

Міністерство освіти і науки України
Шосткинський інститут Сумського державного університету
Факультет заочної форми навчання
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою системотехніки та
інформаційних технологій

_____ Худолей Г.М.

«__» _____ 2022 р.

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему:

" Система управління технологічним процесом
виробництва ПФ-емалі"

Керівник проекту

Серяков А.Г.

Бакалаврант:
студент групи СУз-81Ш

Москаленко А.В.

Шостка 2022 р.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ	3
ВСТУП	4
1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ	7
2. ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ І БЛОКУВАННЯ	11
3. ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	13
5 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА...	45
ВИСНОВОК	63
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	64

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

АРМ -автоматизоване робоче місце

АСУ ТП - автоматизована система управління технологічним процесом.

ВМ- виконавчий механізм.

ЛРЗ – лінія рівного згасання

ЕП- електро -пневматичний перетворювач

ОУ – об'єкт управління.

ПЛК – програмований логічний контролер.

САР – система автоматичного регулювання.

ТП – технологічний процес.

ПК – персональний комп'ютер.

ПЧ - перетворювач частоти.

ЦФ – цифровий фільтр.

ШІМ – широко імпульсна модуляція.

ВСТУП

Емаль - це суспензії пігментів або їх сумішей з наповнювачами в лаках, що утворюють після висихання непрозору тверду плівку з різною фактурою (глянцеві, матові, "муарові" та ін.) та декоративність.

За фізико-механічними характеристиками плівок (твердості, еластичності) та захисними властивостями емалі перевершують масляні та водноемульсійні фарби.

Виготовляють емалі на основі перхлорвінілових, полівінілхлоридних, нітроцелюлозних та інших смол.

Висихають (твердіють) емалі швидко, у міру випаровування розчинника, тому називаються летючесмоляними.

Крім емалей (летючесмоляних фарб) випускають емалеві фарби, що складаються з пігментів, перетертих із синтетичними або масляними лаками. Вони бувають алкідні, епоксидні, мочевиноформальдегідні та ін. Висихають порівняно повільно (24 години та більше). Випускають їх, як і емалі, готовими до застосування.

Емалі отримують пігментуванням розчинів олігомерів (полімерів) в органічних розчинниках. Вони використовуються для виготовлення зовнішніх поверхневих шарів лакофарбового покриття, що виконують як захисну, так і декоративну функції.

Основними операціями технологічного процесу виробництва емалей є: змішання пігментів (наповнювачів) з розчином олігомеру (полімеру), тобто. приготування пігментної пасти; диспергування пігментної пасти; складання емалі, очищення та фасування емалі.

Приготування пігментної пасти зазвичай проводиться в спеціальних змішувачах, вибір конструкції яких залежить від апаратурного оформлення операції диспергування. Так, якщо диспергування ведуть на валкових фарбонатиральних машинах, то для приготування пасти використовують змішувачі з Z -подібними або планетарними мішалками. У тому випадку, коли диспергування проводять в бісерних диспергаторах, пасти готують у швидкохідних змішувачах з дискозубчастими мішалками (дисольверах). У разі використання, як диспергаторів, кульових млинів для приготування пасти немає необхідності використовувати спеціальний змішувач: її готують безпосередньо в кульовому млині.

При приготуванні пігментних паст використовують повністю кількість пігментів та наповнювачів, розраховану за рецептурою. Плівкоутворювальні речовини витрачаються лише частково.

Після диспергування до пігментної пасту додають кількість плівкоутворювача, що залишилася, і спеціальні добавки (сикативи, пластифікатори тощо). Ця операція по суті є процесом складання емалі. Потім емаль стандартизують (на виробництві це називають постановкою на тип») за в'язкістю та кольором додаванням розчинників та пасту кольору.

Для того, щоб лакофарбове покриття мало гарний зовнішній вигляд, емаль не повинна містити навіть одиничних пігментних агрегатів, а також сторонніх забруднень (пилу, волосків, волокон тощо). Попадання цих речовин покриття призводить до зниження його захисних властивостей, тому емаль обов'язково піддається ретельному очищенню на фільтрах або центрифугах. Незважаючи на те, що будь-який технологічний процес виробництва емалей включає одні і ті ж основні операції, нести його можна різними способами.

Автоматизація виробництва ПФ емалей - це застосування комплексу засобів, що дозволяють здійснювати виробничі процеси без безпосередньої участі людини, але під її контролем. Автоматизація виробництва ПФ- емалей призводить до збільшення випуску, зниження собівартості та покращення якості продукції.

У даному проекті розглядається автоматизація технологічної установки для отримання ПФ- емалей, для використання її надалі як основи для виготовлення фарбувального матеріалу. Існуюча технологія отримання ПФ -емалей має низку істотних недоліків:

- 1) Не точність виміру та не стабільність технологічних параметрів;
- 2) Велика чисельність робочого персоналу та низька продуктивність праці;
- 3) Великі витрати на виробництво;
- 4) Небезпека роботи у вибухонебезпечному приміщенні та швидке зношування обладнання.

Модернізація засобів автоматизації параметрів дає значні переваги:

- 1) забезпечує зменшення чисельності робітника, тобто. підвищення продуктивності його праці,
- 2) призводить до зміни характеру праці обслуговуючого персоналу,
- 3) збільшує точність підтримки параметрів,

4) підвищує безпеку праці та надійність роботи обладнання,

5) збільшує економічність роботи.

Використання спеціальних автоматичних пристроїв - сприяє безаварійній роботі устаткування, виключає випадки травматизму, попереджає забруднення довкілля, підвищує продуктивність праці, зменшує чисельність обслуговуючого персоналу.

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

1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

Останнім часом отримав широке поширення спосіб виробництва емалей-на основі білих базових емалей. З цього способу спочатку отримують одноколірну білу емаль (так звану «базову») і потім на її основі готує кольорові емалі з додаванням до неї паст (концентрованих або розведених).

Виробництво емалей способом білих базових емалей забезпечують більш тонке колірування готового продукту в порівнянні зі способом, в якому передбачено диспергування суміші всіх пігментів у лаку. При застосуванні цих методів підвищуються продуктивність праці та коефіцієнт використання обладнання, а також полегшуються автоматизація процесу та перехід від випуску емалі одного кольору до іншого. Найбільше всі ці переваги виявляються при масовому виробництві емалей.

Вибір способу виробництва емалі в кожному конкретному випадку повинен проводитися з урахуванням масштабів виробництва, асортименту готової продукції та вимог до її якості. Технологічна схема виробництва ПФ-емалі представлена на рисунку 1.1.

Виробництво ПФ-емалі складається з наступних технологічних операцій:

Складання пігментної паст.

Диспергування пігментної паст.

Складання емалі.

Складання кольорової емалі.

Очищення та фасування емалі.

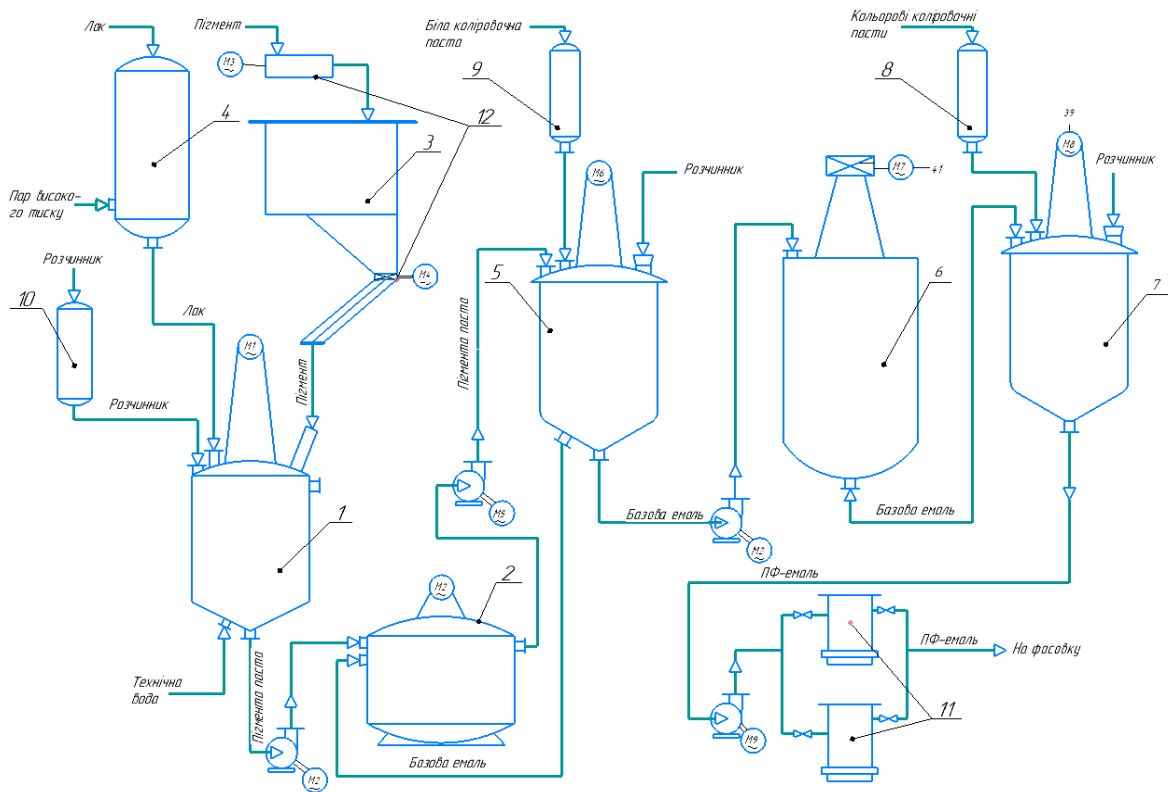


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва ПФ-емалі.

У підігрівач (поз.4) заливається лак, потім лак підігрівається до температури 60°C, одночасно в дисольвер (поз.1) подається в потрібних пропорціях розчинник з мірної ємності розчинника (поз.10). Також одночасно засипається сипучий пігмент із бункера (поз.3) за допомогою шнекових дозаторів (поз.12), в кількості, яка необхідна за умовою технологічний процесу.

Після загрузки в дисольвер, указаних вище речовин, завантажується попередньо підігрітий лак. Після завантаження всіх компонентів в дисольвер розпочинається процес змішування суміші при обертах 2500об/хв протягом 30хв і підтримується температура 65 °С.

Під час процесу мішання в змішувачі 1(поз.5) підтримується в'язкість емалі за допомогою подачі в змішувач 1 розчинника. Якщо показники якості емалі відповідають нормам, готова базова емаль перекачується в накопичувальну ємність (поз.6) де для запобігання згортанню обертається мішалка.

Для вироблення кольорової емалі певну кількість базової емалі згідно з рецептурою перекачується за допомогою насоса в змішувач 2 (поз.7). Також у змішувач 2 з мірної ємності (поз.8) надходить певну кількість колірочних паст кольорів.

Після завантаження змішувача 2 емаль змішується при швидкості обертання мішалки.

Для контролю якості кольорової емалі у змішувачі 2, контролюється в'язкість. Якщо вона недостатня, то в змішувач 2 подається розчинник. Після змішування компонентів, кольорову емаль для запобігання попаданню дрібних волокон, механічних домішок і дрібних грудок за допомогою насоса під тиском 1 кгс см пропускають через фільтри (поз.11), після яких готова кольорова емаль надходить на фасувальний агрегат.

Так основним обладнанням для отримання ПФ - емалей є дисольвер і бісерний диспергатор. Розглянемо кілька видів цих апаратів:



Рисунок 1.2 – Приклад промислового дисольверу .

Дисольвер призначений для змішування матеріалів середньої твердості в рідких середовищах. Застосовується для виробництва фарб, клеїв, косметичних продуктів, різних паст, дисперсій та емульсій тощо.

Особливості конструкції та роботи дисольвера заключаються в наявності мішалок різних типів: -рамна мішалка не дозволяє сировинним продуктам осідати на дні та стінках, працює за принципом шпателя або зішкоблювача; - швидкохідна мішалка, подрібнює та ретельно перемішує сировинні продукти до отримання однорідної маси компонентів лакофарбового матеріалу, працює за принципом фрези.

Дисольвери мають різну будову та конфігурацію. Можуть відрізнятись ємністю і додатково мати зовнішню сорочку для обігріву або охолодження . Деталі та вузли дисольвера, які контактують з сировною, виконані з нержавіючої сталі.

Також можуть додатково комплектуватись перетворювачем частоти, що дозволяє здійснювати регулювання швидкості обертання валу в діапазоні 0-3000 об/хв, а також програмувати його швидкісні режими в часі.



Рисунок 1.3 – Бісерний млин.

Млини бісерні призначені для диспергування лакофарбових матеріалів, друкарських фарб та інших продуктів хімічної промисловості у безперервному режимі.

Млини бісерні є одним з основних типів диспергаторів, що застосовуються при виробництві емалей та фарб.

Млин бісерний являє собою циліндричний корпус (контейнер) всередині якого обертається вал спеціальної конструкції. Конструкція валу забезпечує рівномірне розподілення бісеру по всій висоті контейнера.

2. ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ І БЛОКУВАННЯ

Аналіз технологічного процесу дозволяє виділити найбільш суттєві параметри контролю, сигналізації та керування процесу отримання ПФ-емалі.

Таблиця 2.1 – Параметри контролю, керування, сигналізації ТП отримання ПФ-емалі.

Позиція	Контрольований параметр	Точка технологічного процесу	Функція	Величина (діапазон вимірів)	Точність	Спосіб регулювання
1	Температура	Підігрівач лаку	Контроль, керування, сигналізація	55 - 60 °С	±2°С	Управління клапаном
2	Температура	Нагрівач пігменту	Контроль, керування, сигналізація	55 - 60 °С	±1°С	Управління клапаном
3	Тиск	Трубопровід після дисольвера	Контроль, керування,	1. 2 -1,25 кгс/ см ²	±0. 1 кгс / см ²	Управління оборотами насоса
4	Тиск	Трубопровід після змішувача1	Контроль, керування,	1.2 -1,25 кгс/ см ²	±0. 1 кгс / см ²	Управління оборотами насоса
5	Тиск	Трубопровід перед Накопичувальна ємність	Контроль, керування,	1. 2 -1,25 кгс/ см ²	±0. 1 кгс / см ²	Управління клапаном
6	Рівень	Підігрівач лака	Контроль, керування, сигналізація	1.8 – 2м	±0,1м	Управління клапаном
7	Рівень	Мірна ємність розчинника	Контроль, керування, сигналізація	2. 9-3м	±0,1м	Управління клапаном
8	В'язкість	Змішувач 1, змішувач 2	Контроль, керування	0-2Пз с	±1%	Управління клапаном
8	Число обертів мішалки	Дисольвер	Контроль, керування	200-250 Об/хв	±1%	Управління оборотами двигуна
9	Число обертів мішалки	Бісерний млин	Контроль, керування	2 0 0-250 _ Об/хв	±1%	Управління оборотами двигуна
10	Число обертів мішалки	Змішувач 1	Контроль, керування	2 0 0-250 _ Об/хв	±1%	Управління оборотами двигуна
11	Число обертів мішалки	Змішувач 2	Контроль, управління	2 0 0-250 _ Об/хв	±1%	Управління оборотами двигуна

При виборі каналів управління визначаються, формалізуються та конкретизуються функції управління, взаємозв'язок процесу з іншими процесами, параметр управління та значення, на якому він має підтримуватись. Аналізується характер та відхилення обурювальних впливів на ОУ. Результат цього аналізу представлено у таблиці 2.1.

3. ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Локальні контури управління та опис каналів контролю та управління.

3.1.1 Контур регулювання температури.

Проаналізуємо контур контролю, сигналізації та керування температури в підігрівачі лаку рис.3.1. Контур складається з вбудованого перетворювача ОВЕН ДТС 015М-100П.0,25.80.МГ.И [5] (поз. 1а), при зміні температури на виході датчика виробляється сигнал 4-20мА, який подається на перетворювач опору (поз.1б), на виході перетворювача утворюється сигнал 0-5 мА. Цей сигнал на поступає на ПЛК (поз. 1в), далі мікроконтролер виробляє керуючий сигнал величиною 0-5 мА, цей сигнал подається на ЕП(поз.1г). Цей сигнал ЕП перетворює на вихідний сигнал 0.2-1 кгс/см², що надходить на ОР (поз.1д), який регулює температуру в підігрівачі лаку. Також ПЛК передає сигнал, про зміни температури в підігрівачі, на АРМ, сигнальною лампою НЛ1 та сигнальним дзвінком НА1.

