

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
КАФЕДРА СИСТЕМОТЕХНІКИ І ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри  
Худолей Г.М.  
“ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

## ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

на тему:

"Система управління технологічним процесом виготовлення електродетонаторів"

Керівник проекту

О.О. Андрусенко

Проектант

студент групи СУ-61-7Ш

Д.Ю. Дубровний



## РЕФЕРАТ

Дубровний Денис Юрійович. Система управління технологічним процесом виготовлення електродетонаторів сповільненої дії. Дипломний проект. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2020 рік.

Дипломний проект містить 96 аркуші пояснювальної записки, з урахуванням 67 рисунків, 21 таблиці; конструкторську документацію, яка містить 2 креслення; 3 демонстраційні плакати.

Розроблено технічне завдання. Розроблено автоматизацію технологічного процесу виготовлення електродетонаторів на базі програмованого логічного контролера SIEMENS SIMATIC S7-1200. Розроблено алгоритм управління. Розроблена керуюча програма в САПР TraceMode 6. Задовільна якість процесу виготовлення електродетонаторів підтверджена результатами моделювання на ЕОМ.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри  
Худолей Г.М.  
“ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

## **ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на проектування системи управління технологічним процесом виготовлення  
електродетонаторів

Проектував:

Студент групи СУ-61-7Ш

Д.Ю. Дубровний

Погоджено:

Керівник проекту

О.О. Андрусенко

**Шостка – 2020**

# ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

**1 Розробити автоматизацію технологічного процесу виготовлення електродетонаторів.**

**2 Підстава для розробки**

Завдання кафедри на дипломний проект.

**3 Мета і призначення розробки**

Метою даної розробки є автоматизація технологічного процесу виготовлення електродетонаторів.

Очікувані цілі реалізації даного проекту:

- підвищення ефективності технологічного процесу;
- підвищення рівня безпеки ведення технологічного процесу, зниження аварійності;
- покращення умов праці персоналу;
- скорочення часу пошуку і усунення несправностей;
- підвищення техніко-економічних показників за рахунок використання сучасних методів управління технологічним процесом, а також використання новітніх засобів автоматизації;
- зниження енергетичного навантаження.

Дана розробка і результати проектування можуть бути використані при автоматизації технологічного процесу виготовлення електродетонаторів на промислових підприємствах і виробництвах.

**4 Джерела розробки**

Звіт з переддипломної практики. Регламент. Керівництво з експлуатації.

**5 Режими роботи об'єкту**

Технологічний процес виготовлення електродетонаторів є неперервним виробництвом згідно діючого регламенту виробництва 24 години на добу, 7 днів на тиждень, цілодобовий режим роботи.

**6 Умови експлуатації**

Живлення технологічних установок здійснюється від цехової мережі змінного струму з напругою 380 В.

Система управління технологічним процесом виготовлення

електродетонаторів є неперервним виробництвом згідно діючого регламенту виробництва 24 години на добу, 7 днів на тиждень. Навколишнє середовище повинно бути не вибухонебезпечним, не містити пилю у концентрації, що порушує роботу електрообладнання, а також не містити агресивних парів і газів, що руйнують метал та ізоляцію. Умови експлуатації системи управління технологічним процесом виготовлення електродетонаторів представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Умови експлуатації автоматизованої системи управління технологічним процесом виготовлення електродетонаторів

Найменування і характеристика приміщення	Кліматичні умови			Механічні умови	
	Температура, °С	Вологість, %	Запиленість, г/м <sup>3</sup>	Амплітуда і частота вібрації, Гц	Наявність коливань
Виробниче приміщення	22...25 <sup>0</sup> С	60...85%	-	-	-
Щитова	22...25 <sup>0</sup> С	60...85%	-	-	-
Операторська кімната	22...25 <sup>0</sup> С	40...60%	-	-	-

АСУТП повинна бути розрахована на неперервний цілодобовий режим роботи.

Види, періодичність і регламент обслуговування технічних засобів повинні бути вказані у відповідних інструкціях з експлуатації.

Розташування технічних засобів АСУТП повинно бути раціональним як з точки зору монтажних зв'язків між ними, так і зручності та безпеки їх експлуатації і обслуговування.

## 7 Технічні вимоги

Автоматизований технологічний процес виготовлення електродетонаторів має забезпечувати:

- ведення технологічного процесу на основі автоматичного контролю технологічних параметрів;

- зниження працемісткості при вимірюванні і керуванні технологічними параметрами;
- візуалізацію параметрів технологічного процесу і аварійних ситуацій;
- автоматичне управління виконавчими механізмами;
- безаварійний пуск/зупинку і переключення технологічного обладнання;
- запобігання розвитку аварійних ситуацій і забезпечення безпечного завершення процесу за заданим алгоритмом;
- прийом інформації з верхнього рівня системи управління і формування керуючих впливів на виконавчі механізми.

До складу системи управління повинні входити:

- вузол управління на базі програмованого контролера;
- АРМ на базі ПК з відповідним програмним забезпеченням.

Програмне забезпечення повинне запобігати виникненню відмов у виконанні функцій АСУТП при відмовах технічних засобів і при помилках персоналу, що бере участі у виконанні цих функцій, або повинне забезпечувати переведення відмов, що призводять до великих втрат, у відмови, пов'язані з меншими втратами.

Засоби автоматизації, які використовуються на даній установці, повинні бути сучасними і легкодоступними на ринку. Також необхідно врахувати наявність вибухонебезпечних і агресивних середовищ.

## **8 Технічні вимоги до якості регулювання технологічного процесу**

У результаті синтезу системи управління необхідно отримати перехідний процес з такими показниками якості:

- час перехідного процесу  $\leq 0,9$  с;
- перерегулювання  $\leq 20$  %;
- статична точність 3%.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
КАФЕДРА СИСТЕМОТЕХНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту на тему:

*«Система управління технологічним процесом виготовлення  
електродетонаторів»*

Керівник проекту

О.О. Андрусенко

Проектант:

студент групи СУ-61-7Ш

Д.Ю. Дубровний

Залікова книжка № 17080019

Шостка – 2020



# ЗМІСТ

С.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ.....	7
2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ.....	13
3 ВИБІР СУЧАНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ І АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ.....	18
4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	65
5 РЕАЛІЗАЦІЯ АСУ ТП У TRACE MODE 6.....	86
ВИСНОВКИ.....	93
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	94

					<b>СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Дубровний Д.Ю.			Система управління технологіч- ним процесом виготовлення електродетонаторів Пояснювальна записка	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Андрусенко О.О.					2	95
<i>Реценз.</i>						ШІ СумДУ		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		Худолей Г.М.						

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ

ТП – технологічний процес.

КД – капсуль-детонатор.

ЕЗ – електрозапальник.

ЕД – електродетонатор.

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.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

## ВСТУП

Електродетонатор — пристрій у вибухотехніці і піротехніці для створення початкового детонаційного імпульсу та ініціювання вибухової хімічної реакції в основній масі заряду вибухової речовини.

На відміну від «звичайного» детонатора, що підривається за допомогою вогневого детонуючого шнура або детонуючої трубки, електродетонатор підривається електричним способом.

За часом спрацювання електродетонатори поділяються на «миттєвої дії» і «сповільненої дії».

Вітчизняною та зарубіжною промисловістю випускаються електродетонатори із затримкою за часом від сотої до десятої частки секунди. Такі детонатори дозволяють виконувати «складні» вибухові роботи, такі як: керований знос будівель і споруд, вибухи «на викид» у гірничорудній справі. Нерідко вони використовуються і як кінцевий елемент складних електричних, електронних підривачів різноманітних мін, частіше об'єктних мін, мін-ловушок і тому подібне.

Не дивлячись на здавану простоту, електродетонатор є вкрай складним і вкрай небезпечним у виробництві пристроєм.

Технологія заводського виготовлення електродетонаторів дуже жорстко регламентована. Окремо слід відмітити, що більшість нещасних випадків із серйозними травмами і летальними випадками, а також аварій і руйнувань, відбуваються при виробництві, неправильному зберіганні або використанні засобів підривання.

На даний момент існуюча система управління і контролю даним технологічним процесом вважається застарілою, так як вона має наступні недоліки: застосування застарілих морально та фізично контрольно-вимірювальних приладів; наявність систем релейної логіки; відсутність централізованого управління процесом, що призводить до зниження надійності, перевитрати енергетичних і трудових ресурсів.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Наразі тенденції апаратурного оформлення більшості відомих процесів виготовлення електродетонаторів визначились і прогрес у цій області техніки розвивається шляхом модернізації існуючого обладнання.

Підвищення якості процесу виробництва електродетонаторів позитивно позначається на економічних показниках промисловості держави, так як вона перебуває в умовах інтенсивного розвитку оборонного комплексу.

Основними задачами виробництва електродетонаторів є: зростання продуктивності праці, економія трудових ресурсів і забезпечення максимально безпечних і екологічно чистих умов експлуатації. У даному дипломному проекті представлено впровадження робото-технічного комплексу як можливого вирішення вищенаведених задач, так як він дає можливість роботизувати більшість ручних операцій, що характерні для даного технологічного процесу.

Методи автоматизації виробництва, наукові основи автоматизації виробництва розвиваються головним чином за 3-ма напрямками. По-перше, розробляють методи ефективного вивчення закономірностей об'єктів управління, їх динаміки, стійкості, залежності поведінки від впливу зовнішніх факторів. По-друге, визначають економічно доцільні методи управління, ретельно обґрунтовують мету і оціночну функцію управління, вибір найбільш ефективної залежності між вимірюваними та керуючими параметрами процесу. По-третє, ставиться задача створення інженерних методів найбільш простого, надійного і ефективного втілення структури і конструкції засобів автоматизації, що реалізують задані функції вимірювання, обробки отриманих результатів і управління.

До сучасної АСУ входять пристрої для первинного формування, автоматичного вилучення і передачі, логічної і математичної обробки інформації, пристрої для представлення отриманих результатів людині, вироблення керуючих дій і виконавчі пристрої.

Існуюча (модернізуєма) система управління технологічним процесом виготовлення електродетонаторів направлена на заміну морально або фізично застарілих наявних засобів автоматизації, підвищення ритмічності роботи і реалізацію сучасних принципів управління.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Задачею даного проекту є вирішення кола питань, пов'язаних з модернізацією існуючої системи управління. Модернізація процесу буде здійснюватися з урахуванням специфічних властивостей електродетонаторів сповільненої дії, необхідності спрощення управління, підвищення стійкості процесів до впливу зовнішніх збурень. Робота виконується на основі завдання кафедри системотехніки та інформаційних технологій Шосткинського інституту СумДУ.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

## 1.1 Опис технологічного процесу

Процес виготовлення електродетонаторів (ЕД) складається з наступних операцій:

- 1) спорядження капсулей-детонаторів (КД);
- 2) виготовлення запальної частини з крапельною голівкою (електрозапальника);
- 3) досил і обтиск капсулей-детонаторів з електрозапальниками (ЕЗ);
- 4) розбраковування електродетонаторів за опором.

Спорядження капсулей-детонаторів полягає у двох наступних основних операціях:

- 1) насипка капсульного заряду в гільзи;
- 2) пресування капсульного заряду на пресах.

Технологічна схема виготовлення електродетонаторів представлена на рисунку 1.1.

Мідні гільзи поступають на операцію насипки капсульного заряду (фульмінату ртуті, або гримучої ртуті) стрічковим транспортером 1. Подача капсульного заряду здійснюється за допомогою гвинтового конвеєра.

