

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. Кафедри КСУ

\_\_\_\_\_ Т.В. Коротка

\_\_\_\_\_ 2021 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

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

на тему:

«Оптимізація системи управління технологічним процесом двошарового покриття виробів для підвищення їх завадостійкості»

Керівник роботи

ст. викладач кафедри СІТ ШІ СумДУ, к.т.н.

Г.М. Худолей

Дипломник

студент групи СУмдн-01Ш

О.В. Рудюк

## РЕФЕРАТ

Рудюк Александр Васильевич. Оптимизация системы управления технологическим процессом двухслойного покрытия изделий для повышения их помехоустойчивости. Квалификационная работа. Сумской государственный университет. Сумы, 2021 год.

Квалификационная работа содержит 77 листов пояснительной записки, с учетом 53 рисунков, 17 таблиц; конструкторскую документацию, которая содержит 2 чертежа; 2 демонстрационных плаката.

Модернизирована система автоматизации нанесения двухслойного покрытия на изделия на базе программируемого логического контроллера ОВЕН ПЛК160. Разработан алгоритм управления. Разработана управляющая программа в САПР TraceMode 6. Удовлетворительное качество процесса нанесения двухслойного покрытия на изделия подтверждено результатами моделирования на ЭВМ.

Ключевые слова: технологический процесс, система управления, регулирующий микропроцессорный контроллер, алгоритм управления, регулируемый параметр.

## РЕФЕРАТ

Рудюк Олександр Васильович. Оптимізація системи управління технологічним процесом двошарового покриття виробів для підвищення їх завадостійкості. Кваліфікаційна робота. Сумський державний університет. Суми, 2021 рік.

Кваліфікаційна робота містить 77 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 53 рисунків, 17 таблиць; конструкторську документацію, яка містить 2 креслення; 2 демонстраційні плакати.

Модернізовано систему автоматизації нанесення двошарового покриття на вироби на базі програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК160. Розроблено алгоритм управління. Розроблена керуюча програма в САПР TraceMode 6. Задовільна якість процесу нанесення двошарового покриття на вироби підтверджена результатами моделювання на ЕОМ.

Ключові слова: технологічний процес, система управління, регулюючий мікропроцесорний контролер, алгоритм управління, регульований параметр.

## **SUMMARY**

Rudyuk Alexander Vasilievich. Optimization of the control system of the technological process of two-layer coating of products to increase their wear resistance. Qualifying work. Sumy State University. Sumy, 2021 year.

A qualifying work is contained by 77 leaves of explaining message, taking into account 53 pictures, 17 tables; designer document which contains 2 drafts; 2 demonstration posters.

The automation system for double-layer coating on products based on the PLK160 programmable logic controller has been modernized. The algorithm of management is developed. The control program is developed in CAD TraceMode 6. Satisfactory quality of process of double-layer coating on products is confirmed with results of modeling on EVM.

Keywords: technological process, control system, the regulating microprocessor controler, the control algorithm, the adjustable parameter.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ.....	2
ВСТУП.....	3
1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ.....	7
2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ.....	10
3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ І АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ.....	15
4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	44
5 РЕАЛІЗАЦІЯ АСУ ТП У TRACE MODE 6.....	64
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	72
REFERENCES.....	74

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ

ТП – технологічний процес.

ППБ – підсилювально-перетворюючий блок.

КП – корегуючий пристрій.

РО – регулюючий орган.

Д – датчик.

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом.

ПЧ – перетворювач частоти.

МВП – механізм виконавчий пневматичний.

ПЛК – програмований логічний контролер.

ПК – персональний комп'ютер.

SCADA-система (абр. від англ. Supervisory Control And Data Acquisition) – система диспетчерського управління і збору даних.

АРМ – автоматизоване робоче місце.

ТЕП – техніко-економічні показники.

## ВСТУП

Полум'ягасячими складами називають такі склади, які наносять на гільзу електродетонатора, щоб отримати безполум'яний вибух. Широко застосовувані в даний час полум'ягасячі склади, нанесені на поверхню гільзи електродетонатора, лише поглинають частину енергії вибухового складу і знижують температуру газів, що утворюються при вибуховому перетворенні (централіти, дибутилфталат, каніфоль та ін.), або, переходячи під час вибуху у дрібнодисперсний стан, виносяться з гільзи разом з газами вибухових складів і ускладнюють взаємодію горючих газів з киснем повітря. Вони підвищують температуру займання газів вибухових складів і виконують роль антикаталізаторів ланцюгових реакцій, що розвиваються в газовій хмарі близько гільзи електродетонатора.

До полум'ягасячих складів, що наноситься на гільзи електродетонаторів, пред'являються дві основні вимоги: нерозчинність у воді і хімічна нейтральність по відношенню до компонентів вибухових складів.

Сірчаноокислий калій ( $K_2SO_4$ ), який отримують при взаємодії хлористого калію з сірчаною кислотою, є основою полум'ягасячого складу. Поряд з сірчаноокислим калієм в запобіжному складі містяться в якості сполучного компоненту різні лаки (нітролак, бакелітовий лак і ін.). Оболонка із запропонованого складу має високу механічну міцність, а також хорошу хімічну стійкість до впливу лужних і кислих середовищ.

Технологія нанесення запобіжної оболонки на гільзи електродетонаторів дуже жорстко регламентована. Окремо слід зауважити, що більшість нещасних випадків з серйозними каліцтвами і летальними наслідками, а також аварій і руйнувань, відбуваються при виробництві, неправильному зберіганні або використанні засобів підривання.

Технологічна схема нанесення запобіжної оболонки на гільзи передбачає послідовність проведення таких операцій, як нанесення полум'ягасячого складу

на гільзи і сушка покритих виробів. Для проведення даного технологічного процесу використовується різноманітне обладнання, як застосовуване в інших галузях промисловості, так і придатне тільки для даного процесу. На даний момент існуюча система управління і контролю даного технологічного процесу вважається застарілою, так як вона має наступні недоліки: використання застарілих морально і фізично КВП і А, наявність систем релейної логіки, відсутність централізованого управління процесом. Це призводить до зниження надійності, перевитрати енергетичних і трудових ресурсів.

Вимоги до обладнання зводяться до необхідності досягнення максимальної продуктивності технологічного процесу нанесення запобіжної оболонки на гільзи заданої якості з допустимими витратами при нормальних екологічних і соціальних умовах експлуатації.

В даний час тенденції апаратурного оформлення більшості відомих процесів нанесення запобіжної оболонки на гільзи визначилися і прогрес у цій галузі техніки розвивається шляхом модернізації існуючого обладнання.

Завданням цього проєкту є рішення кола питань, пов'язаних з оптимізацією існуючої системи управління. Оптимізація процесу буде здійснюватися з урахуванням специфічних властивостей полум'ягасячого складу і гільз, необхідності спрощення управління, збільшення стійкості процесів до впливу зовнішніх збурень. Робота виконується на підставі завдання кафедри комп'ютеризованих систем управління Сумського державного університету.

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

## 1.1 Опис технологічного процесу

Процес нанесення запобіжної оболонки на гільзи [3] складається з наступних операцій:

- 1) набір гільз в збірку;
- 2) досил гільз в збірці;
- 3) нанесення полум'ягасячого шару на гільзи;
- 4) сушка гільз з нанесеним складом;
- 5) розбраковування гільз за геометричними розмірами (зовнішньому діаметру і висоті запобіжної оболонки).

Технологічна схема нанесення запобіжної оболонки на гільзи представлена на рисунку 1.1.

Мідні гільзи надходять на операцію набору в збірки по стрічковому транспортеру № 1. У кожную збірку встановлюється по 84 гільзи денцем вниз.

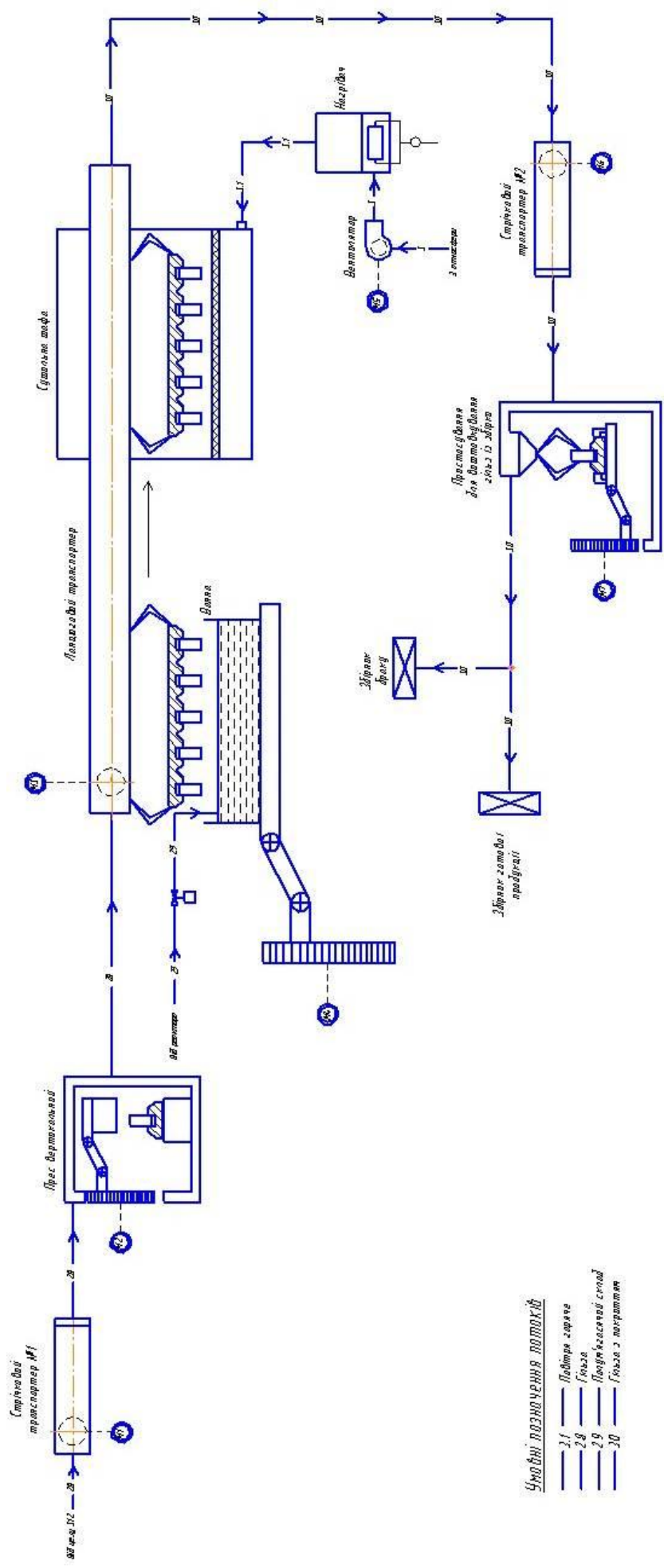
Набрані в збірку гільзи передаються до пресу вертикального (типу ЕП-6,3) для досилу. Збірка з гільзами встановлюються на нижню нерухому подушку вертикального преса між напрямними планками. У верхній рухомий подушці даного преса встановлений пуансон. Прес приводиться в рух від індивідуального мотора через ремінь, накинутий на шив, що сидить на валу. При обертанні вала починає рухатися важіль, який через шатун відтягує шарнірні важелі вправо. При русі верхньої подушки збірка з гільзами подається під пуансон, який натискаючи на гільзи, здійснює їх досил в збірці. При зворотному ході шатуна верхня подушка опускається, прес зупиняється і збірка з гільзами виймається з преса.

Після досилу гільз, збірка встановлюється в напрямні ланцюгового транспортера так, щоб гільзи розташовувалися денцем вниз. Натиском кнопки «Пуск» транспортер включається на «робочий» хід. Транспортер доставляє



збірку з гільзами на операцію нанесення полум'ягасячого шару, яка здійснюється шляхом занурення гільз в ванну, в яку надходить запобіжний склад. Коли збірка пересувається до ванни, спрацьовує система кулачків, ванна зі складом піддається вгору, при цьому гільзи занурюються до складу на глибину  $45\div 55$  мм, потім ванна опускається і транспортер переміщує збірку з гільзами в сушильну шафу, де проходять цикл сушки при температурі  $85\div 120^{\circ}\text{C}$  протягом  $45\div 50$  хв. Після цього збірки з гільзами вивантажуються із сушильної шафи шляхом переміщення по ланцюговому транспортері, виймаються з його направляючих, встановлюються на стрічковий транспортер № 2 і передаються до пристосування для виштовхування гільз із збірок. Збірка з гільзами встановлюється на нижню рухливу подушку пристосування між напрямними планками. У верхній нерухомою подушці даного механізму розташовані спеціальні хвати для вилучення гільз з збірки. Пристосування приводиться в рух від індивідуального мотору через ремінь, накинута на шив, що сидить на валу. При обертанні вала починає рухатися важіль, який через шатун відтягує шарнірні важелі вправо. При русі нижньої подушки збірка з гільзами подається під хвати. При зворотному ході шатуна нижня подушка опускається, пристрій зупиняється і гільзи виймаються з хватів.

Готовий виріб передається на операцію розбраковування за геометричними розмірами. Якщо зовнішній діаметр гільзи із запобіжною оболонкою складає  $7,65\pm 0,1$  мм і висота запобіжної оболонки  $5,5\pm 0,1$  см, то вона придатна і її укладають в збірник готової продукції. Якщо ж геометричні розміри гільзи не відповідають зазначеним нормам, то її опускають до збірки браку.



**Умовні позначення пунктів**

28	Підлога горюча
29	Гільза
29	Надмірний сепаратор
30	Гільза з торцями

Рисунок 1.1 – Технологічна схема нанесення запобіжного покриття на гільзи

## 1.2 Схема інформаційно-матеріальних потоків

На основі технологічного процесу нанесення запобіжної оболонки на гільзи складемо схему руху матеріальних потоків. Схема руху матеріальних потоків представлена на рисунку 1.2.

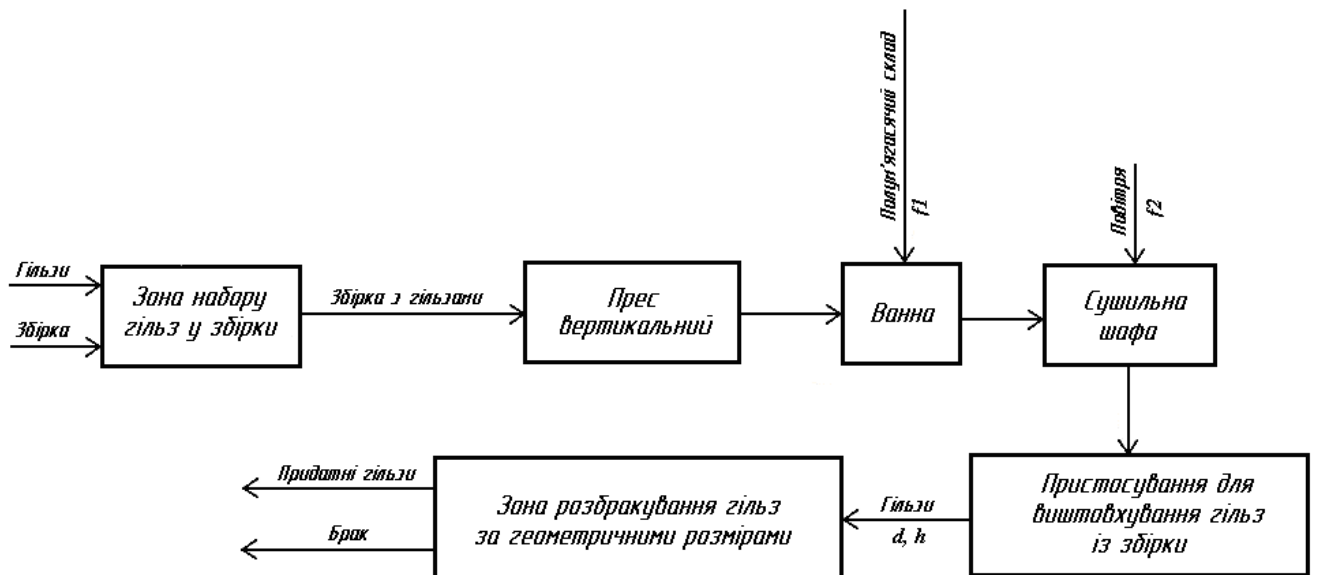


Рисунок 1.2 – Схема інформаційно-матеріальних потоків процесу нанесення запобіжного покриття на гільзи

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

Таблиця 1.1 - Перелік параметрів сигналізації, контролю та управління

№ з/п	Параметр	Точка технологічного процесу	Процес контролю	Діапазон вимірюваної величини	Допустима похибка вимірювань
1	Температура	Сушильна шафа	Контроль, управління	85÷120°C	1 %
2	Витрата	Трубопровід подачі полум'ягасячого складу до ванни	Контроль, управління	43÷43,8 м <sup>3</sup> /год	1 %
3	Витрата	Трубопровід подачі повітря до сушильної шафи	Контроль, управління	200÷215 м <sup>3</sup> /год	2 %

№ з/п	Параметр	Точка технологічного процесу	Процес контролю	Діапазон вимірюваної величини	Допустима похибка вимірювань
4	Рівень	Ванна	Контроль, сигналізація	1,45÷1,5м	1 %
5	Концентрація	Ванна	Контроль, сигналізація	35÷37 %	1 %
6	Діаметр	Зона розбракування гільз за геометричними розмірами	Контроль, сигналізація	7,55÷7,75 мм	2 %
7	Висота	Зона розбракування гільз за геометричними розмірами	Контроль, сигналізація	5,4÷5,6 см	2 %
8	Час	Сушильна шафа	Контроль, сигналізація	45÷50 хв	3 %

Структурна схема автоматизації має вигляд, наведений на рисунку 1.3.

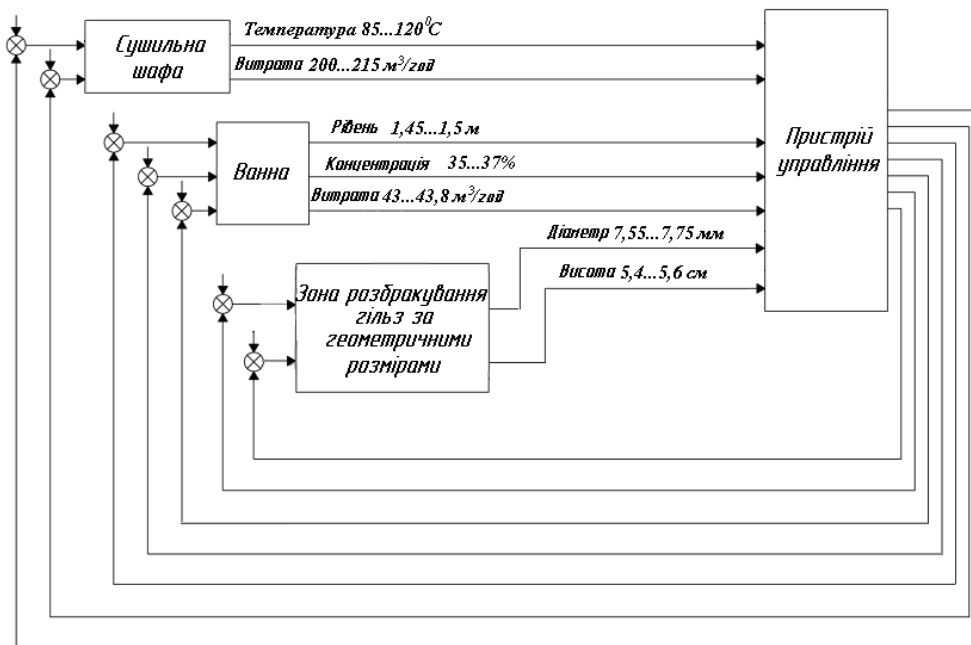


Рисунок 1.3 – Структурна схема автоматизації

## 2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ І БЛОКУВАННЯ

При виборі регулюючих величин визначають цільове призначення процесу, взаємозв'язок його з іншими процесами, показник ефективності і значення, на якому він повинен підтримуватись. Після чого аналізується ймовірність надходження збурюючих дій в об'єкт управління. Визначаються шляхи усунення збурень або їх стабілізації.

Упровадження автоматичних засобів контролю і сигналізації дозволяє забезпечити необхідну безпеку технологічного процесу.

Аналізуючи схему руху матеріальних потоків системи управління процесом нанесення запобіжного покриття на гільзи, визначені наступні точки контролю, управління та сигналізації:

### 2.1 Температура в сушильній шафі

Для запобігання перегріву полум'ягасячого складу, нанесеного на гільзи, в сушильній шафі необхідно підтримувати температуру в межах  $85 \div 120^\circ\text{C}$ .

Для управління температурою в сушильній шафі може бути застосована структурна схема, яка представлена на рисунку 2.1.

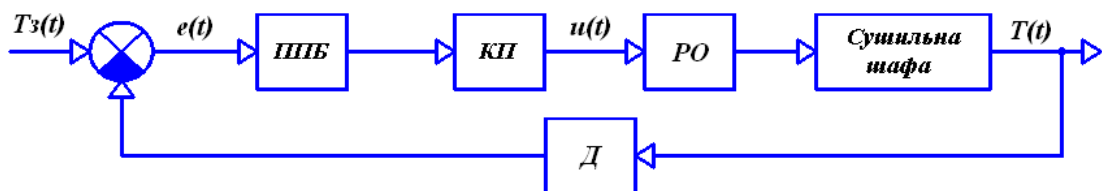


Рисунок 2.1 – Структурна схема контуру управління температурою в сушильній шафі

Вимірювана температура в сушильній шафі ( $T(t)$ ) діє на датчик (Д). Сигнал з датчика разом із сигналом завдання ( $T_z(t)$ ) поступає на елемент порівняння. Результуючий сигнал ( $e(t)$ ) подається підсилювально-перетворюючий блок (ППБ), який у свою чергу передає уніфікований сигнал на коригуючий пристрій (КП), або регулятор. З КП керуючий сигнал ( $u(t)$ ) поступає на регулюючий орган (РО), який чинить дію на даний об'єкт управління (сушильну шафу).

