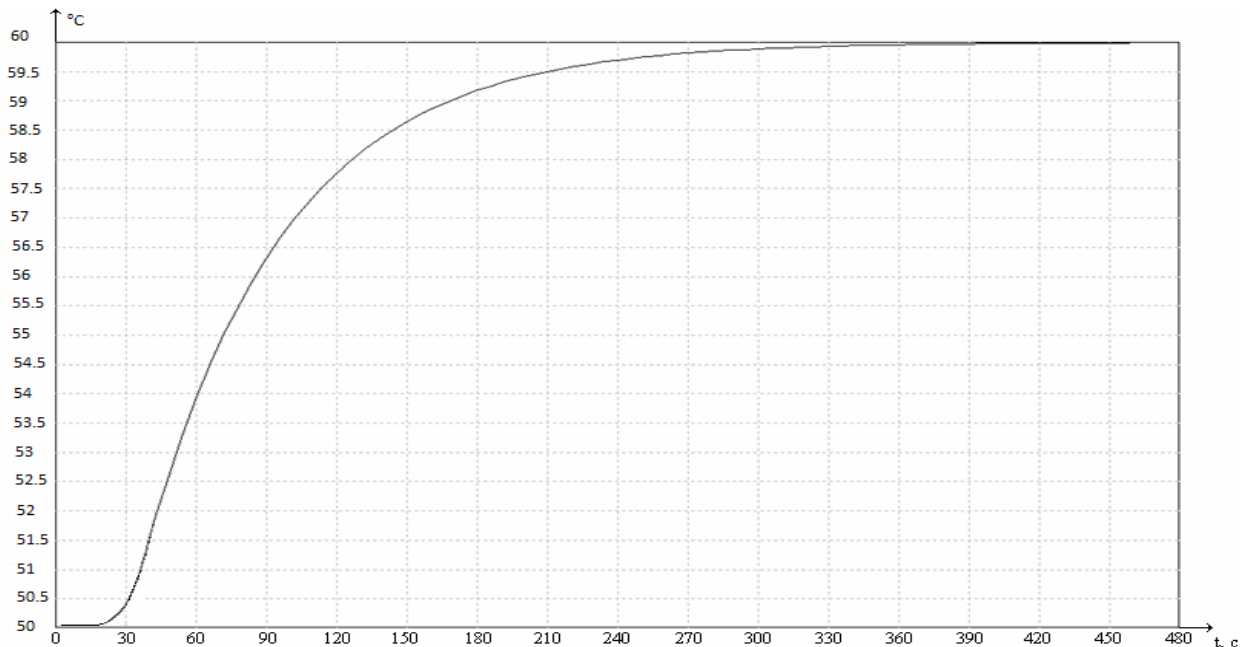


Рисунок 5.1 – Крива розгону об'єкта управління .

Для визначення математичної моделі об'єкта управління використовуємо вихідні дані у вигляді нормованої перехідної характеристики вигляду (рис. 5.2):

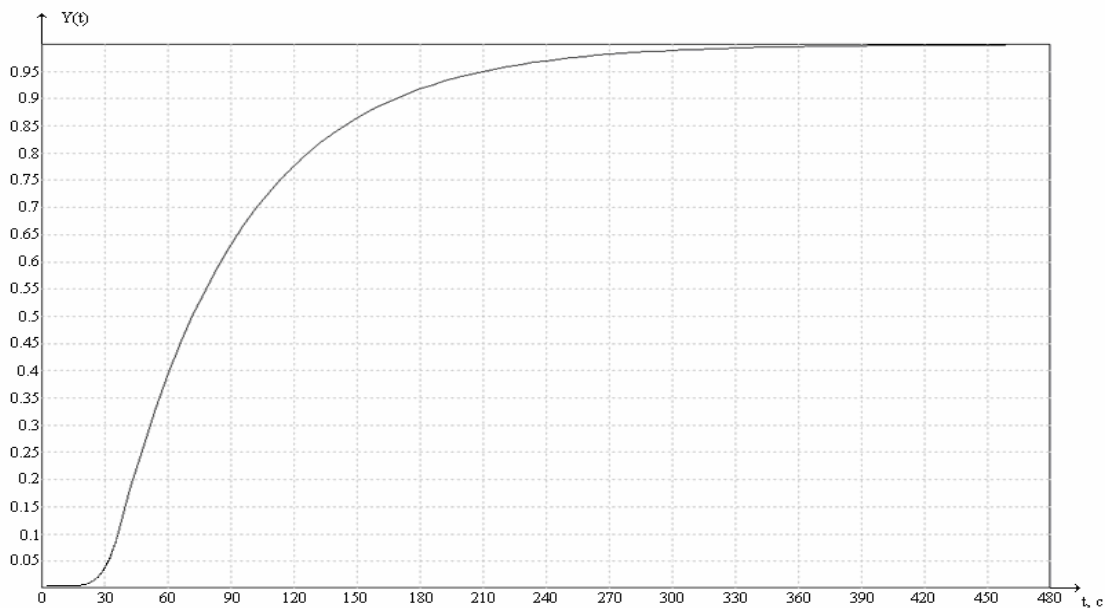


Рисунок 5.2 – Нормована перехідна характеристика об’єкта управління

Об’єкт з такою перехідною характеристикою можна описати передаточною функцією інерційної ланки з транспортною (чистою) затримкою.

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

Коефіцієнт передачі k визначається відношенням вихідного та вхідного струмів у сталому режимі $k = \frac{Y_{уст}}{x}$ або за статичною характеристикою $k = \frac{\Delta x}{\Delta y}$.

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

Постійну часу T можна обчислити кількома способами:

$$Y(T) = Y_{уст}(1 - e^{-1}) = 0,633Y_{уст}$$

$$Y(T) = Y_{уст}(1 - e^{-3}) = 0,95Y_{уст}$$

або по дотичній, проведеній у будь-якій точці перехідної характеристики:

це відрізок часу від точки дотику до перетину дотичної з усталеним значенням.

При визначенні постійної часу необхідно обчислити її всіма способами, проводячи дотичні до різних точок (на рівні $0,63Y_{уст}$, $0,95Y_{уст}$ характеристики), а потім результат усереднити.

$$Y(T) = 0,633Y_{уст} = 90c$$

$$Y(T) = 0,95Y_{уст} = 220c$$

Знаходимо середнє значення:

$$T_{cc} = \frac{1}{2} \cdot (Y(T) + \frac{1}{3} \cdot Y(3T)) = \frac{1}{2} \cdot (90 + \frac{220}{3}) = 81,6 \text{ c} \approx 82 \text{ c}$$

Визначаємо транспортну затримку за перехідною характеристикою:

$$\tau = 30 \text{ c}$$

За отриманими даними запишемо передаточну функцію об'єкта управління:

$$W(s) = \frac{1 \cdot e^{-30s}}{82 \cdot s + 1}$$

За отриманою передаточною функцією будуюмо перехідну характеристику(рис. 5.3).

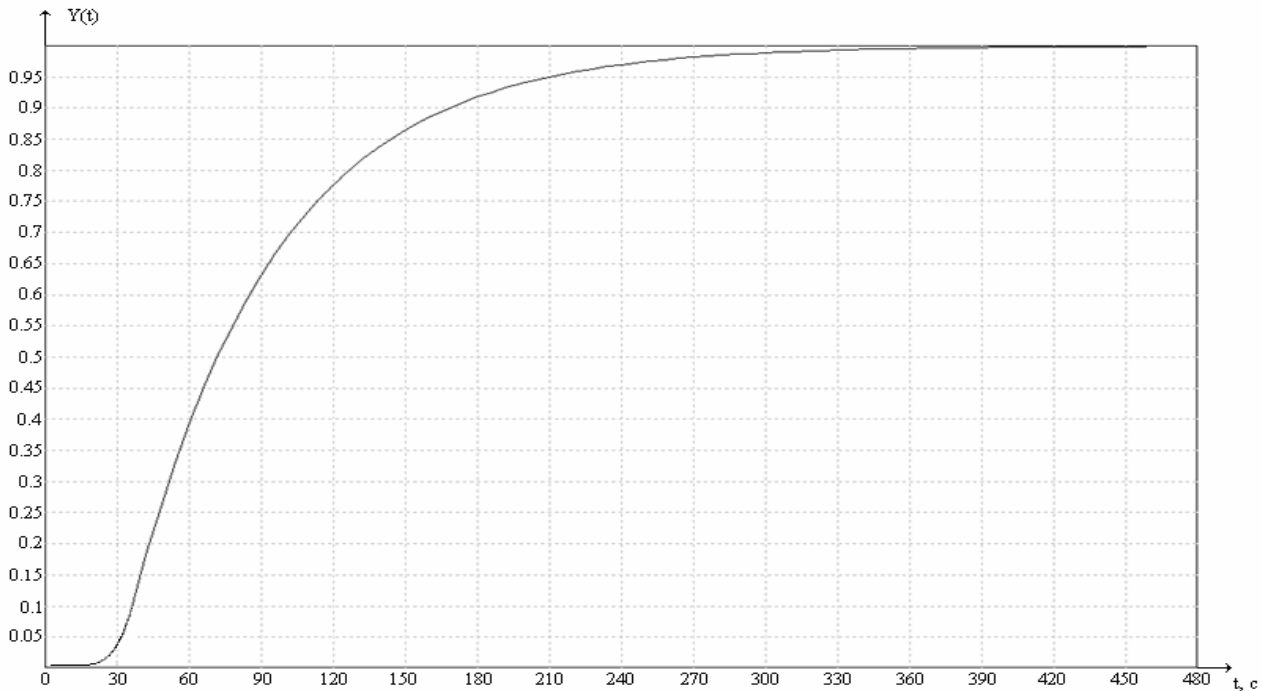


Рисунок 5.3 –Перехідна характеристика об'єкта управління

5.1.2 Перевірка адекватності математичної моделі

Виконаємо порівняння перехідних характеристик рис. 5.2 та рис. 5.3.

Перехідна характеристика рис. 5.2 отримана в результаті нормування перехідної характеристика реального об'єкта управління.

Перехідна характеристика рис. 5.3 отримана в результаті з передаточної функції в результаті розрахунку.

Використовуючи метод найменших квадратів, перевіримо схожість перехідних характеристик. Для цього розділяємо весь інтервал часу на 10 рівних частин. Визначаємо значення рівня у відповідні моменти часу та зводимо їх в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 _ Значення температури у фіксовані моменти часу

t	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
h отримані з рис. 5.2	0	0.28	0,66	0,83	0,92	0,96	0,98	0,99	0,,99	1	1
h' отримані з рис. 5.3	0	0,28	0.66	0,84	0,92	0,95	0,98	0,99	0,99	1	1

Дві перехідні характеристики будуть відповідати одна одній, тобто, модель буде адекватна об'єкту, якщо сума квадратів помилок буде мінімальна, тобто повинна виконуватися умова

$$\sum (h - h')^2 \rightarrow 0$$

$$(0.28 - 0.28)^2 + (0.66 - 0.66)^2 + (0.83 - 0.84)^2 + (0.92 - 0.92)^2 + (0.96 - 0.95)^2 + (0.98 - 0.98)^2 + (0.99 - 0.99)^2 + (0.99 - 0.99)^2 + (0.99 - 0.99)^2 + (1 - 1)^2 = 0,0002$$

Умова виконується достатньо добре. Таким чином, можна вважати, що отримана математична модель адекватна об'єкту.