З операції насипки капсульного заряду капсуль-детонатор встановлюється на нижню рухому подушку преса механічного між направляючими планками. У верхній нерухомій подушці даного преса встановлено пуансон, що являє собою стрижень, робоча частина якого гладко відшліфована, загартована і закінчується знятою з країв невеликою фаскою. Прес приводиться у рух від індивідуального мотору через ремінь, накинута на шків, що знаходиться на валу. При обертанні валу приходить у рух важіль, який через шатун відтягує шарнірні важелі праворуч. При русі нижньої подушки капсуль-детонатор подається під пуансон, який входячи у гільзу, пресує капсульний заряд. При зворотному ході шатуна нижня подушка опускається, прес зупиняється і капсуль-детонатор виймається з пресу.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Після спорядження готові капсулі-детонатори доставляють на операцію досилу і обтиску з електрозапальниками.

Процес виготовлення запальної частини з крапельною головкою (електрозапальника) складається з наступних операцій:

- 1) приготування крапельного складу і нанесення його на мостики;
- 2) сушка електрозапальників.

Приготування крапельного складу полягає у перемішуванні його складових частин у реакторі за допомогою мішалки з приводом на протязі 20-25 хв. Спочатку до реактора по трубопроводу надходить розчин кісткового клею, потім гвинтовими конвеєрами - спочатку тіюціанат (азид) свинцю, а потім хлорат калію (бертолетова сіль).

Крапельний склад наносять на мостики закручених у бунтики дротів шляхом опускання їх у реактор зі складом на час від 2 до 3 хв, потім укладають їх крапельними головками догори на дерев'яні лотки, розташовані в сушильній шафі, де вони висушуються за температури 80-85°C на протязі 30 хв. Готовий електрозапальник виймається з сушильної шафи, після чого здійснюється його досилка у споряджений капсуль-детонатор. Після цього встановлюють електродетонатор у зазор між вістрями верхньої нерухомої і нижньої рухомої частин спеціального пристрою для обтиску електродетонаторів. Пристрій приводиться до руху від індивідуального мотору через ремінь, накинута на шив, що сидить на валу. При обертанні валу приходить в рух важіль, який через шатун відтягує шарнірні важелі праворуч. При русі нижньої частини установки відбувається обтиск електродетонатора. При зворотньому ході шатуна нижня частина опускається, установка зупиняється і з неї виймають готовий виріб і передають її на операцію розбраковування за опором. Кондиційні вироби укладають на стрічковий транспортер, котрий переміщує їх у збірник готової продукції, а некондиційні опускають у збірник браку.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

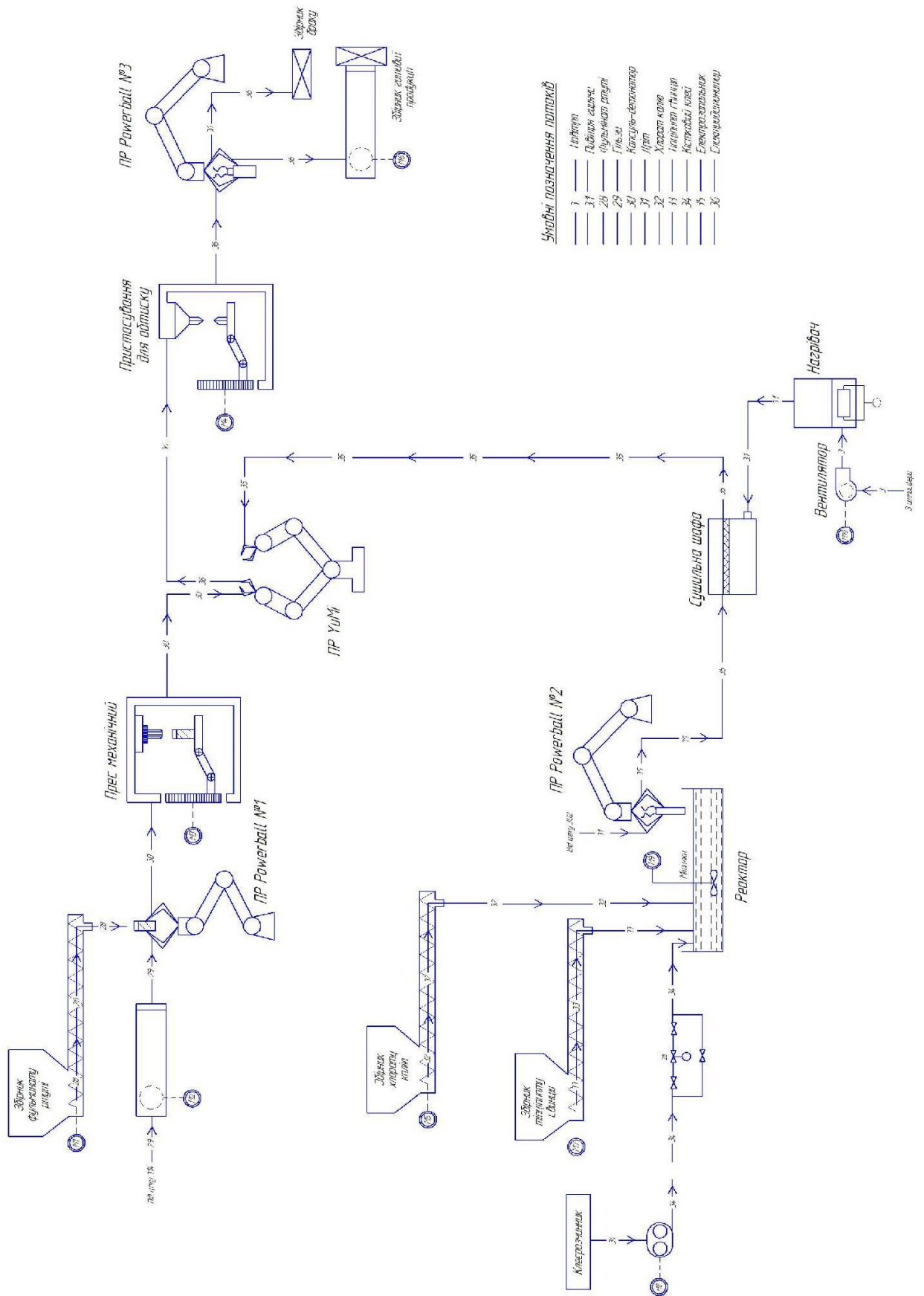


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення електродгенераторів

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ



## 1.2 Схема інформаційно-матеріальних потоків

На основі технологічного процесу виготовлення електродетонаторів складемо схему руху матеріальних потоків. Схема руху матеріальних потоків представлена на рисунку 1.2.

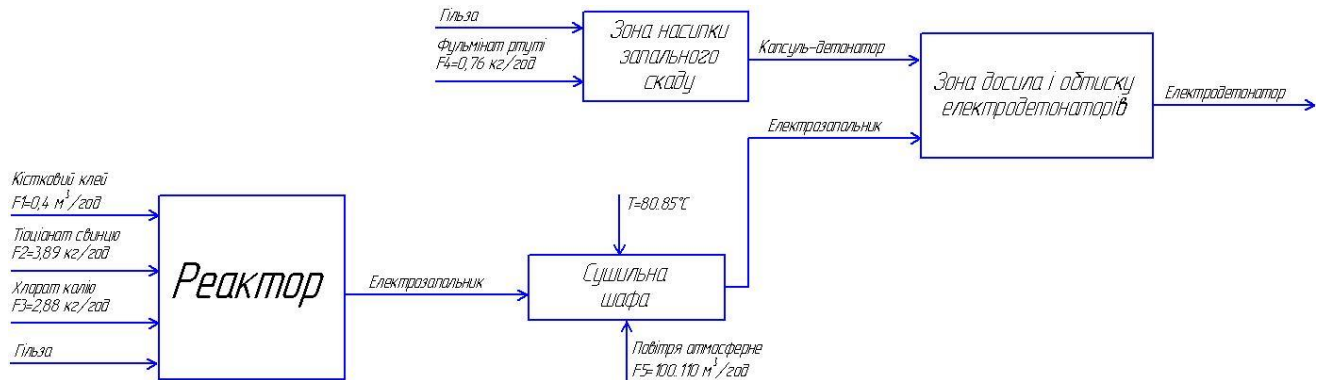


Рисунок 1.2 – Схема інформаційно-матеріальних потоків процесу виготовлення електродетонаторів

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	Спосіб регулювання
1	Температура	Сушильна шафа	Контроль, управління, сигналізація	80...85 °C	Потужність нагрівального елемента (1г)
2	Витрата	Гвинтовий конвеєр подачі фульмінату ртуті в зону насипки запального складу	Контроль, управління, сигналізація	0,76 кг/год	Частотою обертання вала двигуна гвинтового конвеєра (3в)

№ з/п	Параметр	Точка технологічного процесу	Процес контролю	Діапазон вимірюваної величини	Спосіб регулювання
3	Витрата	Гвинтовий конвеєр подачі хлорату калію в реактор	Контроль, управління, сигналізація	2,88 кг/год	Частотою обертання вала двигуна гвинтового конвеєра (4в)
4	Витрата	Гвинтовий конвеєр подачі тіоціанату свинцю у реактор	Контроль, управління, сигналізація	3,89 кг/год	Частотою обертання вала двигуна гвинтового конвеєра (5в)
5	Витрата	Трубопровід подачі кісткового клею у реактор	Контроль, управління, сигналізація	0,4 м <sup>3</sup> /год	Положенням регулюючого клапану трубопровода (2в)
6	Витрата	Трубопровід подачі повітря атмосферного в сушильну шафу	Контроль, управління, сигналізація	100...110 м <sup>3</sup> /год	Частотою обертання вала двигуна вентилятора (6в)
7	Рівень	Реактор	Контроль, сигналізація	1,2...1,3 м	–
8	Швидкість	Двигун мішалки	Контроль, управління, сигналізація	–	Частотою обертання вала двигуна мішалки (7б)

Структурна схема автоматизації має вигляд, наведений на рисунку 1.3.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

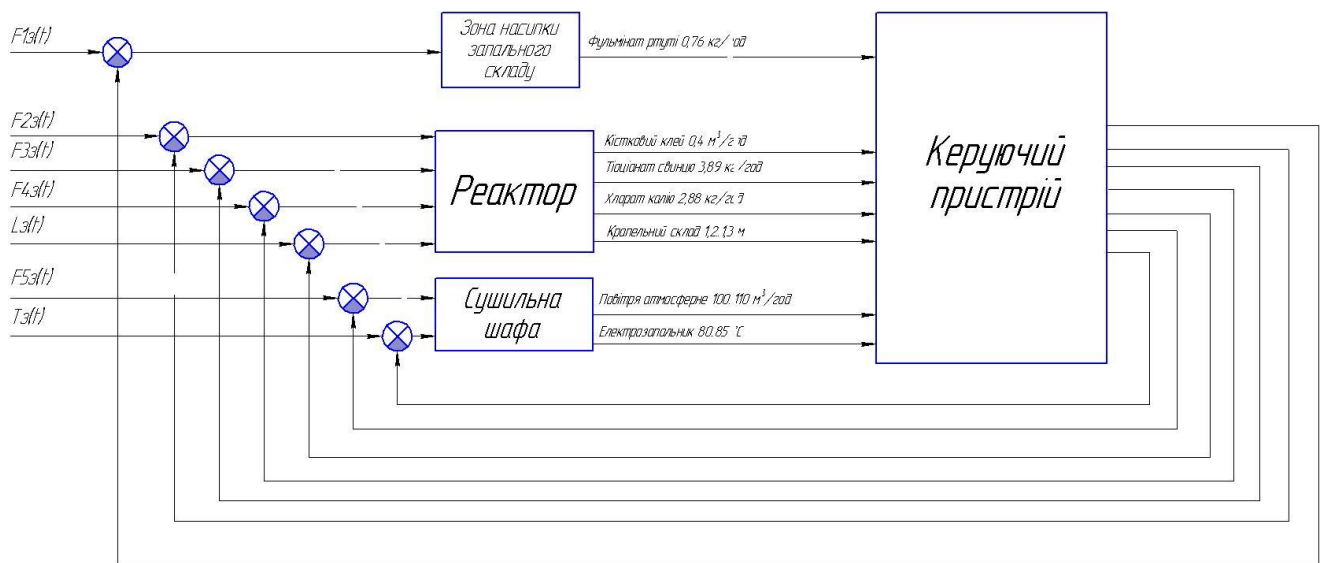


Рисунок 1.3 – Структурна схема автоматизації





### 2.3 Рівень крапельного складу в реакторі

Максимальний рівень крапельного складу в реакторі складає 1,3 метри, а рівень, необхідний для нормального перетікання технологічного процесу, складає 1,2 метри. Слід контролювати рівень складу в реакторі для запобігання його переливу з одного боку і підтримання необхідного обсягу з іншого.