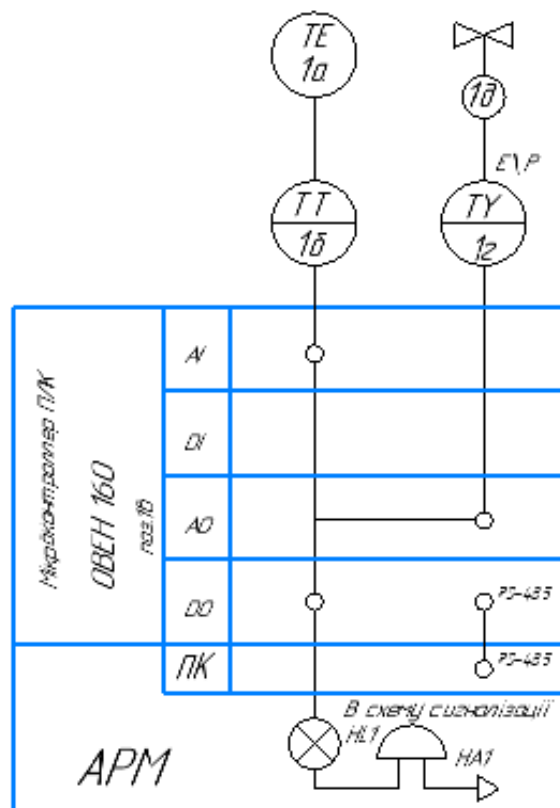


Рисунок 3.1. Робота контролю, сигналізації та керування температури підігрівача лаку.

3.1.2 Контур регулювання температури.

Розглянемо контур контролю, сигналізації та керування температури в нагрівачі пігменту. Контур будується аналогічно попередньому контуру (див.п.3.1.1), на таких же засобах автоматизації.

3.1.3 Контур регулювання тиску .

Розглянемо контур контролю та керування зміни тиску в трубопроводі після дисольверу рис.3.2. Контур складається з перетворювача Сапфір 22ДД (поз.3а) , на виході якого виробляється сигнал 4 - 20 мА, що подається ПЛК (поз. 1в), далі мікроконтролер виробляє керуючий сигнал величиною 0-5 мА, цей сигнал подається на ПЧ Lenze 222 L 4 ТХА smd (поз.3б) , який керує швидкістю обертання двигуна насоса М2. Для двигуна М9 управління аналогічне.

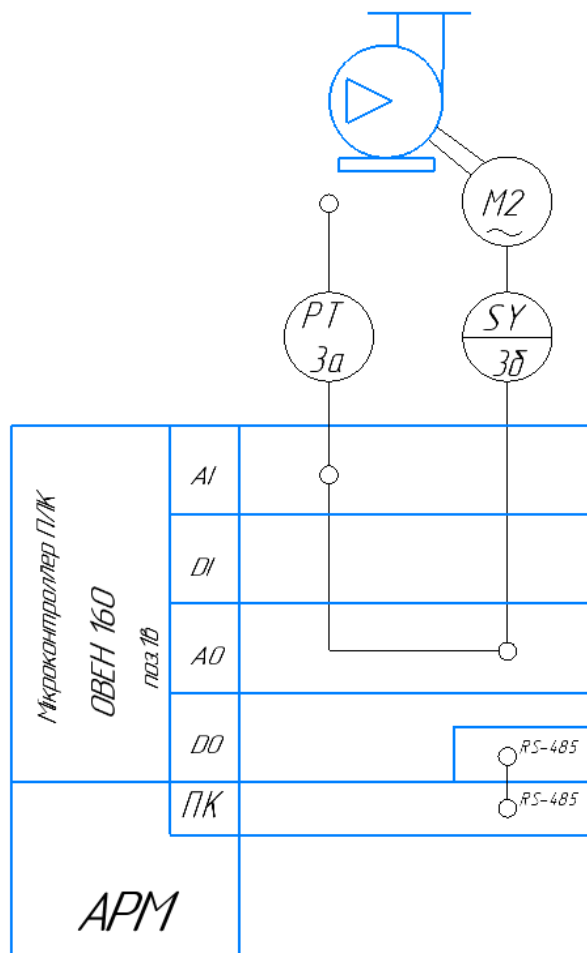


Рисунок 3.2. Робота контролю та керування тиском перед дисольвером.

3.1.4 Розглянемо контур контролю та керування зміни тиску в трубопроводі після змішувача 1, шляхом керування швидкістю обертання двигуна насоса М9.

Контур будується аналогічно попередньому контуру (див.п.3.1.2), на таких же засобах автоматизації.

3.1.5 Контур контролю та керування тиску .

Розглянемо контур контролю та керування зміни тиску в трубопроводі перед накопичувальною ємністю рис.3.3. Контур складається з перетворювача Сапфір 22ДІ (поз.5а) , який виробляє сигнал 4 - 20 мА, що подається ПЛК (поз. 1в), далі мікроконтролер виробляє керуючий сигнал величиною 0-5 мА, який подається на ЕП(поз.5б). Цей сигнал ЕП перетворює на вихідний сигнал 0.2-1 кгс/см² , що надходить на орган регулювання (поз.5в), який регулює тиск в трубопроводі.

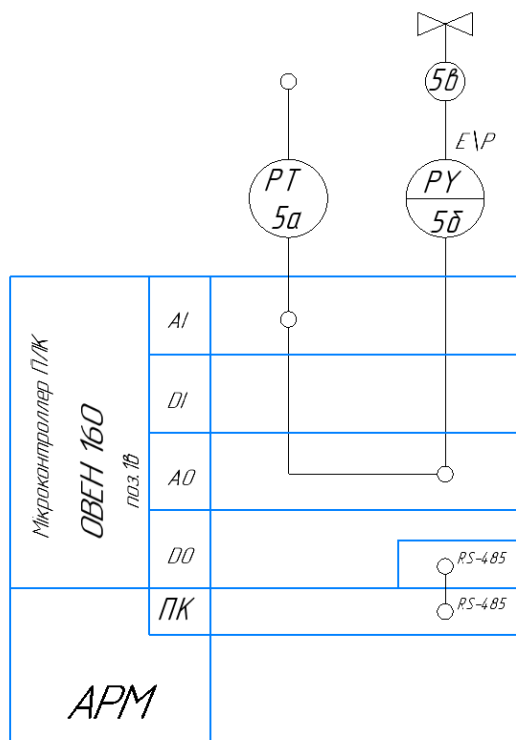


Рисунок 3.3. Робота контролю та керування тиском перед накопичувальною ємністю.

3.1.6 Контур регулювання, контролю та сигналізації рівня .

Розглянемо контур контролю, регулювання та сигналізації рівня лаку рис.3.4. Контур складається з перетворювача РІС 121 (поз.6а), який при зміні рівня лаку в підігрівачі виробляє сигнал 4 - 20 мА, ПЛК (поз. 1в), далі мікроконтролер виробляє керуючий сигнал величиною 0-5 мА, що подається на ЕП (поз.6б). Цей сигнал ЕП перетворює на вихідний сигнал 0.2-1 кгс/см² .

що надходить на орган регулювання (поз.6в), він регулює рівень в трубопроводі перед підігрівачем, та ПЛК (поз. 1в), виробляє керуючий сигнал

величиною 0-5 мА, що подається на ЕП (поз.6г). Цей сигнал ЕП перетворює на вихідний сигнал 0.2-1 кгс/см², що надходить на орган регулювання (поз.6д), який регулює рівень в трубопроводі після підігрівача.

Також ПЛК передає сигнал, про зміну рівня в підігрівачі, на АРМ, сигнальною лампою НЛЗ та сигнальним дзвінком НА1.

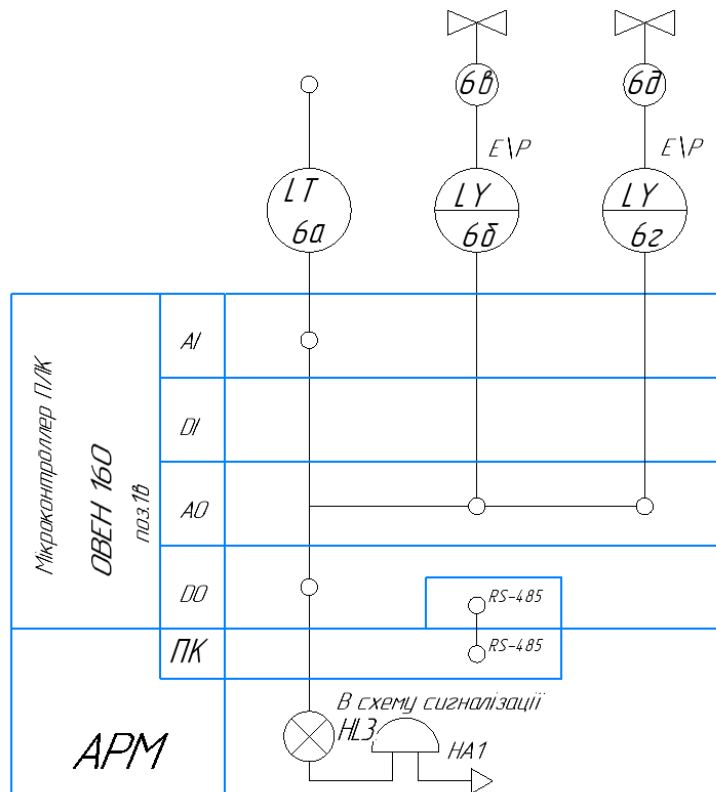


Рисунок 3.4. Робота контролю, сигналізації та керування рівнем лаку в підігрівачі.

3.1.7 Контур регулювання, контролю та сигналізації рівня .

Розглянемо контур контролю, регулювання та сигналізації рівня розчинника. Контур будується аналогічно попередньому контуру (див.п.3.1.6), на таких же засобах автоматизації.

3.1.8 Контур регулювання, контролю та сигналізації рівня .

Розглянемо контур контролю, регулювання рівня в мірній ємності рис.3.5. Контур складається з перетворювача РІС 121 (поз.8а), який при зміні рівня колірочної пасти в мірній ємності виробляє сигнал 4 - 20 мА, ПЛК (поз. 1в), далі мікроконтролер виробляє керуючий сигнал величиною 0-5 мА, що подається на ЕП

(поз.8б). Цей сигнал ЕП перетворює на вихідний сигнал $0.2-1 \text{ кгс/см}^2$, що надходить на орган регулювання (поз.8в), який регулює рівень коліровочної пасти.

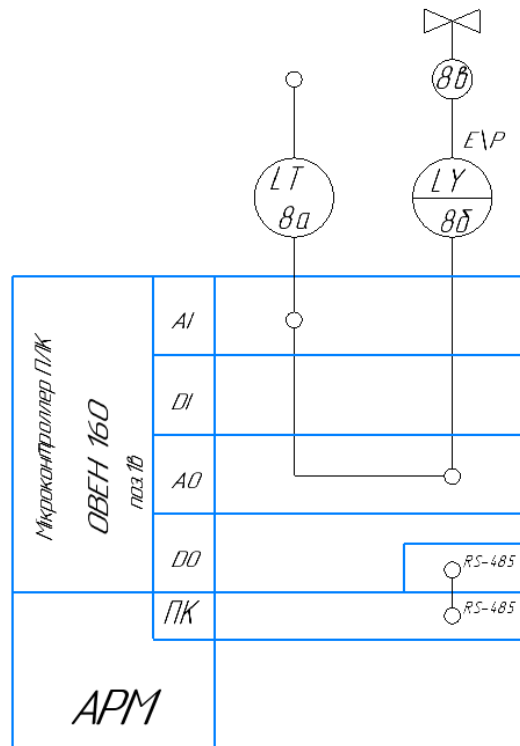


Рисунок 3.5. Робота контролю та керування рівнем коліровочної пасти в мірній ємності.

3.1.9 Контур регулювання, контролю рівня .

Розглянемо контур контролю та регулювання рівня коліровочної пасти рис.3.6. Контур складається з перетворювача РІС 121 (поз.9а), який при зміні рівня коліровочної пасти в мірній ємності виробляє сигнал $4 - 20 \text{ мА}$, ПЛК (поз. 1в), далі мікроконтролер виробляє керуючий сигнал величиною $0-5 \text{ мА}$, що подається на ЕП (поз.9б). Цей сигнал ЕП перетворює на вихідний сигнал $0.2-1 \text{ кгс/см}^2$, що надходить на орган регулювання (поз.9в), який регулює рівень в трубопроводі перед ємністю, та ПЛК (поз. 1в), виробляє керуючий сигнал величиною $0-5 \text{ мА}$, що подається на ЕП (поз.9г). Цей сигнал ЕП перетворює на вихідний сигнал $0.2-1 \text{ кгс/см}^2$, що надходить на орган регулювання (поз.9д), який регулює рівень в трубопроводі після мірної ємності.

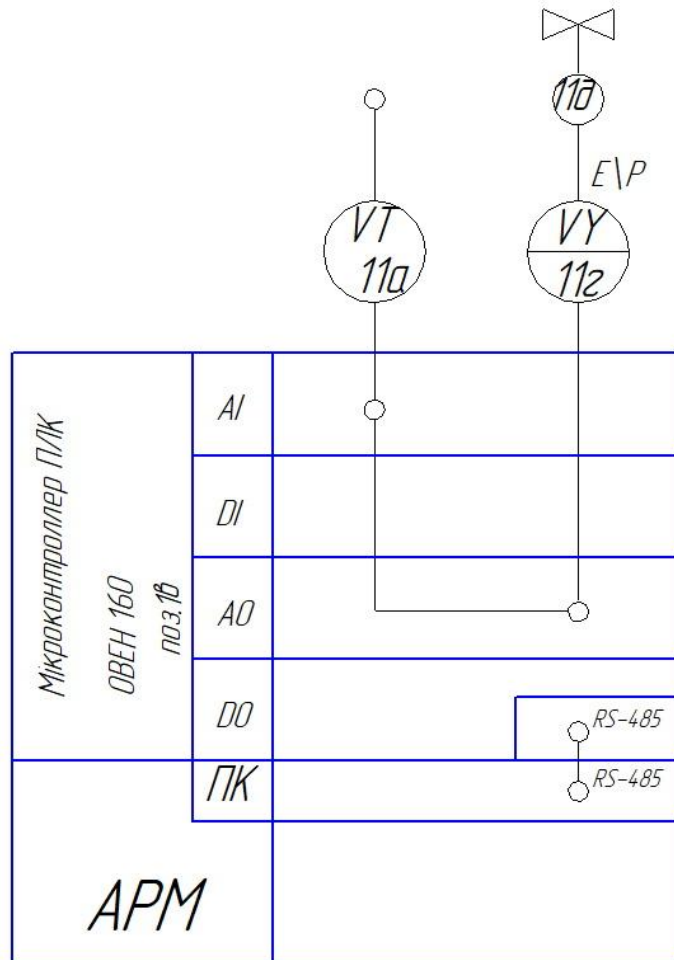


Рисунок 3.7. Робота контролю, регулювання в'язкості емалі в змішувачі 1.

3.1.14—3.1.15 Контури регулювання числа обертів шнекових дозаторів.

Розглянемо контур- канали програмного керування електродвигуном М3,М4 рис.3.8. Управління двигуном здійснюється за допомогою ПЛК (поз.1в). Сигнал управління подається з мікроконтрола на ПЧ Lenze 222 L 4 TXA smd (поз.14б), який включає двигун М3. Цей двигун обертає шнековий дозатор. Також ПЛК передає сигнал, про роботу двигуна на лампочку HL5. Для двигуна М 4 управління аналогічне.

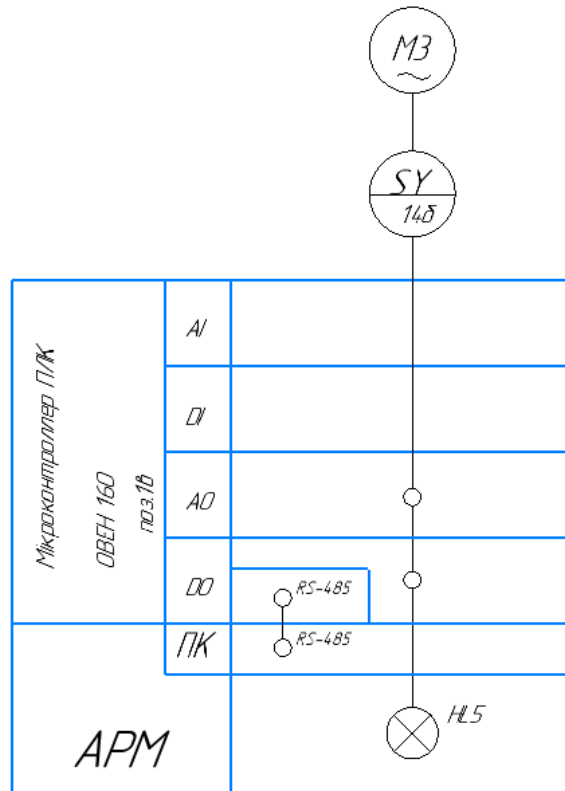


Рисунок 3.8. Робота каналу регулювання числа обертів шнекових дозаторів.

3.1.16-3.1.17 Контури регулювання числа обертів насосів на входах змішувача 1, накопичувальної ємності.

Розглянемо контур- канали програмного керування електродвигуном М5 та М8.

Контури будується аналогічно контуру (див.п.3.1.14), на таких же засобах автоматизації.

3.1.18 Контур регулювання числа обертів мішалки в дисольвері.

Розглянемо контур- канал програмного керування електродвигуном М1 рис.3.9. Управління двигуном здійснюється за допомогою ПЛК (поз.1в). Сигнал управління подається з мікроконтрола на ПЧ Lenze 222 L 4 TXA smd (поз.18б), через елементи комутації (SA1, KM1)., який включає двигун М1. На валу двигуна встановлено датчик Холла (поз.18а), який сигналізує про число обертів мішалки дисольвера.