5.1.3 Вибір закону регулювання регулятора та його розрахунок

При виборі і реалізації регулятора необхідно досягти певних показників якості перехідного процесу, а саме, перерегулювання $\delta=20-25\%$ та зменшення часу перехідного процесу.

5.1.3.1 Вибір закону регулювання регулятора

Мінімально можливий час регулювання t_p для різних законів регулювання та типів регуляторів при оптимальному їх налаштуванні визначається за таблицею 5.2.

Таблиця 5.2 _ Різні закони регулювання та типи регуляторів

Співвідношення τ/T_p	Характеристика об'єкта		Закон регулювання та тип регулятора
	По затримці та інерційності	За ступенем регульованості	
$0 < \tau/T_p < 0,05$	Без затримки	Дуже гарно регульований	Релейний, неперервний П-, ПП-, ПД-, ППД - регулятор

Продовження таблиці 5.2

Співвідношення τ/T_p	Характеристика об'єкта		Закон регулювання та тип регулятора
	По затримці та інерційності	За ступенем регульованості	
$0,05 < \tau/T_p < 0,1$	З великою інерційністю та з малою затримкою	Дуже гарно регульований	Релейний, неперервний П-, ПІ-, ПІД-, ПІД - регулятор
$0,1 < \tau/T_p < 0,2$	З істотною транспортною затримкою	Гарно регульований	Релейний, неперервний П-, ПІ-, ПІД-, ПІД - регулятор
$0,2 < \tau/T_p < 0,4$	З істотною транспортною затримкою	Ще регульований	Неперервний або цифровий ПІД-, ПІ-, ПІД - регулятор
$0,4 < \tau/T_p < 0,8$	З істотною транспортною затримкою	Важко регульований	Неперервний або цифровий ПІ-, ПІД-, ПІД - регулятор
$0,8 < \tau/T_p < 1$	З великою транспортною затримкою	Дуже важко регульований	Неперервний або цифровий ПІ-, ПІД-, ПІД - регулятор
$\tau/T_p > 1$	З великою транспортною затримкою	Дуже важко регульований	Цифрови регулятор с упереджувачем. Неperервний або цифровий П-, ПІ-, ПІД - регулятор

Вибір типу регулятора та його налаштувань залежить від прийнятого критерію якості регулювання. Пропорціональний регулятор дає постійну статичну помилку, ПІД регулятор при використанні векторного управління зі зворотним зв'язком по швидкості застосовується, коли в системі є дві та більше великі постійні часу, в іншому випадку достатньо ПІ-регулятора.

5.1.3.2 Розрахунок налаштувань ПІ-регулятора методом РЧХ

На основі властивостей та характеристик об'єкта управління (ОУ), обраної структури САР та закону регулювання виконується розрахунок налаштувань регулятора, що забезпечують

оптимальне, по якомусь критерію якості, протікання перехідного процесу в системі. Одним з можливих є метод розширених частотних характеристик (РЧХ).

Метод РЧХ заснований на амплітудно-фазових частотних характеристиках (АЧФГ) ОУ та регулятора. Замінюючи оператор Лапласа s оператором $(j - m)\omega$, визначаємо залежність передавальної функції від частоти, після чого знаходимо значення розширених частот параметрів ПІ-регулятора, що залежать від комплексних чисел. Позбавляючись від комплексності, отримаємо параметричну систему рівнянь, що залежить від частоти

$$\begin{cases} k_p = R - mI + 2k_d m\omega; \\ k_i = -I(m^2 + 1)\omega + k_d(m + 1)\omega^2. \end{cases}$$

В цій системі рівнянь R - дійсна частина, I - уявна частина передавальної функції ПІ-регулятора.

Задача визначення оптимальних налаштувань регулятора за допомогою даного методу розв'язується у два етапи:

1. Побудова в площині налаштувань регулятора лінії рівного затухання (ЛРЗ) перехідного процесу в системі автоматичного регулювання (САР);
2. Визначення точки ЛРЗ, що відповідає таким значенням налаштувань регулятора, яка забезпечує екстремум обраного показника якості регулювання.

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

Об'єкт управління має наступні параметри:

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-s\tau}}{(T_1 \cdot s + 1)} = \frac{1 \cdot e^{-s \cdot 30}}{(82 \cdot s + 1)} \quad (5.1)$$

В якості типового застосовується перехідний процес зі ступенем затухання $\psi=0,75 \div 0,9$. Обираємо ступінь затухання перехідного процесу що дорівнює $\psi=0,75$ якому відповідає показник коливальності $m=0,336$.

Оберемо діапазон робочих частот за розширеною АФЧХ об'єкта регулювання. Для цього отримаємо розширену АФЧХ об'єкта управління $W_o(\omega)$ з передаточної функції $W(s)$.

$$W_o(\omega) = \frac{\exp(-\omega \cdot (30j - m))}{82 \cdot \omega \cdot (j - m) + 1} \quad (5.2)$$

Розширена АФЧХ ПІ-регулятора з двома незалежними параметрами налаштування, що описується передаточною функцією

$$W_{PII}(s) = k_1 + \frac{1}{T_u \cdot s} = k_1 + \frac{k_0}{s} \quad (5.3)$$

має вигляд:

$$W_{III}(\omega) = \frac{\sqrt{(k_0 - m \cdot \omega \cdot k_1)^2 + (\omega \cdot k_1)^2}}{\omega \cdot \sqrt{m^2 + 1}} \cdot e^{j\left(-\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{\omega k_1}{k_0 - m \omega k_1} - \arctg m\right)} \quad (5.4)$$

Далі визначаємо дійсну $RW(\omega)$ та уявну $IW(\omega)$ частини інверсної розширеної АФЧХ об'єкта управління $W_o^*(\omega)$ для чого виконаємо наступні перетворення:

$$\begin{aligned} W_o^*(\omega) &= \frac{1}{W_{III}(\omega)} \\ RW(\omega) &= \operatorname{Re}(W_o^*(\omega)) \\ IW(\omega) &= \operatorname{Im}(W_o^*(\omega)) \end{aligned} \quad (5.5)$$

Представимо вираз розширеної АФЧХ ПІ-регулятора $W_{III}(\omega)$ в алгебраїчній формі та підставивши у вираз

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(W_{III}(\omega)) &= RW(\omega) \\ \operatorname{Im}(W_{III}(\omega)) &= IW(\omega) \end{aligned} \quad (5.6)$$

отримаємо параметричну форму завдання рівняння ЛРЗ як функції частоти:

$$\begin{aligned} k_0(\omega) &= \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot IW(\omega) \\ k_1(\omega) &= m \cdot IW(\omega) - RW(\omega) \end{aligned} \quad (5.7)$$

Визначимо значення частот, при яких розширена АФЧХ об'єкта регулювання перетинає осі координат третього квадранта. Перше значення частоти може бути отримане, якщо прирівняти до нуля дійсну частину розширеної АФЧХ об'єкта регулювання та розв'язати отримане рівняння відносно ω . Друге значення частоти може бути отримане, якщо прирівняти до нуля уявну частину розширеної АФЧХ об'єкта регулювання та розв'язати отримане рівняння відносно ω . Оскільки високої точності при визначенні інтервалу частот не вимагається, то простіше ці рівняння розв'язати графічно. Для цього побудуємо допоміжні графіки залежності дійсної та уявної частин від частоти (рис. 5.4).

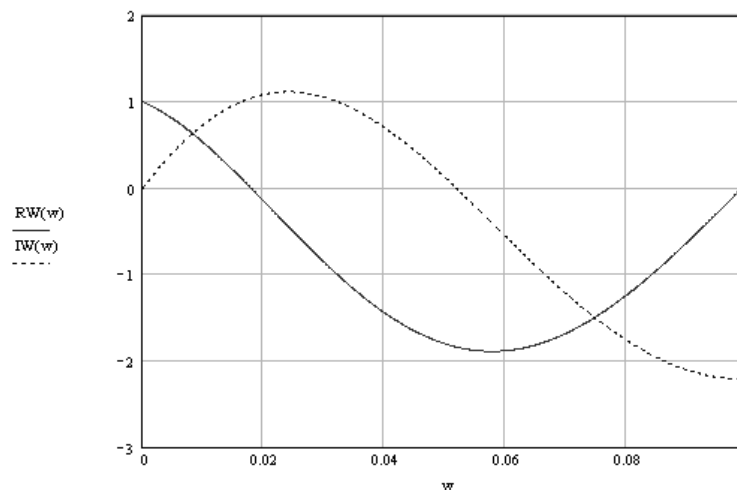


Рисунок 5.4 _ Графік залежності дійсної та уявної частин від частоти

У знайденому діапазоні робочих частот $\omega_p = 0,011 \dots 0,06$ Гц будуємо у відповідності з виразами (5.7) лінію рівного згасання для заданого значення ψ . ЛРЗ представлена на рис. 5.5.

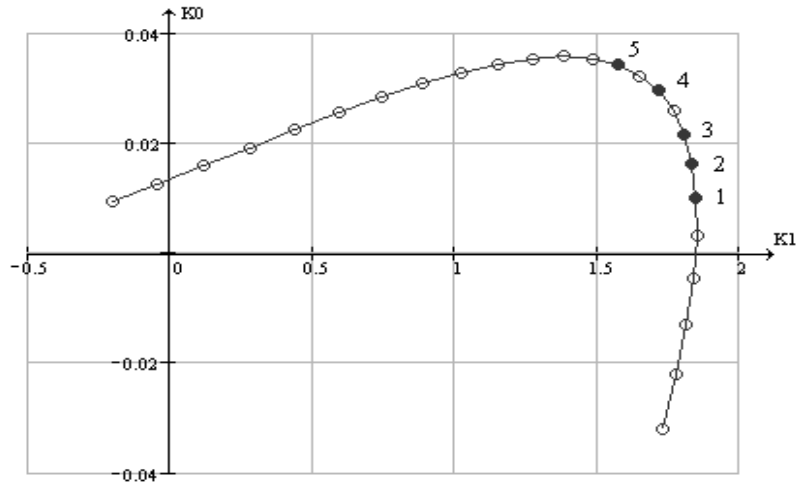


Рисунок 5.5 - Графік лінії рівного згасання (ЛРЗ)

Кожній точці на ЛРЗ відповідає задання ступінь коливальності перехідного процесу в САР. Для розгляду питання про вибір точки на ЛРЗ, розглянемо характер змін перехідного процесу в САР при різноманітних налаштуваннях, що відповідають точкам 1, 2, 3, 4 та 5 ЛРЗ на рис. 5.7. За допомогою математичного пакета Mathcad отримаємо графіки перехідного процесу для кожної точки (рис. 5.6).