Для контролю рівня крапельного складу в реакторі може бути застосована структурна схема, яка представлена на рисунку 2.3.

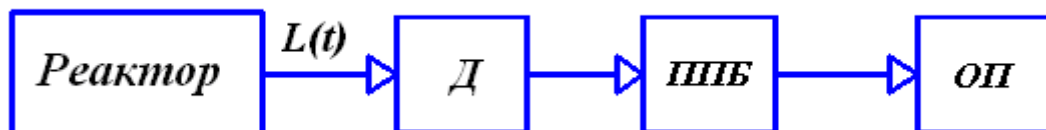


Рисунок 2.3 - Структурна схема контуру контролю рівня крапельного складу в реакторі

Вимірюваний рівень крапельного складу в реакторі ( $L(t)$ ) діє на датчик (Д). Сигнал з датчика подається на підсилувально-перетворюючий блок (ІПБ), який у свою чергу передає уніфікований сигнал на обчислювальний пристрій (ОП).

### 2.4 Положення маніпуляторів

Для переміщення капсуля-детонатора зі стрічкового транспортеру №1 на операції насипки і пресування капсульного заряду в гільзи, опускання дроту в реактор з крапельним складом і переміщення електрозапальника до сушильної шафи, досилу електрозапальника в споряджений капсуль-детонатор, а також для переміщення електродетонатора з операції обтиску на стрічковий транспортер №2 доцільно використовувати маніпулятори, так як це дозволяє замінити ручну монотонну працю машинною.

Для управління положенням маніпулятора може бути застосована структурна схема, яка представлена на рисунку 2.4.

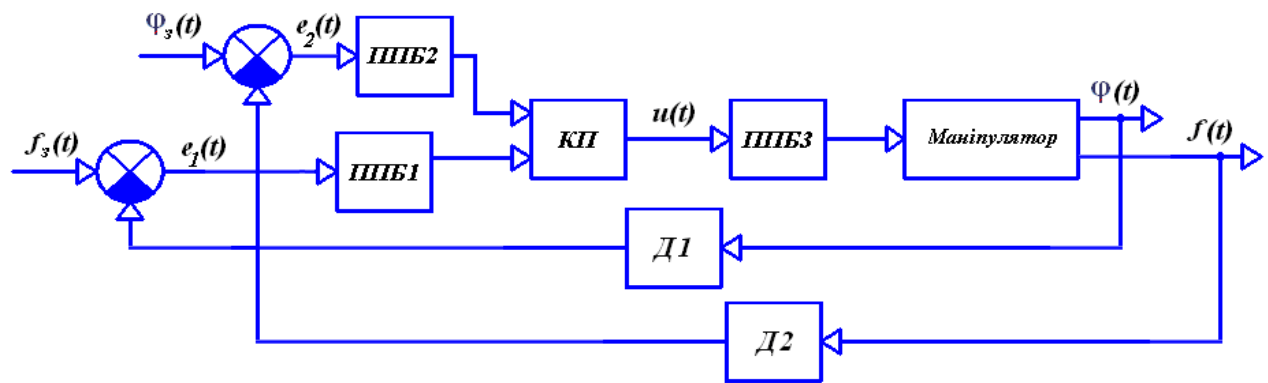


Рисунок 2.4 - Структурна схема контуру управління положенням маніпулятора

Вимірювані кут повороту маніпулятора ( $\varphi(t)$ ) і натиск ( $f(t)$ ), створений у захватному пристрої маніпулятора, діє на датчики Д1 і Д2 відповідно. Сигнали з датчиків разом із сигналами завдання ( $\varphi_3(t)$  і  $f_3(t)$ ) поступають на елементи порівняння. Результуючі сигнали ( $e_1(t)$  і  $e_2(t)$ ) подаються на підсилювально-перетворюючі блоки (ППБ1 і ППБ2), котрі у свою чергу передають уніфіковані сигнали на коригуючий пристрій (КП), або регулятор. З КП керуючий сигнал ( $u(t)$ ) подається на підсилювально-перетворюючий блок (ППБ3), з якого поступає на регулюючий орган (РО), котрий чинить дію на даний об'єкт управління (маніпулятор).

## 2.5 «Наявність/відсутність» заготовки в завантажувальному пристрої пресу механічного

Для контролю «наявності/відсутності» заготовки в завантажувальному пристрої пресу механічного може бути застосована структурна схема, яка представлена на рисунку 2.5.

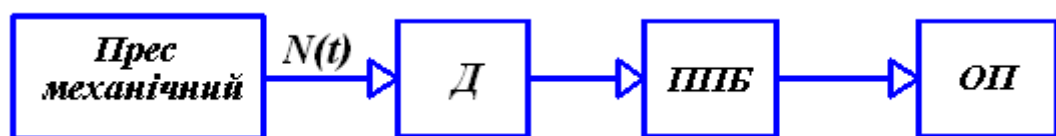


Рисунок 2.5 - Структурна схема контуру контролю «наявності/відсутності» заготовки в завантажувальному пристрої пресу механічного

Сигнал «наявності/відсутності» заготовки в завантажувальному пристрої пресу механічного ( $N(t)$ ) діє на датчик (Д), звідки поступає на підсилювально-перетворюючий блок (ППБ), який у свою чергу передає уніфікований сигнал на обчислювальний пристрій (ОП).

Контур аналогічний для контролю «наявності/відсутності» заготовки в завантажувальному пристрої пристосування для обтиску електродетонаторів.

## 2.6 Швидкість обертання валу двигуна мішалки

Для управління швидкістю обертання мішалки може бути застосована структурна схема, яка представлена на рисунку 2.6.

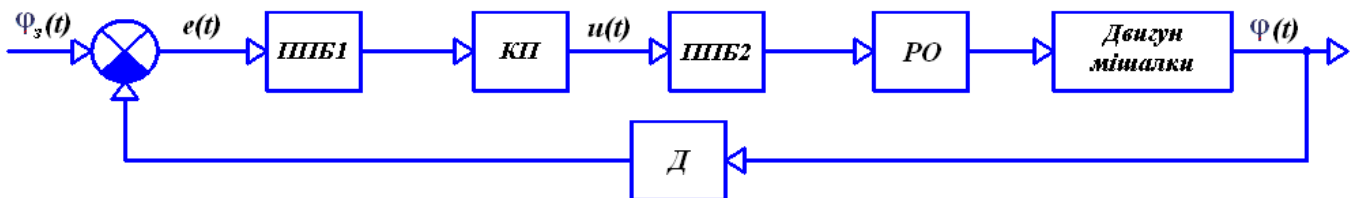


Рисунок 2.6 - Структурна схема контуру управління швидкістю обертання валу двигуна мішалки

Вимірюваний кут повороту валу двигуна мішалки ( $\varphi(t)$ ) діє на датчик (Д). Сигнал з датчика разом із сигналом завдання ( $\varphi_3(t)$ ) поступає на елемент порівняння. Результуючий сигнал ( $e(t)$ ) подається підсилювально-перетворюючий блок (ППБ1), який у свою чергу передає уніфікований сигнал на коригуючий пристрій (КП), або регулятор. З КП керуючий сигнал ( $u(t)$ ) подається на підсилювально-перетворюючий блок (ППБ2), з котрого поступає на регулюючий орган (РО) – двигун, котрий чинить дію на даний об'єкт управління (двигун мішалки).



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

Прийнявши до уваги особливості ТП виробництва електродетонаторів сповільненої дії, 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**

В даному ТП проводиться регулювання температури у сушильній шафі. Так як діапазон регульованої температури невеликий, для її вимірювання можливе застосування термопар.

Можливе використання наступних термопар:

##### **а) ОВЕН ДТПК сталь 12Х18Н10Т**

Основні технічні характеристики даної термопарі наведені у таблиці 3.1.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики термопар ОВЕН ДТПК сталь 12Х18Н10Т

Найменування параметра	Значення
Робочий діапазон вимірюваних температур	-40...+300 °С
Номінальна статична характеристика (НСХ)	L(ХК)
Клас допуску датчика	2
Умовний тиск	10 МПа
Виконання робочого спаю термопарі відносно корпусу датчика	неізольований
Діаметр термоелектродного дроту	0,7
Показник теплової інерції, не більше	60 с
Опір ізоляції, не менше	100 МОм
Ступінь захисту згідно ГОСТ 14254	IP54
Похибка вимірювань	± 1,5 %
Матеріал захисної арматури	сталь 12Х18Н10Т
	* до 1200°С при роботі у короткочасному режимі
Вартість, грн	3212,04

Зовнішній вигляд термопар ОВЕН ДТПЛ сталь 12Х18Н10Т зображено на рисунку 3.1.

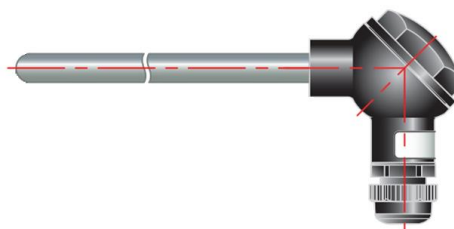


Рисунок 3.1 - Термопара ОВЕН ДТПЛ сталь 12Х18Н10Т

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

## б) SIEMENS SITRANS T 7MC 2000-1DC01

Основні технічні характеристики даної термопары наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики термопары SIEMENS SITRANS T 7MC 2000-1DC01

Найменування параметра	Значення
Робочий діапазон вимірюваних температур	0...+500 °С
Сенсор	Ni Cr/Ni тип К
- кількість	1
- діаметр згину	2 мм
- ізоляція згину	ізоляційна трубка
Номінальна довжина, мм	500
Захисна трубка	металева
З'єднувальна голівка	форма А, DIN 43729; з легкого металу (лиття), з одним вводом кабелю і різьбовою кришкою
Похибка вимірювань	± 4 %
Вага	1,1 кг
Матеріал	X 10 CrAl 24, Nr. 1.4762
Вартість, грн	3474

Зовнішній вигляд термопары SIEMENS SITRANS T 7MC 2000-1DC01 зображено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 - Термопара SIEMENS SITRANS T 7MC 2000-1DC01

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Порівнявши технічні характеристики ОВЕН ДТПК сталь 12Х18Н10Т і SIEMENS SITRANS T 7МС 2000-1DC01, можна зробити висновок, що перша термopapa підходить більше, так як вона має меншу похибку вимірювань, що підвищує її точність в даних умовах експлуатації. Тому свій вибір зупиняємо на ОВЕН ДТПК сталь 12Х18Н10Т.

Для перетворення сигналу термopари в уніфікований сигнал необхідно застосовувати нормуючий перетворювач.