## 2.2 Витрата полум'ягасячого складу у ванні

Слід підтримувати витрату полум'ягасячого складу в межах  $43 \div 43,8$  м<sup>3</sup>/год, так як від його кількості залежить якість запобіжної оболонки гільзи.

Для управління витратою полум'ягасячого складу може бути застосована структурна схема, яка представлена на рисунку 2.2.

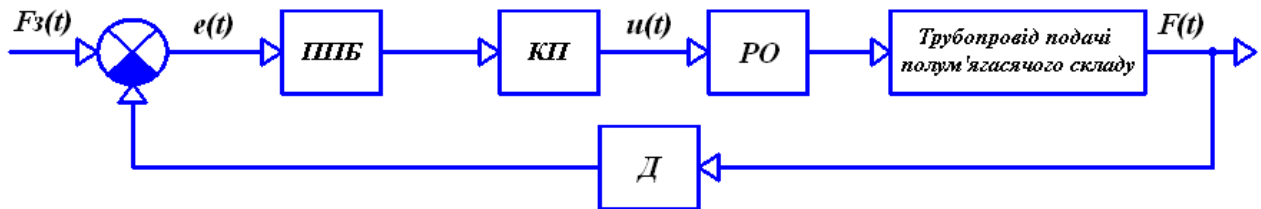


Рисунок 2.2 - Структурна схема контуру управління витратою полум'ягасячого складу

Вимірювана витрата полум'ягасячого складу в трубопроводі подачі його в ванну ( $F(t)$ ) діє на датчик (Д). Сигнал з датчика разом із сигналом завдання ( $Fz(t)$ ) поступає на елемент порівняння. Результуючий сигнал ( $e(t)$ ) подається на підсилювально-перетворюючий блок (ППБ), який у свою чергу передає уніфікований сигнал на коригуючий пристрій (КП), або регулятор. З КП керуючий сигнал ( $u(t)$ ) поступає на регулюючий орган (РО), який чинить дію на даний об'єкт управління (трубопровід полум'ягасячого складу).

Контур аналогічний для управління витратою повітря в сушильній шафі, з тією лише поправкою, що в якості об'єкта управління виступає двигун вентилятора.

## 2.3 Рівень полум'ягасячого складу у ванні

Максимальний рівень полум'ягасячого складу у ванні складає 1,5 метра, а рівень, необхідний для нормального перетікання технологічного процесу, складає 1,45 метра. Слід контролювати рівень складу у ванні для запобігання його переливу з одного боку і підтримання необхідного обсягу з іншого.

Для контролю рівня полум'ягасячого складу у ванні може бути застосована структурна схема, яка представлена на рисунку 2.3.

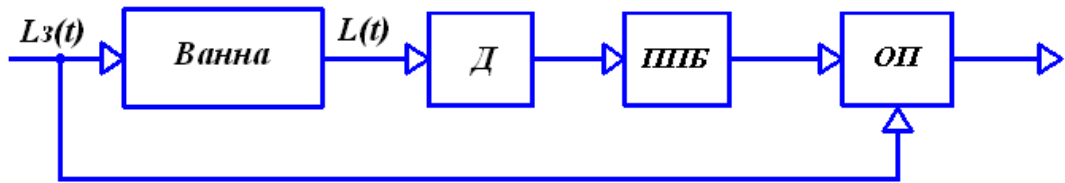


Рисунок 2.3 - Структурна схема контуру контролю рівня полум'ягасячого складу у ванні

Вимірюваний рівень полум'ягасячого складу у ванні ( $L(t)$ ) діє на датчик (Д). Сигнал з датчика подається на підсилювально-перетворюючий блок (ППБ), який у свою чергу передає уніфікований сигнал на обчислювальний пристрій (ОП). Також на обчислювальний пристрій поступає сигнал завдання ( $L_3(t)$ ).

#### 2.4 Концентрація сірчаноокислого калію у полум'ягасячому складі

Необхідно підтримувати концентрацію калію сірчаноокислого у полум'ягасячому складі в межах 35÷37 %, так як від цього залежать якісні характеристики запобіжного складу.

Для контролю концентрації сірчаноокислого калію у полум'ягасячому складі у ванні може бути застосована структурна схема, яка представлена на рисунку 2.4.

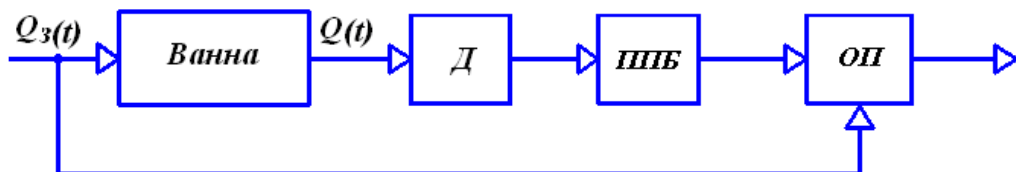


Рисунок 2.4 - Структурная схема контуру контролю концентрації сірчаноокислого калію у полум'ягасячому складі

Вимірювана концентрація сірчаноокислого калію у полум'ягасячому складі у ванні ( $Q(t)$ ) діє на датчик (Д). Сигнал з датчика поступає на підсилювально-перетворюючий блок (ППБ), який у свою чергу передає уніфікований сигнал на обчислювальний пристрій (ОП). Також на обчислювальний пристрій поступає сигнал завдання ( $Q_3(t)$ ).

#### 2.5 Швидкість обертання валу двигуна вертикального пресу

Для управління швидкістю обертання валу двигуна вертикального пресу може бути застосована структурна схема, яка представлена на рисунку 2.6.

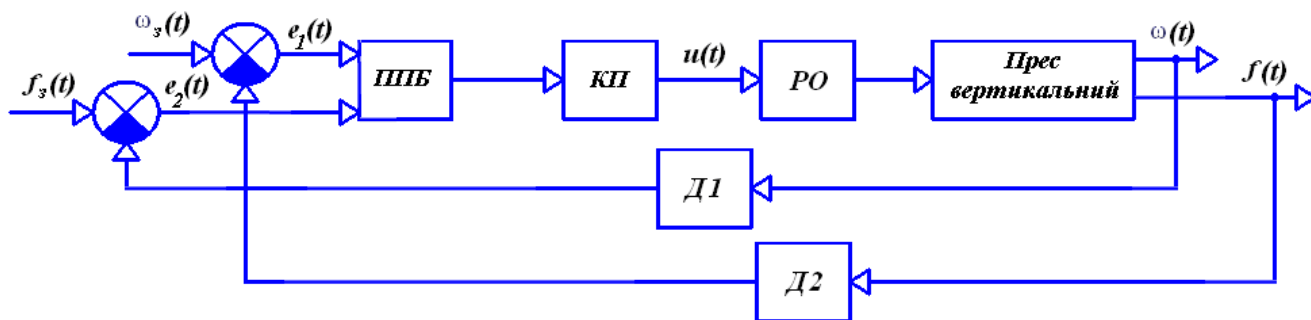


Рисунок 2.5 - Структурна схема контуру управління швидкістю обертання валу двигуна вертикального пресу

Вимірювані швидкість обертання валу двигуна пресу ( $\omega(t)$ ) та зусилля ( $f(t)$ ), що створюється в завантажувальному пристрої пресу, діє на датчики Д1 та Д2 відповідно. Сигнали з датчиків разом із сигналами завдання ( $\omega_3(t)$ ) та  $f_3(t)$ ) поступають на елементи порівняння. Результуючі сигнали ( $e_1(t)$ ) та  $e_2(t)$ ) подаються на підсилювачно-перетворюючий блок (ППБ), який у свою чергу передає уніфікований сигнал на коригуючий пристрій (КП), або регулятор. З КП керуючий сигнал ( $u(t)$ ) поступає на регулюючий орган (РО), котрий чинить дію на даний об'єкт управління (прес вертикальний).

Контур аналогічний для управління швидкістю обертання валу двигуна пристосування для виштовхування гільз із збірки.

## 2.6 Швидкість обертання валу двигуна стрічкового транспортеру № 1

Для управління швидкістю обертання валу двигуна стрічкового транспортеру № 1 може бути застосована структурна схема, яка представлена на рисунку 2.6.

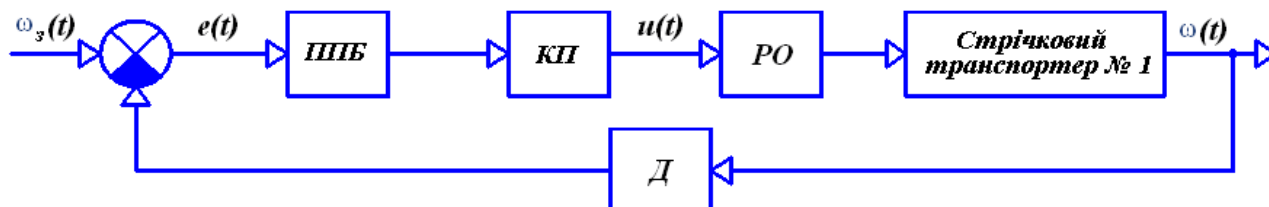


Рисунок 2.6 - Структурна схема контуру управління швидкістю обертання валу двигуна стрічкового транспортеру № 1



Вимірювана швидкість обертання валу двигуна транспортера ( $\omega(t)$ ) діє на датчик (Д). Сигнал з датчика разом із сигналом завдання ( $\omega_3(t)$ ) поступає на елемент порівняння. Результуючий сигнал ( $e(t)$ ) подається на підсилювально-перетворюючий блок (ППБ), який у свою чергу передає уніфікований сигнал на коригуючий пристрій (КП), або регулятор. З КП керуючий сигнал ( $u(t)$ ) поступає на регулюючий орган (РО), котрий чинить дію на даний об'єкт управління (стрічковий транспортер № 1).

Контур аналогічний для управління швидкістю обертання валу двигуна стрічкового транспортеру № 2, ланцюгового транспортеру та системи кулачків механізму вертикального переміщення ванни з полум'ягасячим складом.

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

Прийнявши до уваги особливості ТП нанесення запобіжного покриття на гільзи, топологію об'єкта і розподіл функціональних елементів технологічного процесу підприємством, обираємо 2-х рівневу систему управління. Даний технологічний процес є вибухо- і пожежонебезпечним, тому принципово важливими критеріями вибору засобів автоматизації (зокрема нижнього рівня) виступають їх точність, надійність і захищеність. Точність вимірювань у даному технологічному процесі має найбільший пріоритет. Для уникнення конфліктів у протоколі RS-485 на одному об'єкті слід намагатися використовувати засоби автоматизації, що випускаються одним виробником.

#### **3.1 Нижній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП)**

Нижній рівень має вирішувати задачі збору інформації з датчиків технологічних параметрів, контролю справності датчиків і ліній зв'язку, контролю параметрів і сигналізації про відхилення їх за допустимі технологічні межі, а також передавати їх в АСУ верхнього рівня.

##### **3.1.1 Вибір датчиків**

###### **3.1.1.1 Вибір датчика температури**

Контроль температури в даному ТП проводиться в сушильній шафі. Так як діапазон вимірюваної температури невеликий, будемо використовувати термоперетворювач опору ДТС. Доцільно разом з термоперетворювачем застосовувати нормуючий перетворювач. Вимірювання температури відбувається у вибухонебезпечній зоні, тому в канал зв'язку між датчиком і контролером необхідно встановити іскрозахисний бар'єр.

Термоперетворювачі ДТС у вибухозахищеному виконанні призначені для безперервного вимірювання температури різних робочих середовищ (пар, газ, вода, сипучі матеріали, хімічні реагенти і т.п.), неагресивних до матеріалу корпусу датчика. Можуть застосовуватися для вимірювання температури вибухонебезпечних сумішей газів, парів, а також легкозаймистих і вибухових речовин.

Порівняємо характеристики деяких термоперетворювачів опору в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Основні технічні характеристики термоперетворювачів опору ДТС

Найменування	Тип	Номинальна статична характеристика (НСХ)	Клас допуску	Вбудований нормуючий перетворювач (НП) в 4÷20 мА	Діапазон вимірюваних температур	Допустимі відхилення
Овен ДТС	XX4	50М 100М	А; В; С	-	- 50÷150°C	±2,5°C
		50П 100П Pt100		-	- 50÷250°C	±0,0075 Т
Овен ДТС	XX5	50М 100М	А; В; С	+	- 50÷180°C	±2,5°C
		50П 100П Pt100		-	- 50÷500°C	±0,005 Т

Для вимірювання температури в сушильній шафі найбільш підходить термоперетворювач опору типу XX5, так як він має достатній робочий діапазон, прийнятну точність і вбудований нормуючий перетворювач.

Отже, для сушильної шафи застосуємо термоперетворювач опору марки ОВЕН ДТС055-50М.В3.60/1.Ех-Т6.

Даний термометр опору мідний 50М, модель 055, клас допуску В, з трьохдротовою схемою з'єднань, довжина монтажної частини 60 мм, довжина кабельного виведення 1 м, у вибухозахищеному виконанні, температурний клас Т4 (рівень температури контрольованого середовища до 80°C).

Зовнішній вигляд обраного датчика температури представлений на рисунку 3.1.

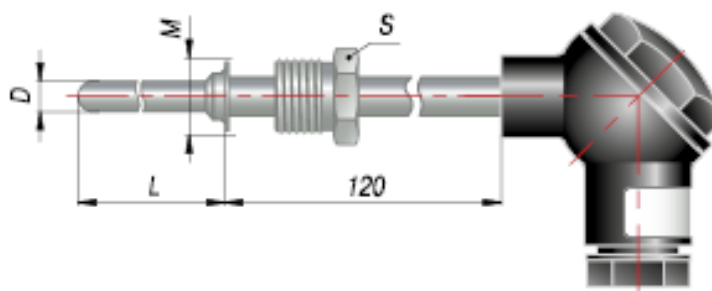


Рисунок 3.1 - Датчик температури ОВЕН ДТС055-50М.В3.60/1.Ех-Т6

### 3.1.1.2 Вибір датчика рівня

Для вимірювання рівня полум'ягасячого складу в ванні можливе використання наступних датчиків:

#### а) Перетворювач (датчик) тиску гідростатичного СМХ-ДГ 5520

Призначені для роботи в системах автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами і забезпечують безперервне перетворення значення вимірюваного параметра - тиску гідростатичного нейтральних і агресивних середовищ в уніфікований струмовий вихідний сигнал дистанційної передачі. Випускаються у вибухозахищеному виконанні.

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.2.

#### б) Датчик гідростатичного тиску САПФИР 22 ДГ 2520

Датчик САПФИР 22 ДГ використовують в системах АСУТП для вимірювання гідростатичного тиску палива, води, рідин, газу або пари, що дозволяє контролювати витрату і рівень цих середовищ, а також для безперервної передачі вимірюваних значень у вигляді стандартного вихідного струмового сигналу на вторинну апаратуру реєстрації даних або виконавчі механізми.

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.2.

#### в) Поплавковий датчик рівня ОВЕН ПДУ-И

Датчик рівня ОВЕН ПДУ-И призначений для вимірювання рівня, а також для безперервної передачі вимірюваних значень у вигляді стандартного вихідного струмового сигналу на вторинну апаратуру реєстрації даних або виконавчі механізми. Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Зведена таблиця характеристик датчиків рівня

Найменування датчика	Функціональні особливості	Діапазон вимірювань	Основна похибка	Вихідний сигнал	Вартість, грн
СМХ-ДГ 5520	Перетворювач гідростатичного тиску	0÷10 кгс/см <sup>2</sup>	0,15 %	0÷5 мА, 4÷20 мА	4900
САПФИР 22 ДГ 2520	Датчик гідростатичного тиску	0÷15 кгс/см <sup>2</sup>	0,25 %	0÷5 мА, 4÷20 мА	4750

Найменування датчика	Функціональні особливості	Діапазон вимірювань	Основна похибка	Вихідний сигнал	Вартість, грн
ОВЕН ПДУ-И	Датчик рівня	0÷2 м	0,1 %	4÷20 мА	4200

Порівнявши технічні характеристики датчиків рівня, а також їх вартість, вибрали датчик з мінімальною вартістю і відносно невеликою величиною похибки ОВЕН ПДУ-И.2000.

Зовнішній вигляд датчика рівня представлений на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 - Датчик рівня ПДУ-И.2000

### 3.1.1.3 Датчики концентрації

Для вимірювання концентрації калію сірчаноокислого полум'ягасячого складу в ванні можливе використання наступних датчиків:

#### а) Автоматичний цифровий датчик концентрації КР-1

Конструктивно прилад складається з блоку управління, блоку датчиків, з'єднувального кабелю. Результати вимірювання концентрації висвічуються на цифрових табло блоку управління. Прилад виробляє перерахунок значень концентрації в одиницях МЧСР (масова частка сухої речовини) або в одиницях щільності розчину. Дані вимірювань можуть бути передані на самописці (сигнал 4÷20 мА).

Базові моделі приладу відградувані на водні розчини хлориду натрію NaCl, їдкою натру NaOH (каустична сода), сірчаної кислоти H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, тринатрійфосфату Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Прилад також можна відградувати на інші хімічні речовини, що застосовуються в технологічних процесах підприємств.

Застосування приладу на підприємствах забезпечує наступні переваги:

- вимір концентрації речовини без попереднього відбору проб, транспортування і обробки проб розчину, що особливо важливо, коли йдеться про агресивні середовища, середовища, нагріті до високих температур або які містять летючі речовини;
- повна автоматизація процесу вимірювання;

- експресність аналізу, оскільки час вимірювання не перевищує кілька секунд;

- об'єктивність аналізу, оскільки усувається залежність результатів від кваліфікації оператора.

### **б) Датчик концентрації SmartLX (виробник Metso)**

До основних особливостей даного датчика відносяться:

- Два аналогових виходи 4÷20 мА і інтерфейс RS485.
- РК-дисплей, 3 рядки по 12 символів.
- Повна настройка пристрою через ПЗ під ОС Windows™.
- Вимірювання провідності, % концентрації розчину, солоності і температури.

- IP66 корпус з нержавіючої сталі.

- Безелектродний знімний датчик провідності.

- Опір тепловим сплескам до 135°C при паровій стерилізації.

- Швидке реагування температури  $t_{90} < 10$  сек.

- Може бути налаштований і відкалібрований ще до продажу.

- Один датчик - багато застосувань.

- Недорогий кабель підключення.

- Працює на низькій напрузі.

- Простий в установці.

- Вибір технологічних з'єднань датчика.

Проста і надійна конструкція датчика концентрації SmartLX дозволяє надійно виміряти концентрацію в процесі виробництва термо-механічної маси без поточного технічного обслуговування. SmartLX працює в електромагнітному діапазоні, близькому до інфрачервоного, використовуючи здатність волокон розсіювати і поглинати світло. Цей принцип вимірювання був розроблений спеціально для процесу термо-механічної маси, де сили, викликані потоком волокна, занадто малі, щоб бути виявленими датчиками, заснованими на зусиллі зсуву.

На SmartLX не впливають зміни швидкості потоку і, таким чином, він може бути встановлений як в ламінарному, так і в турбулентному потоці. Його компенсаційна здатність забезпечує, щоб зміни температури целюлози або його

електронних компонентів не переривали і не спотворювали вимірювань концентрації.

Порівнявши технічні характеристики датчиків концентрації, вибираємо більш надійний і зручний в експлуатації датчик, тобто SmartLX.

Зовнішній вигляд датчика концентрації представлений на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 - Датчик концентрації SmartLX

### 3.1.1.4 Вибір датчиків витрати

#### 3.1.1.4.1 Датчики витрати рідини

Для вимірювання витрати полум'ягасячого складу, можливе використання наступних лічильників:

##### а) Електромагнітний витратомір DMH-R (EP-R)

Регулятор потоку фірми KOBOLD серії DMH-R (EP-R) призначений для вимірювання та контролю об'ємної витрати рідин, суспензій, паст та інших електропровідних матеріалів без втрати тиску.

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.3.

##### б) Електромагнітний витратомір Promag 55S

Promag 55S - електромагнітний витратомір для двонаправленого вимірювання витрати рідини з мінімальною електропровідністю  $\geq 5$  мкСм / см - зокрема, рідини з вмістом суспензій, абразивних рідин, неоднорідних і рідин з тенденцією до налипання.

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Зведена таблиця характеристик витратомірів

Найменування	Діапазон вимірювань	Основна похибка	Вихідний сигнал	Вартість, грн
DMH-R (EP-R)	0,4÷2500 м <sup>3</sup> /ГОД	±0,5 %	4÷20 мА	13000
Promag 55S	0÷9600 м <sup>3</sup> /ГОД	±0,1 %	4÷20 мА	16000

Порівнявши технічні характеристики лічильників витрати, а також їх

вартість, можна зробити висновок, що датчик Promag 55S володіє більш високою точністю вимірювань, що більш необхідно в даній системі.

Зовнішній вигляд витратоміра представлений на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд витратоміра Promag 55S

### 3.1.1.4.2 Датчики витрати повітря

Для вимірювання витрат газів, можливе використання наступних лічильників:

#### а) Лічильник TRZ G400

Призначений для вимірювання витрат газів і видачі сигналу вимірювальної інформації. Використовуються в системах автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами і призначений для вимірювання і видачі уніфікованого вихідного сигналу 4÷20мА, 0÷5 мА.

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.4.

#### б) Вихровий витратомір-лічильник газу ВРСГ-1

Призначений для вимірювання витрат газів. Використовується в системах автоматичного контролю і управління технологічними процесами в різних галузях промисловості.

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Зведена таблиця характеристик витратомірів

Найменування	Діапазон вимірювань	Основна похибка	Вихідний сигнал	Вартість, грн
TRZ G400	0÷400 м <sup>3</sup> /год	±0,5 %	4÷20 мА	19000
ВРСГ-1	14÷5000 м <sup>3</sup> /год	±0,1 %	4÷20 мА	17000

Порівнявши технічні характеристики лічильників витрати, а також їх вартість, можна зробити висновок, що лічильник ВРСГ-1 має більш високу



точність вимірювань і меншу вартістю, що більш необхідно в даній системі.