Також ПЛК передає сигнал, про роботу двигуна на лампочку HL9.

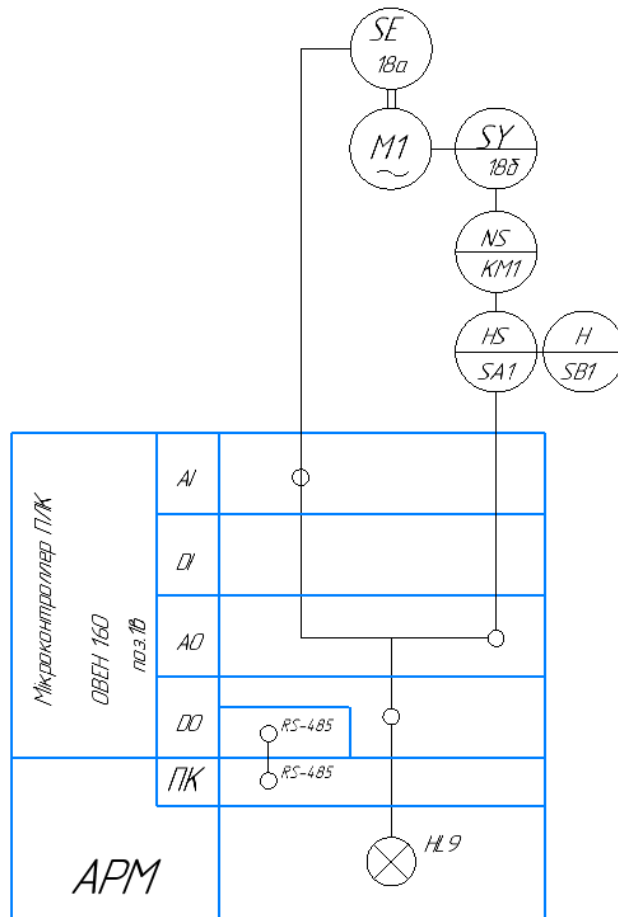


Рисунок 3.9. Робота каналу регулювання числа обертів мішалки в дисольвері.

3.1.19-3.1.20 Контури регулювання числа обертів мішалки змішувачів 1 та 2.

Розглянемо контур- канали програмного керування електродвигуном М6 та М10.

Контур будується аналогічно контуру (див.п.3.1.18), на таких же засобах автоматизації.

3.1.21 Контур регулювання числа обертів мішалки бісерного млина.

Розглянемо контур- канал програмного керування електродвигуном М11.

Контур будується аналогічно попередньому контуру (див.п.3.1.18), на таких же засобах автоматизації.

3.2 Вибір засобів автоматизації.

Для того, щоб система управління могла виконувати стійке та ефективне функціонування, потрібно, максимально точно, отримувати первинну інформацію про стан параметрів об'єкта регулювання. Тому головне завдання проекту, організувати та забезпечити оптимальне функціонування системи управління, при жорстких умовах експлуатації засобів автоматизації та при впливах абразивних середовищ, вібраційних навантаженнях, впливах температур та вологості навколишнього середовища.

Застосування автоматизованих систем управління завжди базується на сучасних контрольно-вимірювальних приладах, первинних перетворювачах, що здійснюють зв'язок цих систем з об'єктами управління та на надійних виконавчих механізмів. А це значить, що ефективна автоматизована система управління повинна складатись із сучасних і надійних засобів автоматизації.

При виконання цих умов під час роботи апаратури автоматизації, значно зменшується час простою або швидкий знос технологічних апаратів та трубопроводів.

Після вибору регулюючих величин і каналів внесення регулюючих впливів, а також після вибору контрольованих та сигналізованих величин робимо вибір засобів автоматизації.

3.2.1 Вибір датчика температури.

Для контролю, керування та сигналізації температури в підігрівачі лаку (поз.1а) та нагрівачі пігменту (поз.2а), даного ТП, виберемо датчик, який має найбільш відповідні характеристики та функції, для вище указаних контурів.

Щоб зробити правильний вибір, порівняємо технічні характеристики двох датчиків температури, які мають вихідний уніфікований сигнал, це датчики **ОВЕН ДТС 015М-100П.0,25.80.МГ.И [5]** і **ТСПУ205Н (Pt 100)**. Розглянемо та порівняємо їх основні характеристики в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Порівняльні параметри датчиків **ОВЕН ДТС 015М-100П.0,25.80.МГ.И [5]** та **ТСПУ205Н(Pt 100)**

Основні характеристики	ОВЕН ДТС 015М-100П.0,25.80.МГ.И [5]	ТСПУ205Н(Pt 100)
Основна похибка	±0,25%	±0,5%
діапазон вимірів	- -10.. +300 °С	0..+300 °С
Вихідний аналоговий сигнал	4..20 mA	4..20 mA
Напруга живлення	12...36 В	12..40В
споживана потужність	0,8 Вт	0,8 Вт
Кліматичне виконання	УХЛ 2	УХЛ3.1
Тиск робочого середовища	< 6,3 МПа	< 6,4 МПа
Ступінь захисту від води та пилу	ДЕРЖСТАНДАРТ 14254 IP44	ДЕРЖСТАНДАРТ 14254 IP44
Матеріал захисної арматури	Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 12Х18Н10Т
Ціна, грн	1540	1610

Для контролю, керування та сигналізації температури нагрівачів візьмемо термоперетворювач опору з уніфікованим вихідним сигналом **ОВЕН ДТС 015М-100П.0,25.80.МГ.И [5]**, що являє собою термоелектричний перетворювач, головку якого вбудований нормуючий перетворювач ОВЕН НПТ-3, рис.3.10.

Застосовуються для безперервного вимірювання та перетворення значень температури рідких, газоподібних, твердих та сипких речовин в уніфікований вихідний струмовий сигнал 4...20 мА. Даний датчик найбільш підходить за діапазоном вимірюваної величини, а так як наші діапазони вимірювання температури коливаються від 40 до 60 ° С, а також за точністю вимірювання, за кліматичним виконанням, за логістичною складовою доставки датчика.



Рисунок 3.10 – Датчик температури ОВЕН ДТС 015М-100П.0,25.80.МГ.И [5].

3.2.2 Вибір датчика тиску.

Для контролю, керування тиску в трубопроводі після дисольвера (поз.3а), трубопроводі після змішувача 1 (поз.4а) та трубопроводі перед накопичувальною ємністю (поз.5а) даного ТП, виберемо датчики, які мають більш підходящі характеристики та функції, для вище указаних контурів.

Для оптимального вибору, порівняємо технічні характеристики двох датчиків тиску, які мають вихідний уніфікований сигнал, це датчики **Сапфір 22ДІ** та **Сапфір 22ДД**. Розглянемо їх основні характеристики в таб.3.2:

Таблиця 3.2 – Порівняльні параметри датчиків **Сапфір 22ДІ** та **Сапфір 22ДД**.

Основні характеристики	Сапфір 22ДД	Сапфір 22ДІ
Надлишковий тиск (верхня межа)	1,6 кгс\см ²	1,6 кгс\см ²
Клас точності	±0,25%	±0,15%
Напруга живлення	12 - 36 В	12 - 36 В
Вид вихідного сигналу	4 – 20 мА	0...5мА, 0...20мА, 4...20мА
Захист від пилу та води	IP 65	IP 65
Матеріал корпусу	12X18Н10Т	12X18Н10Т
Ціна, грн	3500	3290

Для контролю тиску в трубопроводі візьмемо перетворювач надлишкового тиску **Сапфір 22ДІ** рис.3.11, ці перетворювачі призначені для безперервного пропорційного перетворення надлишкового (манометричного) тисків в робочому середовищі в уніфікований лінійний сигнал постійного струму. Цей датчик найбільш підходить для вимірювання тиску в даному технологічному процесі, наш діапазон вимірювання тиску до $1,25 \text{ кгс/см}^2$ має допустиму точність вимірювання тиску, і меншу ціну.



Рисунок 3.11 – Датчик тиску **Сапфір 22ДІ**

3.2.3 Вибір датчика рівня.

Для контролю, керування та сигналізації рівня в підігрівачі лаку (поз.6а) та в мірній ємності (поз.7а), а також для контролю та керування рівня в мірній ємності (поз.8а), рівня колірочної пасти (поз.9а), рівня розчинника в змішувачах 1 та 2 (поз.10а та 11а) даного ТП, виберемо датчик, який має найбільш відповідні характеристики та функції, для вище указаних контурів.

Для оптимального вибору, порівняємо технічні характеристики двох датчиків рівня, які мають вихідний уніфікований сигнал, це датчики **РІС 121**. Розглянемо їх основні характеристики в таб.3.3.

Таблиця 3.3 – Порівняльні параметри датчиків **РІС 121** та **РІС 121І**.

Основні характеристики	РІС 121	РІС 121 І
діапазон вимірів	0,2 –3 м	0,6 -70 м
Клас точності	±0,3%	±0,5%
Напруга живлення	12 - 36 В	24 В
Вид вихідного сигналу	4 – 20 мА	4...20мА
Захист від пилу та води	IP 68	IP 65
Матеріал корпусу	12X18Н10Т	12X18Н10Т
Ціна, грн	1350	1970

Для контролю рівня сипучих матеріалів та пігментів в ТП візьмемо перетворювач надлишкового рівня **РІС 121**, рис.3.12, ці перетворювачі призначені для безперервного перетворення рівня в робочому середовищі в уніфікований лінійний сигнал постійного струму. Цей датчик найбільш підходить для вимірювання рівня в даному технологічному процесі, наш діапазон вимірювання рівня до 3 м, має допустиму точність вимірювання рівня, має меншу ціну.



Рисунок 3.12 – Датчик рівня **РІС 121**

3.2.4 Вибір датчика в'язкості.

Для контролю контролю, керування в'язкості емалі в змішувачі 1 (поз.11а) та змішувачі 2 (поз.13а), виберемо датчик, який має найбільш відповідні характеристики та функції, для вище указаних контурів.

Для оптимального вибору, порівняємо технічні характеристики двох перетворювачів в'язкості, які мають вихідний уніфікований сигнал, це перетворювач в'язкості **FVM MicroMotion** та перетворювач в'язкості 7829. Розглянемо їх основні характеристики в таб.3.4.

Таблиця 3.4 – Порівняльні параметри перетворювачі в'язкості **FVM MicroMotion** та перетворювач в'язкості **7829**.

Основні характеристики	FVM MicroMotion	7829
Діапазон вимірювання в'язкості	0,5 — 20000 сП	0,5 — 20000 сП
Діапазон вимірювання густини	0 — 3000 кг/м ³ (0 — 3 г/см ³)	-
Клас точності	±0,1%	±0,3%
Вбудований датчик щільності	так	ні
Вбудований датчик температури	так	так
Вид вихідного сигналу	4 – 20 мА, Modbus/RS-485	4...20мА, Modbus/RS-485
Захист від пилу та води	IP 68	IP 65
Вибухозахищене виконання	так	ні
Ціна, грн	56000	51600

Для контролю керування в'язкості емалі в змішувачі 1 та змішувачі 2 в ТП візьмемо перетворювачі в'язкості **FVM MicroMotion**, рис.3.13, ці перетворювачі призначені для безперервного перетворення в'язкості в робочому середовищі в уніфікований лінійний сигнал постійного струму. Цей датчик найбільш підходить для вимірювання в'язкості в даному технологічному процесі, бо має менший клас точності, вбудований датчик щільності та вибухозахищене виконання.



Рисунок 3.13 – Датчик рівня в'язкості **FVM MicroMotion**.

3.2.5 Асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором

Для обертання мішалок будемо використовувати вибухозахищений асинхронний електродвигун АІМ(У)-100-2 рис.3.14, дані двигуни застосовуються в різних пристроях, механізмах і машинах, у тому числі в верстатах, компресорах і вентиляторах різного призначення, лічильно-вирішальних пристроях і системах автоматичного управління, нестандартному устаткуванні, підйомно-транспортних та будівельних машинах. Двигуни мають основне виконання та модифікації: з вбудованим температурним захистом, з підвищеною точністю за настановними розмірами, з підвищеним ковзанням, хімічностійкі.

Працюють від мережі змінного струму напругою від 220 до 660В частотою 50Гц,. Розглянемо їх основні характеристики в таб.3.5.



Рисунок 3.14 - Асинхронний електродвигун АІМ(У) 100 S2 .

Таблиця 3.5 - Основні характеристики асинхронного електродвигуна АІМ(У) 100 S2 У2 .

Серія	АІМ
Фаза	3 - х фазний
Висота осі обертання, мм	80
Потужність, кВт	4
Частота обертання, об/хв	2880
Напруга, В	380
$\lambda_{пуск}$	2,2
λ_{max}	2,3
$\alpha_{пуск}$	6,4
ККД, %	84,2
$\cos \varphi$	0,88

3.2.6 Клапан регулюючий двосідельний

Для керування подачі пари в підігрівач, для регулювання подачі базової емалі накопичувач будемо використовувати клапан регулюючий двосідельний 25ч30нж. (поз. 1д,2г,3г ,4г, 5г, 6в, 6д, 8в, 9в, 9д, 10в, 10д, 11в, 11д) рис.3.15, призначений для установки на трубопроводах з метою безперервного регулювання витрати робочого середовища, використовується в хімічній, енергетичній, целюлозно -паперової промисловості і т.д. Розглянемо основні характеристики клапана в таб.3.6.



Рисунок 3.15 - Клапан регулюючий двосідельний 25ч30нж. .

Таблиця 3.6 - Основні характеристики клапана регулюючого двосідельного 25ч30нж.

Тип	фланцевий
Умовний прохід Ду, мм	25
Умовна пропускна здатність, м3/год	16
Тиск робочий, кгс/м2	16
Температура робочого середовища, °С	не більше 300
Набивання сальника	графлекс, керлар
Робоче середовище	рідка або газоподібна
Витратна характеристика	лінійна, рівнопроцентна
Маса (з фланцями), кг	30

3.2.7 Перетворювач частоти

Для управління асинхронними двигунами M1-M11 виберемо один з двох найбільш підходящих перетворювачів частоти для нашого технологічного проекту **Lenze 222 L 4 TXA smd** та **ES021-04-0050A/U** рис.3.16 . Розглянемо їх основні характеристики в таб.3.7.

Для регулювання обертів приводного двигуна найбільше підходить частотний перетворювач **Lenze 222 L 4 TXA smd** . Він найбільше підходить для регулювання асинхронних двигунів, які використовуються в даному проекті, бо споживає менше енергії для живлення, ці перетворювачі підходять до загальнопромислових двигунів так як мають квадратичну характеристику V/f закону управління електродвигуном а також відповідають міжнародним стандартам CE , UL , cUL. Призначені для 3-фазних асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором та живленням від однофазної мережі напругою 180...264 В.

Таблиця 3.7 - Основні характеристики перетворювачів частоти **Lenze 222 L 4 TXA smd** та **ES021-04-0050A/U** .

Основні характеристики	Lenze 222 L4TXA smd	ES021-04-0050A/U
Потужність двигуна	4 кВт	4 кВт
Номинальний струм	9,4 А	9,8 А
Вихідний струм	8.8 А	8 А
Розміри	114 * 146 * 133 мм	180*120*140 мм
Вага	1,4 кг	1,8 кг
Закони управління	Лінійна характеристика U/f. Квадратична характеристика V / f	Квадратична характеристика V / f
Вихідна частота	0... 240 Гц	0 – 400 Гц
Частота модуляції	4, 6, 8, 10 кГц	0,5 – 15,0 кГц
Входи	Дискретні: 3 вільно прогр. Вхід + Start/Stop Аналогові: 1 вхід (0-5V, 0-10V, 0-20mA, 4-20mA)	Програмовані входи: - Чотири програмовані цифрові входи сигналів ВКЛ-ВИКЛ («сухий контакт»); - Один вхід високочастотного імпульсного сигналу (HDI). Програмовані аналогові входи: - AI1 0 – 10 В; - AI2 0 – 10 В або 0 – 20 мА.

Функції	Вибір швидкості зміна розгону, захист двигуна	Вибір швидкості зміна розгону, захист двигуна
Ціна, грн	1350	1 5 70

Основні функції перетворювача частоти **Lenze 222 L4TXA smd**:

- керування від PID-регулятора;
- функція плаваючої частоти;
- продовження роботи при короткочасних збоях живлення;
- пуск та регулювання швидкості двигуна;
- прискорення, уповільнення, зупинка;
- захист двигуна та перетворювача.



Рисунок 3.16 – Перетворювач частоти **Lenze 222 L 4 TXA smd** .

3.2.8 Програмований логічний контролер

Для контролю, сигналізації та керування параметрами ТП виберемо ПЛК Після вибору засобів автоматизації було підраховано кількість входів та виходів.

У результаті підрахунку, ми визначили, що мікроконтролер повинен мати:

Аналогових входів -17

Аналогових виходів – 27

Дискретних виходів – 12

Для нашого ТП більш всього підходить є **ОВЕН ПЛК 160** на рис.3.17 представлений зовнішній. Також його додаткові модулі введення / виведення аналогових сигналів- - ОВЕН МВ 110-8А рис.3.18 та ОВЕН МУ110- 8И рис.3.19.

ОВЕН ПЛК 160

Ціна: 20000 грн.