Для термopари ОВЕН ДТПК сталь 12Х18Н10Т можливе використання такого вимірювального перетворювача, як ОВЕН НРТ-1, основні технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики вимірювального перетворювача ОВЕН НРТ-1

Найменування параметра	Значення
Номінальне значення напруги живлення (постійного струму)	24 В
Діапазон допустимих напруг живлення (постійного струму)	12 – 36 В
Струм живлення, не більше: – для робочого режиму – для режиму конфігурування (живлення здійснюється від USB-Host)	35 мА 50 мА
Номінальний діапазон вихідного струму перетворювача	0 – 20 мА, 4 – 20 мА
Нелінійність перетворення, не гірше	±0,1%
Опір кожного з'єднувального дроту, що з'єднує перетворювач з датчиками, не більше	100 Ом
Пульсації вихідного сигналу	0,6%
Габаритні розміри	98 × 82 × 22 мм
Вартість, грн	4193,6

Зовнішній вигляд вимірювального перетворювача ОВЕН НПТ-1 представлено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 - Вимірювальний перетворювач ОВЕН НПТ-1

### 3.1.1.2 Вибір датчика рівня

В даному ТП проводиться контроль рівня у реакторі, для вимірювання якого можливе використання наступних рівнемірів:

#### а) Поплавковий датчик рівня ОВЕН ПДУ-И.3000

Основні технічні характеристики даного датчика рівня приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Технічні характеристики рівнеміра ОВЕН ПДУ-И.3000

Найменування параметра	Значення
Електричні параметри	
Схема підключення	Дводротова
Рід живлячого струму	Постійний
Напруга живлення, В	10...36
Вихідний сигнал, мА	4...20
Споживана потужність, Вт, не більше	1
Опір навантаження, Ом, не більше	Визначається за формулою: $(U - 8) \cdot 50$ , де U – напруга живлення, В

Метрологічні характеристики	
Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірювань рівня, мм	0...5000
Дискретність вимірювання рівня (роздільна здатність), мм	10
Похибка вимірювання рівня, мм	±0,5
Додаткова похибка вимірювання від температури, % на 10 °С, не більше	0,2
Конструктивні параметри	
Розташування осі кріплення отвору датчика у резервуарі	Вертикально
Типорозмір приєднувальної різьби	G2
Розмір «під ключ», мм	36
Матеріал робочої частини датчика	Сталь 12X18H10T
Ступінь захисту згідно ГОСТ 14254	IP65
Вартість, грн	4887

Зовнішній вигляд рівнеміра ОВЕН ПДУ-И.3000 представлено на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 - Рівнемір ОВЕН ПДУ-И.3000

**б) Ультразвуковий рівнемір SIEMENS Milltronics The Prode 7ML1201-1AF00**

Основні технічні характеристики даного датчика рівня приведені в таблиці 3.5.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Таблиця 3.5 - Технічні характеристики рівнеміра SIEMENS Milltronics The Prode 7ML1201-1AF00

Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірювань, м	0,25...3
Напруга живлення, В	12...28
Вихідний сигнал, мА	4...20
Споживана потужність, Вт, не більше	0,75
Опір навантаження, Ом	600
Дискретність вимірювання рівня (роздільна здатність), мм	3
Похибка вимірювання рівня, мм	±1
Вага, кг	1,5
Матеріал робочої частини датчика	ETFE
Ступінь захисту	IP65
Вартість, грн	5062,27

Зовнішній вигляд рівнеміра SIEMENS Milltronics The Prode 7ML1201-1AF00 представлено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 - Рівнемір SIEMENS Milltronics The Prode 7ML1201-1AF00

Порівнявши технічні характеристики ОВЕН ПДУ-И.3000 і SIEMENS Milltronics The Prode 7ML1201-1AF00, можна зробити висновок, що перший має меншу похибку вимірювань, більший діапазон вимірювань, до того ж він дешевший за другий. Тому свій вибір зупиняємо на ОВЕН ПДУ-И.3000.

### 3.1.1.3 Вибір датчиків витрати

#### 3.1.1.3.1 Вибір датчиків витрати сипких матеріалів

У даному ТП здійснюється регулювання витрат хлорату калію, тиоціанату свинцю і фульмінату ртуті у гвинтових конвеєрах, якими вони подаються до реактора (перші два) і в зону насипки запального складу відповідно. Так як діапазон вимірюваних витрат в усіх трьох точках приблизно однаковий, застосуємо один тип датчиків.

Можливе використання наступних рівнемірів:

#### а) Витратомір сипких матеріалів SolidFlow

SolidFlow - витратомір, що розроблений спеціально для вимірювання масової витрати сипких матеріалів. Перетворення витрати відбувається за рахунок взаємодії мікрохвильового поля з транспортуємим матеріалом та стінками трубопроводу.

Основні технічні характеристики даного датчика витрати приведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Технічні характеристики витратоміра сипких матеріалів SolidFlow

Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірювань масової витрати, т/год	До 20
Корпус	Нерж. сталь 1.4541 або сталь St 52
Категорія захисту	IP65; АТЕХ: кат. 2 G и 1/2 D



Найменування параметра	Значення
Робоча температура: - передня частина сенсора - опціонально - електроніка сенсора	-20...+80 °C [-4...+176 °F] -20...+120 °C [-4...+392 °F] 0...+60 °C [+32...+140 °F]
Робоча частота	24,125 ГГц, ±100 МГц
Випромінювана потужність	Макс. 5 мВт
Похибка	±3%
Струм вихідного сигналу Напруга вихідного сигналу	4...20 мА (0...20 мА), нагр. < 700 Ω 2...10 В (0...10 В), нагр. > 2 кΩ
Сигнал перевищення граничного значення	Реле, макс. 250 VAC, 1A
Тоталайзер	Функція скидання
Зберігання даних	Флеш
Імпульсний вихід	Відкритий колектор
Вартість, грн	13700

Зовнішній вигляд витратоміра SolidFlow представлено на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 - Витратомір SolidFlow

#### б) Витратомір SIEMENS SITRANS F C MASS 2100 DI 1.5

Витратомір SIEMENS SITRANS F C MASS 2100 DI 1.5 - вимірювальний пристрій масової витрати, що працює за принципом дії сили Коріоліса. Вимірювання відбуваються незалежно від зміни таких умов і параметрів процесу, як температура, густина, тиск, в'язкість, провідність і профіль потоку.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Основні технічні характеристики даного датчика витрати приведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Технічні характеристики витратоміра SIEMENS SITRANS F C MASS 2100 DI 1.5

Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірювань масової витрати, кг/год	0...65
Корпус	1.4404 (AISI 316 L) (нерж. сталь)
Категорія захисту	IP66
Робоча температура, °C	-50...+125
Робочий тиск, бар	230
Вага, кг	2,6
Похибка	±1%
Струм вихідного сигналу	4...20 мА (0...20 мА), 2...10 В
Збереження даних	Блок пам'яті SENSORPROM 2kB
Вартість, грн	15618,4

Зовнішній вигляд витратоміра SIEMENS SITRANS F C MASS 2100 DI 1.5 представлено на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 - Витратомір SIEMENS SITRANS F C MASS 2100 DI 1.5

Порівнявши технічні характеристики SolidFlow і SIEMENS SITRANS F C MASS 2100 DI 1.5, можна зробити висновок, що обидва витратоміри однаково підходять, але другий має меншу похибку вимірювань (а значить, точність вимірювань підвищується, що є одним з пріоритетів у даному ТП), більший ступень захисту і більший діапазоном робочих температур. Тому свій вибір зупиняємо на SIEMENS SITRANS F C MASS 2100 DI 1.5.

### 3.1.1.3.2 Вибір датчиків витрати рідини і газу

У даному ТП здійснюється регулювання витрат кісткового клею (у рідкому агрегатному стані) в трубопроводі подачі його в реактор і повітря атмосферного в трубопроводі подачі його в сушильну шафу. Так як діапазон вимірюваних витрат в обох точках приблизно однаковий, застосуємо один тип датчиків.

Можливе використання наступних витратомірів:

#### а) Витратомір ОБЕН РМ1

Основні технічні характеристики даного датчика витрати приведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Технічні характеристики витратоміра ОБЕН РМ1

Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірювання об'ємної витрати, м <sup>3</sup> /год	0...10
Вихідний сигнал	4...20 мА
Номинальна напруга живлення	220 В частотою 50 Гц
Допустиме відхилення номінальної напруги живлення	-15...+10 %
Споживана потужність	не більше 6 ВА
Похибка вимірювань	±0,75 %
Час вимірювань	не більше 1,5 с
Тип і габаритні розміри корпусу витратоміра	Щ; 96x96x180 мм
Ступінь захисту корпусу	IP 26
Вартість, грн	2983,2

Зовнішній вигляд витратоміра ОВЕН РМ1 представлено на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 - Витратомір ОВЕН РМ1

### б) Вихровий витратомір SIEMENS SITRANS FX300

Основні технічні характеристики даного датчика витрати приведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 - Технічні характеристики витратоміра SIEMENS SITRANS FX300

Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірювання об'ємної витрати, м <sup>3</sup> /год	0...15
Вихідний сигнал	4...20 мА
Номинальна напруга живлення	14...36 V DC
Навантаження	Мін. 100 Ом
Похибка вимірювань	±2 %
Час вимірювання	не більше 0,65 с
Ступінь захисту корпусу	IP 20
Вартість, грн	6625

Зовнішній вигляд витратоміра SIEMENS SITRANS FX300 представлено на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 - Витратомір SIEMENS SITRANS FX300

Порівнявши технічні характеристики ОВЕН РМ1 і SIEMENS SITRANS FX300, можна зробити висновок, що обидва витратоміри однаково підходять, але перший має меншу похибку вимірювань, більшим діапазоном вимірювань і більшим ступенем захисту, до того ж він значно дешевший за другий. Тому свій вибір зупиняємо на ОВЕН РМ1.

#### 3.1.1.4 Вибір датчиків кута повороту (енкодерів)

У даному ТП виконується керування двигунами мішалки, вентилятора і гвинтових конвеєрів, а також промисловими роботами (маніпуляторами).

Для визначення кута повороту вала двигуна і положення маніпулятора (механічної руки) можливе використання датчиків кута повороту, які дозволяють перетворити кутовий рух у безперервно змінювану напругу змінного струму в функції кута повороту.

Можливе застосування наступних датчиків кута повороту:

##### а) Датчик кута повороту SIBA 5321 R5K L2.0

Основні технічні характеристики даного датчика приведено в таблиці 3.10.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 3.10 - Технічні характеристики SIBA 5321 R5K L2.0

Найменування параметра	Значення
Вихідний сигнал	4...20 мА
Допуск, опір	±20 %
Імпеданс	5 кΩ
Робоча температура	-40...+125°C
Робоча напруга	5.25 V
Рівень навантаження	0.25 W
Ступінь захисту	IP 50
Вартість, грн	1869

Зовнішній вигляд датчика кута повороту SIBA 5321 R5K L2.0 представлено на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 - Датчик кута повороту SIBA 5321 R5K L2.0

#### б) Датчик кута повороту Autonics ENC-1

Основні технічні характеристики даного датчика приведено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 - Технічні характеристики Autonics ENC-1

Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірів	100 імп/об
Вихід	Дільник напруги
Характеристика виходу	NPN ОК

Напруга живлення	12 – 24 В
Ступінь захисту	IP 67
Вартість, грн	1845,54

Зовнішній вигляд датчика кута повороту Autonics ENC-1 представлено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 - Датчик кута повороту Autonics ENC-1

Порівнявши технічні характеристики SIBA 5321 R5K L2.0 і Autonics ENC-1, можна зробити висновок, що обидва датчики однаково підходять, але другий має більший ступінь захисту. Тому свій вибір зупиняємо на Autonics ENC-1.