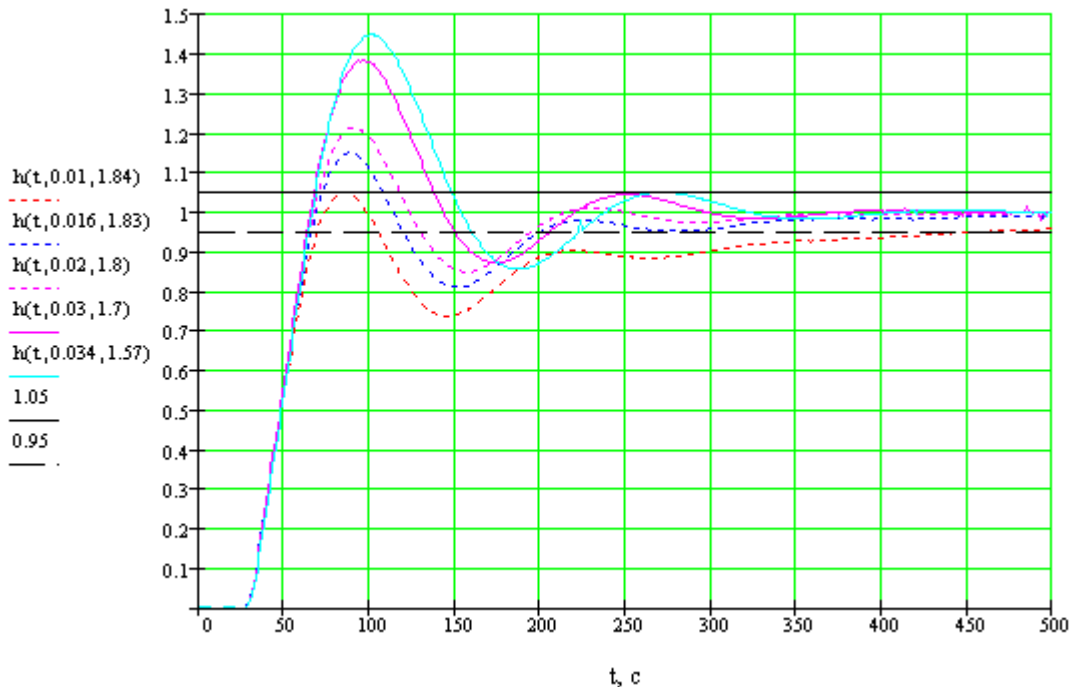


Рисунок 5.6 – Графіки перехідних процесів при різних налаштуваннях регулятора

Висновок: Оптимальні налаштування ПІ регулятора знаходяться в точці 2:

$$k_1 = 1.83, \quad k_0 = 0,016, \quad T_u = \frac{1}{k_0} = 62,5 \text{ c}$$

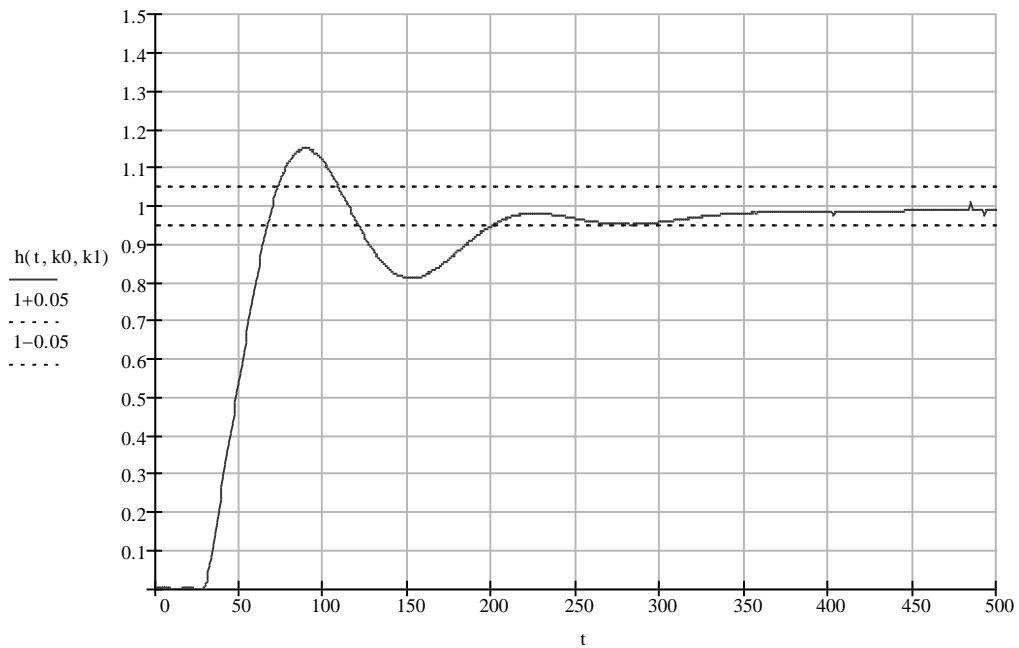


Рисунок 5.7 – Графік перехідного процесу при $k1 := 1.83$ $k0 := 0.016$

Таким чином, обравши такий регулятор, ми отримали задані показники якості: $\delta = 15\%$ та час перехідного процесу $T = 200$ с (рис. 5.7).

5.2 Регулювання рівня у мірнику

Для приготування суміші рідин попередньо вони набираються у певній кількості у мірники, збірники і витратні ємності. Рівень рідини відповідає об'єму, який необхідний для отримання співвідношення у розчині. Регулювання рівня забезпечує якість приготованої суміші.

Функціональна схема системи автоматичного регулювання рівня рідини наведена на рис. 5.8.

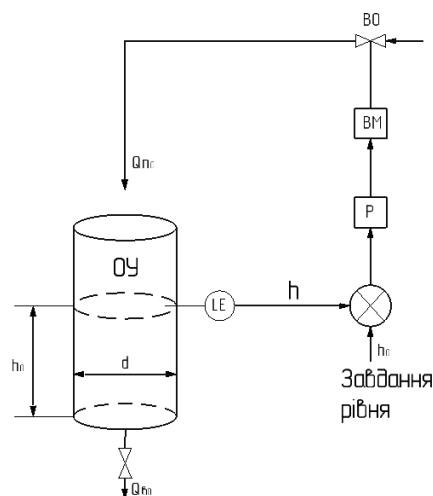


Рис. 5.8 - Блок-схема системи автоматичного регулювання рівня:

ОУ – об’єкт управління; LE -датчик рівня; Р-регулятор; ВМ-виконавчий механізм;
 ВО - виконавчий орган; h_0 - номінальний рівень рідини; h - вимірний рівень рідини;
 d – діаметр резервуара; Q_{n0} - номінальне значення витрати, що надходить при h_0 ;
 Q_{v0} - номінальне значення витрати, що відходить при h_0 .

Розрахунок проведемо для об’єкта з такими даними:

$$h_0 = 5 \text{ м};$$

$$Q_{n0} = 5 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$d = 1 \text{ м}.$$

5.2.1. Ідентифікація об’єкта керування

Мета ідентифікації у тому, щоб отримати математичне описання об’єкта. Математична модель об’єкта управління включає опис залежностей між основними змінними. Завдання ідентифікації будемо вирішувати аналітично, використовуючи фізичні закони, що визначають хід процесів у об’єкті.

Співвідношення між потоком Q_p рідини, що підводиться в ємність, і потоком Q_v , що відводиться з неї, і рівнем h рідини в ній аналогічно співвідношенню між цими потоками і запасом речовини.

Диференційне рівняння

$$\frac{d}{dt} [S \cdot h(t)] = Q_n(t) - Q_v(t), \quad (5.8)$$

де S -площа перетину резервуару біля номінального режиму;

є рівнянням кінематики, що описує збільшення чи зменшення «запасу» рідини.

При виведенні динамічних співвідношень між тиском, потоками та рівнем рідини необхідно враховувати закони збереження маси, кількості руху та енергії, а також умови суцільності.

За відсутності зовнішнього тиску рідина витікає з резервуару тільки під дією власної ваги. Для цього випадку відоме рівняння Бернуллі запишеться у вигляді

$$\frac{v^2}{2} + \frac{Pg}{\rho} + gh = const \quad (5.9)$$

де P - тиск усередині рідини;

ρ - щільність рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Звідси витрата рідини, що витікає під дією сили тяжіння із сопла або отвору в баку, дорівнюватиме:

$$Q_v(t) = \mu \sqrt{2gh(t)} \quad (5.10)$$

де μ - коефіцієнт витрати.

З рівнянь (5.8) і (5.10) залежність рівня рідини від потоку, що підводиться, може бути виражена у вигляді:

$$\frac{d}{dt}[S \cdot h(t)] = Q_n(t) - \mu \sqrt{2gh(t)} \quad (5.11)$$

З цього рівняння видно, що при стрибкоподібному зростанні витрати $Q_n(t)$ рідини, що підводиться, повинен підвищуватися рівень $h(t)$ рідини у резервуарі. Але одночасно внаслідок підвищення рівня зростає також і потік $Q_v(t)$, що відводиться, і, отже, спостерігається ефект саморегулювання. Таким чином, при регулюванні рівня рідини сила тяжіння відіграє як би роль негативного зворотного зв'язку. Закон саморегулювання, що описується рівнянням (5.11), є нелінійним через наявність члена \sqrt{h} .

Проведемо лінеаризацію диференціального рівняння

$$\frac{d}{dt}[S \cdot h(t)] + \mu \sqrt{2gh(t)} = Q_n(t),$$

припускаючи, що відхилення рівня та витрат від номінальних значень не більше 10% шляхом заміни нелінійної функції

$$Q_s = \mu \sqrt{2gh}, \quad (5.12)$$

лінеаризованої біля номінального режиму:

$$\bar{Q}_s = \mu \frac{\sqrt{2g}}{2\sqrt{h_0}} \cdot \bar{h} \quad (5.13)$$

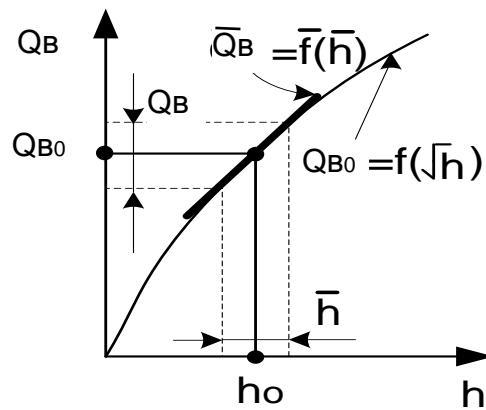


Рисунок 5.9 - Лінеаризація статичної характеристики $Q_s = f(\sqrt{h})$ - нелінійна функція вигляду (5.12).
 $\bar{Q}_s = \bar{f}(\bar{h})$ - лінеаризована біля номінального режиму функція вигляду (5.13).

Тоді

$$Sp \bar{h}(p) + \mu \frac{\sqrt{2g}}{2\sqrt{h_0}} \cdot \bar{h}(p) = \bar{Q}_n(p) \quad (5.14)$$

У номінальному режимі, що установився

$$Q_{нс} = \mu\sqrt{2gh_0} = Q_{сс} \quad (5.15)$$

Маючи на увазі відповідність

$$\frac{d\bar{h}}{dt} \cdot \bar{h}(p) \quad (5.16)$$

У термінах перетворення Лапласа (5.14) переписується у вигляді:

$$Sp\bar{h}(p) + \mu\frac{\sqrt{2g}}{2\sqrt{h_0}} \cdot \bar{h}(p) = \bar{Q}_n(p) \quad (5.17)$$

або

$$S\frac{2\sqrt{h_0}}{\mu\sqrt{2g}}p\bar{h}(p) + \bar{h}(p) = \frac{2\sqrt{h_0}}{\mu\sqrt{2g}}\bar{Q}_n(p) \quad (5.18)$$

Помноживши чисельник та знаменник на $\sqrt{h_0}$ отримуємо

$$S\frac{2h_0}{Q_{n0}}p\bar{h}(p) + \bar{h}(p) = \frac{2h_0}{Q_{n0}}\bar{Q}_n(p) \quad (5.19)$$

Передатна функція об'єкта управління, що зв'язує витрату, що надходить \bar{Q}_n і рівень h рідини біля номінального режиму $\{Q_{n0}; h_0\}$ об'єкта управління має вигляд

$$W(p) = \frac{\bar{h}(p)}{\bar{Q}_n(p)} = \frac{K}{Tp + 1} \quad (5.20)$$

де $K = \frac{2h_0}{Q_{n0}}$ - коефіцієнт передачі об'єкта управління;

$T = S \cdot \frac{2h_0}{Q_{n0}}$ - постійна часу об'єкта управління.