Рисунок 3.17 -Зовнішній вигляд мікроконтролера ОВЕН ПЛК 160.

Технічна характеристика ОВЕН ПЛК 160.

ОВЕН ПЛК160 [M02] – лінійка програмованих моноблокових контролерів з дискретними і аналоговими входами/виходами на борту для автоматизації середніх систем. Контролери цієї лінійки рекомендуються для побудови розподілених систем керування і диспетчеризації з використанням як дротяних, так і бездротових технологій.

Застосування ОВЕН ПЛК160 [M02]:

- Системи HVAC
- У сфері ЖКГ - автоматизація ІТП, ЦТП, АСК водоканалів
- Автоматизація торгового обладнання
- Керування кліматичним обладнанням
- Керування малими верстатами і механізмами
- Керування пакувальними та харчопереробними апаратами
- Автоматизація процесів під час виробництва будівельних матеріалів
- Автоматизація ліній з дерево - і металообробки (розпилювання, намотування тощо

Переваги ОВЕН ПЛК160 [M02]

- Швидкісні входи для обробки енкодерів.
- Вбудовані дискретні та аналогові входи/виходи на борту.
- Робота за заздалегідь обговореними сценаріями при підмиканні до контролера USB-накопичувачів або ведення архіву роботи обладнання.
- Просте й зручне програмування в системі CODESYS V. 2 через порти USB Device, Ethernet, RS-232 Debug.
- Передача даних на верхній рівень через Ethernet або GSM-мережі (GPRS).
 - 3 послідовних порти RS-232, RS-485): збільшення кількості входів-виходів; керування частотними перетворювачами; під'єднання панелей операторів, GSM-модемів, зчитувачів штрих-кодів тощо.
- Живлення: 220 В і 24 В.

Електричні параметри:

- Два варіанти живлення для контролера:

- змінний струм: (90-265), (47 ... 63) Гц;
- постійний струм: (18-29)В.
- Невелика споживана потужність до 10Вт.
- Дискретні входи -16
- Дискретні виходи -12
- Аналогові входи - 8
- Аналогові виходи - 4
- Усі дискретні входи контролера вимірюють сигнал 24В.
- Тип сигналу може бути п-р-п, так і р-п-р.
- Дискретні виходи типу: Р – реле.
- Межа основної похибки 0,25%
- Високопродуктивний процесор RISC архітектури ARM9 з частотою 200МГц компанії Atmel;
- Час циклу за замовчуванням становить 1 мс за 50 логічних операцій, за відсутності мережного обміну.

«Швидкі» аналогові входи для підключення уніфікованих датчиків струму, напруги. Дискретні виходи контролерів даної лінійки можуть бути налаштовані на видачу ШІМ або генератора з високою точністю.

Так як вбудованих аналогових входів / виходів не досить , то існує необхідність використання додаткових модулів введення / виведення аналогових сигналів.

Модуль введення аналогових сигналів ОВЕН МВ 110-8А

Цей прилад перетворює вимірювані аналогових сигналів в цифровий код і передає результати вимірювання в мережу RS-485. Призначається для побудови автоматизованих систем збору даних у різних галузях промисловості, сільського та комунального господарства, на транспорті.

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

Прилад має такі групи гальванічно ізольованих ланцюгів:

ланцюги живлення приладу;

ланцюги інтерфейсу RS-485;

ланцюги вимірювальних входів.

Основні особливості модуля швидкісного введення аналогових сигналів MB110-8AC.

- 8 каналів аналогового введення;
 - Типи вхідних сигналів: уніфіковані сигнали струму (0-20 мА, 4-20 мА, 0-5 мА) та напруги (0-10 В);
 - Частота вимірювань: до 200 вибірок за секунду;
 - Напруга живлення: ~220 В або 24 В (залежно від модифікації);
 - Вбудоване джерело живлення датчиків: 24 В, 180 мА (для модифікації зі змінною напругою живлення);
- Характеристики інтерфейсу RS-232C;
- Швидкість передачі за інтерфейсом: 50-115200 біт/с;
 - Довжина лінії зв'язку: до 15м;
 - Режим: FullDuplex;
 - Підключення: лінії RxD, TxD RTS, CTS, DTR, DSR, GND.



Рисунок 3.18 -Зовнішній вигляд модуля введення ОВЕН MB 110-8А.

Модуль виведення аналогових сигналів ОВЕН МУ110- 8И

Прилад призначений для перетворення цифрових сигналів, які передаються по мережі RS-485, в аналогові сигнали діапазоном від 4 до 20 мА для управління

виконавчими механізмами або для передачі сигналів приладів реєстрації та самописцям.

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

МУ110 не є Майстром мережі, тому мережа RS-485 повинна мати Майстер мережі, априклад, ПК із запущеною на ньому SCADA-системою, контролер або регулятор. Як майстри мережі можуть використовуватися прилади ОВЕН ТРМ151, ТРМ133, контролери ОВЕН ПЛК і т.п. До МУ110 надається безкоштовний OPC-драйвер і бібліотека стандарту WIN DLL, які рекомендується використовувати при підключенні приладу до SCADA-системам і контролерам інших виробників.

Конфігурація 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 поставки.

Прилад відповідає вимогам по стійкості до впливу перешкод відповідно до ГОСТ Р 51522 для обладнання класу А.



Рисунок 3.19 -Зовнішній вигляд модуля виведення аналогових сигналів- - ОВЕН МУ 110-8И.

3.2.8 Вибір перетворювачів

Для сполучення контролера з пневматичними виконавчими механізмами необхідно використовувати перетворювачі електропневматичні наприклад типу ЕПП.

Ці перетворювачі перетворюють уніфікований аналоговий електричний сигнал постійного струму в уніфікований пневматичний аналоговий сигнал. Призначені для управління пневматичними пристроями та механізмами.

Застосовуються в системах автоматизації технологічних процесів у харчовій, легкій, хімічній, нафтопереробній та інших галузях промисловості.

Основні характеристики представлені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Основні характеристики ЕПП.

Діапазон зміни вхідного сигналу постійного струму, мА	Межа допустимої похибки, %	Номінальне значення тиску повітря харчування, кПа	Вихідний сигнал пневматичний аналоговий, кПа	Робоча температура,	маса, кг
0-5; 0-20; 4-20	± 0,5	140	20-100кПа	-50 + 50	1,3



Рисунок 3.20 -Зовнішній вигляд перетворювача ЕП.

3.4 Алгоритм роботи системи

У загальному вигляді система працює за алгоритмом, представленим на рисунку 3.21. На початку роботи встановлюються всі параметри технологічного процесу. Включається живлення системи, після проходить процес перевірки на працездатність всіх пристроїв. Якщо система виявила неполадку, вона видає повідомлення про несправності і чекає на командну дію оператора.

Якщо перевірка пройшла успішно, система виконує ініціалізацію всіх пристроїв і чекатиме команди старту роботи. Після включення живлення система перевіряє працездатність всіх пристроїв і якщо команда «Старт» виконана вдало система запускає підпрограму управління параметрами в підігрівачі лаку.

Підпрограма управління параметрами в підігрівачі лаку виконує перевірку датчиків на працездатність, перевіряє температуру та регулює за допомогою клапану подачі пара високого тиску (поз.1д). Після чого виконується перевірка рівня лаку та регулюється, з допомогою клапану подачі лаку (поз.6д) та клапану зливу лаку (поз.6в) рис.3.22. Після чого виконується вихід з підпрограми і перехід до іншої.

Підпрограма управління параметрами в дисольвері виконує перевірку датчиків на працездатність. Виконується подача розчинника, лаку, пігмента та технічної води. Виконується регулювання температури суміші за допомогою клапана подачі води (поз.2в). Регулюється число обертів мішалки в дисольвері за допомогою керування обертами двигуна М1 рис.3.23. Після чого виконується вихід з підпрограми і перехід до іншої.

Підпрограма управління параметрами в змішувачі 1 виконує перевірку датчиків на працездатність. Виконується подача розчинника, пігментної пасти, кольорової колірочної пасти та пігментної пасти. Виконується перевірка рівня базової емалі та регулюється, з допомогою клапану подачі розчинника (поз.10д) та клапану зливу базової емалі (поз.10г). Виконується регулювання в'язкості базової емалі за допомогою клапана подачі розчинника(поз.10д). Регулюється число обертів мішалки в змішувачі 1 за допомогою керування обертами двигуна М6 рис.3.24. Після чого виконується вихід з підпрограми і перехід до іншої.

Підпрограма управління параметрами в змішувачі 2 виконує перевірку датчиків на працездатність. Виконується подача розчинника, кольорової колірочної пасти та базової емалі. Виконується перевірка рівня ПФ- емалі та регулюється, з

допомогою клапану подачі розчинника (поз.11д) та клапану зливу ПФ-емалі (поз.11г). Виконується регулювання в'язкості емалі за допомогою клапану подачі розчинника(поз.11д). Регулюється число обертів мішалки в змішувачі 2 за допомогою керування обертами двигуна М10 рис.3.25. Після чого виконується вихід з підпрограми.

На при кінці робочого циклу виконується контроль довжини-метражу готової, политої плівки. Після чого виконується вимикання живлення системи кнопкою «Стоп». На наступному етапі вимикаються всі насоси, нагрівачі та двигуни. У на кінець робочого циклу вся інформація про ТП передається на АРМ оператора, де реєструється, архівується та зберігається.

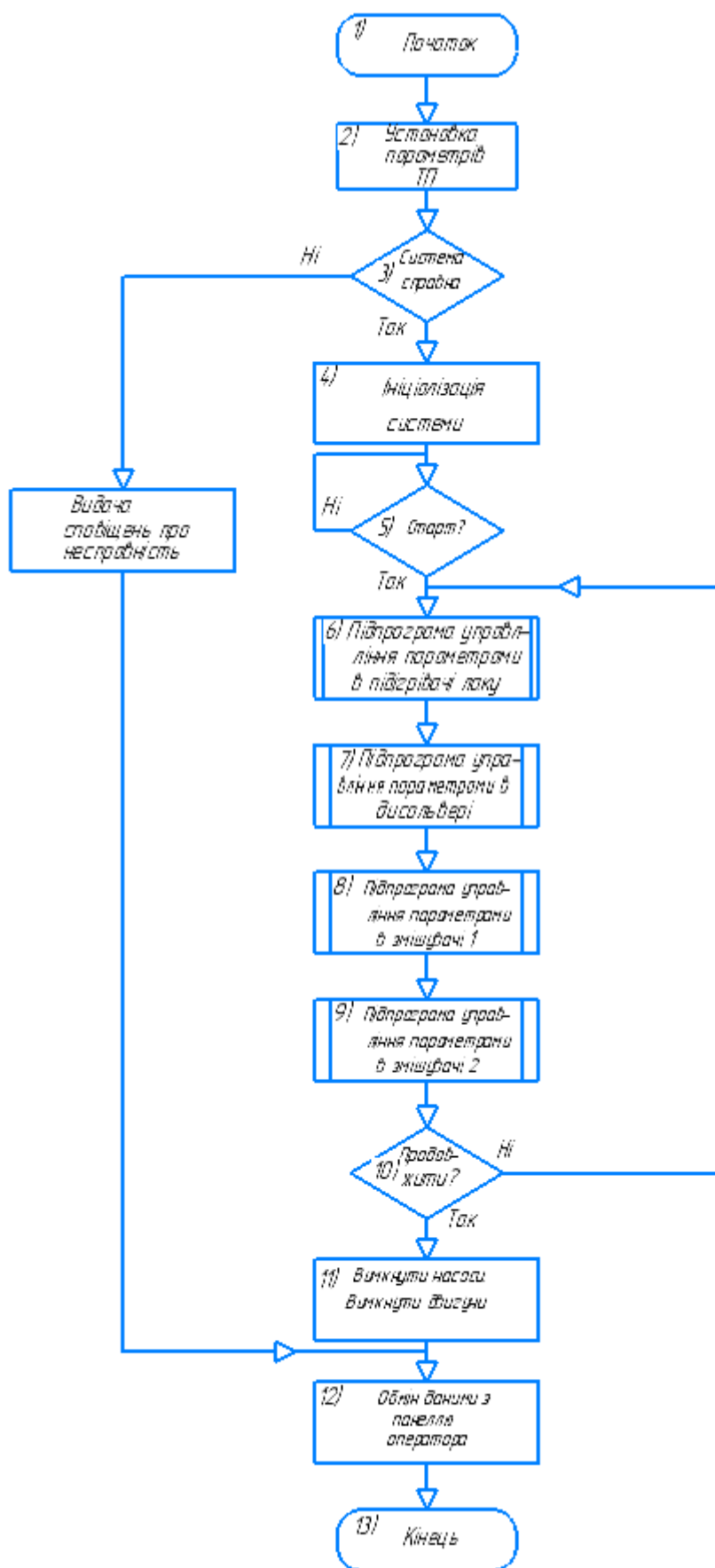


Рисунок 3.21 - Загальний алгоритм роботи системи.

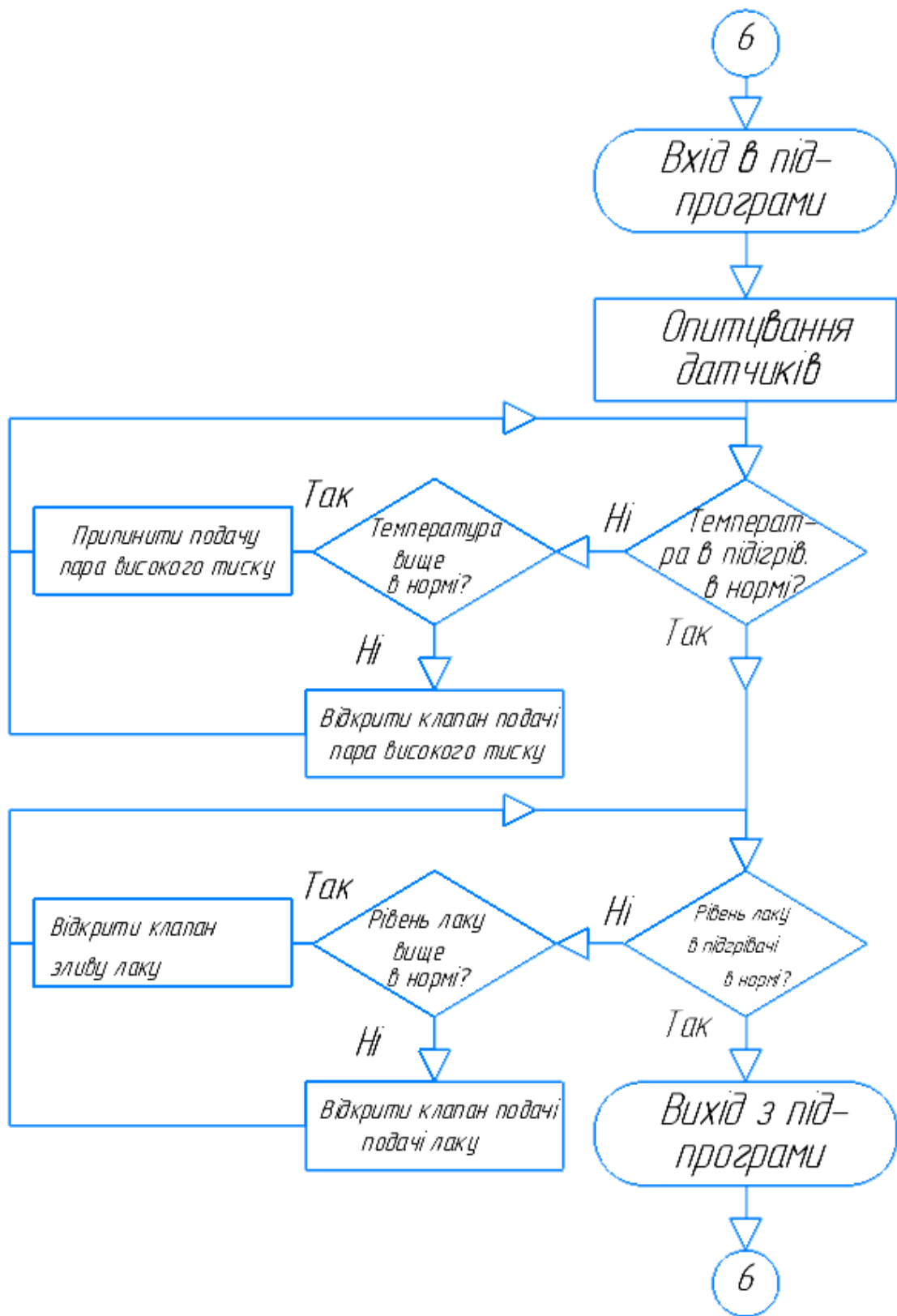


Рисунок 3.22 - Алгоритм роботи підпрограми управління параметрами в підігрівачі лаку.