Зовнішній вигляд витратоміра-лічильника представлений на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 - Зовнішній вигляд лічильника ВРСГ-1

### 3.1.1.5 Вибір датчиків «наявності/відсутності» заготовки

Для визначення «наявності/відсутності» заготовки в завантажувальних пристроях преса вертикального і пристосування для виштовхування гільз із збірки застосовні тактильні датчики.

Можливе використання наступних тактильних датчиків:

#### а) Тактильний датчик Arduino ТТР224

Особливості даного датчика:

- \* 4-х канальний цифровий сенсорний датчик Arduino ТТР224.
- \* 4 рівня правління індикатор стану.
- \* Розмір плати: 35 мм \* 35 мм (1.38 "x 1.38") L \* W.
- \* Робоча напруга: 2.4 В ~ 5.5 В.
- \* Вага: 7 г.

#### б) Тактильний датчик МРР121

Особливості зазначеного датчика:

- \* Ємнісний сенсорний датчик МРР121.
- \* 4 рівня правління індикатор стану.
- \* Робоча напруга: 12 В.
- \* Інтерфейс I2C.
- \* Розмір: 3x2 см.

Порівнявши технічні характеристики зазначених тактильних датчиків, можна зробити висновок, що датчик Arduino ТТР224 простіший в експлуатації, тому вибираємо його.

Зовнішній вигляд датчика представлений на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 - Зовнішній вигляд датчика Arduino TTP224

### 3.1.1.6 Вибір датчиків кутової швидкості

Для вимірювання кутової швидкості обертання проводів стрічкових і ланцюгового транспортерів, системи кулачків механізму вертикального переміщення ванни з полум'ягасячим складом, преса вертикального і пристрою для виштовхування гільз із збірки можливе використання наступних датчиків:

#### а) Датчик кутової швидкості DI0001 (виробник SIBA)

Компактний монітор швидкості для моніторингу імпульсів (падіння нижче встановленого значення). Датчик і електроніка оцінки, вбудована в корпус M30x1.5. Регулювання точки перемикавання за допомогою потенціометра. Початковий час збереження енергії і гістерезис задаються попередньо. Функціональний дисплей на основі 2 СІД.

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.5.

#### б) Датчик кутової швидкості BMA150 (виробник BOSCHSEN)

Тримережевий,  $\pm 2/4/8$  g датчик кутової швидкості з SPI/I2C інтерфейсом.

Основні характеристики датчика наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Зведена таблиця характеристик датчиків кутової швидкості

Найменування датчика	Заданий діапазон	Вихід	Конструкція	Робоча температура	Робоча напруга	Ступінь захисту
DI0001	5÷300 імпульсів/хв	змикаючий контакт	2-провідниковий	-25÷80°C	20÷250 V	IP 67
BMA150	3÷300 імпульсів/хв	змикаючий контакт	2-провідниковий	-40÷135°C	4.75÷5.25 V	IP 67

Порівнявши технічні характеристики датчиків кутової швидкості, можна зробити висновок, що датчик DI0001 володіє більш високою точністю

вимірювань, що істотно в даній системі.

### 3.1.1.7 Вибір товщиноміра

Для операції розбракування гільз за геометричними розмірами можна використовувати товщиноміри, серед яких можливі наступні варіанти:

#### а) Товщиномір покриттів ТМІ-200МГ4

Товщиномір ТМІ-200МГ4 з вбудованим індукційним датчиком призначений для вимірювання неруйнівним методом товщини ізоляційних (лакофарбових, містичних, бітумних, пластикових, радіопоглинаючих та ін.) і електропровідних неферомагнітних (цинкових, хромових, мідних, олов'яних, алюмінієвих та ін., крім нікелевих електролітичних) покриттів на електропровідних феромагнітних основах з використанням вбудованого індукційного перетворювача.

У товщиномірів є можливість введення поправочних коефіцієнтів за відомим діаметром, можливість настройки нуля і вимірюваного діапазону по прикладеним заходам товщини. Введені настройки зберігаються в пам'яті приладу при виключенні живлення.

Товщиномір має незалежну пам'ять на 500 результатів вимірювань, годинник реального часу, зв'язок з ПК через USB порт.

Основні характеристики товщиноміра наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Основні характеристики товщиноміра ТМІ-200МГ4

<b>Діапазон вимірюваних товщин покриттів, мм</b>	1÷20
<b>Похибка вимірювань, %</b>	±0,2÷0,5
<b>Діапазон робочих температур, °С</b>	- 5÷40
<b>Напруга живлення приладу від мережі частотою 50 Гц, В або від вбудованої АКБ</b>	220
<b>Час вимірювання в одній точці, не більше, с</b>	3
<b>Габаритні розміри, мм</b>	160x70x30
<b>Маса, кг, не більше</b>	0,35

#### б) Товщиномір ультразвуковий ТЕМП-УТ1

Діапазон вимірюваних товщин 0,5÷800 мм.

Вимірювання товщини проводиться контактним способом, шляхом притиску ультразвукового перетворювача до поверхні контролюваного об'єкта

з використанням контактної рідини (вода, гліцерин, спирт, масло, консистентні мастильні матеріали і т.д.). Об'єкти вимірювань - листи, стінки судин, котлів, труб, трубопроводів, гумові різного призначення, в тому числі з пофарбованими або кородированими поверхнями, в процесі їх виготовлення, експлуатації або ремонту.

Функціонал товщиноміра:

- Можливість використання практично будь-яких прямих роздільно-сполучених перетворювачів для товщиномірів без додаткового налаштування приладу;

- Вбудований зразок товщини, зручне калібрування приладу на зразках з відомою товщиною, можливість вимірювання швидкості ультразвуку в зразках;

- Економічність - робота на одному комплекті батарей - близько 1 року при використанні режимів роботи без підсвічування;

- Індикатор залишкового ресурсу батареї, автоматичне відключення;

- Висококонтрасний спеціалізований рідкокристалічний індикатор з підсвічуванням, що забезпечує можливість роботи в умовах поганої освітленості;

- Широкий діапазон робочих температур - від мінус 30°C до плюс 70°C;

- Запам'ятовування 1000 результатів вимірювань в пам'яті приладу (файлова система - 10 файлів по 100 результатів) з можливістю їх перегляду на індикаторі приладу, виведення на комп'ютер через високошвидкісний порт USB або через RS232, роздруківки на принтері у вигляді спеціального протоколу та збереження у вигляді файлу;

- Автоматичне збереження останньої настройки на перетворювач після вимкнення і подальшого включення приладу;

- Дискретність вимірювань 0,1 або 0,01 мм;

- Режим фіксації мінімуму товщини;

- Програмне регулювання коефіцієнта підсилення вимірювального тракту і рівня відсічення в широких межах - для настройки різних перетворювачів;

- Відключається цифровий фільтр, який забезпечує точність і стабільність вимірювань;

- Можливість відновлення установок за замовчуванням.

Проаналізувавши технічні характеристики даних товщиномірів, можна зробити висновок, що товщиномір ТЕМП-УТ1 володіє більш високою точністю, а також кращою захищеністю, що дуже важливо в даній системі.

Зовнішній вигляд товщиноміра представлений на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 - Зовнішній вигляд товщиноміра ультразвукового ТЕМП-УТ1

### **3.1.2 Вибір перетворювачів**

#### **3.1.2.1 Вибір перетворювачів частоти**

В процесі досилу гільз в збірки і при виштовхуванні їх з необхідно підтримувати на певному рівні зусилля натиску, також необхідно підтримувати на певному рівні швидкість переміщення транспортерів і швидкість обертання валу двигуна вентилятора подачі повітря в сушильну шафу. Процес підтримки зусиль натиску і швидкостей руху на одному рівні здійснюється за рахунок регулювання частоти обертання двигунів преса вертикального, пристосування виштовхування гільз із збірок, стрічкових і ланцюгового транспортерів і вентилятора 4A90L2Y3 засобами перетворювача частоти. Можливе використання наступних перетворювачів частоти:

#### **а) Перетворювач частоти ОВЕН ПЧВ3-2К2-Б**

У ПЧВ3 (рис. 3.8) можливості взаємодії перетворювача з іншими пристроями системи частотного управління приводом значно розширені за рахунок збільшення кількості дискретних і аналогових виходів. ПЧВ3 має два релейні і два аналогові струмові виходи, які при необхідності можуть використовуватися як цифрові. Це розширює можливості використання ПЧВ в системах каскадного управління насосами, а також покращує організацію роботи додаткових систем автоматики.

У ПЧВЗ значно розширені функціональні можливості, а саме режими: «пожежний», «сплячий» і контроль «обриву ременя» з виконанням спеціальних алгоритмів роботи приводів.



Рисунок 3.8 - Перетворювач частоти ОВЕН ПЧВ3-2К2-Б

Крім інтерфейсу Modbus ПЧВЗ підтримує кілька додаткових інтерфейсів для більш зручної інтеграції в системи інтелектуальної будівлі, а саме: BACNet, Metasys N, FLN Arogee. Заводські настройки «за замовчуванням» дозволяють користувачеві з мінімальними витратами випробувати роботу приводу в ручному та автоматичному режимах після введення основних параметрів АД.

**б) Перетворювачі частоти серії FR-F740-00023-ES Mitsubishi Electric (рис. 3.9)**

Основними особливостями даного ПЧ є:

- \* Повний контроль і підвищений захист електродвигуна;
- \* Запуск при навантаженні, що обертається;
- \* Оптимальне узгодження характеристики крутного моменту з характеристикою механізму;
- \* Управління декількома вентиляторами або насосами;
- \* Локальне ПІД-регулювання та опції підключення до мережі обміну даними;
- \* Економія енергії понад 60% завдяки технології ОЕС;
- \* Великий термін служби при спрощеному техобслуговуванні.



Рисунок 3.9 - Перетворювач частоти FR-F740-00023-EC Mitsubishi Electric  
 Основні характеристики перетворювачів частоти наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Основні характеристики перетворювачів частоти

Виробник	ОВЕН	Mitsubishi Electric
Найменування	ПЧВ3-2К2-Б	FR-F740-00023-EC
Діапазон потужності	0,37÷90 кВт	0,75÷630 кВт
Живлення	3-фазне 380-480В	3-фазне 380-480В
Вихідна частота	0÷200 Гц	0÷400 Гц
Ціна	16000 грн	17500 грн

Порівнявши технічні характеристики перетворювачів частоти, можна зробити висновок, що обидва перетворювача однаково підходять. І хоча перетворювач FR-F740-00023-EC має більший діапазон потужностей і вихідний частоти, перевагу віддано перетворювачу ПЧВ3, так як він має достатній діапазон вихідної частоти для даного виміру і значно меншу вартість - тому слід використовувати перетворювач частоти ПЧВ3-2К5-Б .

### 3.1.2.2 Твердотільні реле

Для сполучення коригуючого пристрою (регулятора) з такими виконавчими механізмами даної схеми, як регулюючі клапани трубопроводів і нагрівальний елемент в сушильній шафі слід застосовувати твердотільні реле. Можливе використання наступних твердотільних реле:

#### а) Однофазне твердотільне реле KIPPRIBOR MD0544ZD3

Основні характеристики твердотільного реле KIPPRIBOR MD1044ZD3:

- Оптична ізоляція (вхід/вихід): 2500 V AC.
- Типи керуючих сигналів: уніфікований сигнал напруги 0÷10 В.
- Тип комутації: перемикання в «0».
- Максимально допустима імпульсна напруга: 900 V AC.
- Світлодіодна індикація для контролю наявності вхідного сигналу.
- Керуюча напруга: 3÷32 V DC.
- Номінальний робочий струм: 10 А.

#### б) Твердотільні реле KIPPRIBOR HD01022.10U

Основні характеристики твердотільного реле KIPPRIBOR HD01022.10U:

- Комутація резистивного навантаження до 30 А.
- Типи керуючих сигналів: уніфікований сигнал напруги 0÷10 В.
- Діапазон комутованої напруги: 10÷220 VAC.
- ТТР цих серій рекомендується застосовувати для простих випадків

безперервного регулювання напруги навантаження в діапазоні від 10 В до номінальної напруги живлення, пропорційно вхідному сигналу управління. Зокрема за допомогою ТТР цих серій ефективно здійснювати:

- \* Регулювання потужності ТЕНів;
- \* Регулювання напруги на лампах розжарювання, наприклад, для коригування необхідного рівня освітленості і т.п.

Порівнявши технічні характеристики зазначених твердотільних реле, можна зробити висновок, що обидва реле однаково підходять, але реле HD01022.10U підходить для комутації більш потужних електричних ланцюгів. Тому вибираємо його (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 - Реле HD01022.10U

### 3.1.3 Вибір виконавчих механізмів



### 3.1.3.1 Вибір регулюючих клапанів

На вибухопожежонебезпечних виробництвах переважно застосовувати виконуючі механізми для регулювання з пневмоприводом. На трубопроводі подачі полум'ясаючого складу і повітря необхідно встановлювати регулюючі пневмоклапани.

#### а) Механізм виконавчий пневматичний МИП-320 з пневматичним аналоговим вхідним сигналом

Призначений для переміщення регулюючих та запірно-регулюючих органів для точного регулювання нейтральних і агресивних рідин і газів в системах автоматичного і дистанційного керування.

Основні характеристики виконавчого механізму наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Основні характеристики МИП-320

<b>Тип</b>	МИП-320
<b>Робоче середовище</b>	Стиснене повітря
<b>Умовний хід (типорозмір), мм</b>	100, 200, 320, 400
<b>Тиск живлення</b>	от 0,4÷1 МПа
<b>Вхідний сигнал</b>	0,02÷0,1 МПа

#### б) Регулюючий поршневий пневмоклапан Burkert 2300 (рис. 3.11)

2/2-ходовий регулюючий поршневий пневмоклапан Burkert 2300 призначений для точного регулювання нейтральних і агресивних рідин і сипучих матеріалів в трубопроводах з перетином Ду 13÷50 мм. Регулюючий пневмоклапан 2300 поставляється з фланцевим, різьбовим або звареним приєднаннями. Завдяки параболічному конусу клапан має прекрасні регулюючі характеристики. Відмінною особливістю регулюючого пневмоклапана 2300 є конструкція пневмопривода з нержавіючої сталі. Матеріал ущільнення - сталь/сталь або PTFE/сталь. Температура робочого середовища: -10÷1800°C.



Рисунок 3.11 - Пневмоклапан Burkert 2300

Для трубопроводу подачі полум'ягасячого складу найбільш підходить модифікація IB 2301-A-50-PTFE-VA, а для трубопроводу подачі повітря - модифікація IB 2301-A-20-PTFE-VA.

Вибираємо пневмоклапан Burkert 2300, так як він більш зручний у використанні.

Для пневмоклапана Burkert 2300 електропневматичний позиціонер Burkert 8696.

Цифровий електропневматичний позиціонер Burkert 8696 (рис. 3.12) розроблений спеціально для регулюючих пневмоклапанів Burkert 23XX / 2103 з приводом Ø50 мм. Позиціонер 8696 виготовлений з нержавіючої сталі і полісульфону, що дозволяє використовувати його в СІР-процесах. Позиціонер 8696 не має індикації. Налаштування основних параметрів за допомогою ДІП-перемикачів. Напруга живлення 24 В постійного струму, вхідний сигнал 4÷20 мА або 0÷10 В.



Рисунок 3.12 - Електропневматичний позиціонер Burkert 8696

### 3.2 Верхній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП)

Верхній рівень АСУ виконує функції діалогової взаємодії з оператором, що включають у себе відображення, накопичення і аналіз даних.

Основні функції управління реалізуються на основі підбору необхідних технічних засобів. Головною задачею вибору технічних засобів є перевірка узгодження каналів управління контролера з приводами.

На основі викладених даних висунемо вимоги до портів контролера (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Вхідні-вихідні сигнали

Сигнали	Кількість сигналів
Аналогові вхідні	6
Дискретні вхідні	12
Аналогові вихідні	7
Дискретні вихідні	11

Для реалізації управління даним процесом застосуємо ОВЕН ПЛК 100 з модулями розширення.

### 3.2.1 Вибір контролера

Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК 100 (рис. 3.13) призначений для створення систем управління малими та середніми об'єктами, побудови систем диспетчеризації. Побудова системи управління і диспетчеризації на базі ОВЕН ПЛК можливо як за допомогою провідних засобів - використовуючи вбудовані інтерфейси Ethernet, RS-232, RS-485, так і за допомогою бездротових засобів - використовуючи радіо, GSM, ADSL модеми.



Рисунок 3.13 – ОВЕН ПЛК 100

Основні технічні характеристики ОВЕН ПЛК 100 наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 - Основні технічні характеристики ОВЕН ПЛК 100-24.P-M

<b>Конструктивне виконання</b>	Уніфікований корпус для кріплення на DIN-рейку (ширина 35 мм), довжина 105 мм (6U)
<b>Ступінь захисту корпусу</b>	IP20
<b>Напруга живлення</b>	24 В постійного струму
<b>Споживана потужність, не більше</b>	10 Вт
<b>Центральний процесор</b>	32-х розрядний RISC-процесор 200 МГц на базі ядра ARM9
<b>Об'єм оперативної пам'яті</b>	8 Мбайт
<b>Об'єм енергонезалежної пам'яті зберігання ядра</b>	4 Мбайт
<b>Час виконання циклу ПЛК</b>	Мінімальний 250 мкс (нефіксований), типовий від 1 мс
<b>Електрична міцність ізоляції дискретних виходів</b>	1,5 кВ
<b>Кількість дискретних входів</b>	8

<b>Гальванічна розв'язка дискретних входів</b>	є, групова
<b>Електрична міцність ізоляції дискретних входів</b>	1,5кВ
<b>Максимальна частота сигналу, що подається на дискретний вхід</b>	1 кГц при програмній обробці 10 кГц при застосуванні апаратного лічильника і оброблювача енкодера
<b>Кількість дискретних виходів</b>	6 е/м реле
<b>Гальванічна розв'язка дискретних виходів</b>	є, індивідуальна
<b>Інтерфейси</b>	Ethernet 100 Base-T RS-232 - 2 канали RS-485 USB 2.0 -Device
<b>Швидкість обміну через інтерфейси RS</b>	від 4800 до 115200 bps
<b>Ціна з доставкою</b>	10750,6 грн

### 3.2.2 Модуль вводу аналогового сигналу

Прилад призначений для перетворення вимірюваних аналогових сигналів в цифровий код і передачі результатів вимірювання в мережу RS-485. Призначений для побудови автоматизованих систем збору даних в різних областях промисловості, сільського та комунального господарства, на транспорті.

Аналогові входи приладу можуть працювати в наступних режимах:

- вимір струму в діапазоні від 4 до 20 мА;
- вимір струму в діапазоні від 0 до 20 мА;
- вимір струму в діапазоні від 0 до 5 мА;
- вимір 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 гальванічних ізольованих ланцюгів:

- ланцюг живлення приладу;
- ланцюги інтерфейсу RS-485;
- ланцюг виходу вбудованого джерела постійної напруги 24 В.

Електрична міцність ізоляції всіх груп ланцюгів, крім групи ланцюгів живлення, відносно один одного – 750 В, щодо групи ланцюгів 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 надається безкоштовний OPC-драйвер і бібліотека стандарту WIN DLL, які рекомендується використовувати при підключенні приладу до SCADA-системам і контролерам інших виробників.

Конфігурація приладу здійснюється на ПК через адаптер інтерфейсу RS-485/RS-232 або RS-485/USB (наприклад, ОБЕН АС3-М або АС4) 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.

Зображення приладу представлено на рисунку 3.14.



Рисунок 3.14 - ОБЕН МВ110-220.8АС

Основні технічні характеристики приладу ОБЕН МВ110 наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 - Основні технічні характеристики ОБЕН МВ110-24.8АС

Найменування	Значення
Напруга живлення	24 В постійного струму
Споживана потужність, ВА, не більше	8
Границя основної приведенної похибки, %	0,25
Межа додаткової приведенної похибки, викликаного зміною температури на 10°C в межах робочого діапазону температур, %	0,12

Найменування	Значення
Роздільна здатність: - для діапазонів струмів від 4 до 20 мА і від 0 до 20 мА, мкА не більше - для діапазону струму від 0 до 5 мА, мкА не більше - для діапазону напруги від 1 до 10 В, мВ, не більше	4 1 2
Кількість аналогових каналів вимірювання	8
Вхідний опір в режимі вимірювання струму від 0 до 20 мА і від 4 до 20 мА, Ом	от 130 до 250
Вхідний опір в режимі вимірювання напруги від 0 до 10 В, кОм, не менш	200
Період оновлення результатів вимірювання по кожному каналу, мс	5±2 %
Вихідна напруга вбудованого джерела живлення, В	24±3
Максимальний струм навантаження вбудованого джерела живлення, А	0,18
Інтерфейс зв'язку з майстром мережі	RS-485
Максимальна кількість приладів, що одночасно підключаються до мережі RS-485, не більше	32
Максимальна швидкість обміну по інтерфейсу RS-485, біт/с	115200
Ступінь захисту корпусу	IP20
Габаритні розміри приладу, мм	(63x110x73)±1
Маса приладу, кг, не більше	0,5
Середній термін служби, років	8
Ціна з доставкою	2960 грн

Для даного ТП необхідно 2 модуля швидкісного введення аналогових сигналів MB110-220.8AC. Вільні 4 входи дозволять в подальшому проводити модернізацію без додавання обладнання.

### 3.2.3 Модуль виводу токового аналогового сигналу

Модуль аналогового виведення ОВЕН МУ110-8 призначений для перетворення цифрових сигналів, які передаються по мережі RS-485, в аналогові сигнали діапазоном від 4 до 20 мА і в аналогові сигнали діапазоном від 0 до 10 В 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, наприклад, 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.