Передатна функція, описана рівнянням (5.20), виражає динамічну характеристику об'єкта та характеризує ступінь його саморегулювання при збуреннях за потоком.

Постійна часу T характеризує швидкість саморегулювання при збуренні вхідного потоку. Остання прямо пропорційна площі S поперечного перетину резервуару і обернено пропорційна опорі вивідного трубопроводу.

Характер зміни рівня рідини у часі суттєво залежить від розмірів резервуару та величини гідравлічного опору вивідного трубопроводу. За наявності у вивідному трубопроводі герметичних резервуарів або резервуарів з переливом протитиску або розрідження диференціальні рівняння змінюються в деталях, але принцип регулювання зберігається. Зміна тиску є збуренням такого ж типу, як і зміна потоку, що підводиться.

Чисельні значення констант передавальної функції незмінної частини САУ (за технологією):

$h_0 = 5$ м – номінальний режим за рівнем рідини;

$Q_{n0} - 5 \text{ м}^3/\text{год.}$ – номінальне значення витрати при h_0 ;

$d = 1 \text{ м}$ - діаметр резервуару.

Передаточна функція ОУ:

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

$$W(p) = \frac{h(p)}{Q_n(p)} = \frac{\frac{2h_0}{Q_{n0}}}{S \cdot \frac{2h_0}{Q_{n0}} p + 1}$$

Числове значення передаточної функції:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14}{4} = 0,785 \text{ м}^2$$

- площа перетину циліндричного резервуару;

$$Q_{n0} = 5000 \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{1000} = 13,89 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

- номінальне значення витрати, що

надходить при h_0 ;

$$K = \frac{2h_0}{Q_{n0}} = \frac{2 \cdot 5}{13,89 \cdot 10^{-4}} = 0,72 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\frac{\text{м}^3}{\text{с}}}$$

- передаточний коефіцієнт;

$$T = S \cdot \frac{2h_0}{Q_{n0}} = 0,785 \cdot 0,72 \cdot 10^4 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 5651,5479 \text{ с}$$

- постійна часу.

Звідки:

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1} = \frac{0,72 \cdot 10^4}{5651,5479p + 1}$$

5.2.2 Структурна схема системи керування

Вихідна структурна схема системи керування показана на рисунку 5.110.

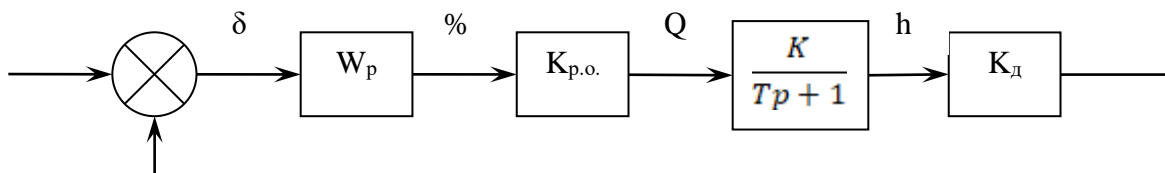


Рисунок 5.10 - Вихідна структурна схема системи керування системи керування

Розрахунок коефіцієнта посилення регулюючого органу $K_{p.o.}$:

$$K_{p.o.} = \frac{\Delta Q}{\Delta \%}$$

де ΔQ - зміна потоку, що надходить;

$\Delta\%$ – зміна ступеня відкриття клапана (у відсотках) (рис. 5.11).

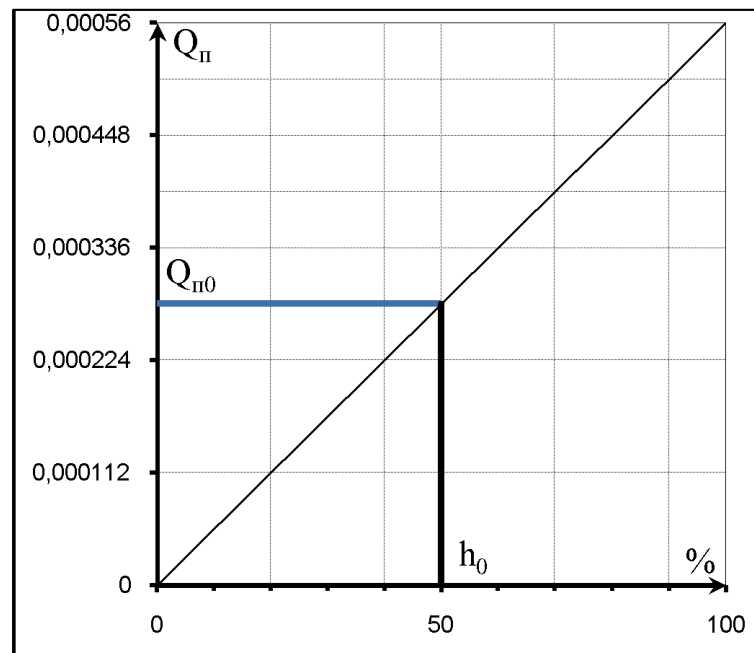


Рисунок 5.11 - Залежність потоку від ступеня відкриття клапана

Щоб здійснити можливість регулювання потоку, що надходить, вибираємо подвійну витрату $Q_{п0}$:

$$K_{p.o.} = \frac{\Delta Q}{\Delta\%} = \frac{27,78 \cdot 10^{-4}}{100} = 27,78 \cdot 10^{-6} \frac{m^3/c}{\%}$$

Розрахунок коефіцієнта передачі датчика рівня K_d :

$$K_d = \frac{\Delta_{\text{вих}}}{\Delta_{\text{вх}}} = \frac{FSO}{FS},$$

де $FS=10 \text{ м}$ – (Full Scale) – діапазон вимірюваних величин;

$FSO=4..20 \text{ мА}$ - (Full Scale Output) - діапазон вихідних значень.

$$K_d = \frac{\Delta_{\text{вих}}}{\Delta_{\text{вх}}} = \frac{16}{10} = 1,6 \frac{\text{мА}}{\text{м}}$$

Таким чином, вихідна структурна схема системи управління з числовими значеннями має вигляд, показаний на рисунку 5.12.

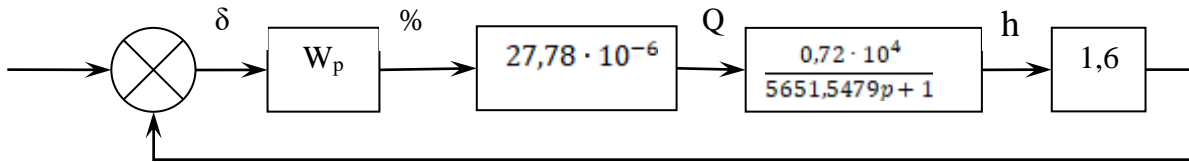
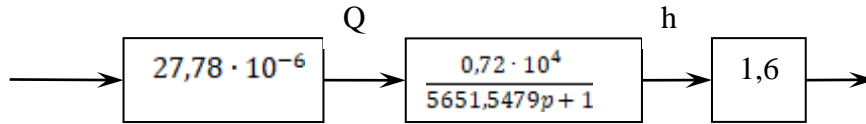
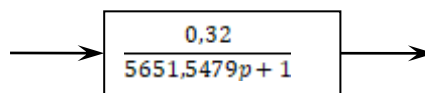


Рисунок 5.12 - Вихідна структурна схема системи керування з числовими значеннями



$$27,78 \cdot 10^{-6} \cdot 0,72 \cdot 10^4 \cdot 1,6 = 0,32$$



Спрощена структурна схема системи керування з числовими значеннями (рис. 5.13).

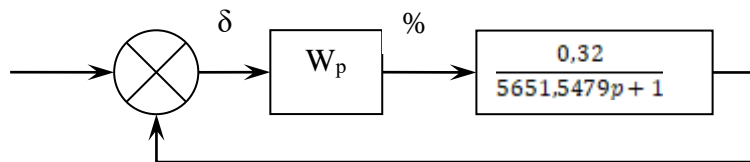


Рисунок 5.13 - Спрощена структурна схема системи керування з числовими значеннями

5.2.3 ЛАФЧХ розімкнutoї системи та її перехідна характеристика

Структурна схема розімкнutoї системи представлена на рис. 5.14.

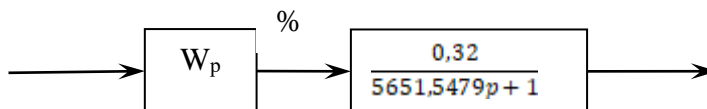


Рисунок 5.14 - Структурна схема розімкнutoї системи керування

Після знаходження передавальної функції об'єкта управління розглянемо його логарифмічні частотні характеристики.

Для цього виділимо з передавальної функції дійсну та уявну частини:

$$W_c(j\omega) = \frac{K_c}{T_c \cdot (j\omega) + 1} \cdot \frac{1 - T_c \cdot (j\omega)}{1 - T_c \cdot (j\omega)} = \frac{K_c - K_c T_c j\omega}{1 + T_c^2 \cdot \omega^2} = \frac{K_c}{1 + T_c^2 \cdot \omega^2} - j \frac{K_c T_c j\omega}{1 + T_c^2 \cdot \omega^2}$$

ЛАЧХ за формулою: $L = 20 \lg |A(\omega)|$

$$L = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg \sqrt{\frac{K_c^2}{(1 + T_c^2 \cdot \omega^2)^2} + \frac{K_c^2 T_c^2 \cdot \omega^2}{(1 + T_c^2 \cdot \omega^2)^2}} = 20 \lg \sqrt{\frac{K_c^2 (1 + T_c^2 \cdot \omega^2)}{(1 + T_c^2 \cdot \omega^2)^2}} =$$

$$= 20 \lg \frac{K_c}{\sqrt{1 + T_c^2 \cdot \omega^2}} = 20 \lg K_c - 20 \lg(1 + T_c^2 \cdot \omega^2)^{1/2}$$

ЛФЧХ будемо за формулою:

$$\Phi(\omega) = \arctg \frac{Im}{Re} = -\arctg T_c \omega$$

де $K_c=0,32$, а $T_c=5651,55479$.

Для побудови ЛАФЧХ скористаємося системою комп'ютерної алгебри Maple 15.0.