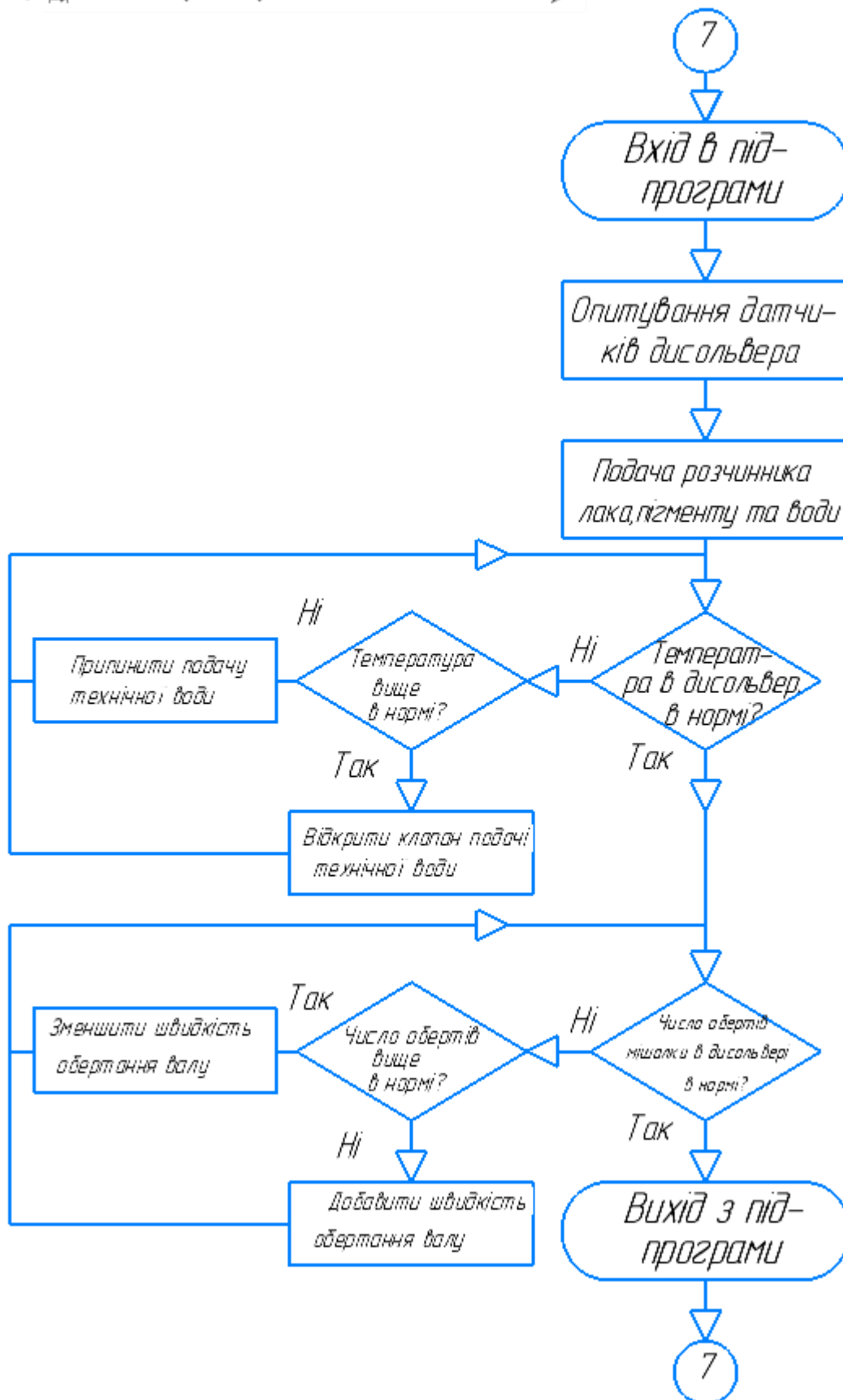


Рисунок 3.23 - Алгоритм роботи підпрограми управління параметрами в дисольвері.

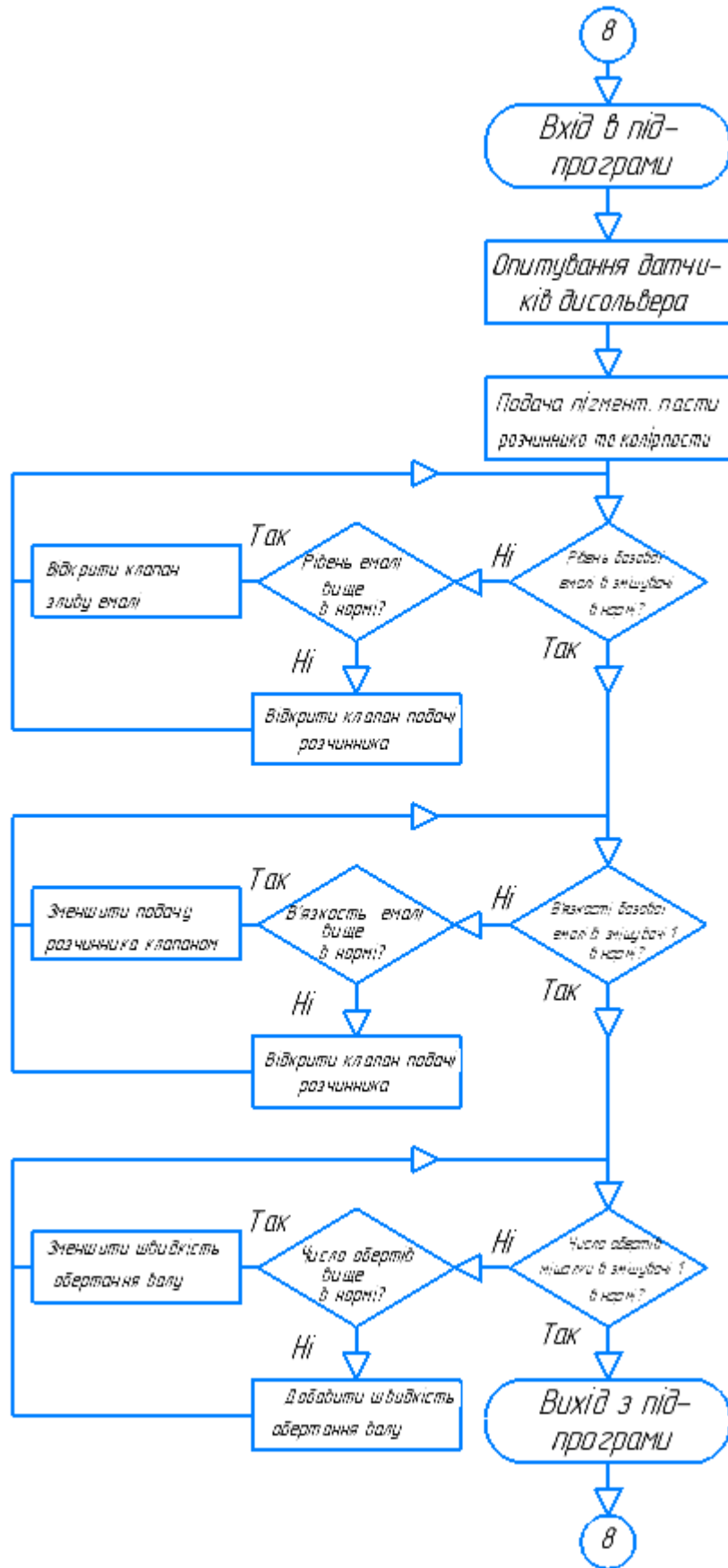


Рисунок 3.24 - Алгоритм роботи підпрограми управління параметрами в змішувачі 1.

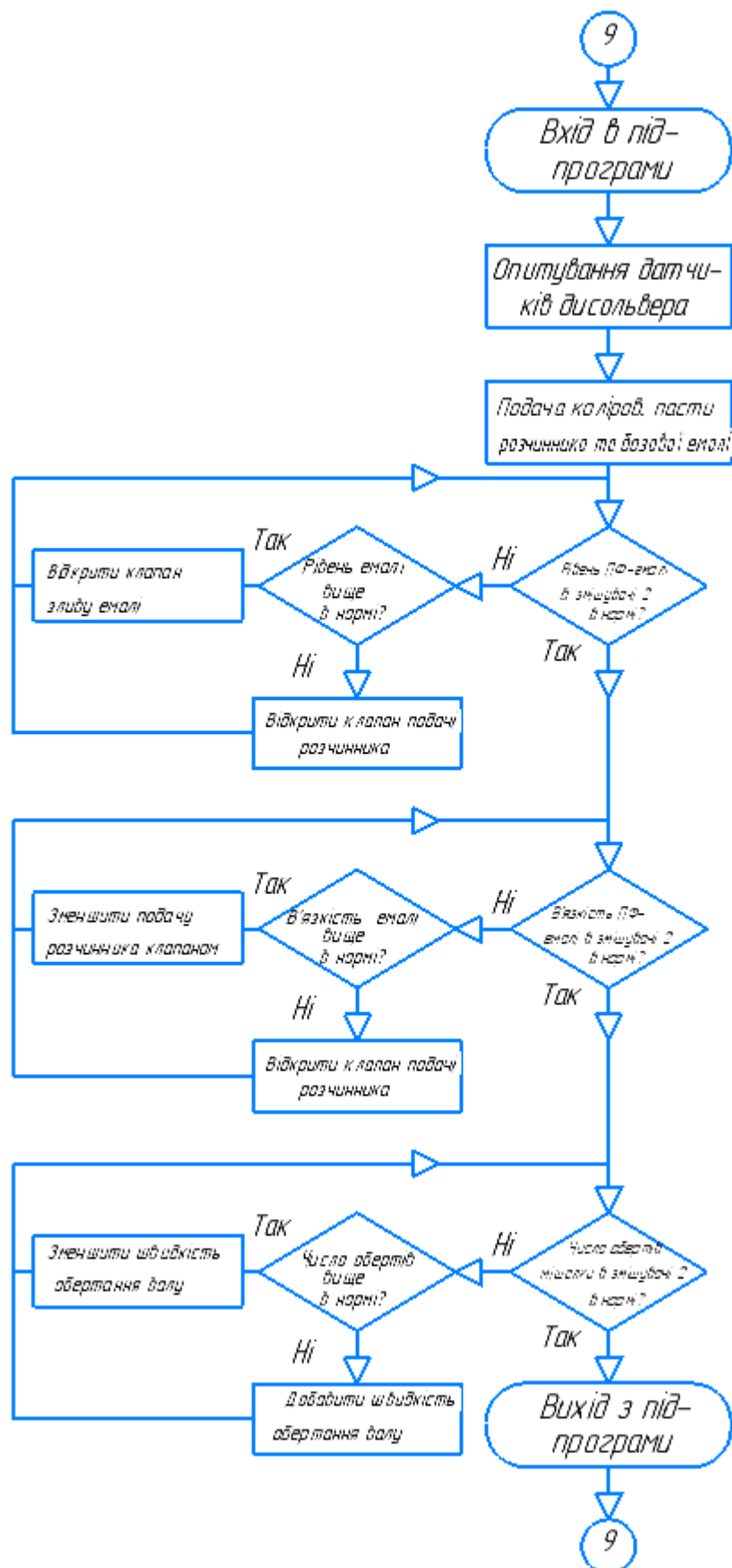


Рисунок 3.25 - Алгоритм роботи підпрограми управління параметрами в змішувачі 2.

4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок та вибір регулятора для підігрівача лаку.

Крива розгону знімається з об'єкт, шляхом подачі на нього, ступінчастого збурення та шляхом енергійної зміни ступеня відкриття прохідного перерізу регулюючого органу. Величину знімають на момент внесення збурення. Зміну вихідної величини температури реєструють доти, поки об'єкт не прийме нового значення (об'єкт стійкий) або поки швидкість зміни вихідної величини не стане постійною (об'єкт нейтральний).

Для розрахунку виберемо контур контролю, сигналізації та керування температури в підігрівачі лаку рис.4.1.

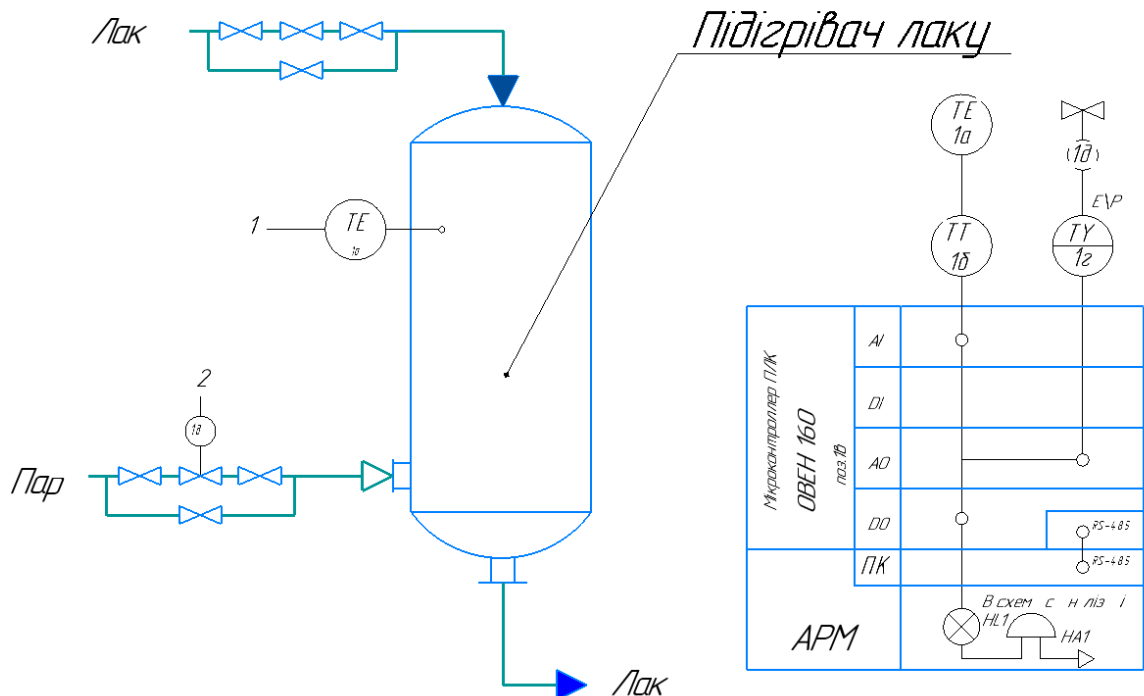


Рисунок 4.1 -Контур контролю, сигналізації та керування температури в підігрівачі лаку.

Підігрівач це - закрыта ємність, який містить в верхній частині люк, в який подається лак. Підігрів лаку та підтримка температури в ємності здійснюються паром високого тиску, який поступає в корпус-«сорочку» нагрівача. Температура в ємності повинна бути в межах від 55-60 °С. Точність керування $\pm 2^{\circ}\text{C}$ Математичний опис об'єкта управління представлено в вигляді кривої розгону рис.4.2.

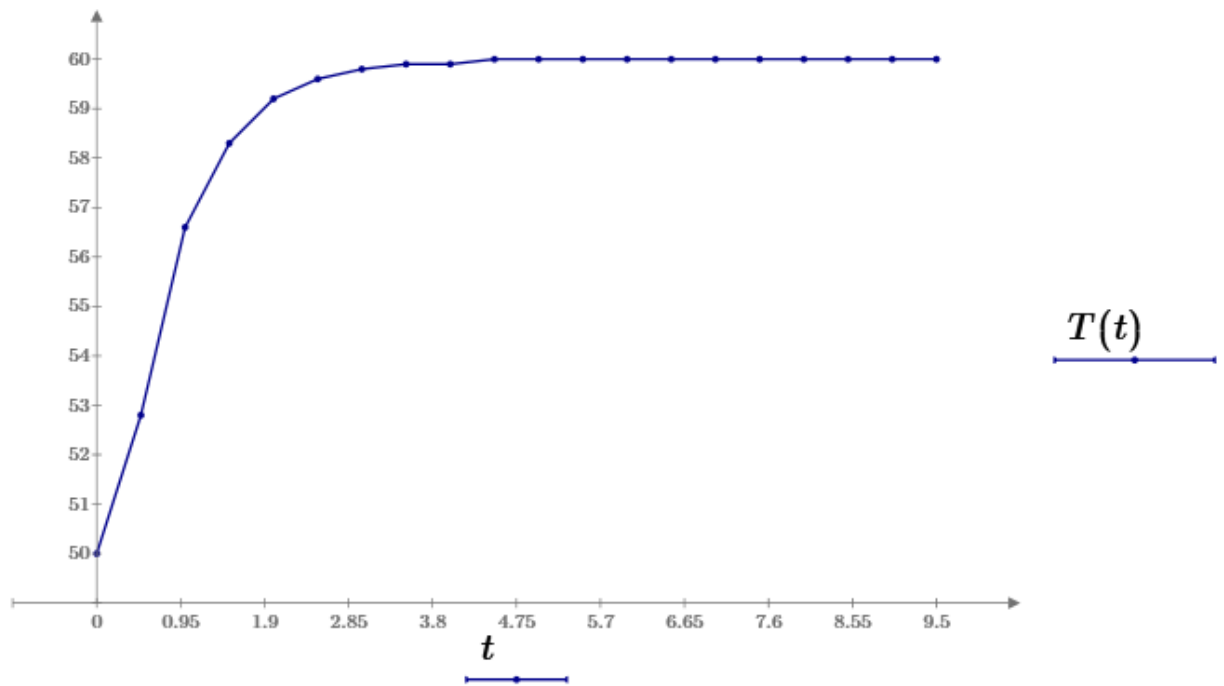


Рисунок 4.2 – Крива розгону об’єкта управління.