Основні технічні характеристики приладу ОВЕН МВ110-24.8І наведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 - Основні технічні характеристики ОВЕН МУ110-24.8І

Найменування	Значення
Напруга живлення	24 В постійного струму
Споживана потужність, ВА, не більше	6
Кількість аналогових вихідних елементів	8
Тип аналогових вихідних елементів	ЦАП «параметр – струм 4÷20 мА»
Основна приведена похибка ЦАП,%, не більше	±0,5
Опір навантаження, що підключається до виходу, Ом	0÷1300
Інтерфейс зв'язку з майстром мережі	RS-485
Максимальна кількість приладів, що одночасно підключаються до мережі RS-485, не більше	32
Максимальна швидкість обміну по інтерфейсу RS-485, біт/с	115200
Ступінь захисту корпусу	IP20
Габаритні розміри приладу, мм	(63x110x73)±1
Маса приладу, кг, не більше	0,5
Середній термін служби, років	8
Ціна з доставкою	5020 грн

### 3.2.4 Модуль виведення аналогового сигналу напруги

Модуль аналогового виведення ОВЕН МУ110-6У призначений для

перетворення цифрових сигналів, які передаються по мережі RS-485, в аналогові сигнали діапазоном від 0 до 10 В 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, наприклад, 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 ГОСТ Р 51522 для обладнання класу А.

Основні технічні характеристики приладу ОВЕН МВ110-24.6У наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 - Основні технічні характеристики ОВЕН МУ110-24.6У

<b>Найменування</b>	<b>Значення</b>
Напруга живлення	24 В постійного струму
Споживана потужність, ВА, не більше	6
Кількість аналогових вихідних елементів	6
Тип аналогових вихідних елементів	ЦАП «параметр – напруга 0÷10 В»
Основна приведена похибка ЦАП, %, не більше	± 0,5
Опір навантаження, що підключається до виходу, Ом	2
Інтерфейс зв'язку з майстром мережі	RS-485
Максимальна кількість приладів, що одночасно підключаються до мережі RS-485, не більше	32



Найменування	Значення
Максимальна швидкість обміну по інтерфейсу RS-485, біт/с	115200
Ступінь захисту корпусу	IP20
Габаритні розміри приладу, мм	(63x110x73)±1
Середній термін служби, років	8
Ціна з доставкою	3000 грн

### 3.2.5 Графічна панель оператора з сенсорним управлінням

Для візуалізації проходження ТП, відображення поточних параметрів, задання вхідних величин і індикації каналу аварії застосуємо сенсорну графічну панель оператора ОВЕН СП270 (рис. 3.15).



Рисунок 3.15 - ОВЕН СП270

Основні технічні характеристики ОВЕН СП270 наведені в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 - Основні технічні характеристики ОВЕН СП270

Напруга живлення постійного струму	22÷26 В
Споживаний струм	не більше 0,150 А
Споживана потужність	не більше 30 Вт (номінальне споживання 5 Вт)
Використовувані інтерфейси зв'язку	RS-232 (2 шт.), RS-485 (1 шт.)
Тип інтерфейсу для зв'язку з ПЛК	RS-232, RS-485
Тип інтерфейсу для завантаження проєкту з ПК	RS-232
Швидкість передачі даних по інтерфейс	4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 115200 біт/с
Пам'ять програм (Flash-RAM)	4 Мбайт
Пам'ять даних (SD RAM)	4 кбайт
Конструктивне виконання	корпус щитового кріплення
Габаритні розміри	(200x148x44,4) ±1 мм
Ступінь захисту корпусу з боку лицьової панелі	IP65

<b>Маса (з елементами кріплення)</b>	не більше 0,78 кг
<b>Тип дисплею, діагональ</b>	кольоровий (TFT), 178 мм (7")
<b>Кількість відображуваних кольорів</b>	256
<b>Роздільна здатність дисплея</b>	480x234 піксела
<b>Робоча зона дисплея (ширина x висота)</b>	156x88 мм
<b>Ціна з доставкою</b>	13830 грн

### 3.2.6 Блок живлення

Для живлення модулів введення, виведення, ПЛК та панелі оператора виберемо блок живлення (табл. 3.15).

Таблиця 3.15 - Перелік споживачів

Найменування споживача	Споживана потужність, Вт
МВ110-8А	6
МВ110-8А	6
ПЛК110-32	25
МУ110-6У	6
МУ110-8Р	6
СП270	5
Всього:	54

Застосуємо одноканальний блок живлення ОВЕН БП60Б-Д4 (рис. 3.16) потужністю 60 Ватт.



Рисунок 3.16 - Одноканальний блок живлення ОВЕН БП60Б-Д4

Основні технічні характеристики ОВЕН БП60Б-Д4 наведені в таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 - Основні технічні характеристики ОВЕН БП60Б-Д4

<b>Частота вхідної змінної напруги</b>	47÷63 Гц
<b>Поріг спрацьовування захисту по струму</b>	не більше 1,5 I <sub>max</sub>
<b>Максимальна вихідна потужність</b>	60 Вт

<b>Робочий діапазон температур</b>	-20÷50°C
<b>Рівень радіоперешкод по ГОСТ Р 51527</b>	група С
<b>Вихідна напруга</b>	24±1% В
<b>Амплітуда пульсації вихідної напруги</b>	120 мВ
<b>Макс. струм навантаження I<sub>max</sub></b>	2,5 А
<b>Струм споживання</b>	1,03÷0,41 А

### 3.3 Розробка системи сигналізації і блокування

Для забезпечення технологічної сигналізації скористаймося блоком технологічної сигналізації ПТС-64.

Блок технологічної сигналізації призначено для узагальненої і поканальної сигналізації параметрів технологічних процесів, значення яких у процесі роботи перевищують ті або інші технологічні уставки.

Використовується в локальних і комплексних системах промислової автоматизації виробничих процесів у схемах технологічної і аварійної сигналізації.

Прилад технологічної сигналізації ПТС-64 складається з одного блоку ПТС-2 (керуючий пристрій або прилад узагальненої сигналізації) і одного або декількох блоків ПТС-8 (керований пристрій або прилад поканальної сигналізації).

#### **Функціональні можливості**

Функції, що виконуються:

Світлодіодна індикація спрацювання поканальної (ПТС-8) і узагальненої сигналізації (ПТС-2);

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 і F2 спрямовано на два різні (за тоном, силою звучання) звукові пристрої;

Квитирування (зняття) сигналізації проводиться за допомогою кнопки, що підключається до клем ПТС-2;

Перевірка (тестування) сигналізації проводиться за допомогою кнопки, що підключається до клем ПТС-2.

Пристрій ПТС-2 (керуючий) містить:

Два незалежні канали сигналізації перемикаючими контактами частоти F1 і F2;

Задатчик частоти сигналів сигналізації F1 і F2;

Вузол квитирування (зняття) сигналізації;

Вузол перевірки сигналізації;

Пристрій ПТС-8 (керований) містить:

Вісім незалежних каналів сигналізації з можливістю поканального вибору сигналу сигналізації і номера каналу спрацювання сигналізації ПТС-2;

Підключення приладу технологічної сигналізації ПТС-64 здійснюється наступним чином. До керуючого пристрою ПТС-2 підключаються від одного до восьми керованих пристроїв ПТС-8. Схема підключення приладу представлена на рис. 3.17.

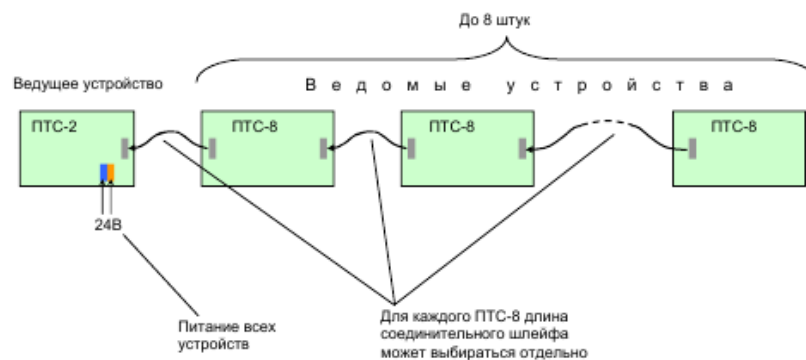


Рисунок 3.17 – Схема підключення приладу ПТС 64

Зовнішній вигляд приладу технологічної сигналізації ПТС-64 представлено на рисунку 3.18.

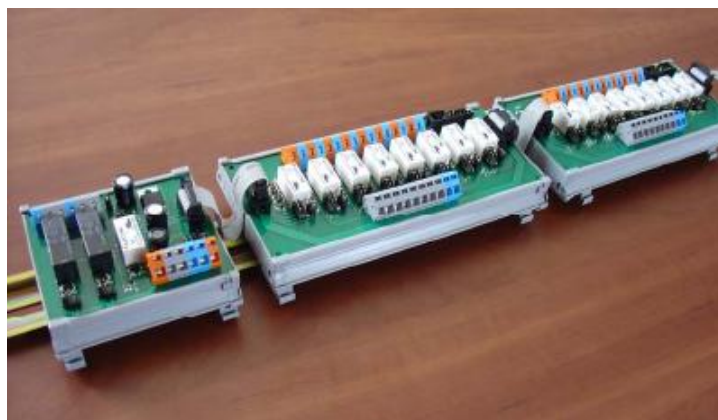


Рисунок 3.18 - Зовнішній вигляд приладу технологічної сигналізації ПТС-64

Вартість ПТС-64 – 2642,44 грн.

На основі локальних контурів і обраних засобів автоматизації побудована функціональна схема автоматизації процесу (СУмдн-01Ш 151.06.А2).

## 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 4.1 Опис об'єкту моделювання

Технологічний процес нанесення двошарового покриття на вироби дуже складний і включає в себе багато різних операцій.

Однією з основних операцій є нанесення полум'ягасячого складу, так як від цього безпосередньо залежить якість готового виробу. Цей процес є пожежо- і вибухонебезпечним, а тому вимагає жорсткого контролю і управління.

Об'єкт моделювання являє (рис. 4.1) собою контур регулювання витрати  $Q$  в трубопроводі подачі полум'ягасячого складу в ванну. Склад з реактора надходить в трубопровід подачі, яким поставляється в ванну. Трубопровід подачі оснащений регулюючим клапаном, який в даному випадку виступає безпосереднім об'єктом управління. Параметр управління – витрата полум'ягасячого складу в трубопроводі подачі його в ванну, що має дорівнювати  $5,18 \text{ м}^3/\text{год}$ , вимірюється витратоміром FE.

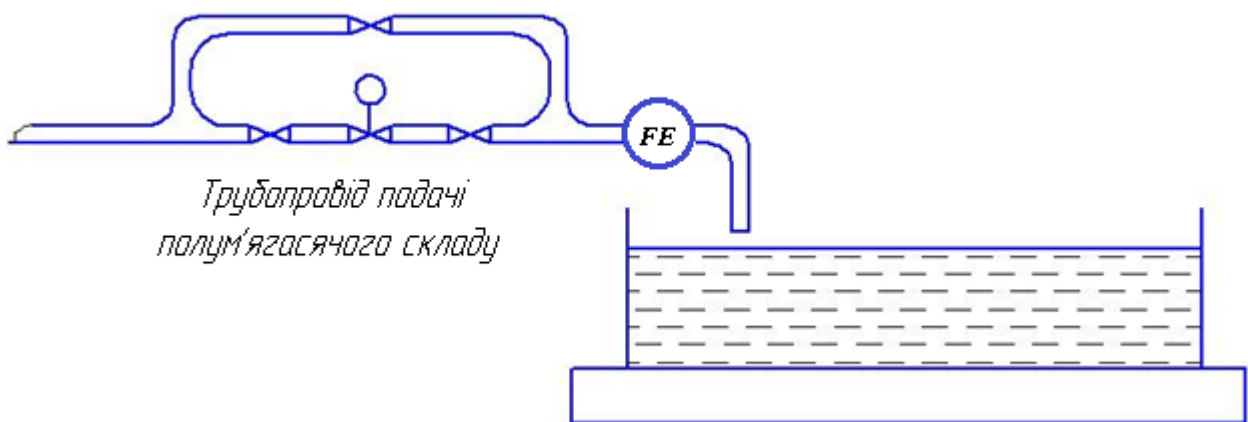


Рисунок 4.1 - Функціональна схема об'єкта моделювання

Вимоги до якості регулювання об'єкта управління:

- час перехідного процесу  $\leq 0,3 \text{ с}$ ;
- перерегулювання  $\leq 30\%$ ;
- статична точність  $2\%$ .

### 4.2 Отримання математичного опису об'єкту управління на основі експериментальних даних

Визначимо передавальну функцію об'єкта управління на основі апроксимації кривої розгону (рис. 4.2), отриманої експериментальним шляхом

на даному об'єкті управління, шляхом подачі на вхід системи одиничного вхідного ступеневого впливу.

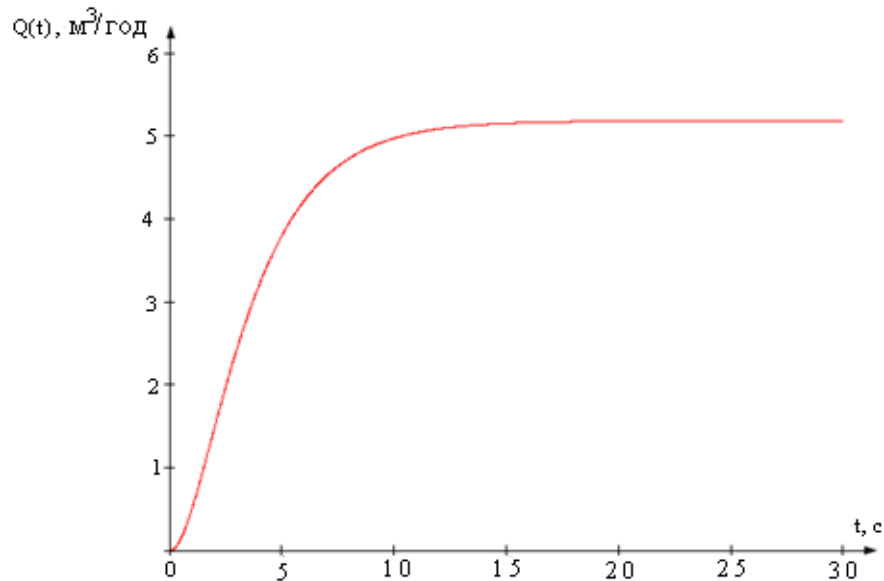


Рисунок 4.2 - Крива розгону об'єкта управління

Виконуємо нормування даної кривої розгону. Для цього кожне значення вихідної величини і ділимо на 5,18 (рис. 4.3).

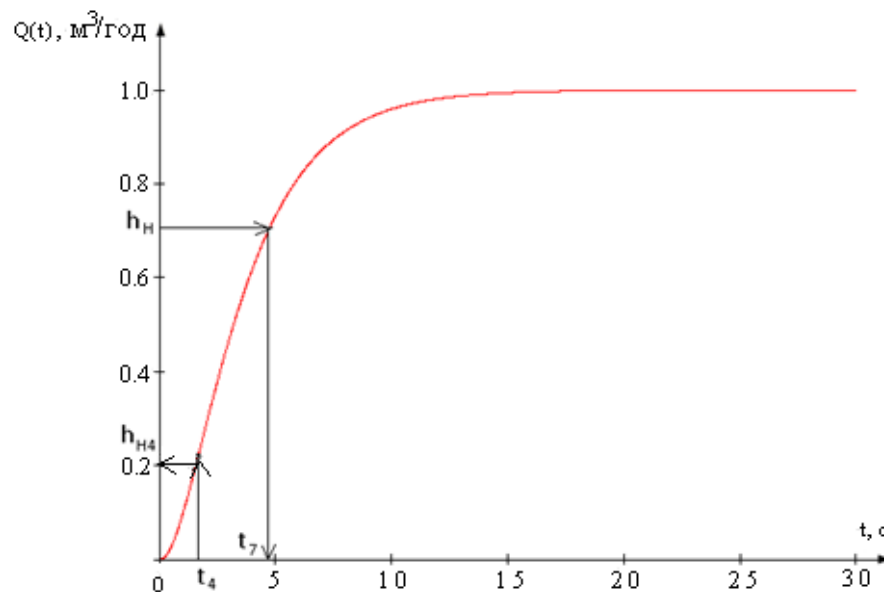


Рисунок 4.3 - Нормована крива розгону об'єкта управління

Для визначення передавальної функції скористаємося методом Орманса [10].

Цей метод дозволяє за нормованою кривою розгону визначити дві домінуючі постійні об'єкта управління для моделі виду

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (4-1)$$

де  $\tau$  - транспортне запізнювання (визначається по кривій розгону).

Другий порядок передавальної функції (4-1) пояснюється видом кривої розгону об'єкта управління (рис. 4.3).

Отримання передавальної функції об'єкта управління виконується в такій послідовності:

1) з нормованою кривої розгону визначаємо час, що відповідає значенню  $h_H=0,7$  і позначаємо його  $t_7$ . З графіка (рис. 4.2) цей час становить 4,6 секунди;

2) отриманий інтервал ділимо на три частини. Піднімаємо перпендикуляр кривої розгону і визначаємо величину  $h_{H4}$ . З графіку (рис. 4.2)  $h_{H4}=0,2$ ;

3) постійні часу об'єкта управління  $T_1$  і  $T_2$  визначаються за допомогою допоміжної величини  $Z_2$ , для знаходження якої використовується номограма Орманса (рис. 4.4).

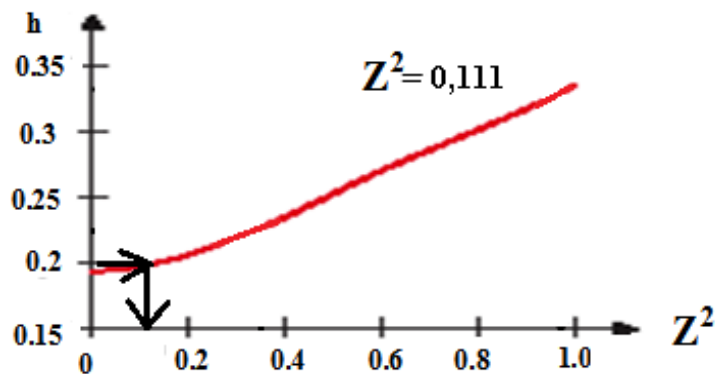


Рисунок 4.4 - Номограма Орманса

5) постійні часу об'єкта управління  $T_1$  і  $T_2$  визначаються за такими формулами:

$$T_1 = \frac{t_7}{2,4}(1+z) \quad (4-2a)$$

$$T_2 = \frac{t_7}{2,4}(1-z) \quad (4-2б)$$

$$Z = \sqrt{Z^2} = \sqrt{0,111} = 0,333 ;$$

$$T_1 = 4,6(1 + 0,333) / 2,4 = 2,555 \text{ с};$$

$$T_2 = 4,6(1 - 0,333) / 2,4 = 1,278 \text{ с}.$$

Коефіцієнт посилення  $K$  визначаємо за формулою

$$K = \frac{Y_{cm}}{X}, \quad (4-3)$$



де  $Y_{ст}$  – сталі значення вихідного параметра;

$X$  – значення вхідної величини (керуючого сигналу).

У нашому випадку  $Y_{ст}=5,18 \text{ м}^3/\text{год}$  (див. рис. 1.1),  $X=1 \text{ м}^3/\text{год}$  (одиничний ступеневий вхідний вплив).

$$K = \frac{5,18 \text{ м}^3/\text{год}}{1 \text{ м}^3/\text{год}} = 5,18.$$

Чисте транспортне запізнювання  $\tau = 0 \text{ с}$  (присутнє тільки динамічне  $\tau_d$ ).

Таким чином, передавальна функція може бути представлена у вигляді

$$W(s) = \frac{5,18}{(1,278 \cdot s + 1) \cdot (2,555 \cdot s + 1)} = \frac{5,18}{3,265 \cdot s^2 + 3,833 \cdot s + 1} \quad (4-4)$$

### 4.3 Перевірка адекватності моделі методом Фішера

Змодельємо об'єкт управління з його передавальної функції (4-4) в MatLab (Simulink). Схема моделі зображена на рисунку 4.5.

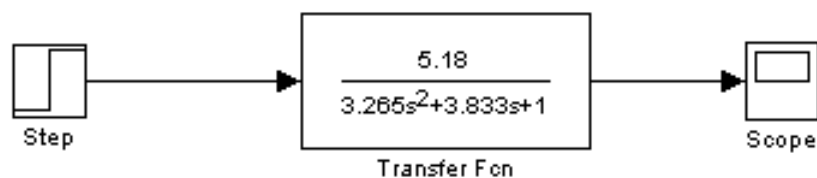


Рисунок 4.5 - Схема моделі досліджуваного об'єкта

Запускаємо процес моделювання і отримуємо криву розгону (рис. 4.6).

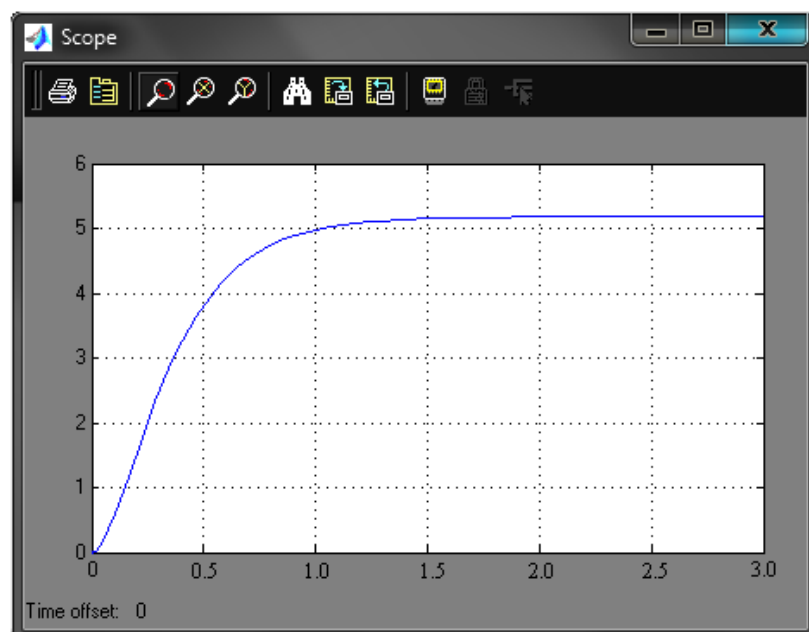


Рисунок 4.6 - Крива розгону об'єкта управління, отримана в MatLab (Simulink)

Аналогічно п.2 виконуємо нормування даної кривої розгону (рис. 4.7).