Спочатку будемо ЛАЧХ (рис. 5.15):

> $K_c := 0.32$

0.32

$T_c := 5651.5479$

5651.5479

$W(p) := \frac{K_c}{T_c \cdot p + 1}$

$p \rightarrow \frac{K_c}{T_c p + 1}$

$Wc(w) := W(I \cdot w)$

$w \rightarrow W(Iw)$

$L(w) := 20 \log_{10}(|Wc(w)|)$

$w \rightarrow 20 \log_{10}(|Wc(w)|)$

> $plots[semilogplot](L(w), w = 0..1, y = -60..0, numpoints = 80000)$

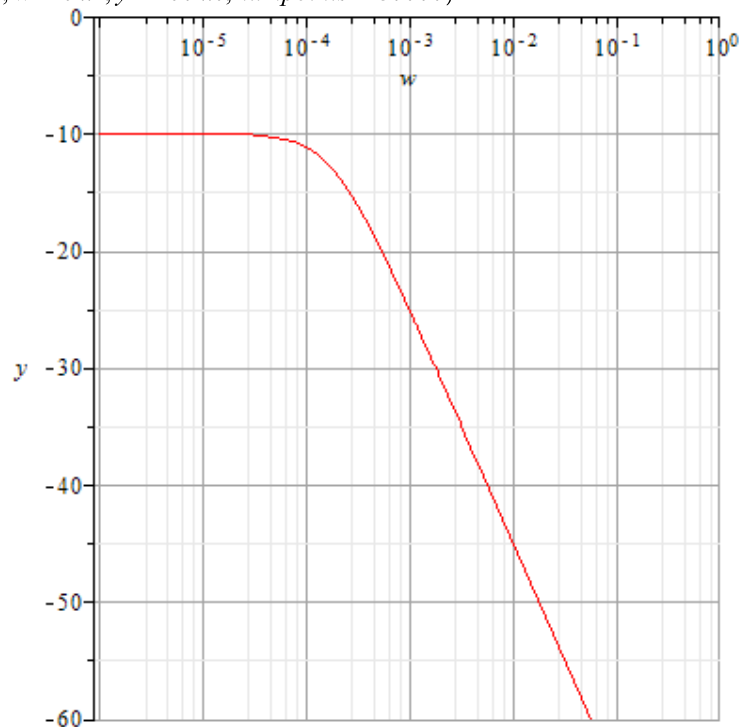


Рисунок 5.15 -ЛАЧХ вихідної розімкнутої системи

Потім будуємо ЛФЧХ (рис. 5.16):

> $F(w) := \text{argument}(Wc(w))$

$w \rightarrow \text{argument}(Wc(w))$

> $\text{plots}[\text{semilogplot}](F(w), w = 0..1, \text{numpoints} = 300000)$

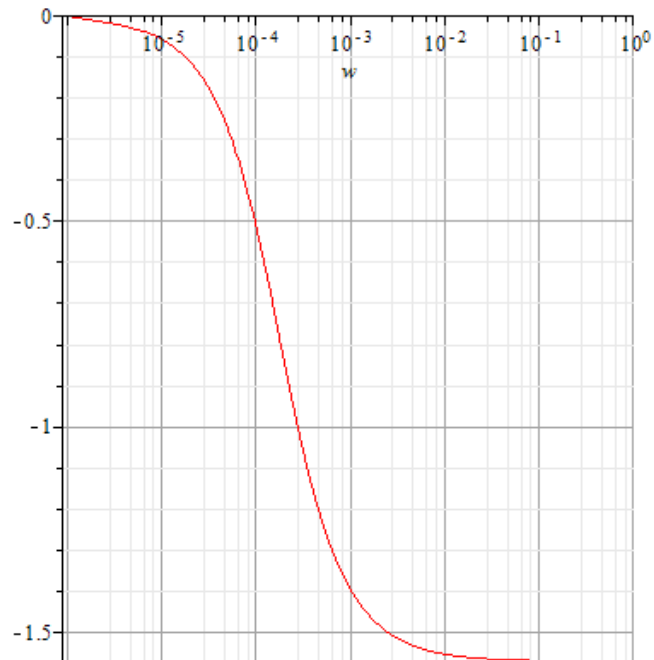


Рисунок 5.16-ЛФЧХ вихідної розімкнутої системи

Перевіримо ЛАФЧХ за допомогою Simulink (рис. 5.17).

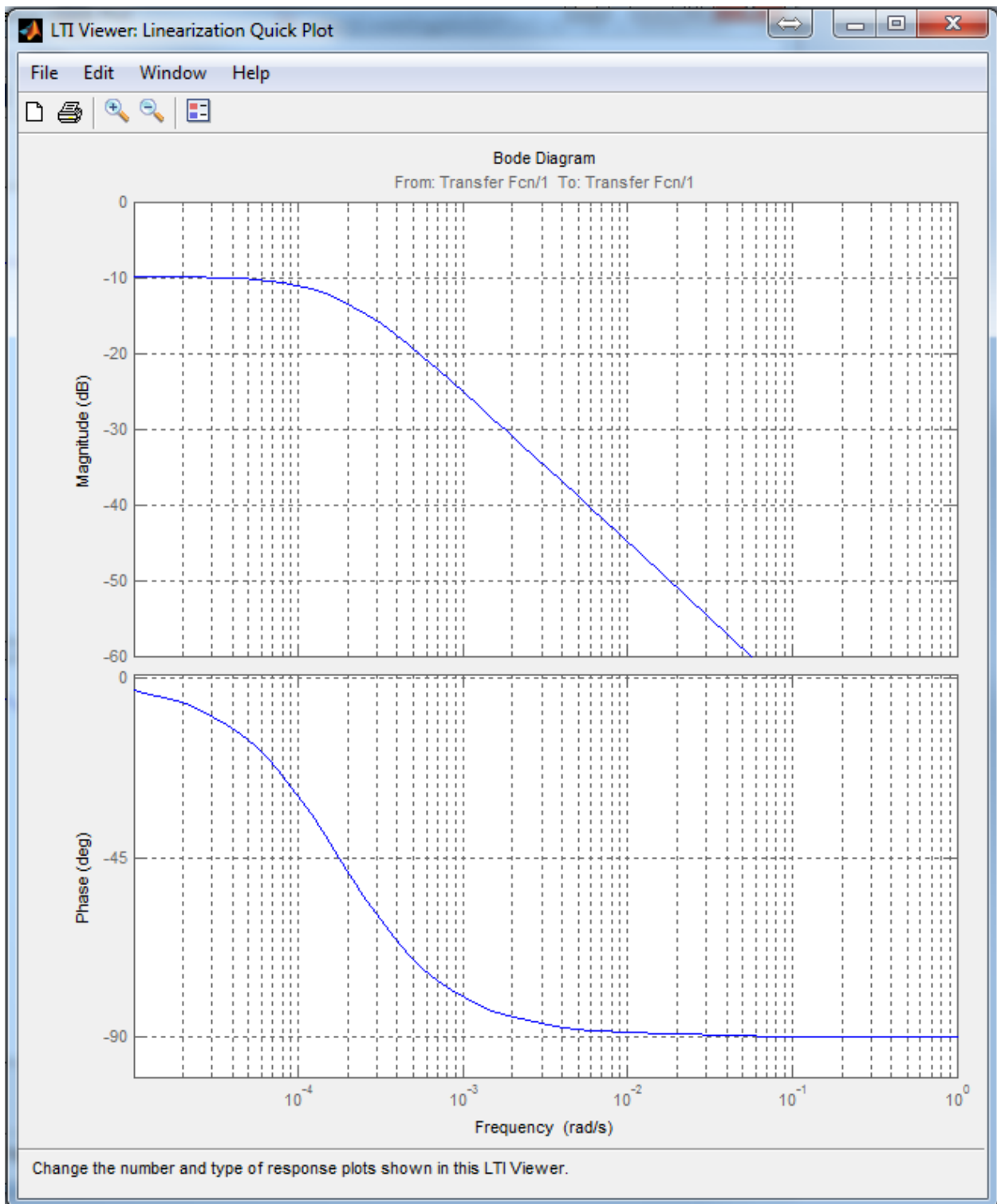


Рисунок 5.17-ЛАФЧХ вихідної розімкнутої системи

Обчислимо перехідну характеристику системи за формулою Хевісайда:

$$h(t) = \frac{B(0)}{A(0)} + \sum \frac{B(p_i)}{p_i A'(p_i)} \cdot e^{p_i t},$$

де $B(p)$ - чисельник передавальної функції, $A(p)$ - знаменник передавальної функції, p_i - i -й корінь характеристичного рівняння.

$$A(p) = 5651,55p + 1 = 0$$

$$p = \frac{1}{-5651,55} = -1,7694 \cdot 10^{-4}$$

$$A'(p_i) = 5651,55$$

$$B(0) = 0,32;$$

$$A(0) = 1;$$

$$h(t) = 0,32 + \frac{0,32}{-1,7694 \cdot 10^{-4}} \cdot e^{-1,7694 \cdot 10^{-4} t}$$

Для побудови графіка перехідної характеристики знову скористаємося системою комп'ютерної алгебри Maple 15.0. Зауважимо, що не будемо повторно наводити ту частину програми, де ми визначали константи.

$$> h(t) := Kc \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{Tc}\right) \right)$$

$$t \rightarrow Kc \left(1 - e^{-\frac{t}{Tc}} \right)$$

$$> \text{plot}(h(t), t = 0..20000)$$

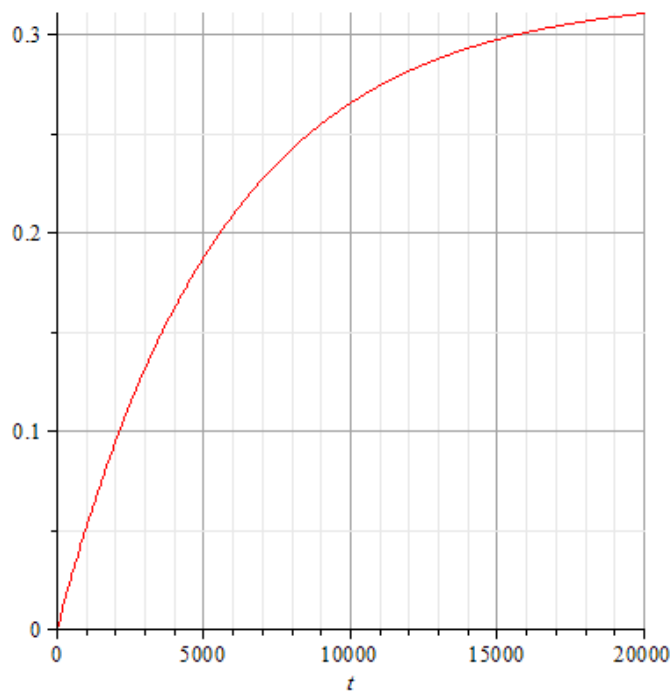


Рисунок 5.18 - Перехідна характеристика вихідної розімкнутої системи

Перевіримо правильність побудови перехідної характеристики за допомогою Matlab (Simulink):