Криві розгону визначають на об’єкті, який працює (тобто знаходиться в промисловій експлуатації), змінюючи його вхідну величину на кілька відсотків. Криву розгону було знято при зміні керуючого впливу, витрати повітря від номінального $Y_n = 0$ до значення умовно прийнятого за $Y_{уст} = 1$.

Виконуємо нормування даної кривої розгону. Для цього від кожного значення вихідної величини віднімаємо $T(0) = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ і ділимо на 10. Значення нормованої кривої розгону наведено у таблиці 4.1

Таблиця 4.1- Значення нормованої кривої розгону.

t, с	0	0,5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Y	0	0,28	0,66	0.83	0,92	0,96	0,98	0,99	0,99	1	1	1	1	1
t, с	7,0	7,5	8,0	8,5	9	9,5								
Y	1	1	1	1	1	1								

Для визначення математичної моделі об’єкта управління використаємо дані в вигляді перехідної характеристики рис 4.3.

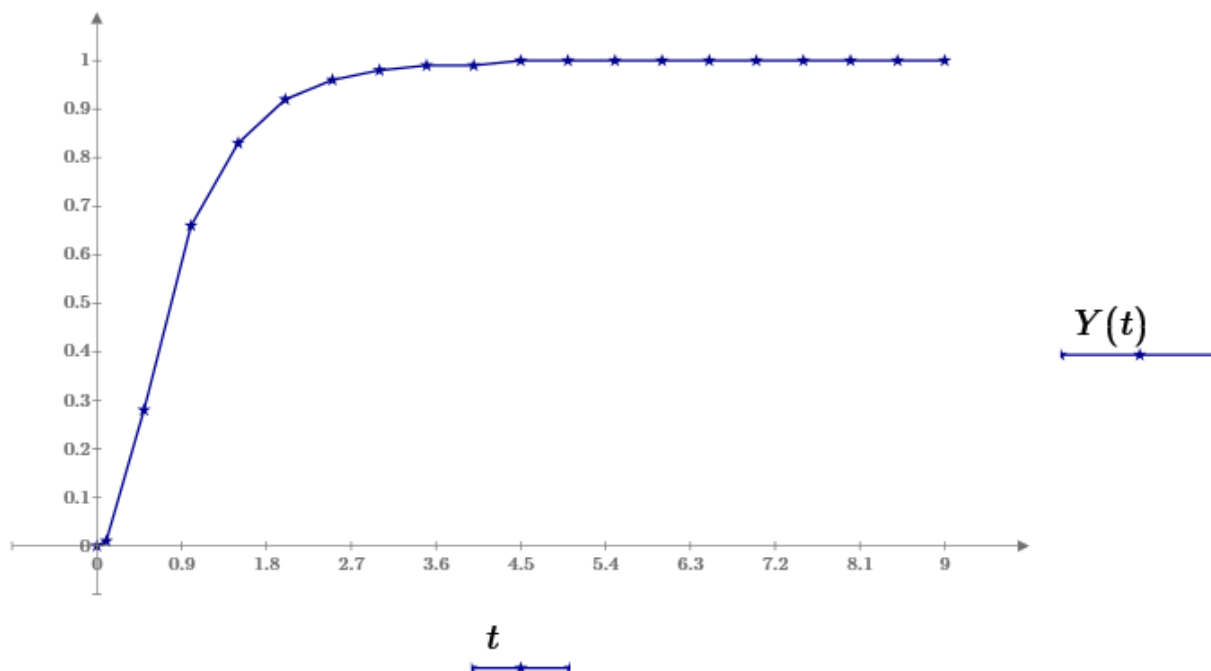


Рисунок 4.3 – Нормована перехідна характеристика системи.

З рисунка видно, що:

$X = 1$ - вхідний вплив;

$Y_{уст} = 1$ - значення, що встановилося;

$Y_{max} = 1$

Динамічний коефіцієнт посилення:

$$k_y = \frac{Y_{уст}}{Y_{max}} = 1 \quad (1)$$

Коефіцієнт передачі k_p визначається відношенням вихідного та вхідного сигналу в установлених режимі $k = \frac{Y_{уст}}{x}$ або по статичній характеристиці $k = \frac{\Delta x}{\Delta y}$,

$$k = \frac{1}{1} = 1 \quad (2)$$

Визначаємо транспортне запізнення за перехідною характеристикою: $\tau_z = 0.1$ с.

Постійну часу T можна обчислюється методом 2-х точок рис.4.4.

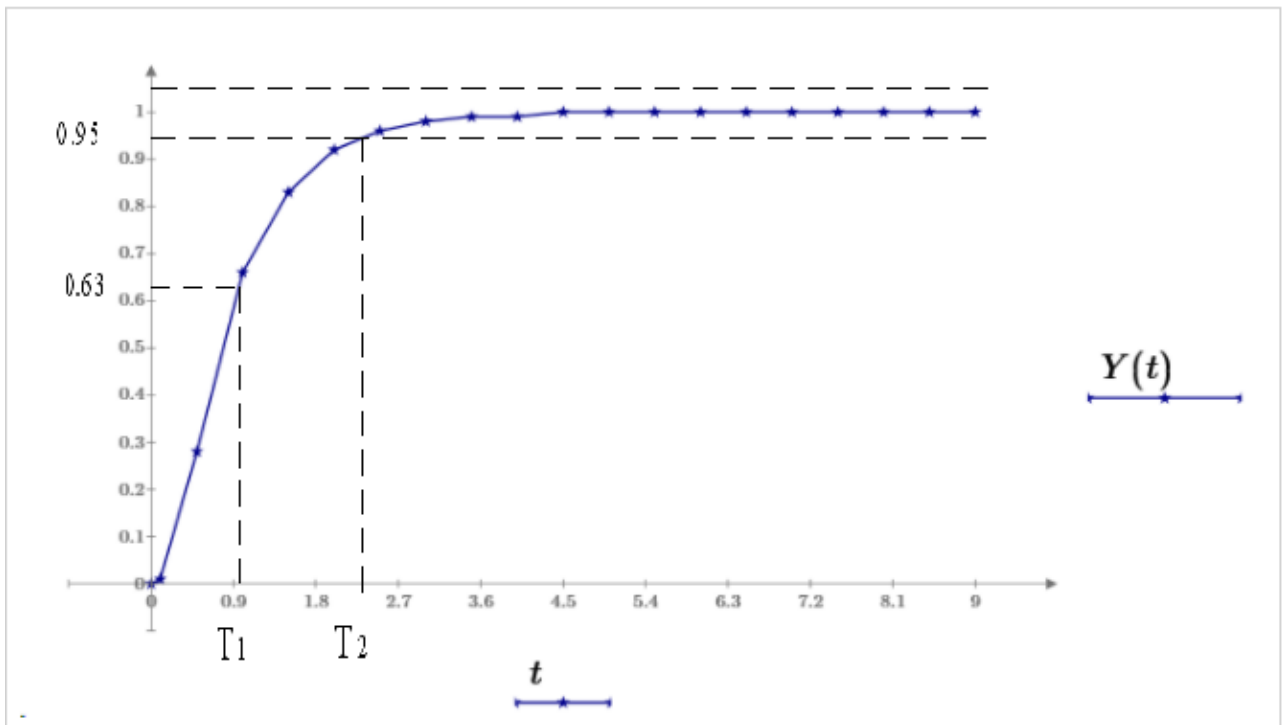


Рисунок 4.4 – Визначення постійної часу на нормовані перехідній характеристиці.

При визначенні постійної часу необхідно визначити її значення її, проводячи дотичні до точок $Y_1(t)=0.63 \cdot Y_{уст}=0,63$ та $Y_2(t)=0.95 \cdot Y_{уст}=0.95$.

$$T_1 = 0.96c$$

$$T_2 = 2.5c$$

Знаходимо значення постійної часу:

$$T_p = \frac{1}{2} \times \left(T_1 + \frac{1}{3} \times T_2 \right) = \frac{1}{2} \left(0.96 + \frac{2.5}{3} \right) = 0.9c \quad (3)$$

Виберемо закон регулювання та тип регулятора виходячи з величини відношення транспортного запізнення τ_z до величини постійної часу об'єкта T_p із таблиці регуляторів таблиця 4.2.

$$tp = \frac{\tau_z}{T_p} = \frac{0.1}{0.9} = 0.11 \quad (4)$$

Мінімально можливий час регулювання $\frac{\tau_z}{T_{cp}}$ для різних законів регулювання та типів регуляторів при оптимальному їх налаштуванні визначається таблицею 4.2.

Таблиця 4.2 - Різні види регулювання та типів регуляторів.

Співвідношення τ / T_p	Характеристика об'єкта		Закон регулювання та тип регулятора
	По запізненню та інерційності	За рівнем регулюваності	
$0 < \tau / T_p < 0$	Без запізнення	Дуже добре регульований	Релейний, безперервний П-, ПІ-, ПД-, ПІД- регулятор
$0.05 < \tau / T_p < 0.1$	З великою інерційністю та з малим запізненням	Дуже добре регульований	Релейний, безперервний П-, ПІ-, ПД-, ПІД- регулятор
$0.1 < \tau / T_p < 0.2$	З істотним транспортним запізненням	Добре регульований	Релейний, безперервний П - , ПІ -, ПД-, ПІД - регулятор
$0.2 < \tau / T_p < 0.4$	З істотним транспортним запізненням	Ще регульований	Безперервний або цифровий П-, ПД-, ПІ-, ПІД - регулятор
$0.4 < \tau / T_p < 0.8$	З істотним транспортним запізненням	Важкорегульований	Безперервний або цифровий П-, ПД-, ПІ-, ПІД - регулятор
$0.8 < \tau / T_p < 1$	З великим транспортним запізненням	Дуже важко регульований	Безперервний або цифровий ПД-, ПІ- , ПІД - регулятор
$\tau / T_p > 1$	З великим транспортним запізненням	Дуже важко регульований	Цифровий регулятор із попередником. Безперервний або цифровий П -, ПІ -, ПІД - регулятор

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

Оскільки $\frac{\tau_z}{T_{cp}} = 0.11$ значить підходять релейний, безперервний закон

регулювання, П-, ПІ-, ПІД-регулятори, з великою інерційністю та малим запізненням.

Процес регулювання $\leq 20\%$ - перерегулювання, через те, що $\sigma = 0$.

$$\sigma_{II} = \frac{Y_{max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} \cdot 100\% = 0 \quad (5)$$

Передаточна функція розімкнутої системи без регулятора взята з розгінної характеристики і рис 4.3:

$$Wp(p) = \frac{kp \cdot e^{-\tau z \cdot p}}{(Tp \cdot z + 1)} \quad (6)$$

$$Wp(p) = \frac{1 \cdot e^{-0.1 \cdot p}}{0.9 \cdot p + 1}$$

4.2 Перевірка адекватності моделі об'єкта управління

Зробимо перевірку адекватності отриманої моделі, для цього застосуємо один з статистичних критеріїв. Дуже поширений метод, це - метод Фішера бо він дозволяє переконатися в правильності отриманої моделі з великою ймовірністю (близько 95%). Для цього виберемо 15 рівномірно розподілених точок на кривій розгону, яка була отримана експериментально рис. 4.3 і 15 точок, при тих же показниках часу, на перехідній характеристиці об'єкта управління рис.4.5. Значення в зазначених вище точках ми заносимо до таблиці 4.3.

Перехідна характеристика була отримана в результаті розрахунків та моделювання математичного пакета MathCad представлена на рис. 4.13. Дані цієї перехідної характеристики представлені в вигляді масиву і занесені до таблиці 4.3. Ми отримали модель першого порядку. Передаточна функція цього об'єкта управління має вигляд:

$$W(s) = \frac{kp \cdot e^{-\tau z \cdot s}}{(T \cdot s + 1)} \quad (7)$$

$$W(s) = \frac{1 \cdot e^{-0.1 \cdot s}}{0.9 \cdot s + 1}$$

Отримаємо перехідну характеристику об'єкта управління рис.4.5 і порівняємо її з вихідною кривою розгону рис 4.3. Виконаємо ряд обчислень:

$$Y(s) = \frac{W(s)}{s} = \frac{1 \cdot e^{-0.1 \cdot s}}{0.9 \cdot s^2 + s} \quad (8)$$

$$h(t) = 10 - 1 \cdot e^{-2.1t}$$

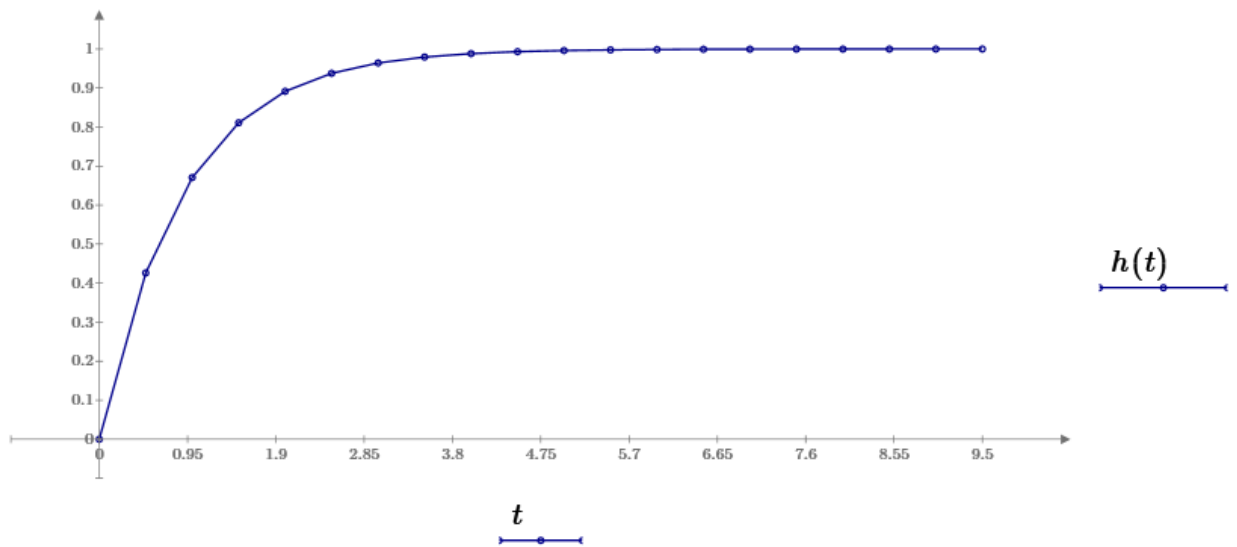


Рисунок 4.5 – Перехідна характеристика об’єкта управління.

Записуємо дані кривій розгону до масиву Y1, а дані перехідної характеристики до Y2, в аналогічних часових точках масиву n.

Таблиця 4.3 - Значення, отримані з перехідних характеристик.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Y1	0	0,28	0,66	0,83	0,92	0,96	0,98	0,99	0,99	1	1	1	1	1	1
Y2	0	0,55	0,8	0,9	0,96	0,98	0,991	0,996	0,998	0,999	1	1	1	1	1

Проведемо перевірку моделі на адекватність за критерієм Фішера.

Математичне очікування перехідної характеристики:

$$\begin{aligned} \bar{y}_p &= \frac{\sum y_i}{n} \\ &= \frac{0 + 0,55 + 0,8 + 0,9 + 0,96 + 0,98 + 0,991 + 0,996 + 0,998 + 0,999 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1}{15} \\ &= \frac{14,17}{15} = 0,95 \end{aligned}$$

Дисперсія передавальної характеристики:

$$\begin{aligned}
S_p &= \frac{\sum(\bar{y}_p - y_i)^2}{n - 1} = \\
&= \frac{(0.95 - 0)^2 + (0.95 - 0.55)^2 + (0.95 - 0.8)^2 + (0.95 - 0.9)^2 + (0.95 - 0.96)^2}{15} \\
&\quad + \frac{(0.95 - 0.98)^2 + (0.95 - 0.991)^2 + (0.95 - 0.996)^2 + (0.95 - 0.998)^2}{15} \\
&\quad + \frac{(0.95 - 0.999)^2 + (0.95 - 1)^2 + (0.95 - 1)^2 + (0.95 - 1)^2 + (0.95 - 1)^2 + (0.95 - 1)^2}{15} \\
&= 0.079
\end{aligned}$$

Математичне очікування розгінної характеристики:

$$\begin{aligned}
\bar{y}_n &= \frac{\sum y_i}{n} \\
&= \frac{0 + 0.28 + 0.66 + 0.83 + 0.92 + 0.92 + 0.96 + 0.98 + 0.99 + 0.99 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1}{15} \\
&= 0.91
\end{aligned}$$

Дисперсія розгонної характеристики:

$$\begin{aligned}
S_n &= \frac{\sum(\bar{y}_n - y_i)^2}{n - 1} \\
&= \frac{(0.91 - 0)^2 + (0.91 - 0.28)^2 + (0.91 - 0.66)^2 + (0.91 - 0.83)^2 + (0.91 - 0.92)^2}{15} \\
&\quad + \frac{(0.91 - 0.96)^2 + (0.91 - 0.98)^2 + (0.91 - 0.99)^2 + (0.91 - 0.99)^2 + (0.91 - 1)^2}{15} \\
&\quad + \frac{(0.91 - 1)^2 + (0.91 - 1)^2 + (0.91 - 1)^2 + (0.91 - 1)^2 + (0.91 - 1)^2}{15} \\
&= 0.098
\end{aligned}$$

Визначимо критерій Фішера:

$$F = \frac{S_n}{S_p} = \frac{0.098}{0.079} = 1,235$$

За таблицею критерію Фішера для $n-1=14: F_{14} = 2.4$. Оскільки F розрахунковий менше F табличного, то модель є адекватною з ймовірністю 95%.