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

Для виявлення «наявності/відсутності» заготовки (діаметр – 7,2 мм, висота – 61 мм, довжина виводів дротів – 2,5 м, діаметр жили – 0,5 мм ) у захватному пристрої маніпуляторів, а також у завантажувальних пристроях преса механічного і пристосування для обтиску ЕД застосовують тактильні датчики.

Можливе використання наступних тактильних датчиків:

#### а) Тактильний датчик Arduino TTP224

Особливості даного датчика:

- 4-и канальний цифровий сенсорний датчик Arduino TTP224.
- 4 рівня правління індикатору стану.

- Розмір плати: 35 мм \* 35 мм (1.38 "x 1.38") L \* W.
- Робоча напруга: 2.4 В ~ 5.5 В.
- Вага: 7г.
- Вартість: 1242,45 грн.

Зовнішній вигляд тактильного датчика Arduino TTP224 представлено на рисунку 3.12.



Рисунок 3.12 - Тактильний датчик Arduino TTP224

#### **б) Тактильний датчик MPR121**

Особливості вказаного датчика:

- Ємнісний сенсорний датчик MPR121
- 4 рівня правління індикатору стану.
- Робоча напруга: 12 В.
- Інтерфейс I2C.
- Розмір: 3x2 см.
- Вартість: 1298,12 грн.

Зовнішній вигляд тактильного датчика MPR121 представлено на рисунку 3.13.





Рисунок 3.13 - Тактильний датчик MPR121

Порівнявши технічні характеристики Arduino TTP224 и MPR121, можна зробити висновок, що обидва тактильні датчики однаково підходять, але перший дешевший, тому свій вибір зупиняємо на ньому.

### 3.1.2 Вибір перетворювачів

#### Вибір перетворювачів частоти

Для запобігання перевитрат або нестачі хлорату калію, тиоціанату свинцю, фульмінату ртуті і повітря атмосферного необхідно регулювати частоту обертання двигунів гвинтових конвеєрів (для перших трьох), якими вони подаються до реактора (перші два) і в зону насипки запального складу відповідно, а також двигуна вентилятора, котрий переганяє повітря з навколишнього середовища в нагрівач. Також потрібно підтримувати на певному рівні частоту обертання двигуна мішалки, так як від часу та інтенсивності перемішування залежить якість крапельного складу, який наноситься на ЕЗ.

Регулювання частоти обертання вказаних приводів здійснюється за допомогою перетворювачів частоти.

У якості двигунів гвинтових конвеєрів використовуються трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором 4A200M4Y3 з наступними характеристиками:

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

$P_H=37$  кВт;  $n_H=1475$  об/хв;  $\eta_H=91\%$ ;  $\cos\varphi_H=0,9$ ;  $\alpha=7$ ;  $\lambda_{\max}=2,5$ ;  $\lambda_{\text{пуск}}=1,4$ ;  
 $J_{\text{дв}}=36,8 \cdot 10^{-2}$  кг·м<sup>2</sup>.

Перетворювач частоти будемо обирати за наступними умовами:

$$P_{\text{пч}} \geq P_{\text{дв}}; \quad U_{\text{пч.н}} = U_{\text{дв.н}}; \quad I_{\text{пч.н}} \approx I_{\text{дв.н}}$$

За нижченаведеною формулою визначаємо номінальний струм двигуна

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} \quad (3-1)$$

$$I_n = \frac{37000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,91} = 68,64 \text{ А}$$

Можливе використання наступних перетворювачів частоти:

#### а) Перетворювач частоти ОВЕН ПЧВ3-37К-В

У ПЧВ3 (рис. 3.14) можливості взаємодії перетворювача з іншими пристроями системи частотного управління приводом значно розширені за рахунок збільшення кількості аналогових і дискретних виходів. ПЧВ3 мають два релейні і два аналогові толкові виходи, які за необхідності можуть використовуватись як цифрові. Це розширює можливості використання ПЧВ у системах каскадного управління насосами, а також покращує організацію роботи додаткових систем автоматики.

У ПЧВ3 значно розширені функціональні можливості, а саме режими: «пожежний», «сплячий» і контроль «обриву ременя» з виконанням спеціальних алгоритмів роботи приводів.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35



Рисунок 3.14 – Перетворювач частоти ОВЕН ПЧВЗ-37К-В

Окрім інтерфейсу Modbus ПЧВЗ підтримує декілька додаткових інтерфейсів для більш зручної інтеграції у системи інтелектуальної будівлі, а саме: BACNet, Metasys N, FLN Arpogee. Заводські налаштування «за замовчуванням» дозволяють користувачу з мінімальними затратами протестувати роботу привода у ручному і автоматичному режимах після вводу основних параметрів АД.

Основні характеристики перетворювача частоти приведено в таблиці 3.12.

**б) Перетворювач частоти SIEMENS SINAMICS G120 6SL3225-0BE33-0UA0**

Основними особливостями даного ПЧ (рис. 3.15) є

- \* повний контроль і підвищений захист електродвигуна;
- \* запуск при навантаженні, що обертається;
- \* оптимальне узгодження характеристики обертального моменту з характеристикою механізму;
- \* локальне ПД-регулювання і опції підключення до мережі обміну даними;
- \* економія енергії більше 60%;
- \* більший термін служби за спрощеного техобслуговування.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36



Рисунок 3.15 – Перетворювач частоти SIEMENS SINAMICS G120  
6SL3225-0BE33-0UA0

Основні характеристики перетворювача частоти приведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 - Технічні характеристики перетворювачів частоти

Виробник	ОВЕН	SIEMENS
Найменування	ПЧВ3-37К-В	SINAMICS G120 6SL3225-0BE33-0UA0
Діапазон потужностей, кВт	37	37
Номінальний струм, А	77	75
Живлення	3-фазне 380-480В	3-фазне 380-480В
Вихідна частота	0...200 Гц	0...400 Гц
Вартість, грн	12421	10877,72

Порівнявши технічні характеристики перетворювачів частоти, можна зробити висновок, що обидва перетворювачі однаково підходять. У такому випадку перевагу віддамо перетворювачу SINAMICS G120, так як він має більшу вихідну частоту, до того ж він дешевший за ОВЕН ПЧВ3-37К-В.

Аналогічні дії виконуємо для двигуна вентилятора, у якості якого використовується трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором 4А80В4У3 з наступними характеристиками:

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

$P_H=1,5$  кВт;  $n_H=1415$  об/хв;  $\eta_H=77\%$ ;  $\cos\varphi_H=0,83$ ;  $\alpha=5$ ;  $\lambda_{\max}=2,2$ ;  $\lambda_{\text{пуск}}=2$ ;  
 $J_{\text{дв}}=33,3 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>2</sup>.

$$I_H = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,77} = 3,57 \text{ А}$$

Для даного двигуна обираємо модифікацію SINAMICS G120 з потужністю  $P_{\text{пч}}=1,5$  кВт,  $I_{\text{пч}} = 3,7$  А, а саме SINAMICS G120 6SL3224-0BE21-5UA0. Інші характеристики даного ПЧ співпадають з аналогічними для SINAMICS G120 6SL3224-0BE37-5AA0.

Аналогічні дії виконуємо для двигуна мішалки, у якості якого використовується трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором 4A180S4У3 з наступними характеристиками:

$P_H=22$  кВт;  $n_H=1470$  об/хв;  $\eta_H=90\%$ ;  $\cos\varphi_H=0,9$ ;  $\alpha=6,5$ ;  $\lambda_{\max}=2,3$ ;  $\lambda_{\text{пуск}}=1,4$ ;  
 $J_{\text{дв}}=19 \cdot 10^{-2}$  кг·м<sup>2</sup>.

$$I_H = \frac{22000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 41,27 \text{ А}$$

Для даного двигуна обираємо модифікацію SINAMICS G120 з потужністю  $P_{\text{пч}}=22$  кВт,  $I_{\text{пч}} = 42,5$  А, а саме SINAMICS G120 6SL3224-0BE32-2UA0. Інші характеристики даного ПЧ співпадають з аналогічними для SINAMICS G120 6SL3224-0BE37-5AA0.

### 3.1.3 Вибір виконавчих механізмів

#### 3.1.3.1 Вибір регулюючих клапанів

Для регулювання витрати кісткового клею в реакторі можливе використання такого виконавчого механізму, як запірно-регулюючий клапан, який задовольняв би умовам вибухозахищеності, так як подача клею здійснюється у вибухонебезпечну зону. Таким вимогам задовольняє пневмоклапан, у якості якого може бути використано:

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

**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 та газів у системах автоматичного і дистанційного управління.

Основні характеристики виконавчого механізму приведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Технічні характеристики МИП-320

Найменування параметра	Значення
Робоче середовище	Стиснене повітря
Умовний хід (типорозмір), мм	320
Тиск живлення	от 0,4...1 МПа
Вхідний сигнал	0,02...0,1 МПа
Вартість, грн	9320

Зовнішній вигляд механізму виконавчого пневматичного МИП-320 представлено на рисунку 3.16.



Рисунок 3.16 - Механізм виконавчий пневматичний МИП-320

## б) Регулюючий поршневий пневмоклапан Burkert 2300

2/2-ходовий регулюючий поршневий пневмоклапан Burkert 2300 (рис. 3.17) призначено для точного регулювання нейтральних і агресивних рідин та газів. Регулюючий пневмоклапан 2300 постачається з фланцевим, різьбовим або звареним приєднаннями. Завдяки параболічному конусу клапан має чудові регулюючі характеристики. Відмінна особливість регулюючого пневмоклапана 2300 полягає у конструкції пневмопривода з нержавіючої сталі. Матеріал ущільнення - сталь/сталь або PTFE/сталь. Температура робочого середовища: -10-+180°C.



Рисунок 3.17 – Пневмоклапан Burkert 2300

Вартість пневмоклапана – 8756,37 грн.

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

Для управління пневмоклапаном Burkert 2300 необхідно застосовувати електропневматичний позиціонер, у якості якого може бути використано Burkert 8696.

Цифровий електропневматичний позиціонер Burkert 8696 (рис. 3.18) розроблено спеціально для регулюючих пневмоклапанів Burkert 23XX/2103 з приводом Ø 50 мм. Позиціонер 8696 виготовлено з нержавіючої сталі і полісульфона, що дозволяє використовувати його в СІР-процесах. Позиціонер 8696 не має індикації. Налаштування основних параметрів за допомогою ДИП-перемикачів. Напруга живлення 24В постійного струму, вхідний сигнал 4-20мА або 0-10В.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40



Рисунок 3.18 – Електропневматичний позиціонер Burkert 8696

Вартість опозиціонера – 4091,67 грн.

### 3.1.3.3 Вибір промислових роботів

Для переміщення капсуля-детонатора зі стрічкового транспортеру №1 на операції насипки і пресування капсульного заряду в гільзи, опускання дроту в реактор з крапельним складом і переміщення електрозапалювача до сушильної шафи, а також для переміщення електродетонатора з операції обтиску на стрічковий транспортер №2 будемо використовувати промислові роботи з одним маніпулятором. Можливе використання наступних ПР:

#### а) Промисловий робот МН50 П-20 (виробник Yaskawa)

Робот МН50 П-20 (рис. 3.19) має шість осей і використовує динамічний контролер DX200, який має декілька запатентованих технологій управління роботами для контролю 72 осей, також має більш високу швидкість обробки для більш плавної інтерполяції, передових рухів робота-маніпулятора, вбудовану технологію запобігання зіткнень, швидкий ввід/вивід і пришвидшений обмін через Ethernet. Він також підтримує всі основні мережі промислових шин. Він сумісний з ANSI ANSI/RIA R15.06-2012 та іншими відповідними ISO і CSA стандартами безпеки.