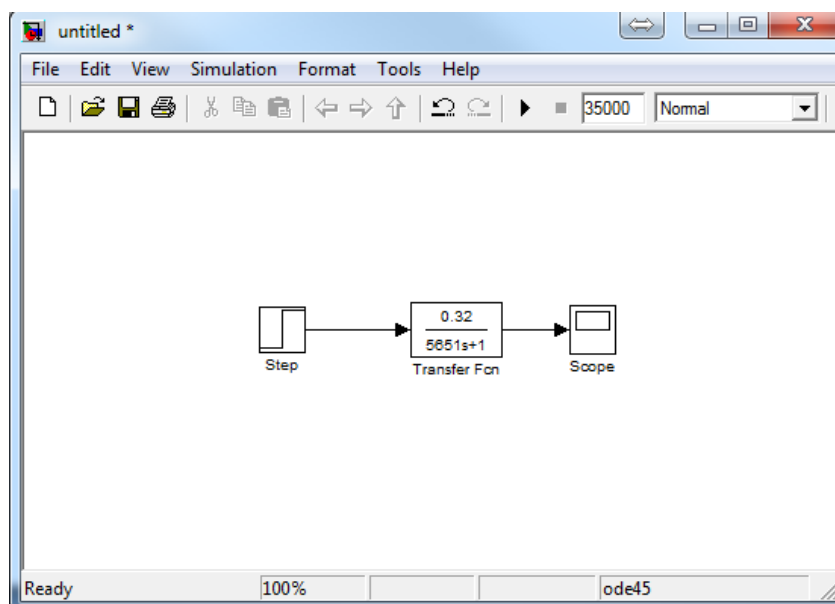


Рисунок 5.19 - Модель розімкнутої системи у Simulink

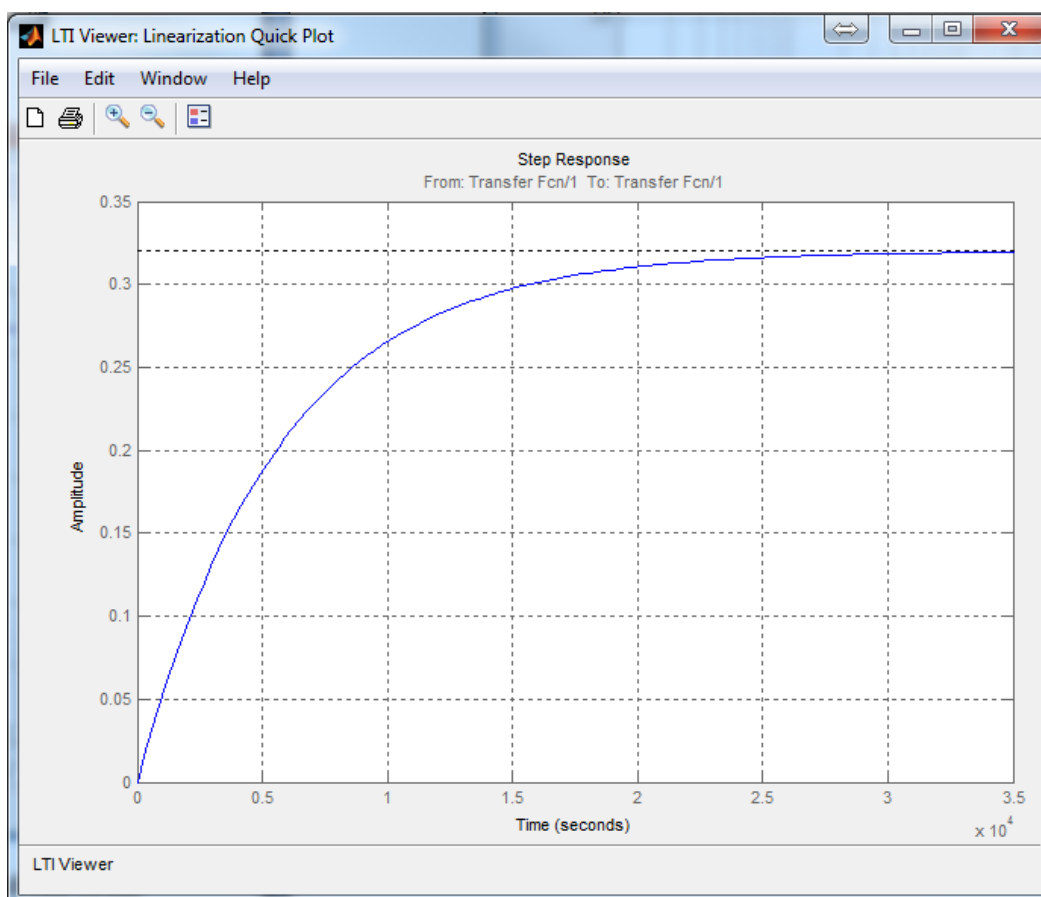


Рисунок 5.20 - Графік перехідної характеристики розімкнутої системи

5.2.4 Розрахунок передавальної функції ПІ регулятора. Синтез бажаної ЛАФЧХ

Якщо ЛАЧХ розімкнутої системи має в області суттєвих частот (у секторі, що відсікається лініями) ± 20 дБ/дек) нахил -20 дБ/дек, то:

- 1) замкнена САУ стійка;
- 2) перехідна функція близька до монотонної;
- 3) час регулювання $t_p = \frac{3}{\omega_{cp}}$.

Структурна схема системи з ПІ-регулятором:

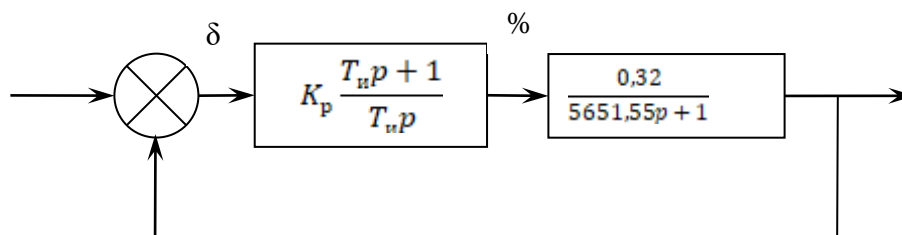


Рисунок 5.21 -Структурна схема системи з ПІ регулятором

Прийmemo час регулювання $T_n = 5651,55$ с.

Обчислимо коефіцієнт посилення ПІ-регулятора

$$\omega_{cp} = \frac{3}{5651,55} = 5,3083 \cdot 10^{-4} \text{ - частота зрізу}$$

$$\frac{K}{p} = K_p \frac{0,32}{5651,55p}$$

$$5,3083 \cdot 10^{-4} = K_p \frac{0,32}{5651,55}$$

$$K_p = \frac{5,3083 \cdot 10^{-4} \cdot 5651,55}{0,32} \approx 9,375 \text{ - коефіцієнт посилення ПІ-регулятора}$$

Структурна схема системи з ПІ-регулятором та чисельними значеннями(рис. 5.21).

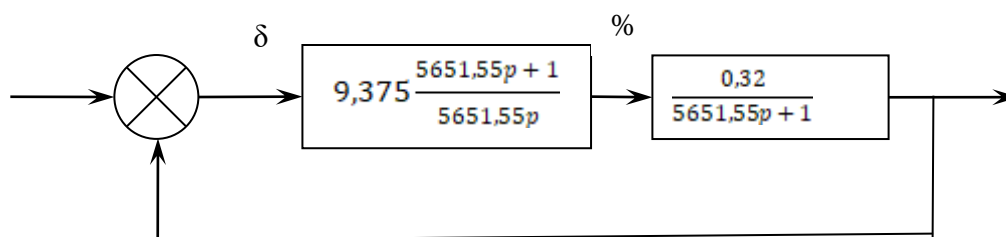


Рисунок 5.22 -Структурна схема системи з ПІ регулятором та чисельними значеннями

Виконаємо побудову ЛАЧХ та ЛФЧХ:

$$W_{PI}(p) = \frac{9,375 \cdot 0,32}{5651,55p} = \frac{5,3803 \cdot 10^{-4}}{p} = \frac{K_{PI}}{P}$$

$$W_{PI}(j\omega) = \frac{K_{PI}}{j\omega} \cdot \frac{-j\omega}{-j\omega} = -j \frac{K_{PI}}{\omega}$$

$$L = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg \sqrt{0 + \frac{K_{PI}^2}{\omega^2}} = 20 \lg \frac{K_{PI}}{\omega}$$

$$\Phi(\omega) = \arg W_{PI}(j\omega)$$

де $K_{PI} = 5,3803 \cdot 10^{-4}$

Для побудови характеристик використаємо Maple.

Будуємо ЛАЧХ (рис. 5.23)

> $K_{pi} := 5.3e-4$

0.00053

$W(p) := \frac{K_{pi}}{p}$

$p \rightarrow \frac{K_{pi}}{p}$

$W_{pi}(w) := W(I \cdot w)$

$w \rightarrow W(I \cdot w)$

$L(w) := 20 \log_{10}(|W_{pi}(w)|)$

$w \rightarrow 20 \log_{10}(|W_{pi}(w)|)$

> $plots[semilogplot](L(w), w = 0..1, y = -60..60, numpoints = 10000)$

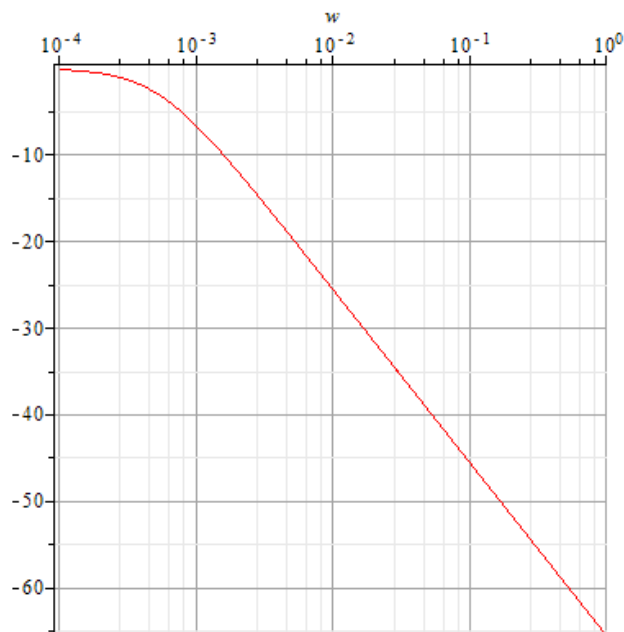


Рисунок 5.23 - ЛАЧХ системи з ПІ регулятором

Побудуємо ЛФЧХ (визначені вище константи не наводимо) (рис. 5.24):

> $F(w) := \text{argument}(W_{pi}(w))$

$w \rightarrow \text{argument}(W_{PI}(w))$

> `plots[semilogplot](F(w), w = 0..1, numpoints = 80000)`

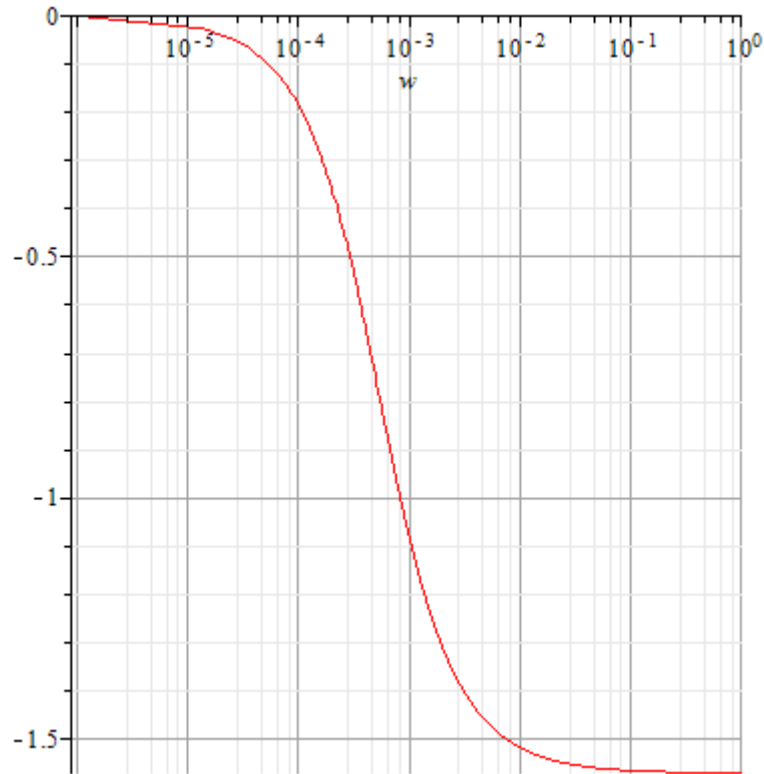


Рисунок 5.24- ЛФЧХ системи з ПІ регулятором

Скористаємось формулою Хевісайда.

$$W_{PI} = \frac{K_{PI}}{p}; W_z = \frac{W_{PI}}{1+W_{PI}} = \frac{\frac{K_{PI}}{p}}{1+\frac{K_{PI}}{p}} = \frac{K_{PI}}{p+K_{PI}},$$

де $K_{PI} = 5,3083 \cdot 10^{-4}$.