4.3 Вибір регулятора і розрахунок його параметрів

На рис. 4.6 зображена структурна схема системи управління, яка складається з: об'єкта управління (ОУ); сигналу завдання (X_3); сигнал розузгодженості ($\varepsilon(t)$); сигналу управління ($U(t)$); збурення ($f(t)$); вихідного сигналу ($x(t)$), регулятор (Р).

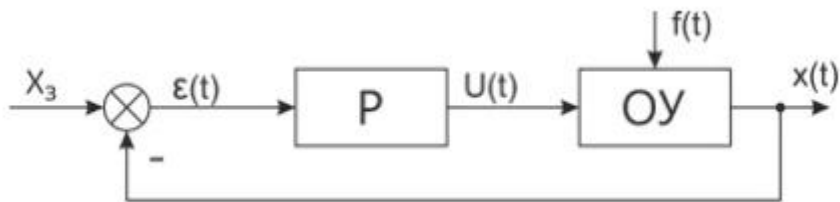


Рисунок 4.6 – Структурна схема системи управління.

Целью всякого управління являється досягнення жаданого поведіння об'єкта управління. При этом в качестве критериев оценки поведіння об'єкта могут выступать: величина перерегулирования, время управления, колебательность процесса и т.д. По своему исполнению ОУ обычно конструктивно неизменяем. Следовательно, неизменяемы и его динамические характеристики. Поэтому достичь жаданого поведіння об'єкта управления можно, лишь конструируя новый об'єкт, в состав которого входит исходный ОУ и регулятор. В этом состоит смысл построения системы управления. Решение этой задачи достигается за счет выбора надлежащего регулятора. [6-7].

Оскільки модель 1-го порядку отримувати будемо характеристики об'єкта управління з ПІ та ПІД-регулятором.

4.4 Отримання передавальної функції системи з ПІ-регулятором.

Розрахуємо налаштування регулятора. Для цього врахуємо всі властивості та характеристики об'єкта управління (ОУ), обраної структури САР та закону регулювання. Ці налаштування мають забезпечити оптимальний та якісний, перебіг перехідного процесу в системі.

Об'єкт управління має такі параметри:

При виборі значень, за експериментальними даними коефіцієнти ПІ-регулятора приймаються розраховані вище наступні коефіцієнти: $k_p = 1$ та постійну часу $T_p = 0,9$ сек.

Передавальна функція ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_{PI}(p) = k_p + \frac{1}{T_p \cdot p} = 1 + \frac{1}{0,9 \cdot p} \quad (9)$$

$$W_{\text{ПІ}}(p) = \frac{0.9p + 1}{0.9p}$$

Знайдемо передавальну функцію розімкнутої системи:

$$W_{\text{раз_ПІ}}(p) = W_{\text{ПІ}}(p) \cdot W_p(p) \quad (10)$$

$$W_{\text{роз_ПІ}}(p) = \frac{0.9p + 1}{0.9 \cdot p} \cdot \frac{e^{-0.1 \cdot p}}{0.9 \cdot p + 1} = \frac{(0.9p + 1) \cdot e^{-0.1 \cdot p}}{0.81p^2 + 0.9p}$$

За допомогою програми Matlab Simulink створимо структурну схему розімкнутої системи з ПІ-регулятором рис.4.7.

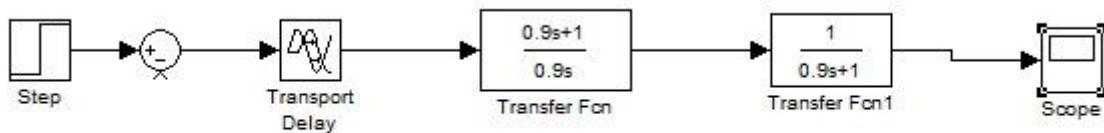


Рисунок 4.7 - Структурна схема розімкнутої системи з ПІ-регулятором .

Передавальна функція замкнутої системи ПІ регулятора:

$$W_{3-\text{ПІ}}(p) = \frac{W_{\text{роз_ПІ}}(p)}{1 + W_{\text{роз_ПІ}}(p)} \quad (11)$$

Зробимо ряд перетворень та отримаємо передавальну функцію:

$$\begin{aligned} W_{3-\text{ПІ}}(p) &= \frac{W_{\text{раз_ПІ}}(p)}{1 + W_{\text{раз_ПІ}}(p)} = \frac{\frac{(0.9p + 1) \cdot e^{-0.1 \cdot p}}{0.81p^2 + 0.9p}}{1 + \frac{(0.9p + 1) \cdot e^{-0.1 \cdot p}}{0.81p^2 + 0.9p}} = \frac{\frac{(0.9p + 1) \cdot e^{-0.1 \cdot p}}{0.81p^2 + 0.9p}}{\frac{e^{-0.1 \cdot p} \cdot (0.9p + 1) + 0.81p^2 + 0.9p}{0.81p^2 + 0.9p}} = \\ &= \frac{(0.9p + 1) \cdot e^{-0.1 \cdot p}}{0.81p^2 + 0.9p} \cdot \frac{0.81p^2 + 0.9p}{e^{-0.1 \cdot p} \cdot (0.9p + 1) + 0.81p^2 + 0.9p} = \\ &= \frac{(0.9p + 1) \cdot e^{-0.1 \cdot p}}{e^{-0.1 \cdot p} \cdot (0.9p + 1) + 0.81p^2 + 0.9p} \end{aligned}$$

За допомогою програми Matlab Simulink створимо структурну схему замкнутої системи з ПІ-регулятором рис.4.8.

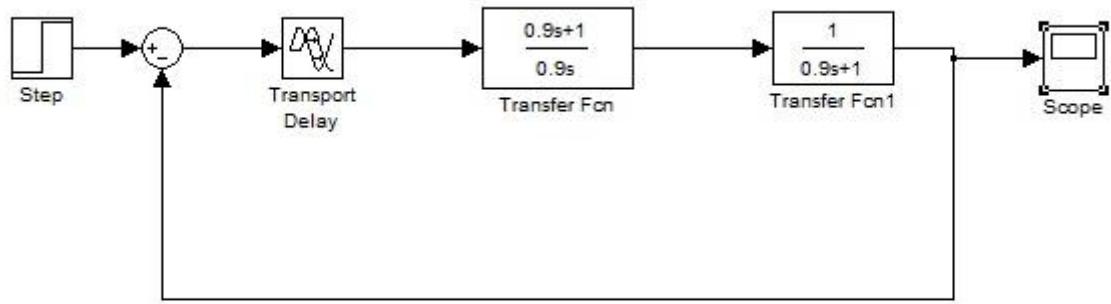


Рисунок 4.8 – структурна схема замкнутої системи з ПІ-регулятором .

За допомогою програми Matlab Simulink побудували перехідну функцію системи з використанням ПІ-регулятора рисунок 4.9.

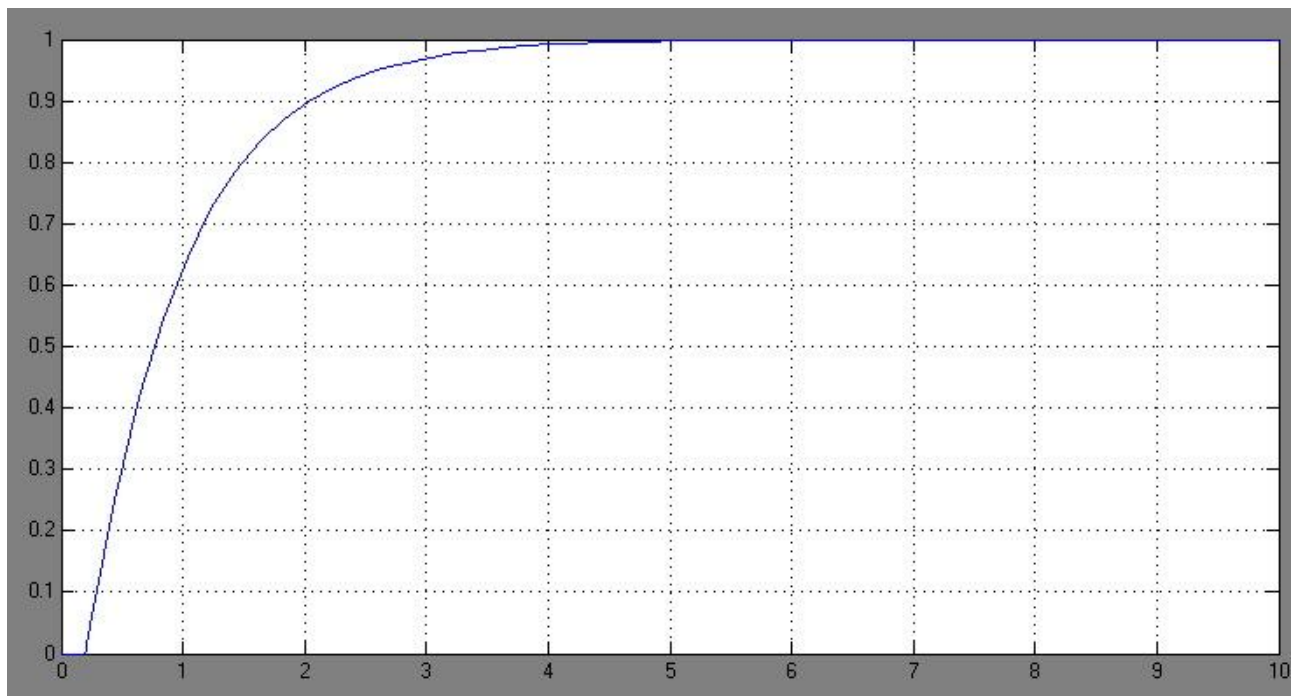


Рисунок 4.9 Перехідна характеристика об'єкта управління із ПІ-регулятором.
Для ПІ-регулятора рис. 4.9:

- Значення, що встановилося: 1;
- Час регулювання t_p знайдемо за допомогою формул 3 та 4, проаналізувавши перехідну характеристику рис.4.9 та визначивши постійні часу. В результаті отримуємо:

$$t_p = 0.7 \text{ сек};$$

- Перерегулювання:

$$\sigma_{\text{ПІ}} = \frac{Y_{\text{max}} - Y_{\text{уст}}}{Y_{\text{уст}}} \cdot 100\% = 0 \quad (11)$$

4.5 Отримання передавальної функції системи з ПІД-регулятором.

Найбільш поширеним регулятором, що застосовується в системах управління динамічними об'єктами, є ПІД-регулятор та його модифікації.

Аналоговий ПІД-регулятор має передавальну функцію виду:

$$W_{\text{ПІД}}(p) = K_p + \frac{1}{T_i p} + T_d p \quad (12)$$

Розраховуємо необхідні величини за формулами:

де K_p - коефіцієнт передачі,

$$K_p = \frac{1.2}{k_p \cdot \frac{\tau_z}{T_p}} = \frac{1.2}{0.11} = 10.9 \quad (13)$$

T_i - постійна часу інтегрування,

$$T_i = 2 \cdot \tau_z = 0.2 \quad (14)$$

T_d - Постійна часу диференціювання.

$$T_d = 0.4 \cdot \tau_z = 0.04 \quad (15)$$

$$W_{\text{ПІД}}(p) = 10.9 + \frac{1}{0.2p} + 0.04p$$

Знайдемо передавальну функцію розімкнутої системи та зобразимо її структурну схему рис.4.10:

$$W_{\text{роз_ПІД}}(p) = W_{\text{ПІД}}(p) \cdot W(p) \quad (16)$$

Зробимо ряд перетворень та отримаємо передавальну функцію у зручній формі:

$$\begin{aligned} W_{\text{роз_ПІД}}(p) &= 10.9 + \frac{1}{0.2p} + 0.04p \cdot \frac{e^{-0.1p}}{0.9 \cdot p + 1} = \\ &= \frac{0.008p^2 + 2.2p}{0.2p} \cdot \frac{e^{-0.1p}}{0.9 \cdot p + 1} \end{aligned}$$

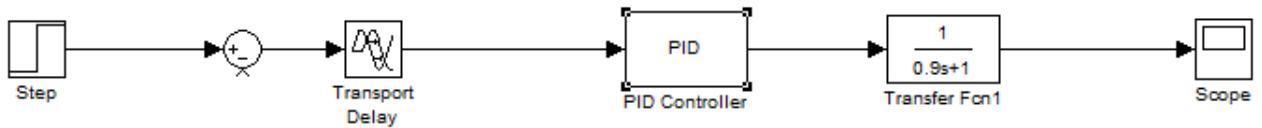
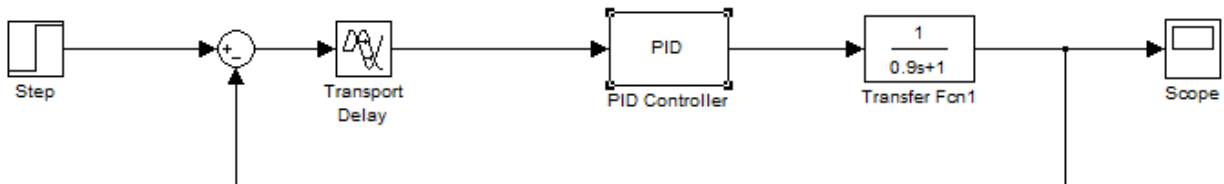


Рисунок 4.10 - структурна схема розімкнутої системи з ПІД-регулятором.

Знайдемо передавальну функцію замкнутої системи ПІД регулятора:

$$W_{з-під}(p) = \frac{W_{роз_під}(p)}{1 + W_{роз_під}(p)} \quad (17)$$

$$W_{з-під}(p) = \frac{W_{разп}(p)}{1 + W_{разп}(p)} = \frac{\frac{0.008p^2 + 2.2p}{0.2p} \cdot \frac{e^{-0.1 \cdot p}}{0.9 \cdot p + 1}}{1 + \frac{0.008p^2 + 2.2p}{0.2p} \cdot \frac{e^{-0.1 \cdot p}}{0.9 \cdot p + 1}}$$



Малюнок 4.11 – структурна схема замкнутої системи з ПІД-регулятором .

За допомогою програм Matlab Simulink побудована перехідна функція системи з використанням ПІД-регулятора рис 4.12.

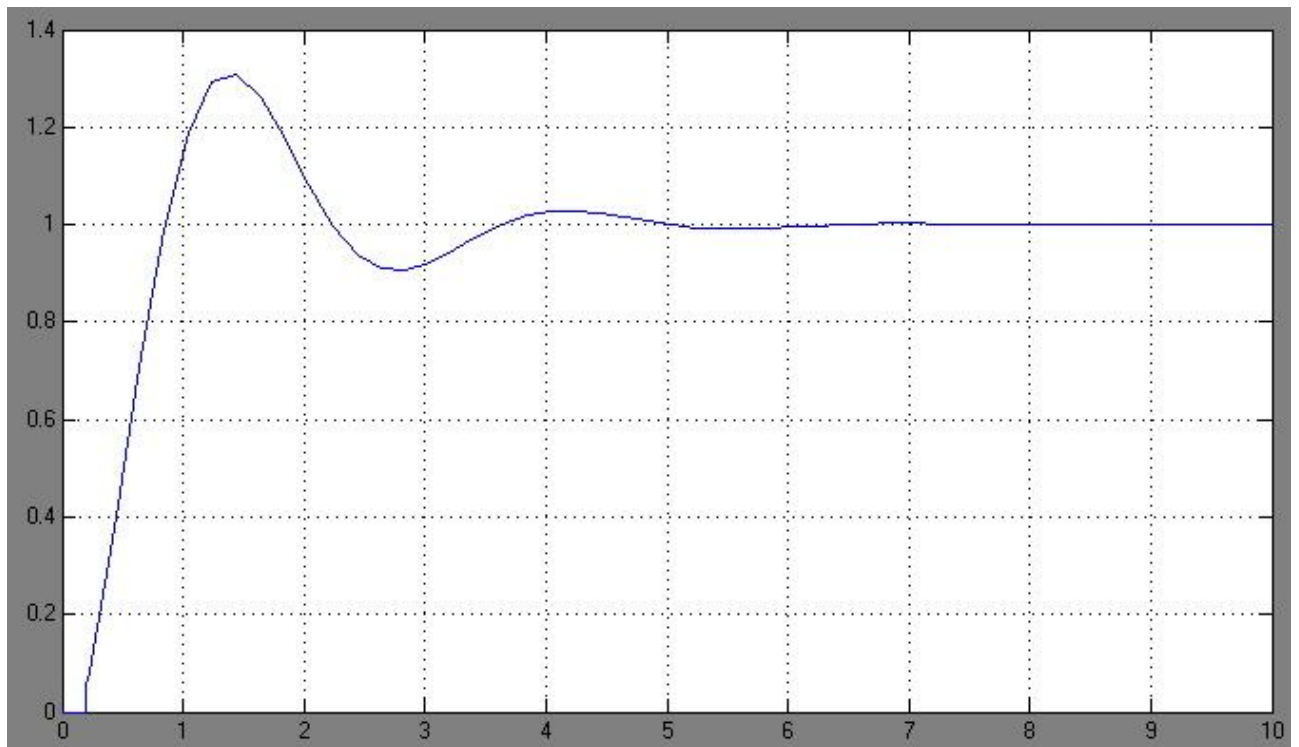


Рисунок 4.12 – Перехідна характеристика об’єкта управління із ПІД-регулятором.