Даний робот-маніпулятор особливо підходить для покриття, дозування, пресування, розкрою і обробки матеріалів.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41





Рисунок 3.19 – Зовнішній вигляд промислового робота MH50 II-20

Вартість, грн – 38686.

#### **б) Промисловий робот Powerball (виробник SCHUNK)**

Центральними елементами маніпулятора є три компактні модулі Powerball, які поєднують у собі рух двох осей. Є електронний контроль і схеми регулювання, котрі інтегровані в спільні диски. Положення, швидкість і обертальний момент можуть також гнучко налаштовуватися. Інноваційна система швидкої зміни сигналу із вбудованим прохідним елементом дозволяє швидко і легко вводити в експлуатацію системи захоплення.

Оскільки встановлення ліній для захвату і інструменти знаходяться повністю всередині модуля, немає кабелів, що заважають, та інших периферійних пристроїв. Завдяки вбудованому інтелекту, універсальним інтерфейсам зв'язку і кабельним технологіям для передачі даних і живлення, маніпулятор може бути швидко і легко інтегрований в існуючі концепції управління. Маніпулятор доповнюється промисловим контролером роботи із вбудованим ПЗ CoDeSys PLC. Навчання виконується легко за допомогою ручного пульта управління із сенсорним екраном. Напряга живлення із

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

постійним струмом 24 В дозволяє мобільне використання роботу, а також використання при зміні місцезнаходження. У відповідності із полегшеною конструкцією і станом сучасного двигуна рука може задовольняти енергетичні потреби 80 Вт, що знижує витрати на енергію, забезпечує більш тривалий термін роботи при використанні акумуляторних батарей, а також дозволяє використовувати акумулятори малого формату. При ціні значно нижче будь-якої іншої руки, пристрій має потенціал для широкомасштабного використання.

Зупиняємо свій вибір на ПР Powerball (рис. 3.20), так як його контролер має вбудоване ПЗ ПО CoDeSys PLC.



Рисунок 3.20 – Зовнішній вигляд промислового робота Powerball

Вартість, грн – 43050.

Для здійснення досилу електрозапальника в споряджений капсуль-детонатор будемо використовувати промисловий робот з двома маніпуляторами. Можливе використання наступних ПР:

**а) Промисловий робот YuMi (виробник АВВ)**

YuMi (рис. 3.21) є роботом з подвійним маніпулятором, призначеним для нової ери автоматизації, наприклад, для складання невеличких деталей, де люди і роботи працюють пліч-о-пліч з тими ж задачами. YuMi було розроблено для задоволення гнучких і рушійних потреб виробництва в індустрії споживацької

електроніки. Компанія АВВ розробила спільний подвійний маніпулятор, дрібні деталі зборки робота, що включають гнучкі руки, частини системи живлення, камеру і сучасні системи управління роботом.

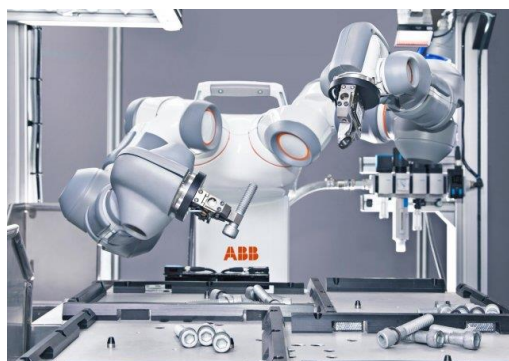


Рисунок 3.21 – Промисловий робот YuMi

Вартість, грн – 62100.

### б) Промисловий робот Tandem R125 (виробник ST Robotics)

R125 Tandem (рис. 3.22) складається з двох 5-осьових вертикальних сполучених маніпуляторів, які кріпляться до програмованої каруселі. Два контролери роботів зв'язані між собою, що дозволяє відтворювати зв'язок для синхронізації рухів двох маніпуляторів, що працюють разом, або надає їм можливість спільно працювати по черзі при виконанні однієї задачі.

Включаючи програмовану основу, робот ST Robotics Tandem R125 має загалом 11 осей. Уся система включає в себе все, що треба для роботи: два 5-ти вісних маніпулятора R12, встановлених на каруселі, два K11R контролери, програмне забезпечення RoboForth II, щоб інтуїтивно навчити платформу взаємодіяти з іншим обладнанням, кабелі, підсобні елементи.



Рисунок 3.22 – Промисловий робот R125 Tandem

Вартість, грн – 58031.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Аналізуючи характеристики даного ПР, приходимо до висновку, що YuMi підходить нам більше, так як у нього гнучкість використання вище, ніж у Tandem R125.

### 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. 3.14).

Таблиця 3.14 – Вхідні-вихідні сигнали

Сигнали	Кількість сигналів
Аналогові вхідні	7
Дискретні вхідні	5
Аналогові вихідні	11

#### 3.2.1 Вибір контролера

Для реалізації управління даним процесом необхідно застосувати контролер з модулями розширення.

У якості контролера можуть бути використані:

##### а) Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК 160

ПЛК 160 призначений для створення систем управління малими і середніми об'єктами.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Побудова системи управління і диспетчеризації на базі ОВЕН ПЛК можливе як за допомогою дротових засобів – використовуючі вбудовані інтерфейси Ethernet, RS-232, RS-485, так і з допомогою бездротових засобів – використовуючи радіо, GSM, ADSL модеми\и.

### **Конструктивні особливості ОВЕН ПЛК 160**

Контролер виконано в компактному DIN-рейковому корпусі.

Розширення кількості точок вводу\виводу здійснюється підключенням зовнішніх модулів вводу\ виводу за будь-яких із вбудованих інтерфейсів.

### **Обчислювальні ресурси ОВЕН ПЛК 160**

У контролері закладені потужні обчислювальні ресурси за відсутності операційної системи:

- високопродуктивний процесор RISC архітектури ARM9, з частотою 180МГц компанії Atmel;
- великий обсяг оперативної пам'яті – 8МБ;
- великий обсяг постійної пам'яті – Flash пам'ять, 4МБ;
- обсяг енергонезалежної пам'яті для збереження змінних– до 16КБ.

Зовнішній вигляд ПЛК представлено на рисунку 3.23.



Рисунок 3.23 – ОВЕН ПЛК 160

## Електричні параметри

- Два варіанти живлення для кожного контролера:
- змінний струм: (90-265)В, (47...63)Гц;
- постійний струм: (18-29)В.
- Невелика споживана потужність до 10Вт.
- Дискретні входи - 16
- Дискретні виходи - 12
- Аналогові входи - 8
- Аналогові виходи - 4
- Усі дискретні входи контролера вимірюють сигнал 24В.
- Тип сигналу може бути як n-p-n, так і p-n-p.
- Дискретні виходи типу: Р - реле.

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

Основні характеристики програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК 160 представлено в таблиці 3.15.

Вартість ПЛК – 19105,36 грн.

## б) Програмований логічний контролер SIEMENS SIMATIC S7-1200

Програмований контролер SIMATIC S7-1200 виробництва SIEMENS – це базовий контролер для вирішення найрізноманітніших задач автоматизації малого і середнього рівня. Цей контролер має модульну конструкцію і універсальне призначення. Він здатний працювати в реальному масштабі часу, може використовуватись для побудови відносно простих вузлів локальної автоматики або вузлів комплексних систем автоматичного управління, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Industrial Ethernet/PROFINET, а також PtP (Point-to-Point) з'єднання.

						Лист
					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Програмований контролер S7-1200 має компактні пластикові корпуси із ступенем захисту IP20, може монтуватися на стандартну 35 мм профільну шину DIN або на монтажну плату і працює в діапазоні температур від 0 до +50 °С. Він здатний обслуговувати 24 дискретні і 12 аналогові канали вводу-виводу.

### **Центральний процесор**

Центральний процесор володіє високою продуктивністю і забезпечує підтримку широкого набору функцій:

- Програмування на мовах LAD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram) і SCL (Structured Control Language), вичерпний набір команд.
- Високу швидкодію, час виконання логічної операції не перевищує 0.1 мкс.
- Вбудована завантажувальна пам'ять об'ємом до 4 Мбайт, розширювана картою пам'яті ємністю до 4 Гбайт.
- Робоча пам'ять ємністю до 150 Кбайт.
- Енергонезалежна пам'ять ємністю 10 Кбайт для збереження даних при перебоях у живленні контролера.
- Вбудовані дискретні входи універсального призначення, що дозволяють вводити потенціальні або імпульсні сигнали.
- Вбудований апаратний годинник реального часу з запасом ходу при перебоях у живленні 20 днів.
- Вбудовані швидкісні лічильники з частотою слідування вхідних сигналів до 1 МГц.
- Вбудовані імпульсні виходи з частотою слідування імпульсів до 1 МГц (тільки в CPU з транзисторними виходами).
- Підтримка функцій ПІД регулювання.
- Підтримка функцій управління переміщенням у відповідності з вимогами стандарту PLCopen.
- Підтримка функцій оновлення операційної системи.
- Вбудований WEB – сервер, що дозволяє виконувати дистанційну діагностику програмованих контролерів з використанням стандартного Web браузера.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

- Парольний захист програми користувача.
- Комунікаційні модулі CM 12xx і CP 12xx для підключення контролера до мережі Industrial Ethernet, PROFIBUS DP, обміну даними через послідовні канали зв'язку, мобільну мережу GSM, канали зв'язку систем телеуправління.

Основні характеристики програмованого логічного контролера SIMATIC S7-1200 представлено в таблиці 3.15.

Зовнішній вигляд ПЛК представлено на рисунку 3.24.



Рисунок 3.24 –ПЛК SIMATIC S7-1200

Вартість ПЛК – 21906,36 грн.

#### **в) Програмований логічний контролер VIPA System 200V**

VIPA System 200V - контролер для вирішення задач центральної і розподіленої системи автоматизації, де він може виступати у якості як "керуваних" так і "керуючих" пристроїв. Він з успіхом може використовуватись в системах промислової автоматизації з підвищеними вимогами до надійності обслуговування і до часових параметрів контурів управління. CPU сумісні за набором інструкцій з популярними контролерами SIMATIC S7-300 і можуть програмуватися як за допомогою ПЗ WinPLC7 (VIPA), так і за допомогою STEP7 (Siemens).

VIPA System 200V побудовано за модульним принципом. Це значить, що користувач має можливість оптимально підбирати склад модулів для вирішення своєї задачі і гнучко модифікувати його при розширенні або при зміні вимог до системи. Він має гарний час реакції і підходить для управління виробництвом періодичного, неперервного і неперервно-періодичного типів.

Основні характеристики програмованого логічного контролера VIPA System 200V представлено у таблиці 3.15.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49



Вартість ПЛК – 12696,52 грн.

Зовнішній вигляд ПЛК представлено на рисунку 3.25.