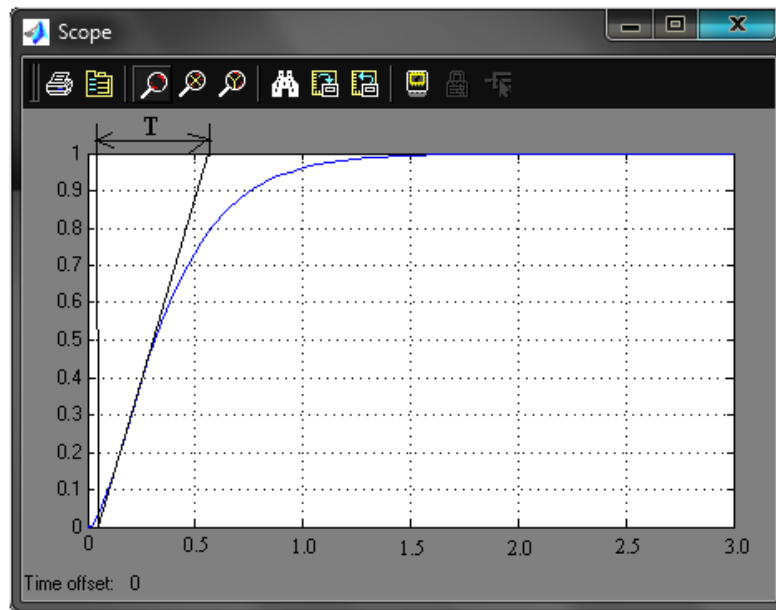


Рисунок 4.7 - Нормована крива розгону об'єкта управління, отримана в MatLab (Simulink)

Аналізуючи перехідний процес, одержуємо такі показники якості:

а) час перехідного процесу

$$t_p = 3T = 3 \cdot 0,48 = 1,44 \text{ с;}$$

б) перерегулювання

$$\sigma = \frac{h_{\max}(t) - h_{\text{см}}(t)}{h_{\text{см}}(t)} = \frac{1-1}{1} \cdot 100\% = 0\% \quad (4-5)$$

Область зміни  $t$  ділимо на 10 інтервалів. Визначаємо середнє значення для 10-ти точок на експериментальній кривій розгону (рис. 4.3), рівномірно розподілених по кривій і 10-ти точок при тих же моментах часу на кривій розгону, отриманої в MatLab (рис.4.7).

Для цих точок визначаємо мат. очікування (середнє значення  $Y$ ) за формулою

$$\overline{Y}_{Y1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{1i} \quad (4-6a)$$

$$\overline{Y}_{Y2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{2i} \quad (4-6б)$$

де  $\overline{Y}_{Y1}$  – мат. очікування, отримане для експериментальної кривої розгону (рис. 4.2),

$\overline{Y}_{Y2}$  – мат. очікування, отримане для теоретичної кривої розгону (рис. 4.3).

$$\overline{Y}_{Y1} = \frac{0,08 + 0,2 + 0,36 + 0,56 + 0,68 + 0,8 + 0,86 + 0,9 + 0,964 + 0,996}{10} = 0,64$$

$$\overline{Y}_{Y2} = \frac{0,06 + 0,18 + 0,34 + 0,53 + 0,65 + 0,78 + 0,84 + 0,89 + 0,96 + 0,97}{10} = 0,62$$

Визначаємо оцінку дисперсії середнього для кожної вибірки

$$S_{Y1} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\overline{Y}_{Y1} - y_i)^2 \quad (4-7a)$$

$$S_{Y2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\overline{Y}_{Y2} - y_i)^2 \quad (4-7б)$$

$$S_{Y1} = \frac{(0,64 - 0,08)^2 + (0,64 - 0,2)^2 + (0,64 - 0,36)^2 + (0,64 - 0,56)^2 + (0,64 - 0,68)^2 + (0,64 - 0,8)^2 + (0,64 - 0,86)^2 + (0,64 - 0,9)^2 + (0,64 - 0,964)^2 + (0,64 - 0,996)^2}{10} = 0,107$$

$$S_{Y2} = \frac{(0,62 - 0,06)^2 + (0,62 - 0,18)^2 + (0,62 - 0,34)^2 + (0,62 - 0,53)^2 + (0,62 - 0,65)^2 + (0,62 - 0,78)^2 + (0,62 - 0,84)^2 + (0,62 - 0,89)^2 + (0,62 - 0,96)^2 + (0,62 - 0,97)^2}{10} = 0,109$$

Визначаємо відношення оцінок дисперсій, причому більша з отриманих оцінок дисперсій ділиться на меншу

$$\frac{S_{Y_{\text{більша}}}}{S_{Y_{\text{менша}}}} \quad (4-8)$$

$$\frac{S_{Y_{\text{більша}}}}{S_{Y_{\text{менша}}}} = \frac{0,109}{0,107} = 1,02$$

Порівнюючи отримане значення зі значенням критерію Фішера  $F_{0,95,10,10}=2,98$ , робимо висновок, що отримана модель адекватна об'єкту управління, так як  $1,02 < 2,98$ .

#### 4.4 Синтез системи управління методом логарифмічних частотних характеристик (методом Солодовнікова)

##### 4.4.1 Побудова асимптотичної ЛАЧХ незмінної частини системи $L_n(\omega)$

Попередньо проводимо аналіз передавальної функції об'єкта управління (4-4) в наступному порядку:

1) з виразу (4-4) знаходимо і записуємо постійні часу елементарних ланок  $T_1=1,278$  с,  $T_2=2,555$  с, за якими визначаємо частоти сполучення і маємо в своєму розпорядженні їх в порядку зростання

$$\omega_1 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{2,555} = 0,391 \text{ с}^{-1}, \quad (4-9a)$$

$$\omega_2 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{1,278} = 0,783 \text{ c}^{-1} \quad (4-9б)$$

2) оскільки в складі передавальної функції об'єкта управління (4-4) відсутні інтегрують ланки, низькочастотна асимптота ЛАЧХ матиме початковий нахил 0 дБ/дек;

3) фіксація низькочастотної асимптоти ЛАЧХ перебуває на частоті  $\omega=1$  на рівні, який визначається з наступного виразу

$$L_n(1) = 20 \cdot \lg(k) = 20 \cdot \lg(5,18) = 14 \text{ дБ} \quad (4-10)$$

де  $k$  - коефіцієнт посилення постійної частини САУ.

Застосовуючи правила побудови асимптот, будуємо ЛАЧХ в наступному порядку:

1) від частоти сполучення  $\omega_1$  до частоти  $\omega_2$  будуємо асимптоту з нахилом, збільшеним в порівнянні з попереднім на 20 дБ/дек, тобто з нахилом  $0-20=-20$  дБ/дек, так як частота  $\omega_1$  пов'язана з співмножником виду  $(Ts+1)^\alpha$  ( $\alpha=1$ ) в знаменнику передавальної функції;

2) від частоти сполучення  $\omega_2$  будуємо асимптоту з нахилом, збільшеним в порівнянні з попереднім на 20 дБ/дек, тобто з нахилом  $-20-20 = -40$  дБ/дек, так як частота  $\omega_2$  пов'язана з співмножником виду  $(Ts+1)^\alpha$  ( $\alpha = 1$ ) в знаменнику передавальної функції.

Будуємо асимптотическую ЛАЧХ незмінної частини системи (рис. 4.10, крива  $L_n(\omega)$ ).

#### 4.4.2 Побудова бажаної асимптотичної ЛАЧХ за Солодовніковим

##### 4.4.2.1 Побудова низькочастотної частини бажаної асимптотичної ЛАЧХ

Нахил і положення низькочастотної асимптоти ЛАЧХ  $L_0(\omega)$  залежить від вимог, що пред'являються до статичної точності.

Бажана система не змінює порядок астатизма. З умови заданої статичної точності  $S_0$  може бути розрахований коефіцієнт посилення (добротність за швидкістю) розімкнутої ланцюга системи (об'єкта управління і коригуючого пристрою)

$$k_v = \frac{1 - S_0}{S_0} \quad (4-11)$$

Не змінюючи нахилу низькочастотної асимптоти (0 дБ/дек), фіксуємо її нове положення щодо осі абсцис на рівні

$$L_{\kappa}(1) = 20 \lg(k_v) = 20 \lg\left(\frac{1 - 0,02}{0,02}\right) = 33,804 \text{ дБ} \quad (4-12)$$

#### 4.4.2.2 Побудова середньочастотної частини бажаної асимптотичної ЛАЧХ

##### а) Визначення частоти зрізу $\omega_z$ і побудова середньочастотної асимптоти бажаної ЛАЧХ

Для визначення мінімально допустимого значення частоти зрізу  $\omega_z$  ЛАЧХ бажаної системи використовуємо одну з номограм Солодовнікова для статичних систем, яка встановлює відповідність між величиною максимального значення частотної характеристики  $P_{\max}$  і величинами перерегулювання  $\sigma$  і часу перехідного процесу  $t_p$ .

По заданому значенню перерегулювання  $\sigma=30\%$  за допомогою кривої  $\sigma$  ( $P_{\max}$ ) номограми (рис. 4.7) знаходимо відповідне йому значення  $P_{\max}=1,6$ , за яким за допомогою другої кривої  $t_p$  ( $P_{\max}$ ) (рис. 4.8) визначаємо значення часу перехідного процесу  $t_p$ , виражене через частоту зрізу  $\omega_z$  співвідношенням  $4,9\pi/\omega_z$ .

Частоту зрізу  $\omega_z$  визначаємо з наступного рівняння

$$\omega_z = \frac{4,9 \cdot \pi}{t_p} = \frac{4,9 \cdot \pi}{0,3} = 12,8 \text{ с}^{-1} \quad (4-13)$$

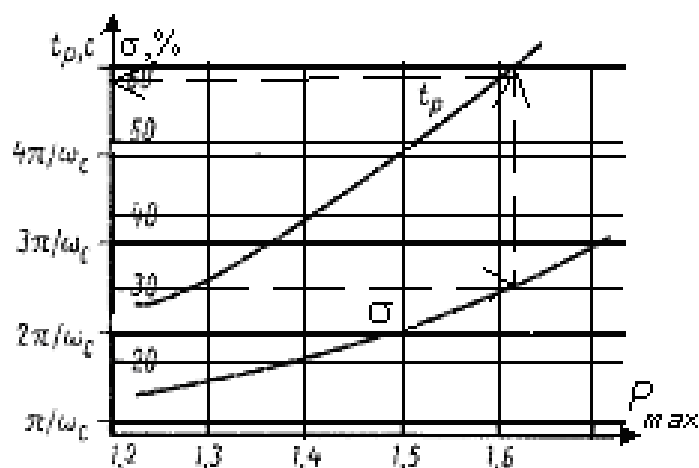


Рисунок 4.8 - Номограма якості Солодовнікова для статичних систем

Проводимо через точку  $\omega_z=12,8 \text{ с}^{-1}$  на осі частот середньочастотну асимптоту з нахилом -20 дБ/дек (рис. 4.10).

## б) Визначення діапазону частот середньочастотної частини ЛАЧХ

За номограмою (рис. 4.9) і знайденим раніше значенням  $P_{\max}=1,6$  знаходимо необхідний запас по фазі  $\gamma_{\min}=28^\circ$  і відповідні йому ординати середньочастотної частини ЛАЧХ  $L_m=\pm 9$  дБ.

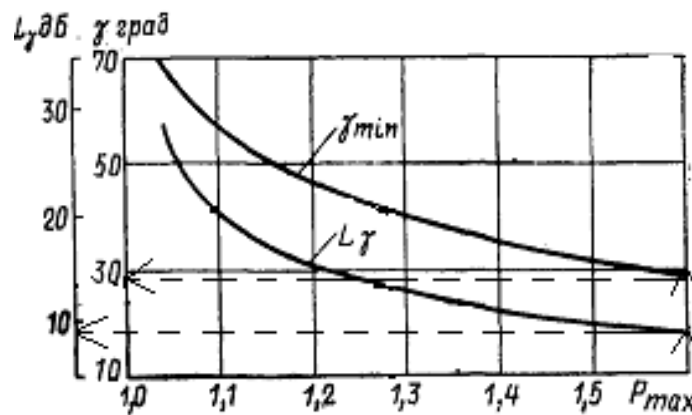


Рисунок 4.9 - Графік для визначення ширини середньочастотної асимптоти і необхідного надлишку фази

Лінії, проведені паралельно осі частот на рівні  $L_m=\pm 9$  дБ, дають в точках перетину з середньочастотною асимптотою частоти сполучення  $\omega_{c1}=0,04$  с<sup>-1</sup> в низькочастотній частині бажаної ЛАЧХ і  $\omega_{c2}=0,4$  с<sup>-1</sup> в високочастотній (рис. 4.10).

## в) Сполучення низькочастотної і середньочастотної частин бажаної ЛАЧХ

Так як точка перетину низькочастотної і середньочастотної асимптот існує і знаходиться лівіше середньочастотної ділянки, то вона і визначає сполучення. За графіком (рис. 4.10) визначаємо частоту сполучення рівній  $\omega_a=2,4 \times 10^{-3}$  с<sup>-1</sup>.

## г) Побудова високочастотної частини бажаної ЛАЧХ і сполучення її з середньочастотною асимптотою

Побудова високочастотної частини бажаної ЛАЧХ виконується таким чином, щоб вид бажаної ЛАЧХ в цій області якомога менше відрізнявся від виду незмінною ЛАЧХ.

Середньочастотна асимптота перетинає незмінну ЛАЧХ правіше середньочастотної ділянки, тому цю точку вибираємо в якості точки сполучення з високочастотною частиною бажаної ЛАЧХ. За графіком (рис. 4.10) визначаємо частоту сполучення рівній  $\omega_b=10,2$  с<sup>-1</sup>. При цьому ділянка незмінної ЛАЧХ, розташована правіше цієї точки, вважається

високочастотною частиною бажаної ЛАЧХ.

Побудована таким чином бажана ЛАЧХ розімкнутої системи управління  $L_6(\omega)$  представлена на рисунку 4.10.

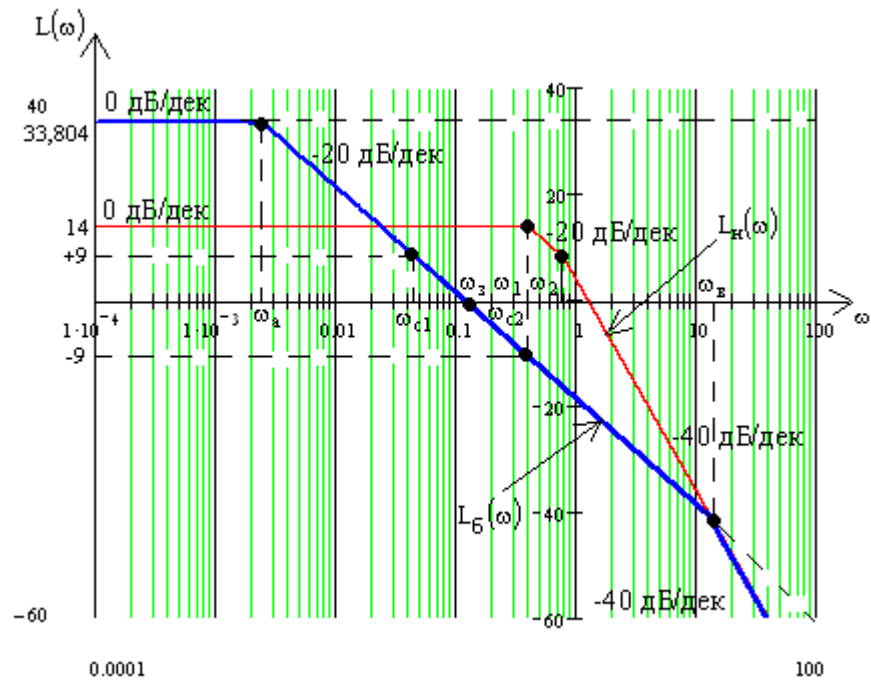


Рисунок 4.10 - Бажана і незмінна асимптотичні ЛАЧХ аналогової системи

#### 4.4.3 Отримання передавальної функції розімкнутого ланцюга бажаної системи

Для отримання передавальної функції розімкнутого ланцюга бажаної системи  $W_6(\omega)$  з вигляду отриманої бажаної асимптотичної ЛАЧХ  $L_6(\omega)$  застосуємо методику, яка впливає з методики побудови асимптотичної ЛАЧХ за виглядом її передавальної функції:

1) визначаємо частоти сполучення  $\omega_1$  побудованої бажаної ЛАЧХ  $L_6(\omega)$  і маємо в своєму розпорядженні їх в порядку зростання:  $\omega_a=2,4 \times 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ ;  $\omega_b=10,2 \text{ c}^{-1}$ ;

2) визначаємо порядок астатизма бажаної системи за першим нахилом низькочастотної асимптоти бажаної ЛАЧХ. Так як перший нахил складає 0 дБ/дек, дана система статична;

3) визначаємо коефіцієнт посилення розімкнутої системи, вимірявши ординату низькочастотної асимптоти  $L_6(\omega)$  на частоті  $1 \text{ c}^{-1}$  з наступним використанням формули

$$k = 10^{\frac{L_6(1)}{20}} = 10^{\frac{33,804}{20}} = 49 \quad (4-14)$$

4) знаходимо вирази для співмножників чисельника і знаменника передавальної функції розімкнутої системи, послідовно аналізуючи поведінку асимптотичної ЛАЧХ:

а) після частоти сполучення  $\omega_a = 2,4 \times 10^{-3} \text{ c}^{-1}$  нахил асимптоти збільшується на 20 дБ/дек, що відповідає наявності в знаменнику співмножника

$$\frac{1}{\omega_a} \cdot s + 1 = \frac{1}{2,4 \cdot 10^{-3}} \cdot s + 1 = 416,667 \cdot s + 1; \quad (4-15)$$

б) після частоти сполучення  $\omega_b = 10,2 \text{ c}^{-1}$  нахил асимптоти збільшується на 20 дБ/дек, що відповідає наявності в знаменнику співмножника

$$\frac{1}{\omega_b} \cdot s + 1 = \frac{1}{10,2} \cdot s + 1 = 0,098 \cdot s + 1. \quad (4-16)$$

Таким чином, передавальна функція бажаної розімкненої системи матиме вигляд

$$W_6(s) = \frac{49}{(416,667 \cdot s + 1) \cdot (0,098 \cdot s + 1)} \quad (4-17)$$

#### 4.4.4 Моделювання синтезованої системи і визначення показників якості перехідного процесу

Використовуючи вираз передавальної функції бажаної (скоригованої) розімкнутої системи, отримуємо перехідну характеристику замкнутої системи, яка представлена на рис. 4.11. Для цього використовуємо математичний пакет MathCad

$$W_r(s) := \frac{49}{(416.667 \cdot s + 1) \cdot (0.098 \cdot s + 1)} \quad W_z(s) := \frac{W_r(s)}{1 + W_r(s)}$$

$$h(t) := \frac{W_z(s)}{s} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 1} \end{array} \right. \rightarrow 1 - 1 \cdot \exp(-5.10 \cdot t) \cdot \cosh(4.98 \cdot t) - 1 \cdot \exp(-5.10 \cdot t) \cdot \sinh(4.98 \cdot t)$$



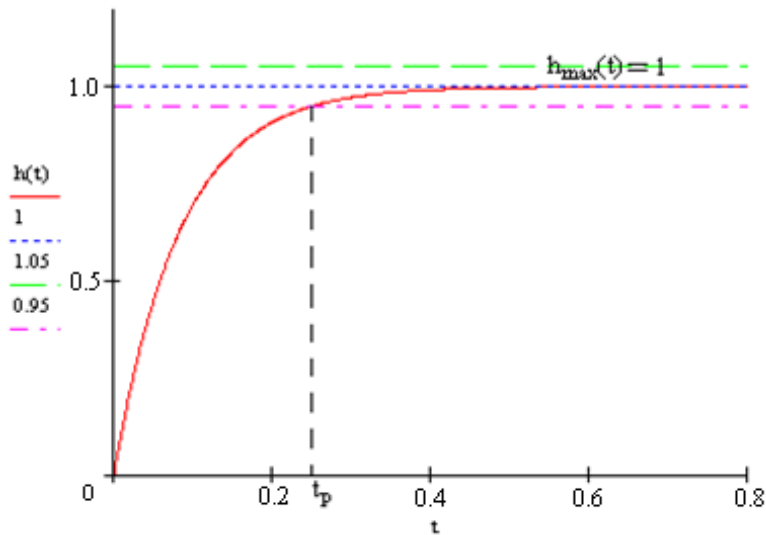


Рисунок 4.11 - Перехідний процес в скоригованій системі  
Аналізуючи перехідний процес, одержуємо такі показники якості:

а) час перехідного процесу

$$t_p = 0,25 \text{ с;}$$

б) перерегулювання

$$\sigma = \frac{h_{\max}(t) - h_{\text{ст}}}{h_{\text{ст}}} 100\% = \frac{1 - 1}{1} 100\% = 0 \%$$

Отримані показники якості перехідного процесу задовольняють заданим показниками, а значить, синтез виконаний успішно.

#### 4.4.5 Отримання математичного опису коригуючого пристрою

Передавальну функцію коригуючого пристрою  $W_k(s)$  отримуємо діленням передавальної функції бажаної розімкненої системи  $W_6(s)$  на передавальну функцію незмінної системи  $W_n(s)$

$$W_k(s) = \frac{W_6(s)}{W_n(s)} = \frac{9,46(1,278s+1)(2,555s+1)}{(416,667s+1)(0,098s+1)} = \frac{9,46(3,265s^2+3,833s+1)}{40,833s^2+416,765s+1} \quad (4-18)$$

#### 4.5 Моделювання системи управління в математичному пакеті MatLab (Simulink)

Схема моделювання системи управління в математичному пакеті MatLab (Simulink) представлена на рисунку 4.12.