Для ПІД-регулятора (рис. 4.12):

- Значення, що встановилося: 1;

- Час регулювання t_p знайдемо за допомогою формул 3 та 4, проаналізувавши перехідну характеристику рис.4.9 та визначивши постійні часу. В результаті отримуємо:

$t_p = 0.9$ сек;

- Перерегулювання:

$$\sigma_{II} = \frac{Y_{max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1.3 - 1}{1} \cdot 100\% = 30\%$$

Аналізуючи результати розділів 4.2-4.5 можна дійти висновку, що для САР, температури в підігрівачі лаку, слід застосувати регулятор, що виконує ПІ-закон регулювання. Бо цей і закон регулювання мають більш оптимальні результати, а саме менший час регулювання – 0.08 сек і менше значення перерегулювання – 0%.

4.6 Вибір фільтра.

Структура цифрового фільтра (ЦФ), який ефективно видаляє різкі коливання сигналу і водночас не впливає на його повільні зміни, завжди є компромісною, тому що частотні діапазони початкового та стороннього сигналів зазвичай перетинаються.

Процесом згладжування, як правило називають операцію, під час якої виділяється корисний сигнал вимірювальної інформації. Використовуються декілька алгоритмів згладжування. При згладжуванні даних експерименту проводиться операція усереднення за допомогою інтерполяційних поліномів, що забезпечують отримання уточненого значення за заданим значенням та рядом відомих поблизу значень.

Щоб здійснити згладжування сигналу використовуються цифрові фільтри ЦФ, вони мають ряд відмінностей та різняться методикою операції усереднення та шириною вікна згладжування.

Є два найважливіших типи згладжування:

- ковзне усереднення;
- експоненціальне згладжування,

Ці типи згладжування використовуються в промисловості, майже завжди базуються на одному з цих простих ФНЧ.

Для нашої системи беремо експоненційний фільтр.

У безперервному варіанті експоненційний фільтр є елементарно реалізованою одноємнісною ланкою з передавальною функцією виду:

$$W_{\gamma_0} = \frac{\gamma}{\gamma + S} \quad (18)$$

де γ – коефіцієнт експонентного згладжування (параметр налаштування фільтра), що вибирається з умови мінімізації середньої квадратичної похибки роботи фільтра.

У дискретній формі алгоритм фільтрації за методом експоненційного згладжування являє собою рекурентне співвідношення:

$$\hat{y}(k\Delta t) = y[(k - 1)\Delta t] + \gamma\{x(k\Delta t) - y[(k - 1)\Delta t]\} \quad , \quad (19)$$

де $x(k\Delta t)$ – поточне значення входу,

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

Використання рекурентного співвідношення, незалежно від необхідного інтервалу видачі значення $\hat{y}(k\Delta_t)$, дозволяє зберігати проміжні значення в оперативній пам'яті виділити всього одне слово.

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

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

$$W_{\gamma_0}(s) = \frac{0.2}{0.2 + s}$$

4.6 Моделювання контуру управління

Моделювання проведено у математичному пакеті MATLAB у середовищі Simulink . Отриману функцію передавального регулятора вбудовуємо в схему моделювання. У схемі моделювання є канал, що імітує вплив перешкод. Ці перешкоди надходять на той самий суматор, що і сигнал від датчика параметра об'єкта. Схема моделює роботу контуру управління представлена рис. 4.13.

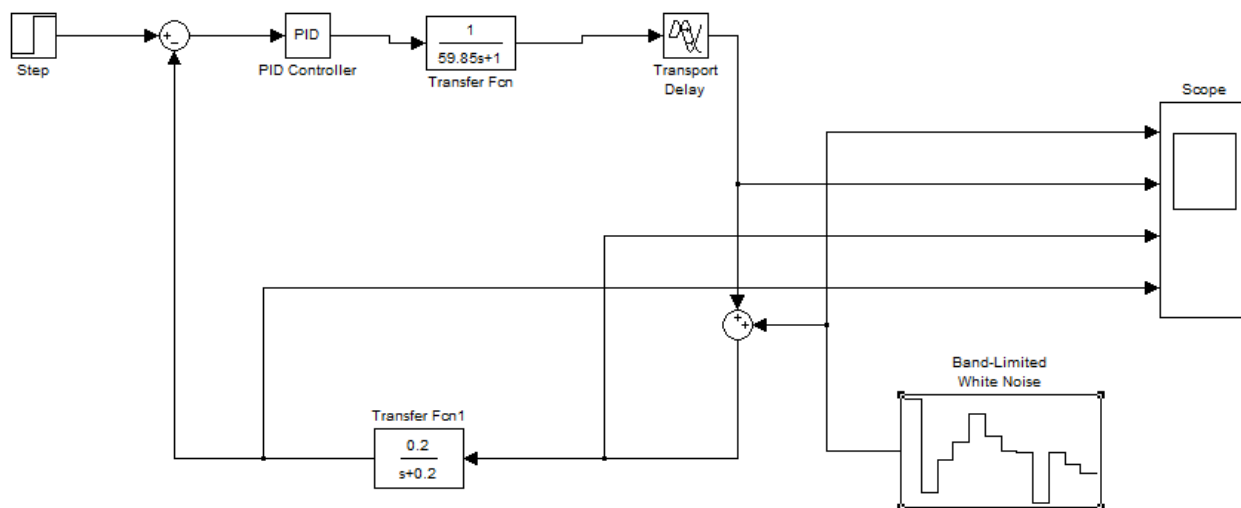
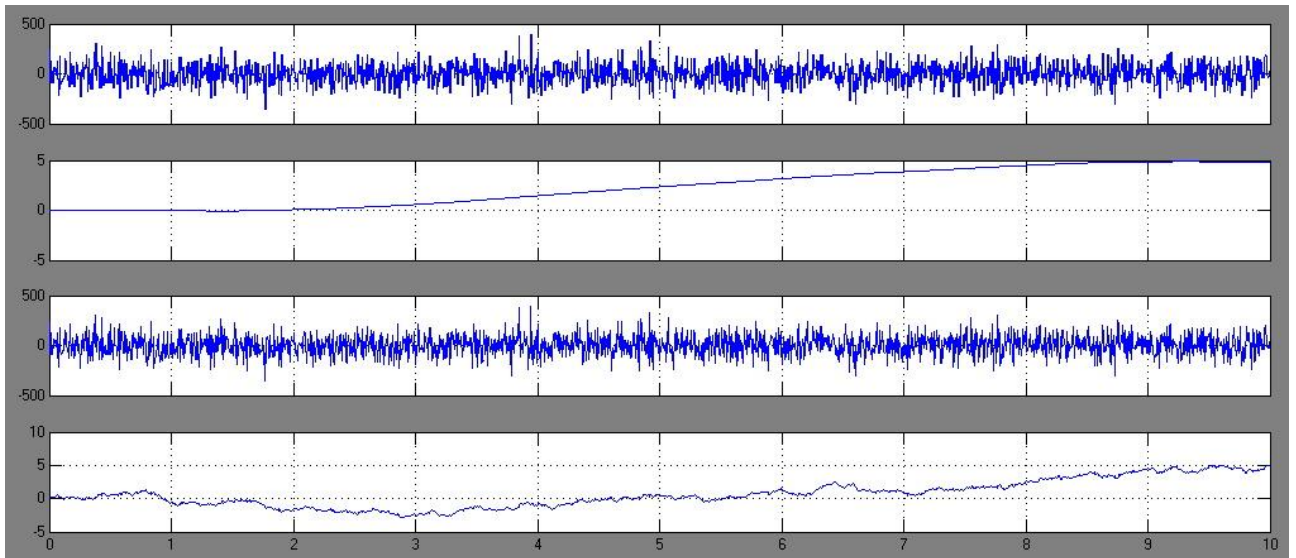


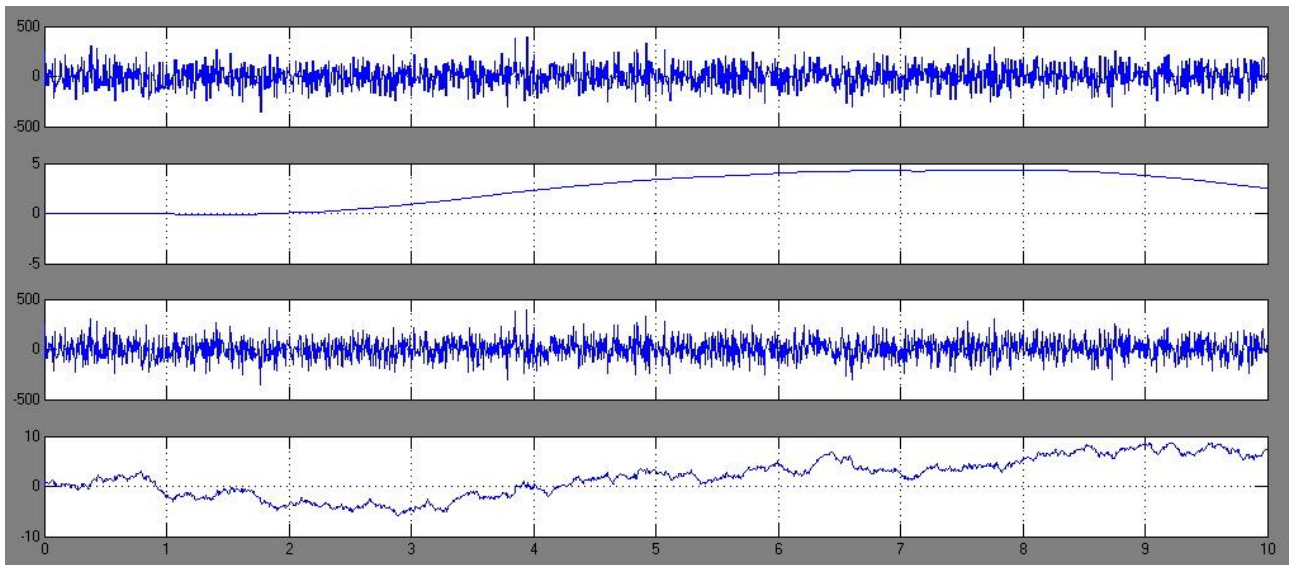
Рисунок 4.13 - Модель контуру керування.

Результати моделювання контуру управління представлені рис.4.14.

а) $\gamma = 0.2$



б) $\gamma = 0.5$



в) $\gamma = 0.8$

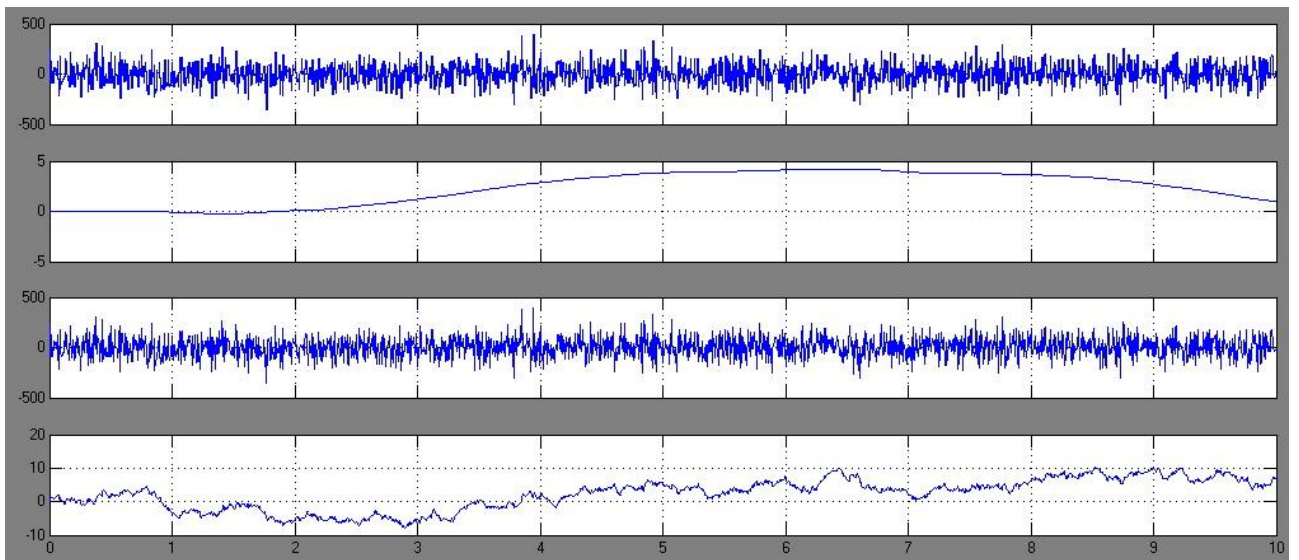


Рисунок 4.14 — Осцилограми збурюючого, зашумленого та відфільтрованого сигналів.

Перехідна характеристика системи після введення контуру фільтра представлена на рис 4.15.

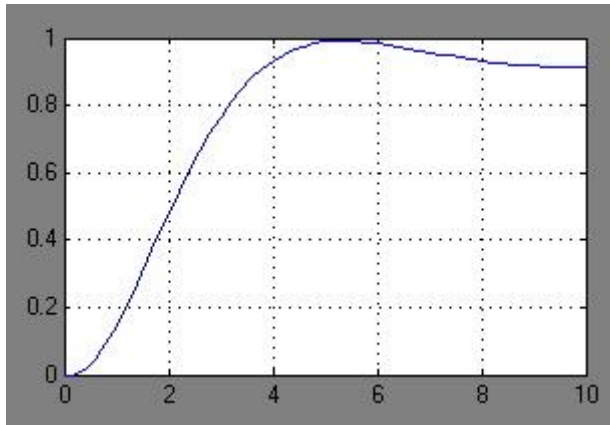


Рисунок 4.15- Перехідна характеристика контуру керування.

Результати характеристик перехідних процесів з фільтром і без фільтру із ПІД-регулятором зведені до таблиці 4.4

Таблиця 4.4- Порівняльна характеристика перехідних процесів.

	σ , %	T, с	τ ,с
Без фільтру	30	0.9	1.2
З фільтром	15	0.4	1.5

Введення фільтра в контур керування призводить до незначних покращень перехідного процесу. Це свідчить про те, що фільтр не повністю усуває перешкоду, але з достатньою точністю виділяє корисний сигнал.

ВИСНОВОК

Темою моєї бакалаврської роботи є «Система управління технологічним процесом виробництва ПФ-емалі».

При виконанні роботи був вивчений технологічний процес виробництва емалі, проведений аналіз на пожежо- та вибухонебезпечність, токсичність, агресивність.

При виборі засобів автоматизації технологічного процесу, були вибрані сучасні засоби вимірювання. В якості вторинних пристроїв використовувалась мікропроцесорна техніка.

Так як процес складний, з великою кількістю взаємозв'язаних параметрів, він потребує високої якості контролю і регулювання. В бакалаврській роботі були використані мікропроцесорні індикатори, регулятор та інші прилади вибрані з каталогів сучасних компаній по виробництву засобів автоматизації, наприклад компанія "ОВЕН".

Після аналізу технологічного процесу були визначені параметри регулювання, контролю, сигналізації, обґрунтований вибір засобів автоматизації.

Після проведення розрахункової частини до даного процесу, можна зробити висновок, що застосування сучасних технологій покращило роботу системи виробничого процесу, тому після перевірки робимо висновок, що модель є адекватною і готовою до роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного регулювання. – Підручник. К.: Либідь, 1997. – 544 с.
2. Основы построения АСУТП. Е. П. Стефани,. - М. Энергоиздат. 2017
3. Применение микропроцессоров для автоматизации технологических процессов . Вершинин О.Е.-Л.: Энергоатомиздат, 2018 – 208 с.
4. Основи конструювання та розрахунку хімічної апаратури. Лашинський А.А., Толчинський А.Р.. Довідник – Л.: «Машинобудування», 1970. – 752 с.
5. ГОСТ 21.404-85 Автоматизація технологічних процесів. Позначення умовних приладів та засобів автоматизації у схемах.
6. Поляк Б.Т. Математическая теория автоматического управления – М.: URSS, 2016 – 504с.
7. Сольнищев Р.И., Автоматизация проектирования систем автоматического управления —М: Высш. шк., 1991. — 335 с.
8. Промислові прилади та засоби автоматизації. За ред. Черенкова В.В. – Л.: 1987.
9. Методичні вказівки з оформлення графічної частини конструкторської документації проектів автоматизації. Схеми з'єднань, підключення, загальні та розміщення / укладач О.Ю. Журавльов. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – 28с.
10. "ОВЕН". Оборудование для автоматизации. Каталог. 2021.
11. "ОВЕН". Прайс- лист ОВЕН. 2021.