Рисунок 3.25 – ПЛК VIPA System 200V

Таблиця 3.15 – Основні характеристики контролерів

Основні характеристики	ОВЕН ПЛК 160	SIMATIC S7-1200	VIPA System 200V
Кількість входів/виходів	Дискретні входи - 16 Дискретні виходи - 12 Аналогові входи - 8 Аналогові виходи - 4	Дискретні входи - 24 Дискретні виходи - 24 Аналогові входи - 12 Аналогові виходи - 12	Дискретні входи - 12 Дискретні виходи - 12 Аналогові входи - 8 Аналогові виходи - 8
Об'єм оперативної пам'яті	8 Мбайт	50 Кбайт	32 Кбайт
Час виконання операції	1 мс	0,1 мкс	з бітами — 0,25 мкс зі словами — 1,2 мкс

Основні характеристики	ОВЕН ПЛК 160	SIMATIC S7-1200	VIPA System 200V
Таймери/Лічильники	Годинник реального часу з автономним акумуляторним живленням (точність ходу – не більше 3 хв на добу)	Вбудований годинник реального часу з запасом ходу при перебоях у живленні 20 днів; вбудовані швидкісні лічильники з частотою слідування вхідних сигналів до 1 МГц; вбудовані імпульсні виходи з частотою слідування імпульсів.	128/256
Програмування	ПЗ CoDeSys	LAD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram) і SCL (Structured Control Language)	WinPLC7 від VIPA / STEP7 від Siemens
Протоколи	ОВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus TCP, DCON, GateWay (протокол CODESYS), Mass Storage Device	Industrial Ethernet/PROFINET, PtP (Point-to-Point) з'єднання	ProfibusDP slave

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Основні характеристики	ОВЕН ПЛК 160	SIMATIC S7-1200	VIPA System 200V
Інтерфейс	RS-232, RS-485, Ethernet 10/100 Mbps, USB-Device	Ethernet/PROFINET	MP2I (MPI+PPI)

Так як ПЛК SIMATIC S7-1200 має найбільший об'єм пам'яті, можливість роботи в масштабі реального часу, найбільшу кількість портів і більш широкий спектр функцій, обираємо саме його.

Так як вбудованих аналогових входів/виходів недостатньо, то існує необхідність використання додаткових модулів вводу/виводу аналогових сигналів.

### 3.2.2 Модуль вводу аналогового сигналу

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

У якості модуля аналогового вводу обираємо SM 1231 виробництва SIEMENS.

Основні характеристики модуля аналогового вводу SM 1231 приведені в таблиці 3.16.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Таблиця 3.16 – Основні характеристики SM 1231

Найменування	Позначення	Технічні характеристики	Вага нетто, кг	Вартість, грн
Модуль аналогового вводу	SM 1231	SIMATIC S7-1200, 4 +/-10 В, +/-5 В, +/-2,5 В, ИЛИ 0-20 МА 12 БИТ + ЗНАК (13 БИТ ADC) 4 вводи	0,172	12074

Зовнішній вигляд SM 1231 представлено на рисунку 3.26.



Рисунок 3.26 – Модуль аналогового вводу SM 1231

### 3.2.3 Модуль виводу аналогового сигналу

Модуль аналогового вводу призначений для перетворення цифрових сигналів, що передаються мережею 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 приладам реєстрації і самописцям.

У якості модуля аналогового виводу обираємо SM 1232 виробництва SIEMENS.

Основні характеристики модуля аналогового виводу SM 1232 приведено в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 – Основні характеристики SM 1232

Найменування	Позначення	Технічні параметри	Вага нетто, кг	Вартість, грн
Модуль аналогового виводу	SM 1232	SIMATIC S7-1200 +/-10В 14 БИТ, ИЛИ 0-20 МА 13 БИТ 2 виводи	0,169	15897,85

Зовнішній вигляд SM 1232 представлено на рисунку 3.27.



Рисунок 3.27 – Модуль аналогового виводу SM 1232

### 3.2.4 Панель оператора

Для візуалізації проходження ТП, відображення поточних параметрів, завдання вхідних величин та індикації каналу аварії застосуємо сенсорну графічну панель оператора SIPLUS HMI Basic Panel виробництва SIEMENS(рис. 3.16), яка може використовуватись для розв'язання задач оперативного управління і моніторингу на локальному рівні в усіх областях промислового виробництва, а також у системах автоматизації будівель.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Основні характеристики панелі оператора SIPLUS HMI Basic Panel приведено в таблиці 3.18.

Таблиця 3.18 – Основні характеристики SIPLUS HMI Basic Panel

Найменування	Позначення	Технічні параметри	Вага Нетто, кг	Вартість, грн
Панель оператора	SIPLUS HMI Basic Panel	КТР600 BASIC COLOR PN 5,7' ДІАПАЗОН РОБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР -25... +60 ГРАД. ЦЕЛЬСІЯ, 3 КОНФОРМНИМ ПОКРИТТЯМ НА ОСНОВІ 6AV6647-0AD11-3AX0 . 5,7" TFT ДИСПЛЕЙ, 256 КОЛЬОРІВ, ІНТЕРФЕЙС ETHERNET	1,07	25199

Зовнішній вигляд SIPLUS HMI Basic Panel представлено на рисунку 3.28.



Рисунок 3.28 – Панель оператора SIPLUS HMI Basic Panel

### 3.2.5 Блок живлення

Для живлення модулів вводу, виводу, ПЛК і панелі оператора оберемо блок живлення PM1207 виробництва SIEMENS.

Блок живлення PM1207 (Power Module) оптимальний для нової серії контролерів SIMATIC S7-1200 за дизайном і функціональністю та забезпечує зовнішнє живлення входів і виходів, коли потужності, вбудованого в ЦПУ

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

джерела живлення, недостатньо.

Основні характеристики блоку живлення PM1207 представлено в таблиці 3.19.

Таблиця 3.19 – Основні характеристики SIPLUS PM1207

Найменування	Позначення	Технічні параметри	Вага Нетто, кг	Вартість, грн
Блок живлення	PM1207	СТАБІЛІЗОВАНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ, ВХІД: ~120/230 В, ВИХІД: =24 В/2,5 А	0,3	3912,8

Зовнішній вигляд PM1207 представлено на рисунку 3.29.



Рисунок 3.29 – Блок живлення PM1207

### 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.

									Лист
									56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ				

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 квитування (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. 3.30.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



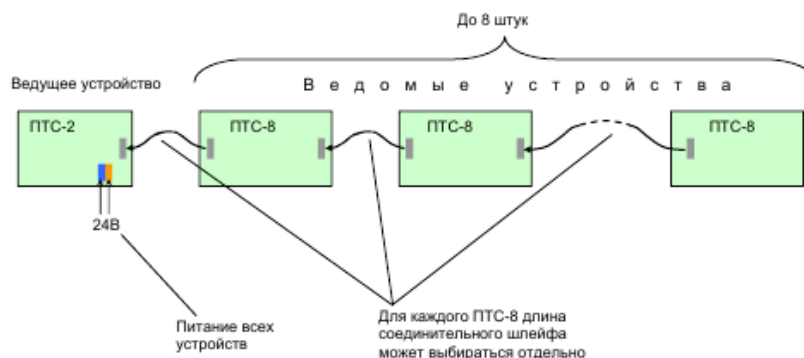


Рисунок 3.30 – Схема підключення приладу ПТС 64

Зовнішній вигляд приладу технологічної сигналізації ПТС-64 представлено на рисунку 3.31.

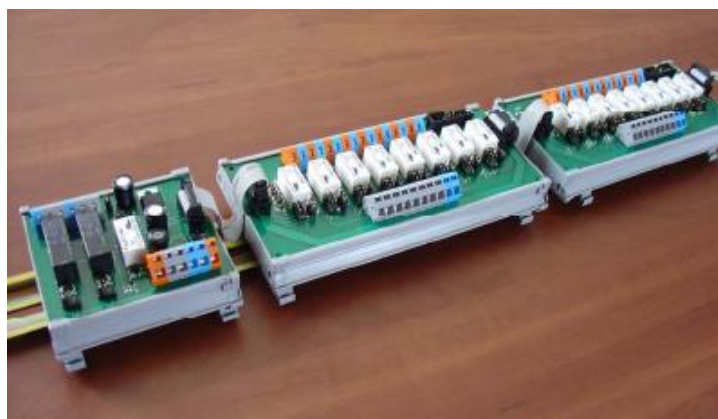


Рисунок 3.31 - Зовнішній вигляд приладу технологічної сигналізації ПТС-64

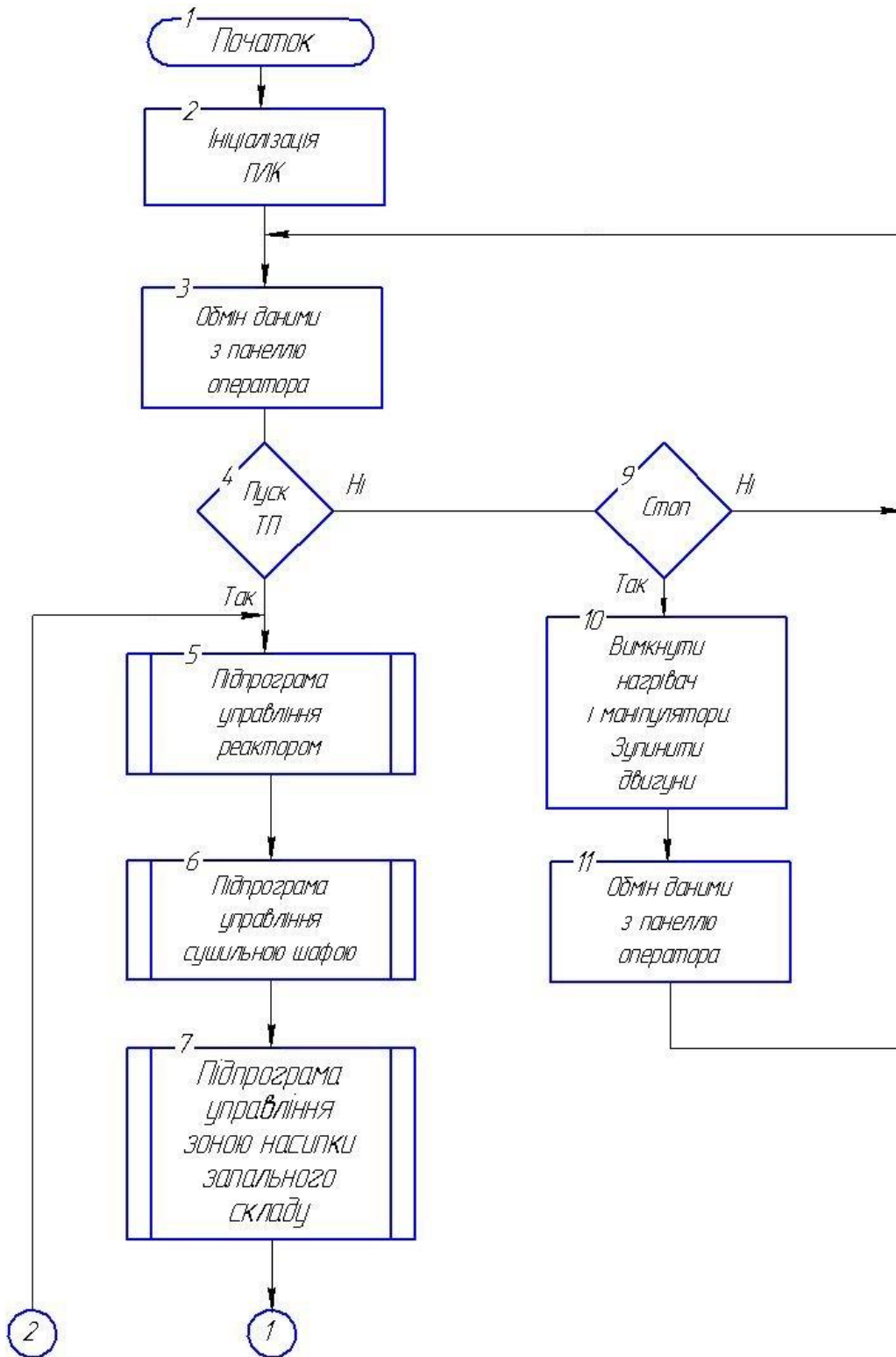
Вартість ПТС-64 – 2642,44 грн.