Формула Хевісайда у загальному вигляді:

$$h(t) = \frac{B(0)}{A(0)} + \sum \frac{B(p_i)}{p_i A'(p_i)} \cdot e^{p_i t},$$

де $B(p)$ - чисельник передавальної функції, $A(p)$ - знаменник передавальної функції, p_i - i -й корінь характеристичного рівняння.

$$A(p) = p + 5,3083 \cdot 10^{-4} = 0$$

$$p = \frac{1}{-5,3083 \cdot 10^{-4}} = -5,3083 \cdot 10^{-4}$$

$$A'(p_i) = 1$$

$$B(0) = 5,3083 \cdot 10^{-4};$$

$$A(0) = 5,3083 \cdot 10^{-4};$$

$$h(t) = 1 + \frac{5,3083 \cdot 10^{-4}}{-5,3083 \cdot 10^{-4} \cdot 1} \cdot e^{-5,3083 \cdot 10^{-4} t} = 1 - e^{-5,3083 \cdot 10^{-4} t}$$

Для побудови використаємо Maple (рис. 5.25)

> $Kpi := 5.3e-4$

> $h(t) := 1 - \exp(-Kpi \cdot t)$

$$t \rightarrow 1 - e^{-Kpi t}$$

> $plot(h(t), t = 0 .. 10000, 0 .. 1.5)$

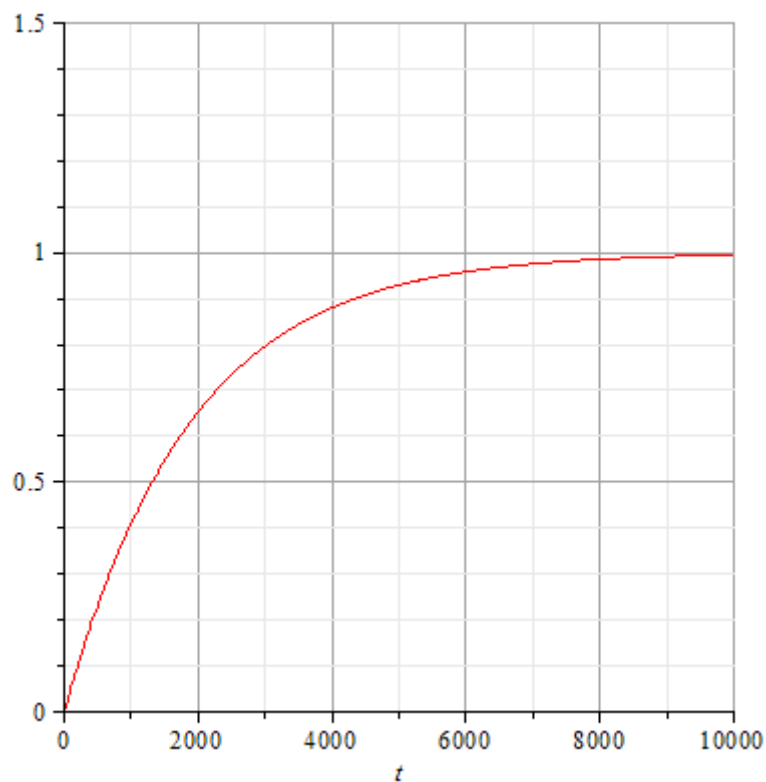


Рисунок 5.25- Перехідна характеристика замкнутої системи (час регулювання скоротився втричі))

Перевіримо побудовану характеристику за допомогою Simulink (рис. 5.26, рис. 5.27).

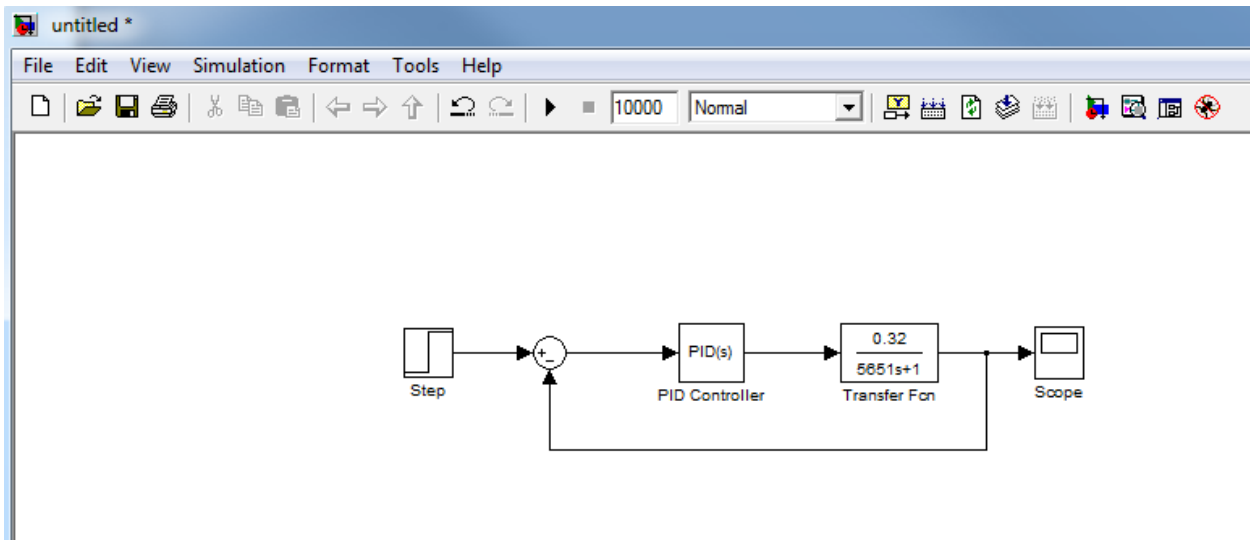


Рисунок 5.26- Схема замкнутої системи з ПІ регулятором у Simulink

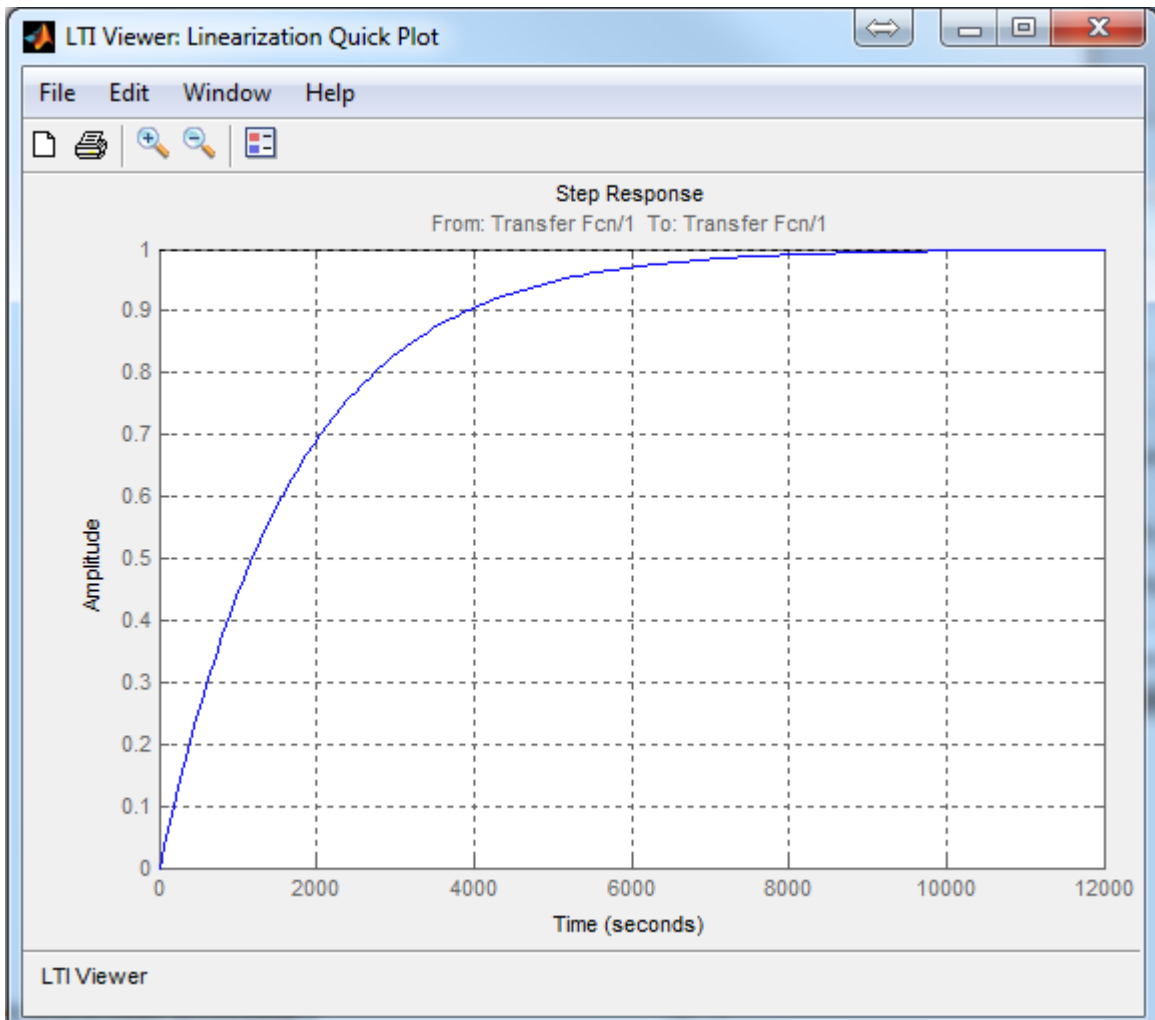


Рисунок 5. 27- Перехідна характеристика замкнутої системи (час регулювання скоротився втричі))

5.2.5 Дослідження реакції системи на вплив, що збурює

Подамо збурюючу дію і розглянемо перехідний процес, що вийшов.