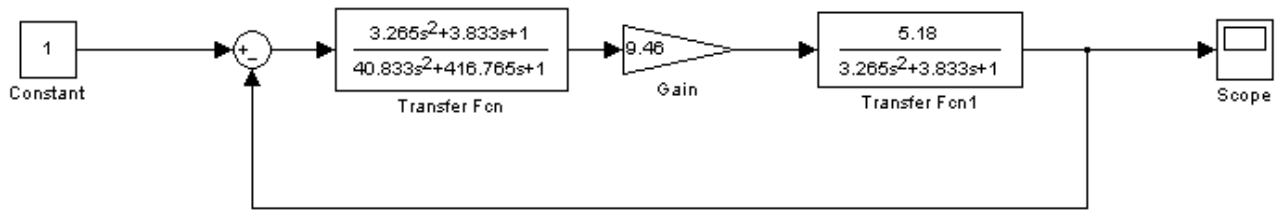


Рисунок 4.12 - Схема моделювання системи управління

Перехідний процес в даній системі має вигляд, зображений на рисунку 4.13.

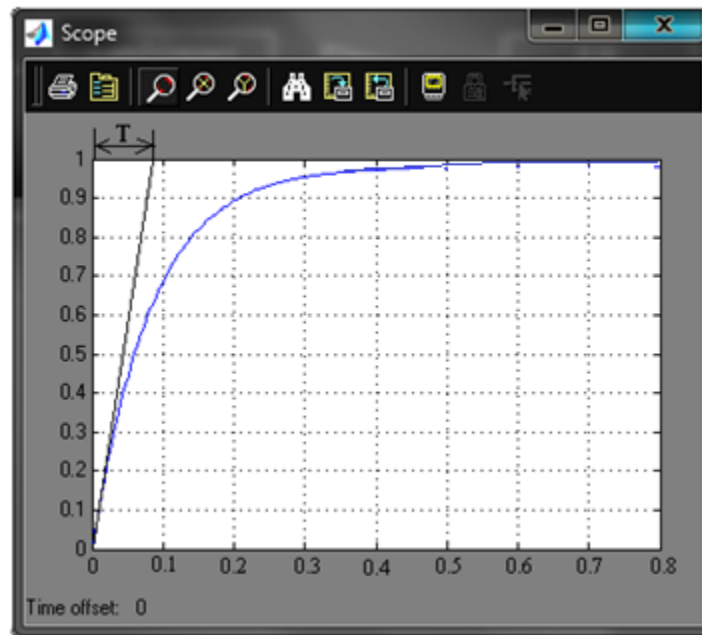


Рисунок 4.13 - Перехідний процес в системі

Аналізуючи перехідний процес, одержуємо такі показники якості:

а) перерегулювання

$$\sigma = \frac{h_{\max}(t) - h_{\text{ст}}}{h_{\text{ст}}} 100\% = \frac{1 - 1}{1} 100\% = 0\% ;$$

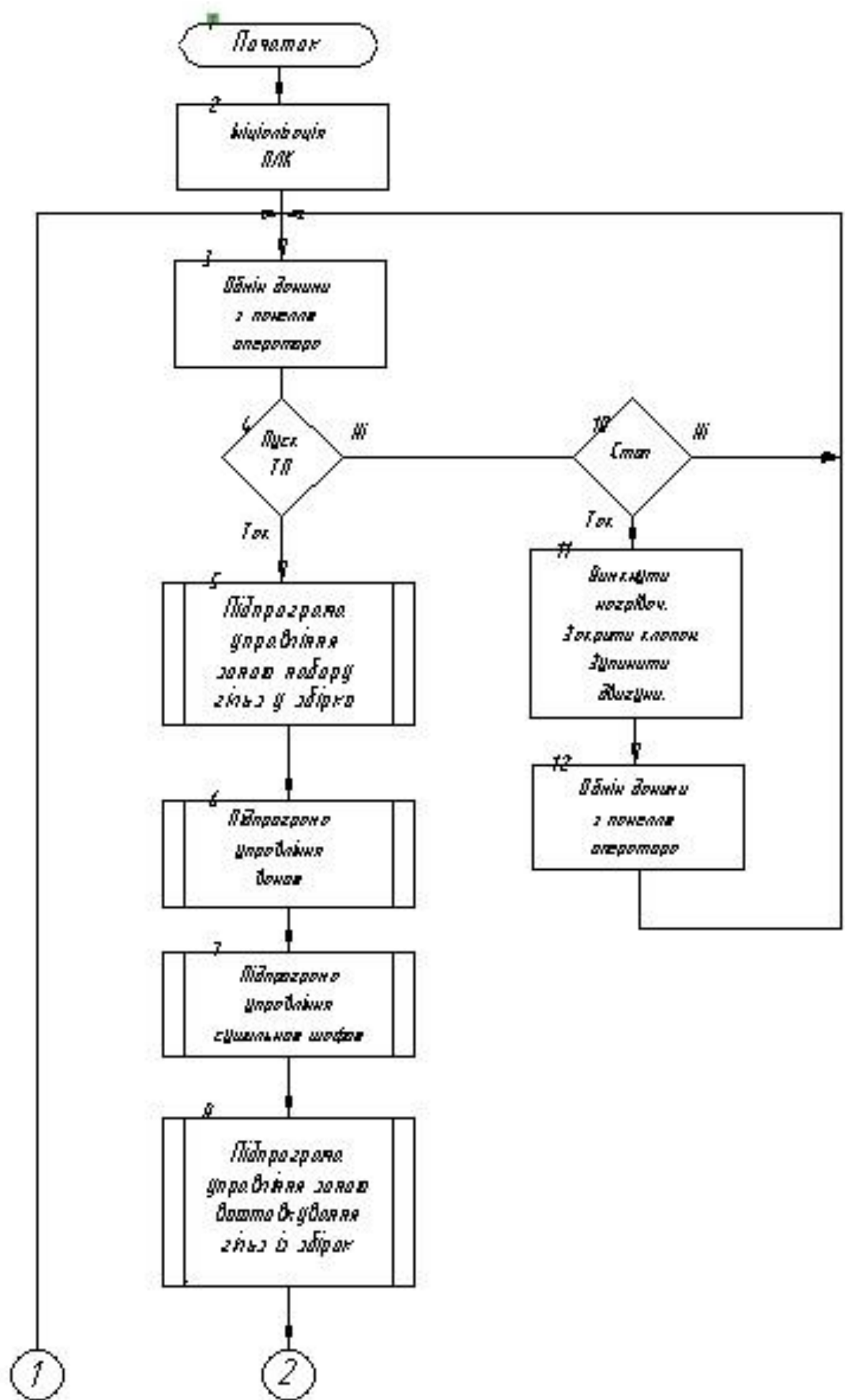
б) час перехідного процесу

$$t_p = 3T = 3 \cdot 0,09 = 0,27 \text{ с.}$$

Отримані показники збігаються з аналогічними з попереднього пункту, а отже, моделювання виконано правильно.

#### 4.6 Розробка алгоритмів управління

У загальному вигляді система працює за алгоритмом, представленим на рисунку 4.14.



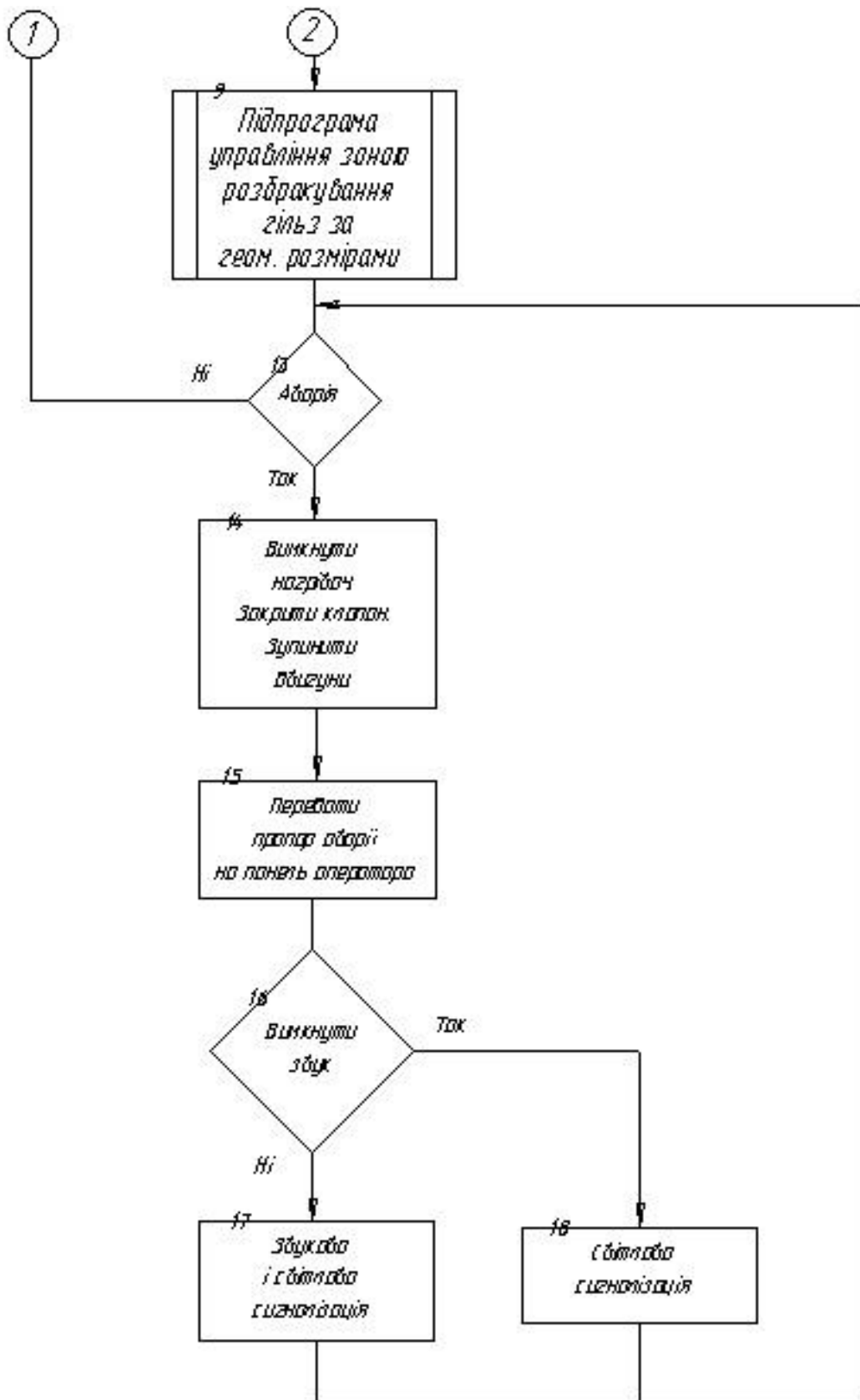


Рисунок 4.14 – Загальний алгоритм роботи системи

Алгоритми окремих підпрограм управління приведені на рисунках 4.15-4.19.

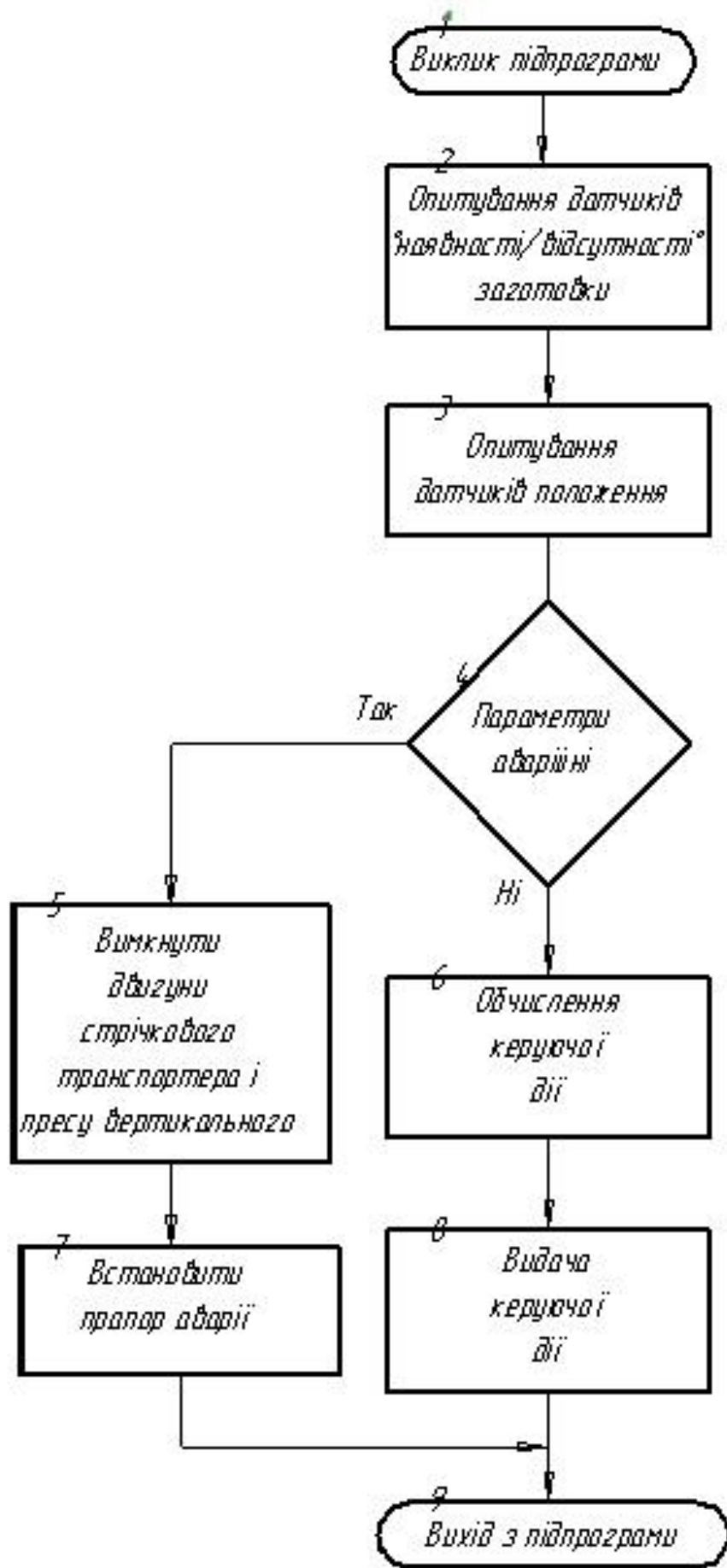


Рисунок 4.15 – Підпрограма управління зоною набору гільз у збірки

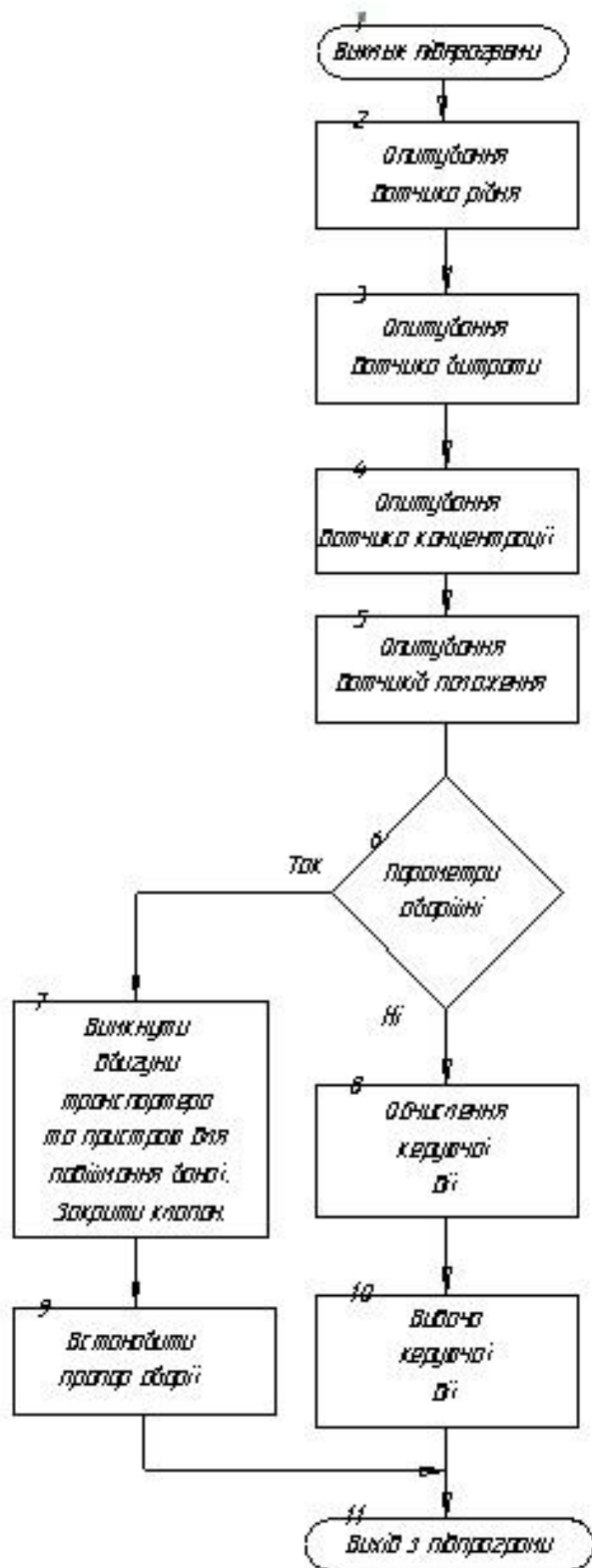


Рисунок 4.16 – Підпрограма управління ванною

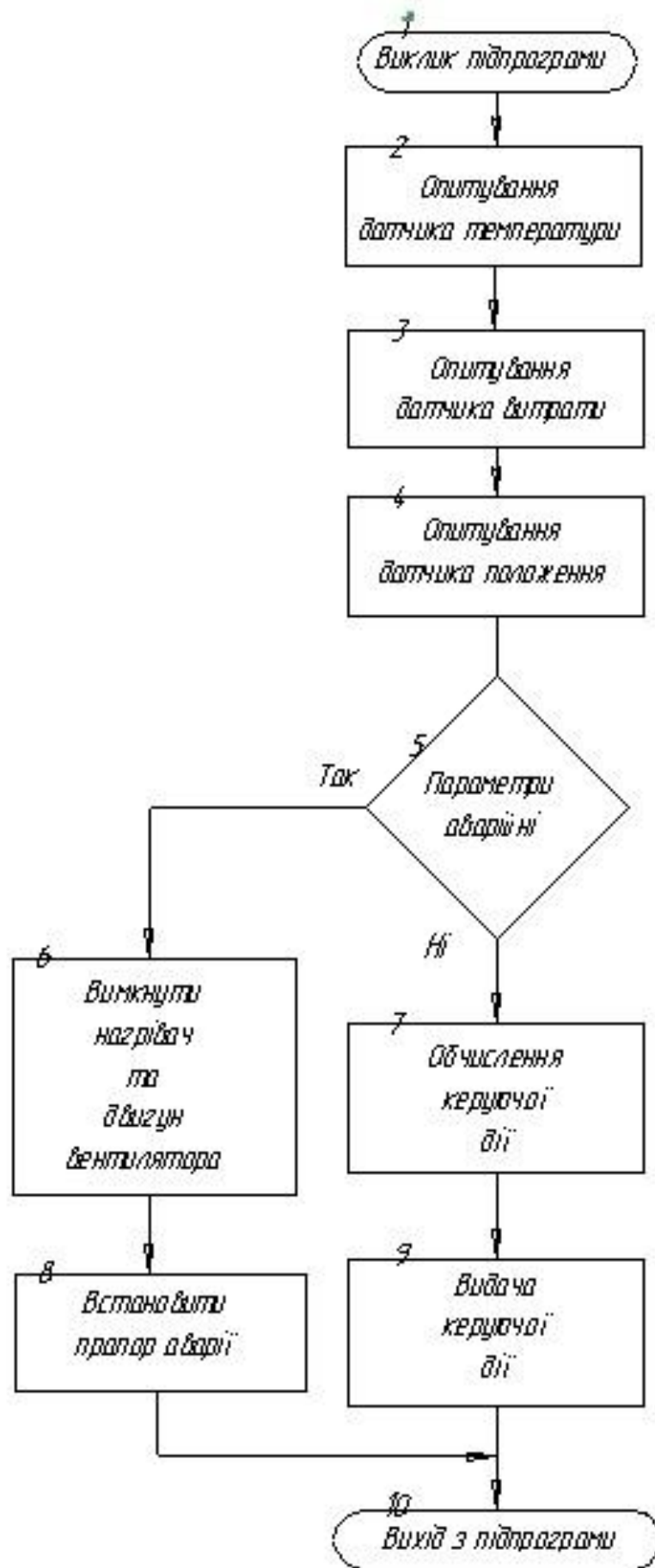


Рисунок 4.17 – Підпрограма управління сушильною шафою

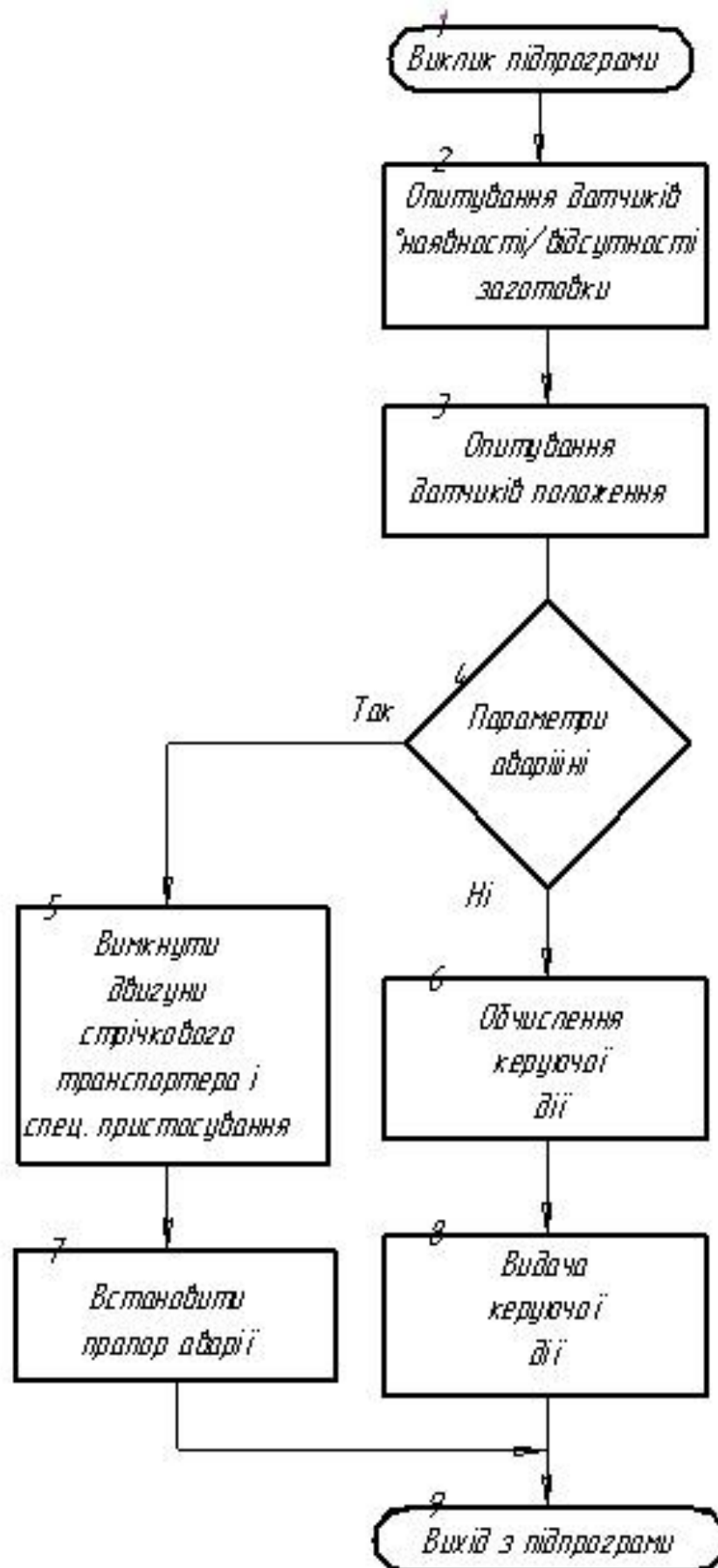


Рисунок 4.18 – Підпрограма управління зоною виштовхування гілз із збірок



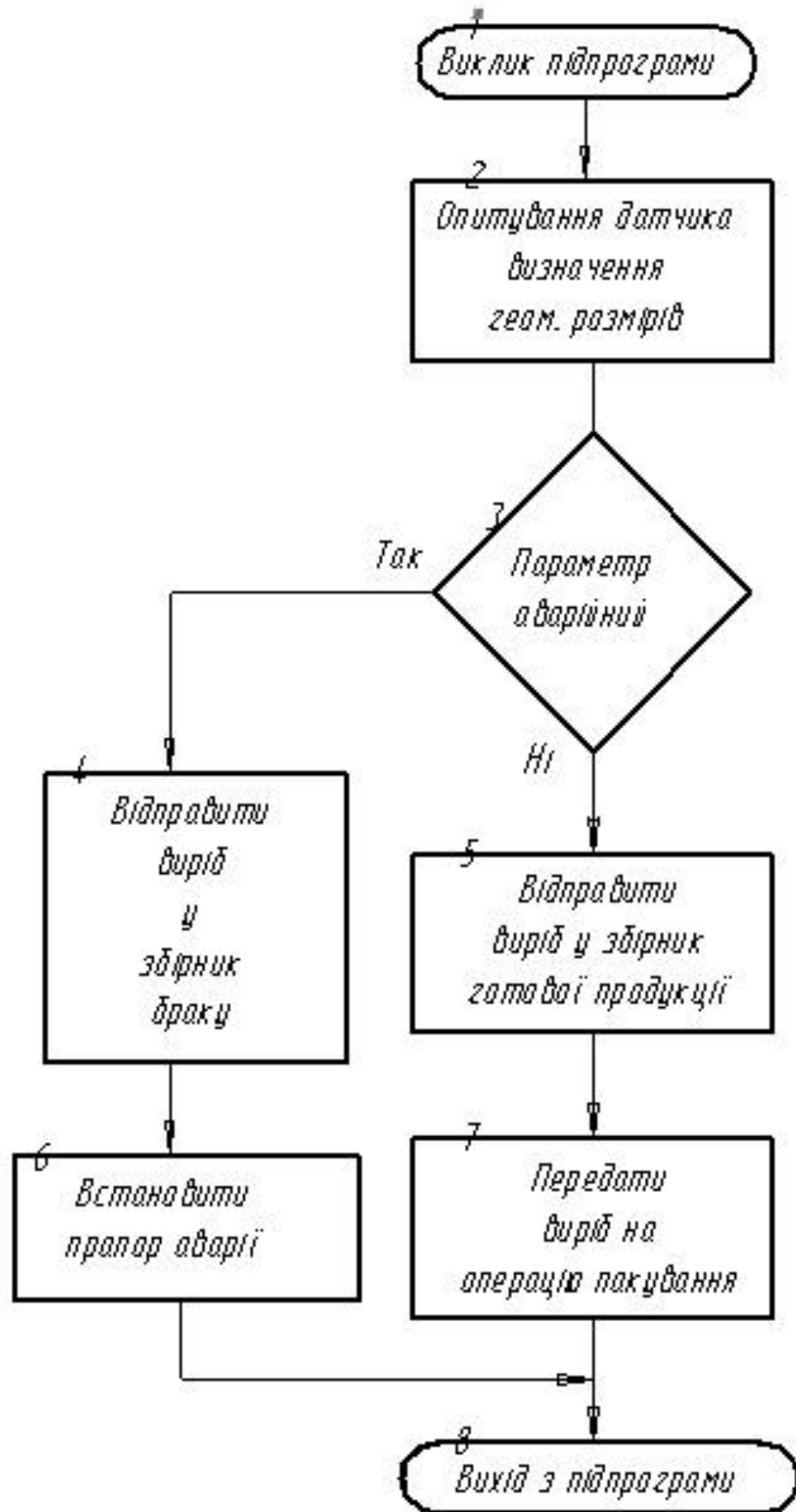


Рисунок 4.19 – Підпрограма управління зоною розбракування гільз з геометричними розмірами

## 5 РЕАЛІЗАЦІЯ АСУТП У TRACE MODE 6

Для створення АСУТП у даному проєкті була використана САПР TRACE MODE 6, в якій були виконані операції:

### 5.1 Створення екрану АРМ

Екран АРМ служить графічним представленням (у вигляді мнемосхеми) технологічного процесу, виконує індикацію основних параметрів процесу, а також дає можливість оператору вносити зміни в закони управління і технологічні параметри.

На рисунку 5.1 приведено екран АРМ, створений для автоматизації технологічного процесу нанесення двошарового покриття на виробі.

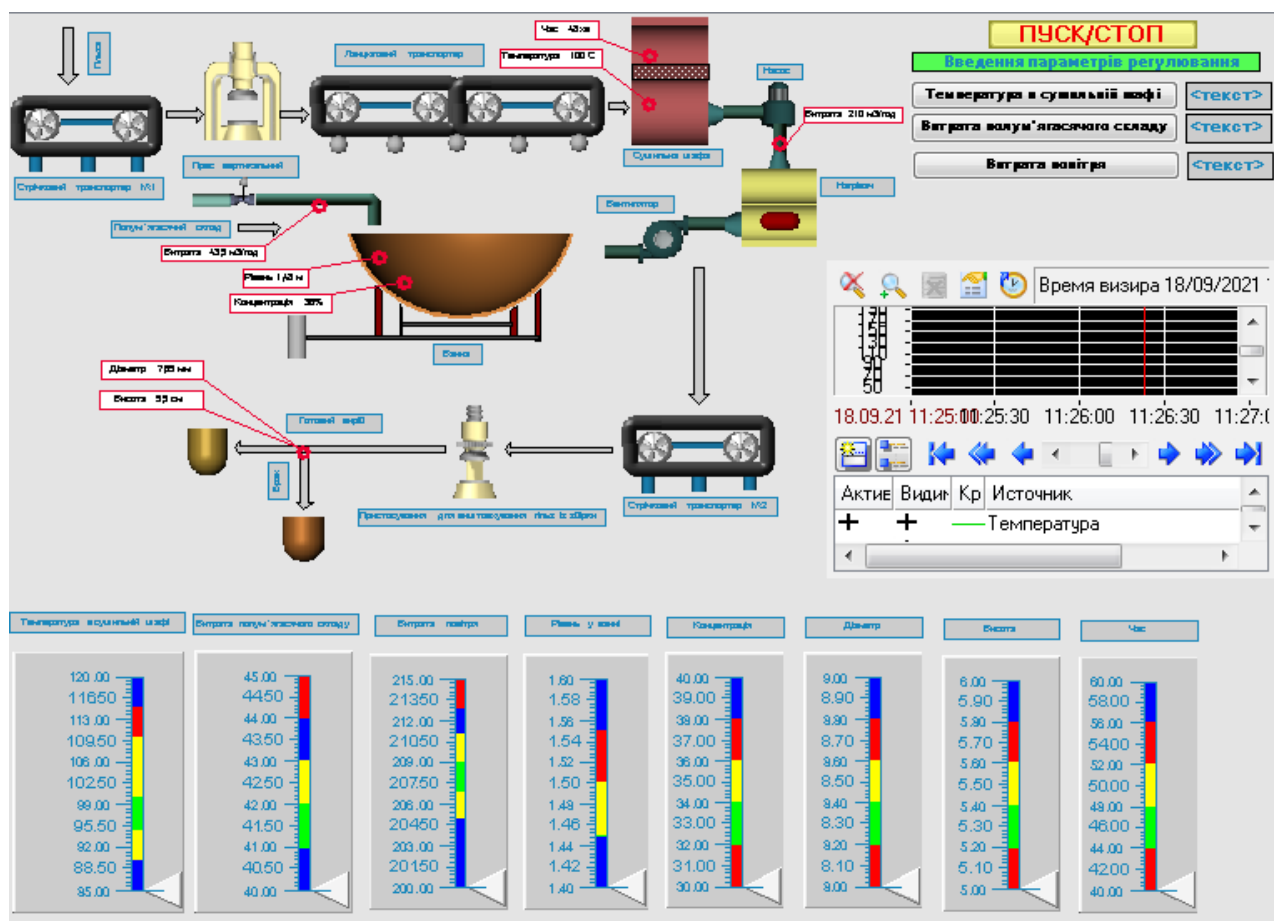


Рисунок 5.1 – Екран АРМ САУ нанесення двошарового покриття на виробі

За допомогою кнопки під підказкою “Ввод параметров регулирования” на екрані АРМ задаються: температура в сушильній шафі, витрата полум’ягасячого складу і витрата повітря.

У правій середній частині екрану АРМ відображається діаграма стану технологічного процесу. На ній буде видно, як система відпрацьовує збурюючу дію.

Значення параметра, яке необхідно підтримувати на певному рівні, задається програмно. Це значення змінити не можна, так як це може призвести до аварійних ситуацій.

У нижній частині екрану відображаються прилади, які будуть показувати контрольовані параметри.

## **5.2 Створення програмного забезпечення для контролера**

Створимо програму, що реалізує функції – регулювання температури в сушильній шафі, регулювання витрати полум’ягасячого складу, регулювання витрати повітря; контроль рівня у ванні, контроль концентрації у ванні, контроль часу в сушильній шафі, контроль діаметру у зоні розбракування гільз за геометричними розмірами, контроль висоти у зоні розбракування гільз за геометричними розмірами.

Скористаймося мовою програмування Техно FBD. Його відмінною особливістю є наочність. Складання програми засноване на групуванні відповідних графічних елементів і створенні зв’язків між ними. Використання такого способу програмування практично виключає виникнення помилок, а також дозволяє легко змінити структуру програми. Отримана схема компілюється засобами TRACE MODE, отримане математичне забезпечення переноситься у контролер.

Для імітації роботи з об’єктом використовується модуль «Модель объекта (OBJ)».

Даний блок моделює об'єкт управління для налагодження алгоритмів регулювання або підготовки демонстраційних проектів. Він являє собою комбінацію аперіодичної (інерційної) ланки першого порядку і ланки запізнювання, тобто передаточна функція блоку має вигляд

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1} , \quad (5-1)$$

де  $k$  і  $T$  – відповідно коефіцієнт підсилення і стала часу інерційної ланки першого порядку.

Крім того, на вихідний сигнал блоку можна накласти заваду у вигляді випадкової складової, синусоїдального сигналу або випадкових кидків. Тут таки можна завдати випадкове коливання динамічних характеристик об'єкту.

У якості прикладу на рисунку 5.2 показано відклик блоку (крива 2) на прямокутний імпульс (крива 1).

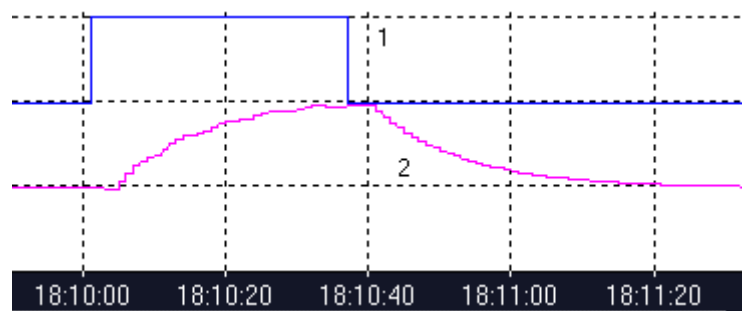


Рисунок 5.2 - Робота модуля OBJ

Вхідним по відношенню до модельованого об'єкту є вхід INP. Входи  $K$ ,  $T$  і  $N$  використовуються для завдання відповідно коефіцієнта підсилення, сталої часу і часу запізнювання. Останні два параметри задаються у тактах перерахунку, максимальне значення часу запізнювання – 4.

Вхід SNS призначено для управління випадковими завадами, що вносяться у роботу об'єкта. Значення 1 окремих бітів цього входу включає наступні завади:

1 біт – додавання до вихідного сигналу випадкової величини в діапазоні від 0 до 1%;

2 біт – формування піку величиною 25% від значення виходу з імовірністю 0,01;

3 біт – додавання до виходу синусоїдального сигналу з амплітудою 2% від значення виходу;

5 біт – випадкове збільшення коефіцієнту підсилення у діапазоні від 0 до 2%;

6 біт – випадкове збільшення сталої часу в діапазоні від 0 до 2%;

7 біт – випадкова зміна на 1 запізнювання.

Перші три завади додаються до виходу блока після формування його нового значення. Динамічні характеристики об'єкта (останні три завади) корегуються до перерахунку блоку.

На рисунках 5.3-5.5 представлені блоки для імітації роботи окремих складових частин системи.

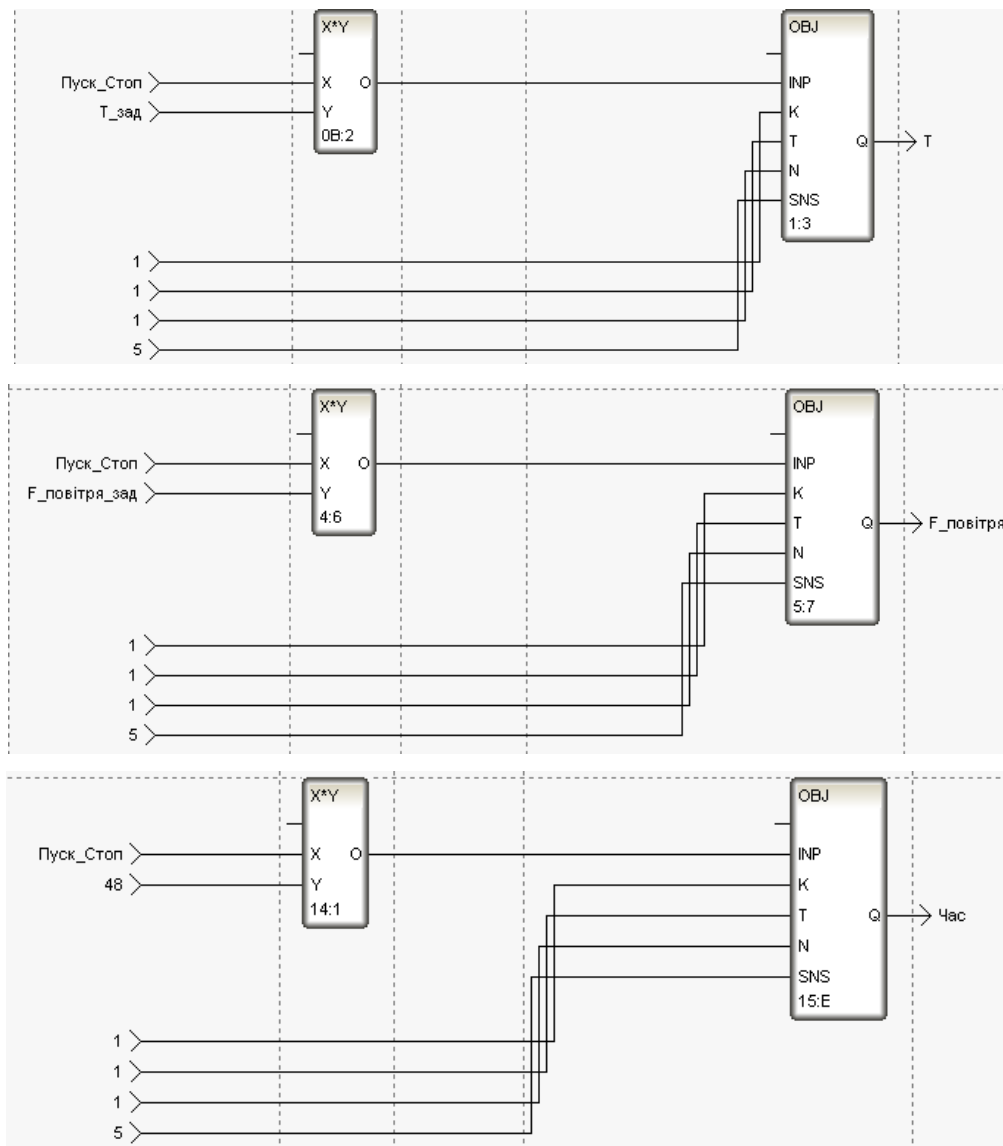


Рисунок 5.3 - Блок імітації роботи сушильної шафи

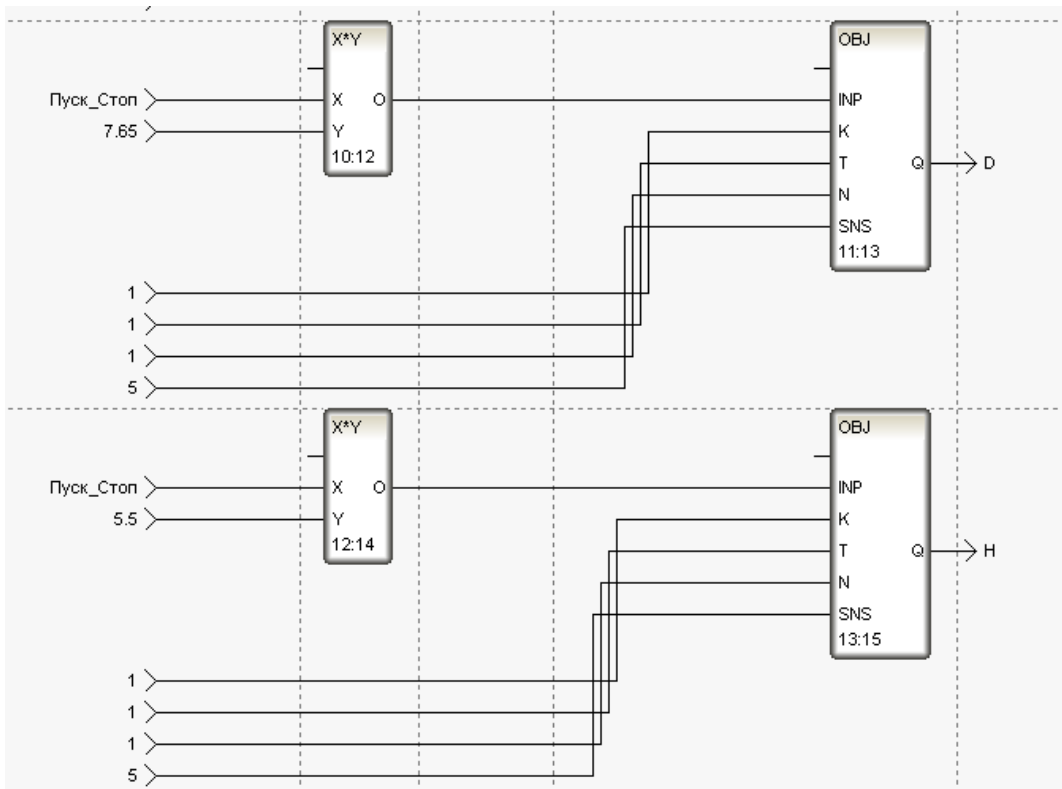
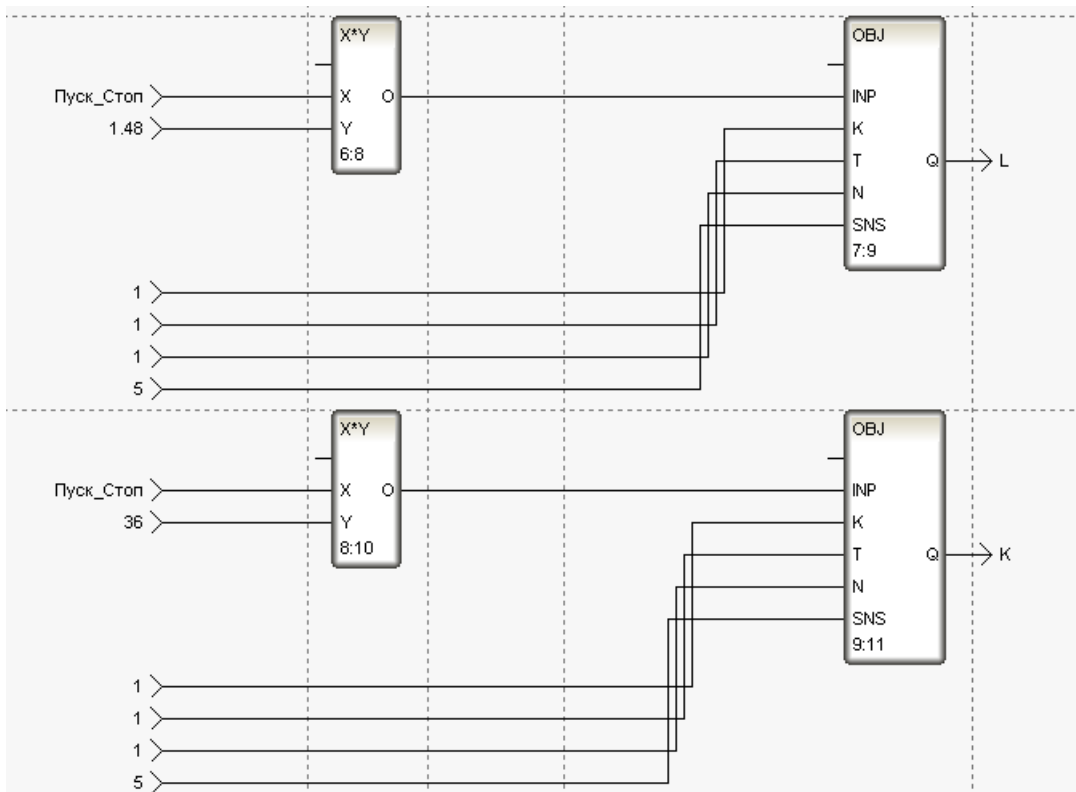