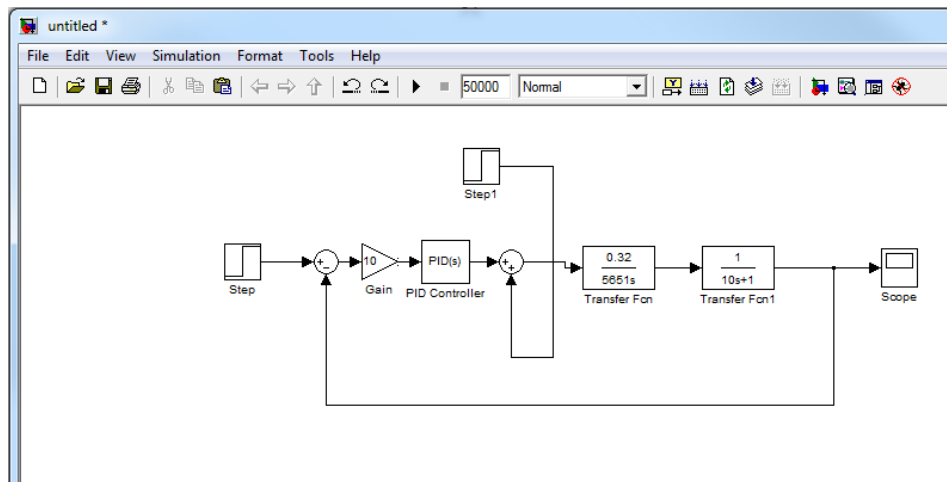


Рисунок 5.28- Моделювання системи у Simulink

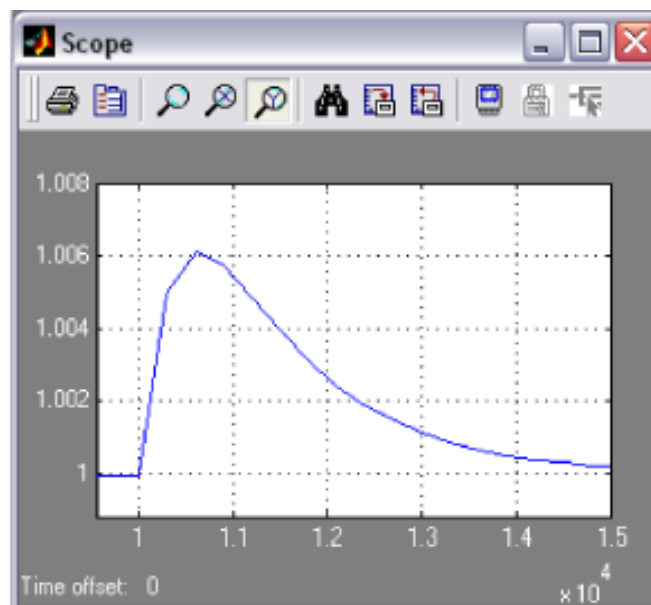


Рисунок 5.29- Графік перехідної характеристики замкнутої системи за збуренням.

Висновок: після подачі збурюючого впливу система повернулася у вихідний стан.

ВИСНОВОК

В роботі виконана оптимізація системи управління технологічним процесом двоступеневої конверсії метану. Виконано аналіз технологічного процесу, обрані канали управління, зроблено вибір засобів автоматизації, а саме, датчиків, виконавчих механізмів і контролера. Також були розроблені структурна схема автоматизації, функціональна схема автоматизації, структурна схема системи управління.

Розроблена математична модель об'єкта управління - трубчатого конвертора, отримана аналітично його передатна функція. Змодельована поведінка ОУ у середовищі MathLab.

За допомогою пакету Mathcad проведені розрахунки контуру управління температурою в трубчатому конверторі. Обраний оптимальний закон регулювання та визначені параметри регулятора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Общая химическая технология. Под редакцией доктора технических наук профессора И.П.Мухленова. Издательство «Высшая школа». Москва 1964.
2. В.А. Голубятников, В.В. Шувалов Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, – М.: Химия, 1972. – 248с.
3. Рибаків П.О. Система управління технологічним процесом приготування розчинів для виготовлення піроксилінових порохів, Бакалаврська робота, ШІ СумДУ, 2020.- 87 с.
4. Process Control of Technological Processes – Режим доступу:
https://www.ispatguru.com/process-control-of-technological-processes/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=process-control-of-technological-processes (дата звертання 10.01.2022).
5. Проектування систем автоматизації: Навч. пос. / М.С. Пушкар, С.М. Проценко, 2013.- 268 с.
6. B.R. Mehta and Y.J. Reddy Industrial Process Automation Systems. Design and Implementation / book (2015) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.sciencedirect.com/book/9781437778076/advanced-industrial-control-technology> (дата звертання 11.01.2022).
7. ISO 15746-1:2015(en) Automation systems and integration — Integration of advanced process control and optimization capabilities for manufacturing systems — Part 1: Framework and functional model [Електронний документ]. – Режим доступу
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15746:-1:ed-1:v1:en> (дата звертання 13.01.2022).
8. John E Edwards, David W Otterson Tech Talk: (2) Process Control Basics [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0020294014534205a> (дата звертання 09.10.2020).
9. Trevathan, Vernon L A Guide to the Automation Body of Knowledge (2nd Edition) / (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 (дата звертання 14.01.2022)
10. Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів: Навч. пос. / Л. П. Ларичева, М. Д. Волошин, О. П. Луценко, 2015.-291 с. [Електронний документ].

- Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу:
<http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/7/2-7-b5.pdf> (дата звертання 16.01.2022)
11. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К.: Видавництво Ліра-К, 2015— 340 с.
 12. Термоперетворювач ТЕРА ТСМ 1-43н -100М - В - 3 - 100 - 10 - М20х1,5 - 40 - 2000 - МЭ - /-50..180/- Exd <https://ao-tera.com/ua/1-43n> [Електронний ресурс]. (дата звертання 18.01.2022)
 13. Термоперетворювач ОВЕН ДТСхх5- ЕХІА [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://owen.ua/ru/datchiki/dtsxx5-termsoprotivlenija-s-kommutacionnoj-golovkoj-exia> (дата звертання 18.01.2022)
 14. Поплавкові датчики рівня ОВЕН ПДУ-И-Exd [Електронний ресурс]. Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / – Режим доступу: <https://indelta.ru/userfiles/file/metran/Rosemount%205300.pdf> (дата звертання 18.01.2022)
 15. Тензометричний датчик Esit SSP 20 кг [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://topscan.com.ua/p1077661598-tenzodatchik-esit-ssp.html> (дата звертання 18.01.2022)
 16. Тензодатчик Keli АМІ 5-40 кг, [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://topscan.com.ua/p1440801923-tenzodatchik-keli-ami.html> , (дата звертання 18.01.2022).
 17. Термінал ваговий вибухозахищений ТВВ, [Електронний документ] Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступу: <https://all-pribors.ru/docs/62521-15.pdf> (дата звертання 18.01.2022).
 18. Перетворювач маси ПМ, [Електронний документ] Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступу: <https://all-pribors.ru/docs/62520-15.pdf> (дата звертання 18.01.2022).
 19. Датчик ОВЕН ПД200-ДИ-EXD моделі 315, [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ukrspecavtomat.com.ua/products-category/preobrazovateli-davleniya/> (дата звертання 18.01.2022).
 20. Датчик тиску 060G4306, серія МBS 4701 вибухозахищений (Danfoss) [Електронний документ] Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступу: <http://inav.com.ua/wp-content/uploads/docs/MBS4701.pdf> (дата звертання 18.01.2022).
 21. Вибухозахищений перетворювач диференціального тиску - PD-39X Еі [Електронний документ] Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. Режим доступу: https://izmerkoni.ru/userfiles/products/Pressure/Transmitters/PD-39X/39%20X_rus.pdf/ (дата звертання 19.01.2022).

22. Датчик тиску ROSEMOUNT 3051CD3A02A1BSJB4I1L4Q4 Rosemount 3051CD, [Електронний документ] Систем. вимоги: Adobe Acrobat Reader. / Режим доступу: https://www.germiona.com.ua/files/rosemount_3051.pdf / (дата звертання 19.01.2022).
23. Стаціонарний сигналізатор ЩИТ-3, [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://ias.kharkov.ua/products/stacionarnye-signalizatory-shhit-3/> / (дата звертання 19.01.2022).
24. Газоаналізатор парів спирту "Дозор-С" стаціонарний, [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://optima-shop.com.ua/gazoanalizatory/stacionarnie-gazoanalizatory/gazoanalizator-parov-spirta-dozor-s-stacionarniy#opisanie> / (дата звертання 19.01.2022).
25. Регулюючий клапан з електроприводом ARI-STEVI 440/441, [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://energopribor.zp.ua/ari_stevi_reg.html/ / (дата звертання 19.01.2022).
26. Електропривід регулюючих клапанів ARI-PREMIO / ARI-PREMIO PLUS 2G, [Електронний ресурс] / Режим доступу: [https://energopribor.zp.ua/ari_stevi_reg.html /](https://energopribor.zp.ua/ari_stevi_reg.html/) / (дата звертання 19.01.2022).
27. Електропривід зі зворотною пружиною (функцією безпеки) FR1.2 I FR2.1, [Електронний ресурс] / Режим доступу: [https://energopribor.zp.ua/ari_stevi_reg.html /](https://energopribor.zp.ua/ari_stevi_reg.html/) / (дата звертання 19.01.2022).
28. Електропривід AUMA SAR для регулюючих клапанів, [Електронний ресурс] / Режим доступу: [https://energopribor.zp.ua/ari_stevi_reg.html /](https://energopribor.zp.ua/ari_stevi_reg.html/) / (дата звертання 19.01.2022).
29. Сервопривідний електромагнітний клапан Burkert 0407, [Електронний ресурс] / Режим доступу [https://burkertrus.com/0407 /](https://burkertrus.com/0407/), (дата звертання 19.01.2022).
30. Перетворювач частоти Lenze 8200 vector - E82EV551K4C, [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.lenze.org.ua/?inc=inverters/01_inv/01e_8200_Vector, (дата звертання 19.01.2022).
31. Двоканальний бар'єр іскрозахисту БИЗОН 2Ех.24.12, [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://digitalamico.com/is-barrier/> / (дата звертання 20.01.2022).
32. Бар'єр іскрозахисту БІЗ-21, [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=358&category_id=130&option=com_virtuemart&Itemid=71 / (дата звертання 20.01.2022).
33. ОВЕН ПЛК160, [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://prom.ua/p5689864-programmiruemyj-logicheskij-kontroller.html> / (дата звертання 20.01.2022).

34. Модуль вводу аналогового сигнал ОВЕН МВ110-24.8АС, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.icomponents.am/ru/products/owen-mv110-24.8AC> / (дата звертання 20.01.2022).
35. Модуль виводу струмового аналогового сигналу ОВЕН МУ110-8И, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://owen.ua/ru/moduli-vvoda-vyvoda/modul-analogovogo-vyvoda-oven-mu110-8i> / (дата звертання 20.01.2022).
36. Панель оператора ОВЕН СПЗ-307, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://owen.ua/ru/paneli-operatora/sp3xx-sensornye-paneli-operatora> / (дата звертання 20.01.2022).
37. 4-канальный блок живлення ОВЕН БП14Б-Д4, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://owen-pribor.ru/products/modifications/device/mnogokanalnij-blok-pitaniya-oven-bp14-d4> / (дата звертання 20.01.2022).
38. Прилад технологічної сигналізації ПТС-164, [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=56&category_id=17&option=com_virtuemart&Itemid=71 / (дата звертання 13.20.01.2022).
39. А.И. Бояринов, В.В. Кафаров Методы оптимизации в химической технологии, – М.: Химия, 1969. – 564с.
40. Худoley Г.М. Конспект лекцій і практик з ТАУ, 2015.
41. Advanced PID Control Åström, Karl J.; Hägglund, Tore (2006) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: 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 (дата звертання 21.01.2022)
42. Anatomy Of A Feedback Control System) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.csimn.com/CSI_pages/PIDforDummies.html (дата звертання 21.11.2020)
43. Kiam Heong Ang, G. Chong PID Control System Analysis, Design, and Technology) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.csimn.com/CSI_pages/PIDforDummies.html (дата звертання 24.01.2022)
44. PID_Control_System_Analysis_Design_and_Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://www.researchgate.net/publication/3332664_PID_Control_System_Analysis_Design_and_Technology (дата звертання 25.01.2022)

45. PID Theory Explained [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ni.com/ru-ru/innovations/white-papers/06/pid-theory-explained.html>
https://www.csimn.com/CSI_pages/PIDforDummies.html (дата звертання 25.01.2022)
46. ДСТУ Б А.2.4-3:2009 Національний стандарт України. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
47. Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів з напрямку підготовки «Системна інженерія» і спеціальності «Комп'ютеризовані системи управління і автоматика», – Суми.: СумДУ, 2013. – 69 с.