Рисунок 5.4 - Блок імітації роботи зони розбравування гільз за геометричними розмірами



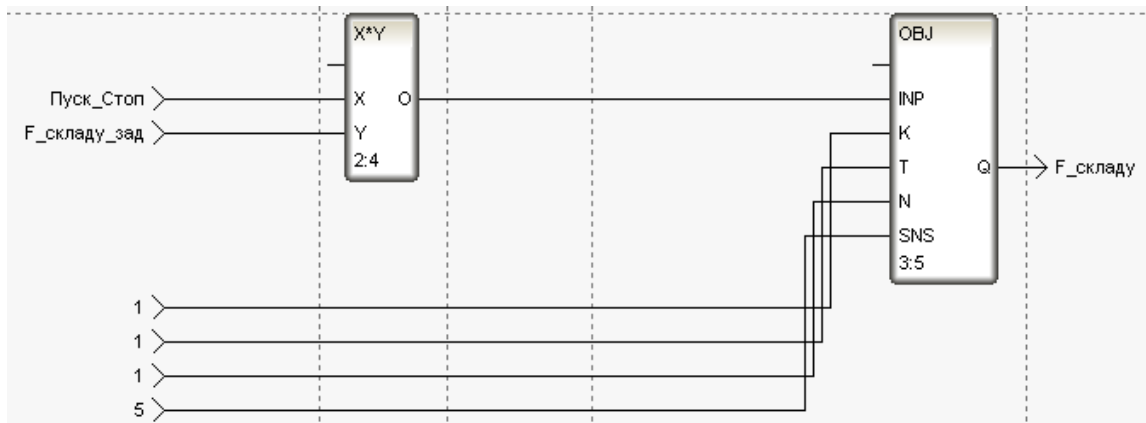


Рисунок 5.5 - Блок імітації роботи ванної

### 5.3 Перевірка роботи системи

Розглянута АСУТП спиралася на цілком конкретні апаратні засоби (плата вводу/виводу, виконавчі органи, сигнали від датчиків). Для перевірки працездатності створеного проекту зімітуємо технологічний об'єкт.

Для імітації АСУТП використовуємо 2 комп'ютери. Перший виконує роль АРМ і імітує АРМ реального об'єкта. На другий комп'ютер встановлено програмне забезпечення, розроблене для контролеру і створена програма-імітатор роботи з реальним об'єктом. Зв'язок між комп'ютерами здійснюється по мережі Ethernet, виконання налаштування параметрів якої представлено на рисунку 5.6.

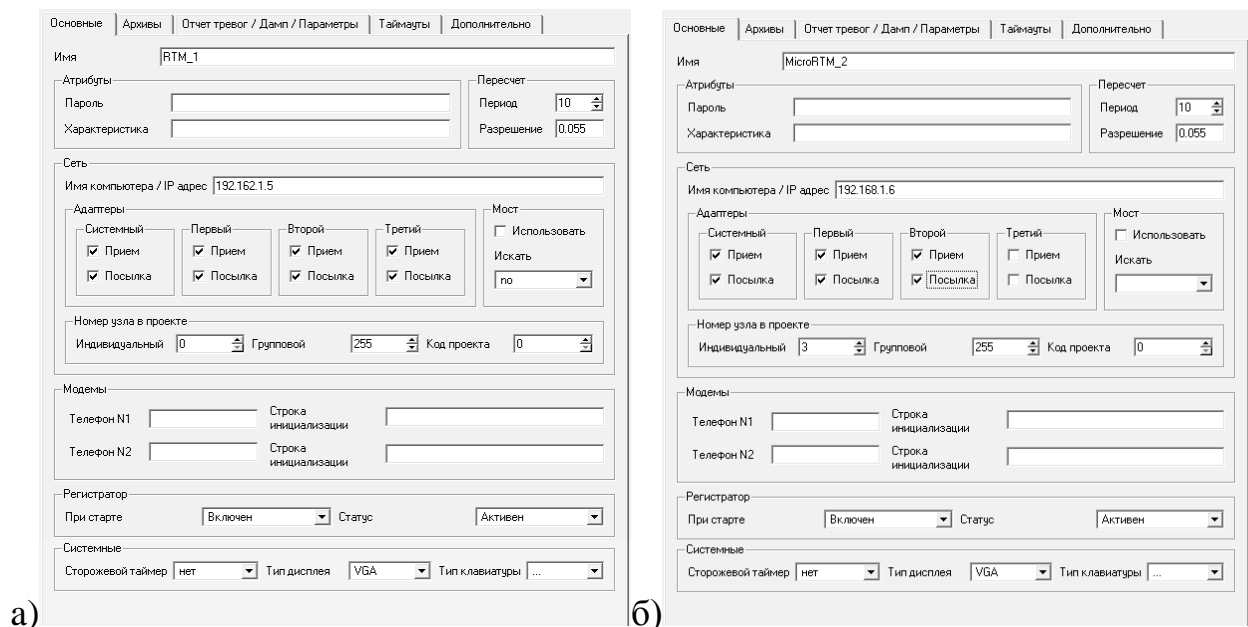


Рисунок 5.6 - Налаштування параметрів мережі Ethernet:

а) для комп'ютера оператора; б) для комп'ютера, що виконує роль контролера

Для виходу параметрів на необхідне значення були запроваджені блоки множення.

Запускаємо проект, що являє собою графічний екран АРМ (рис. 5.7).

За допомогою кнопок “Ввод параметров регулирования” на екрані АРМ задається: температура в сушильній шафі, витрата полум’ясаючого складу і витрата повітря.

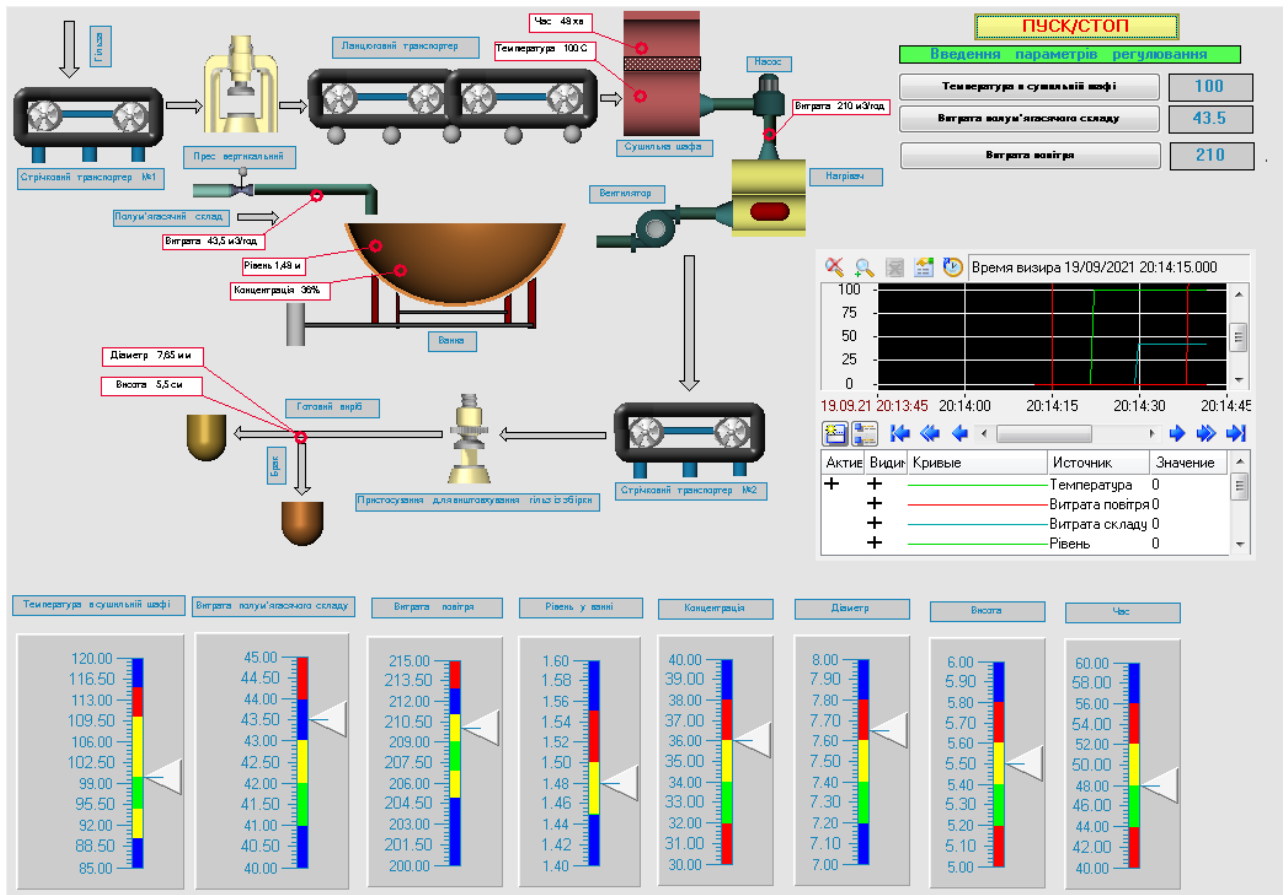


Рисунок 5.7 – Результат моделювання роботи АСУ ТП нанесення двошарового покриття на вироби



## ВИСНОВКИ

На основі Технічного завдання розроблено інформаційне і технічне забезпечення системи управління.

Система являє собою 3-х рівневу АСУ ТП, до складу якої входять:

- датчики, встановлені безпосередньо на технологічному обладнанні;
- виконавчі органи, які відпрацьовують отриману від контролера дію;
- контролер, який виконує первинну обробку даних, отриманих від датчиків, видає керуючу дію для регулюючих органів, а також виступає з'єднувальною ланкою між об'єктом управління і АРМ;
- автоматизоване робоче місце (АРМ), до складу якого входить IBM PC комп'ютер із встановленою операційною системою Windows XP, процесором Intel Pentium 4, ОЗП 512MB і встановленим програмним комплексом TRACE MODE 6.

Використання сучасних методів управління технологічним процесом, а також новітніх технічних засобів автоматизації дало можливість реалізувати якісно нову технологію управління і підвищило ефективність виробництва, що призвело до:

- підвищення якості продукції, що випускається;
- зниженню витрат сировинних та енергетичних ресурсів за деяким статтями витрат на ТП;
- підвищення об'єму продукції, що випускається;
- скорочення простоїв через несправності;
- збільшення міжремонтних термінів роботи обладнання;
- використовувати мінімальну кількість робітників, необхідних для підтримання ТП у робочому стані і ліквідації аварійних ситуацій.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматика и управление в технических системах. В 11 кн. / Отв. ред. С.В. Емельянов, В.С. Михалевич.-Кн.1. Электрические элементы систем управления промышленными работами / А.А. Краснопрошина и др. - К.: Вища шк., 1990. - 479 с.
2. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов. Инструктивные материалы. Для студентов специальности 7.091401 "Компьютеризованные системы управления и автоматика". - Сумы.: СумГУ, 1998. - 77 с.
3. Средства инициирования, П.П. Карпов: Высшая школа., 1981. - 285 с.
4. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справ пос. / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, С.А. Ключев. -М.: Энергоатомиздат, 1990.- 464 с.
5. Теорія автоматичного керування. Попович М.Г., Ковальчук О.Б. Підручник для вузів. – К.: Либідь, 1997. – 542 с.
6. Волошенко А.В., Горбунов Д.Б., Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования.-Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 109 с.
7. Сольнищев Р.И., Автоматизация проектирования систем автоматического управления —М: Высш. шк., 1991. — 335 с.
8. Методичні вказівки з оформлення графічної частини конструкторської документації проектів автоматизації. Структурні, функціональні та принципові схеми / укладач О.Ю. Журавльов. – Суми: Вид-во СумДУ, 2016. – 48с.
9. Дилигенская А. Н. Идентификация объектов управления. Учебное пособ., Самара,: СамГТУ, 2019. - 136 с.
10. Сосонкин В.М., Системы программного управления: Навч. посіб. / В.М. Сосонкин, Г.М. Мартынов. – М.: Логос, 2016, 296 с.
11. Дудюк Д.Л Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовано комплекси. Навчальний посібник. / Дудюк Д.Л., Мазепа С.С., Мисик М.М. Львів.: Магнолія Плюс, 2017, 278 с.
12. Калита Д.М. Комп'ютерні мережі. Апаратні засоби та протоколи передачі даних. – К.: Київський університет, 2017.

13. Гук М. Аппаратные средства локальных сетей: Энциклопедия. – М.: Питер, 2017.
14. Олифер В.Г., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : Учеб. для вузов. - 4-е изд. / Олифер В.Г., Олифер Н.А. – С-Пб.: Питер Принт, 2010. – 958 с.
15. Шейко В. М., Організація та методика науково-дослідницької діяльності:.. – 3-тє вид., стер./ Шейко В. М, Кушнарєнко Н. М. – К.: Знання-Прес, 2003. – 295 с.
16. Нестеров А.Л. Проектирование АСУ ТП М: ДЕАН, 2017. 944с.
17. Худолей Г.М. Теорія автоматичного управління: конспект лекцій: у 2 частинах. Ч. 1. Аналіз лінійних систем автоматичного управління. /укладач Г.М.Худолей. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – 178 с.
18. Худолей Г.М. Теорія автоматичного управління: конспект лекцій: у 2 частинах. Ч. 2. Синтез лінійних систем автоматичного управління / укладач Г.М.Худолей. – Суми: Сумський державний університет, 2012. – 87 с.
19. Moutsatsou, E. Stamatakis, H. Hatzitzotzia, V. Protonotarios, The utilization of Ca-rich and Ca–Si-rich fly ashes in zeolites production, Fuel 85 (2017) 657–663.
20. G. Belardi, S. Massimilla, L. Piga, Crystallization of K–L and K–W zeolites from fly-ash, Resour. Conserv. Recycl. 24 (1998) 167–181.
21. M. Scheffler, P. Colombo, Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications, Wiley–VCH, Weinheim, 2016.
22. A.C. Steiner, Foam glass production from municipal waste fly ashes, Doctoral Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Dusseldorf, 2019.
23. European Commission, Report to DGXI, Construction and demolition waste management practices, and their economic impacts, 1999
24. Офіційний сайт компанії ОВЕН, виробника приладів та рішень автоматизації підприємств. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] - Режим доступу - вільний: <https://owen.ru/product> (дата звернення 14.09.2021).
25. Список контроллеров и УСО, поддерживаемых в TRACE MODE 6 [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] - Режим досту-

пу: <http://www.adastra.ru/products/drivers/>, вільний. (дата звернення 12.08.2021).

– Назва з екрана.

## REFERENCES

1. Automation and control in technical systems. In 11 books. / Resp. ed. S.V. Emelyanov, V.S. Mikhalevich.-Book 1. Electrical elements of industrial control systems / A, A. Krasnoproshina and others - K .: Vischa shk., 1990 .- 479 p. (in Russian)
2. Guidelines for the design of course and diploma projects. Instructional materials. For students of the specialty 7.091401 "Computerized control systems and automation". - Sumy .: Sumy State University, 1998 .- 77 p. (in Russian)
3. Means of initiation, PP. Karpov: Higher School., 1981 .- 285 p. (in Russian)
4. Design of automation systems for technological processes: Ref. / A.S. Klyuev, B.V. Glazov, A.Kh. Dubrovsky, S.A. Klyuev. -M .: Energoatomizdat, 1990.- 464 p. (in Russian)
5. Theory of automatic control. Popovich MG, Kovalchuk OB Textbook for universities. - K .: Либідь, 1997. - 542 с. (in Ukrainian)
6. Voloshenko AV, Gorbunov DB, Designing functional circuits of automatic control and regulation systems.-Tomsk: Publishing house of the Tomsk Polytechnic University, 2018. - 109 p. (in Russian)
7. Solnitsev RI, Automation of design of automatic control systems - M: Vyssh. shk., 1991 .- 335 p. (in Russian)
8. Methodical instructions on the design of the graphic part of the design documentation of automation projects. Structural, functional and basic schemes / compiled by O.Yu. Журавльов. - Sumy: SSU Publishing House, 2006. - 48p. (in Ukrainian)
9. Diligenskaia A. N. Identification of control objects. Tutorial [Identifikatsiia ob"ektov upravleniia. Uchebnoe posob]. Samara,: SamGTU, 2019. - 136 p. (in Russian)
10. Sosonkin V.M, Martynov G.M. Software control systems: a tutorial [Sistemy programmnoogo upravleniia: Navch. posib.]. – M.: Logos, 2017, 296 p. (in Russian)
11. Dudiuk D.L., Mazepa S.S., Misik M.M. Flexible automated production and robotic complexes. Tutorial. [Gnuchke avtomatizovane virobnitstvo i robotizovano

komplek-si. Navchal&apos;nii posibnik] L&apos;viv.: Magnoliia Plus, 2017, 278 p. (in Ukrainian)

12. Kalita D.M. Computer networks. Hardware and data transmission protocols. [Komp'uterni merezhi. Aparatni zasobi ta protokoli peredachi danikh] – K.: Kiivs&apos;kii universitet, 2017. (in Ukrainian)

13. Guk M. Hardware local networks: Encyclopedia. [Apparatnye sredstva lokal&apos;nikh setei: Entsiklopediia]. – M.: Piter, 2017. (in Russian)

14. Olifer V.G., Olifer N.A. Computer networks. Principles, technologies, protocols: Textbook. for universities. [Komp&apos;iuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly : Ucheb. dlia vuzov]. - 4-e izd – S-Pb.: Piter Print, 2010. – 958 p.(in Russian)

15. Sheiko V. M. Kushnarenko N. M. Organization and methods of research [Organizatsiia ta metodika naukovo-doslidnits&apos;koï diial&apos;nosti] – 3-te vid., ster. – K.: Znannia-Pres, 2016. – 295 p. (in Ukrainian)

16. Nesterov A.L. Design of ACS TP [Proektirovanie ASU TP] , DEAN, 2017. 944p.(in Russian)

17. Khudolei G.M. Theory of automatic control: lecture notes: in 2 parts. Part 1. Analysis of linear automatic control systems.[Teoriia avtomatichnogo upravlinnia: konspekt lektsii: u 2 cha-stinakh. Ch. 1. Analiz liniinikh sistem avtomatichnogo upravlinnia] – Sumi: Sums&apos;kii derzhavnii universitet, 2016. – 178 p. (in Ukrainian)

18. Khudolei G.M. Theory of automatic control: lecture notes: in 2 parts. Part 2. Synthesis of linear automatic control systems.[Teoriia avtomatichnogo upravlinnia: konspekt lektsii: u 2 cha-stinakh. Ch. 2. Sintez liniinikh sistem avtomatichnogo upravlinnia] – Sumi: Sums&apos;kii derzhavnii universitet, 2016. – 87 p. (in Ukrainian)

19. Moutsatsou, E. Stamatakis, H. Hatzitzotzia, V. Protonotarios, The utilization of Ca-rich and Ca–Si-rich fly ashes in zeolites production, Fuel 85 (2017) 657–663 (in English)

20. G. Belardi, S. Massimilla, L. Piga, Crystallization of K–L and K–W zeolites from fly-ash, Resour. Conserv. Recycl. 24 (1998) 167–181 (in English)

21. M. Scheffler, P. Colombo, Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications, Wiley–VCH, Weinheim, 2016 (in English)

22. A.C. Steiner, Foam glass production from municipal waste fly ashes, Doctoral Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Dusseldorf, 2019 (in English)
23. European Commission, Report to DGXI, Construction and demolition waste management practices, and their economic impacts, 1999 (in English)
24. The official website of the OWEN company, the virobnik has applied the solution to the automation of receptions. [Electronic resource]: [Website] - Access mode - vilny: <https://owen.ru/product> (Accessed 14.09.2021) (in Russian)
25. Spisok kontrollerov i USO, podderzhivaemykh v TRACE MODE 6 [List of controllers and USOs supported in TRACE MODE 6] Available at: <http://www.adastra.ru/products/drivers/>. (Accessed 12.08.2021) (in Russian)