На основі локальних контурів і обраних засобів автоматизації побудована функціональна схема автоматизації процесу (СУ-41Ш 6.050201.09.A2).

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

### 3.4 Розробка алгоритмів управління

У загальному вигляді система працює за алгоритмом, представленим на рисунку 3.32.



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

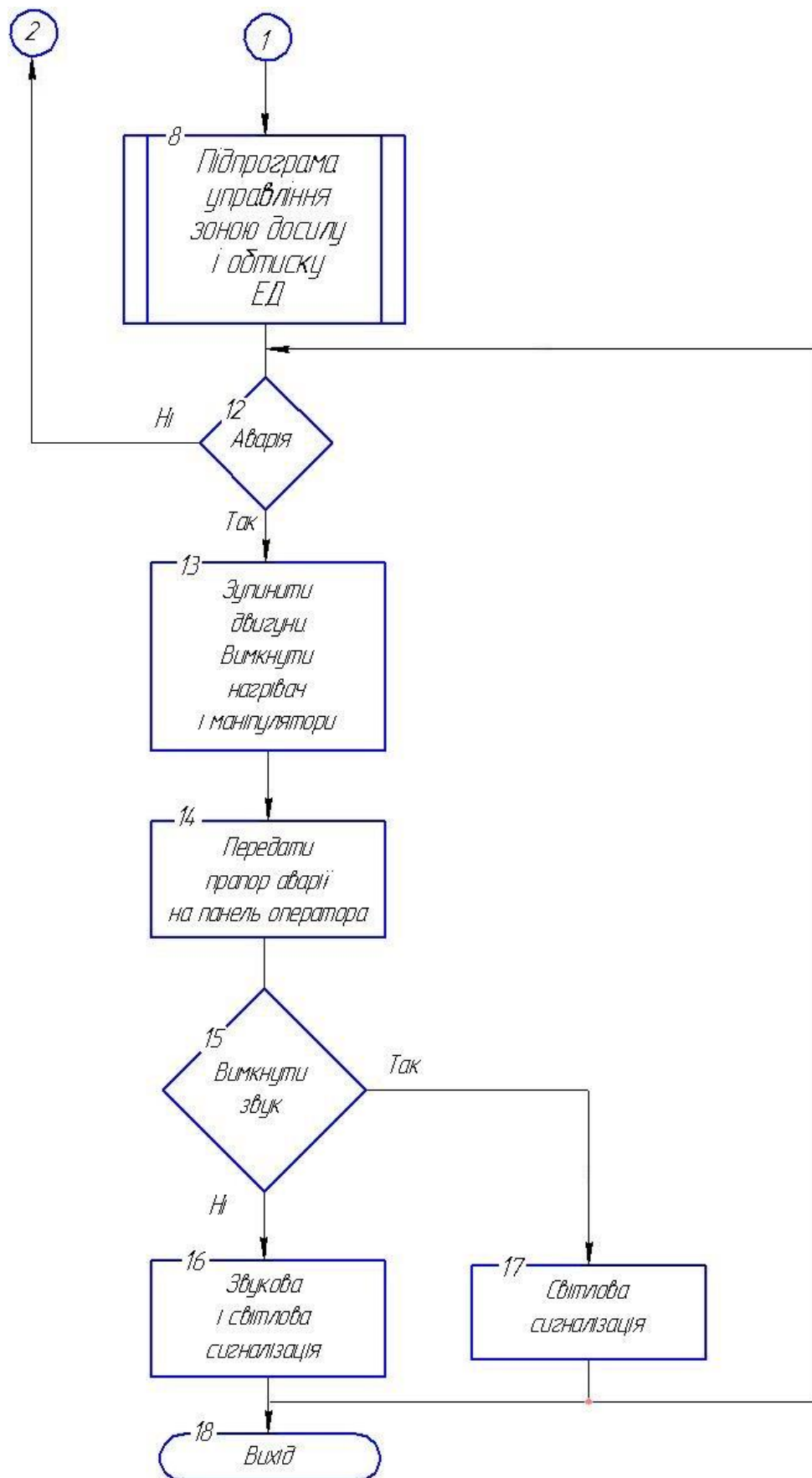


Рисунок 3.32 – Загальний алгоритм роботи системи

Алгоритми окремих підпрограм управління приведені на рисунках 3.33-3.36.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

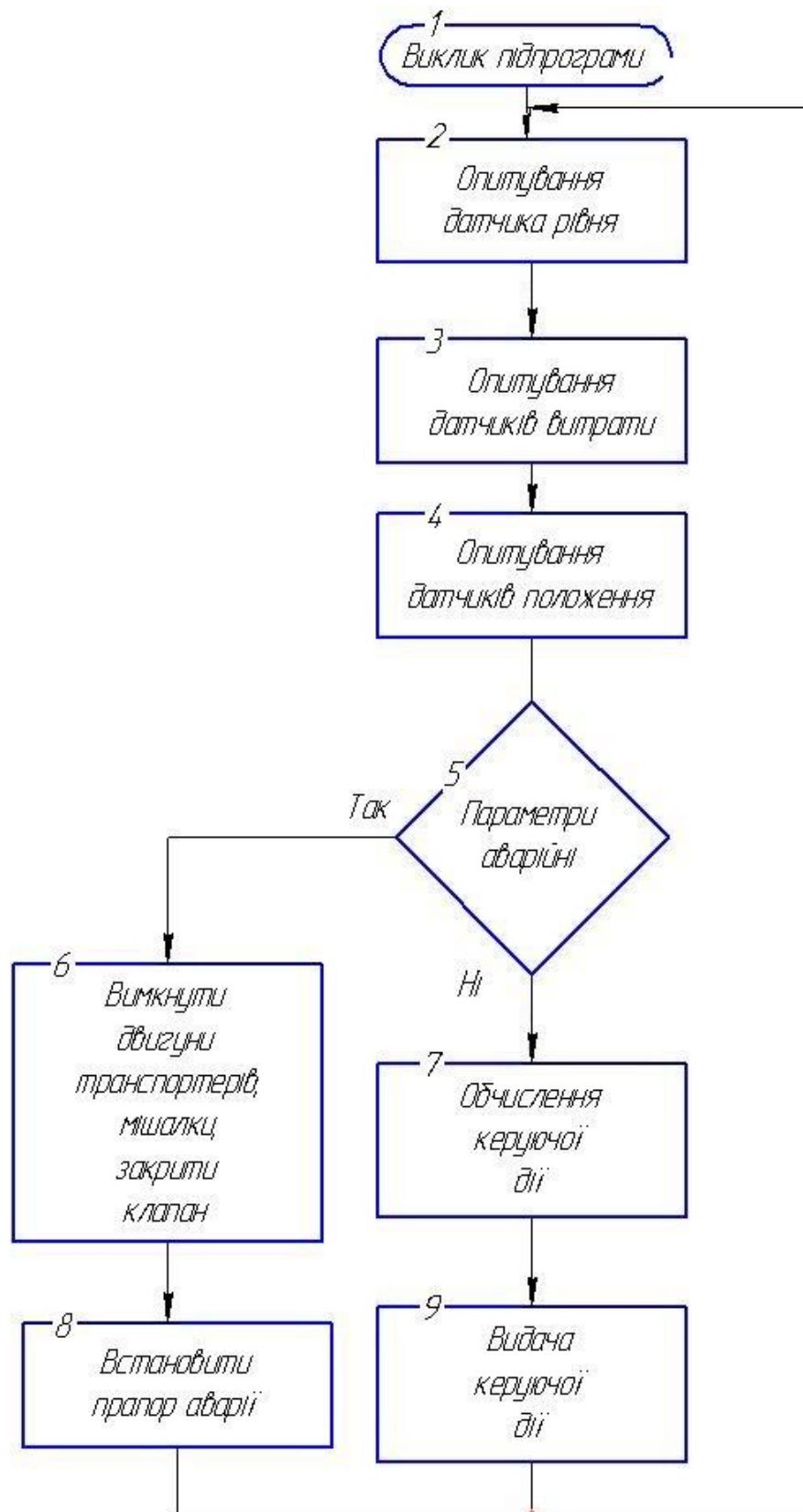


Рисунок 3.33 – Підпрограма управління ректором

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

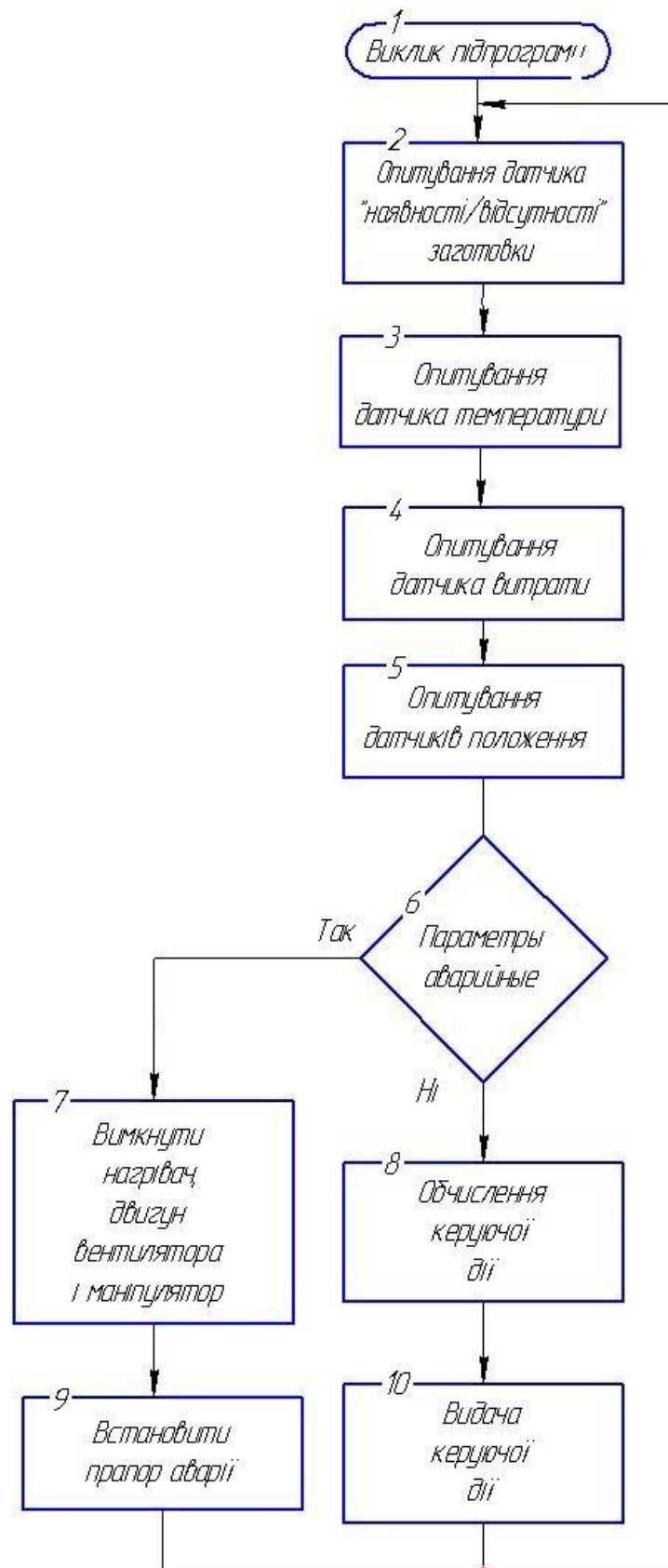


Рисунок 3.34 – Підпрограма управління сушильною шафою

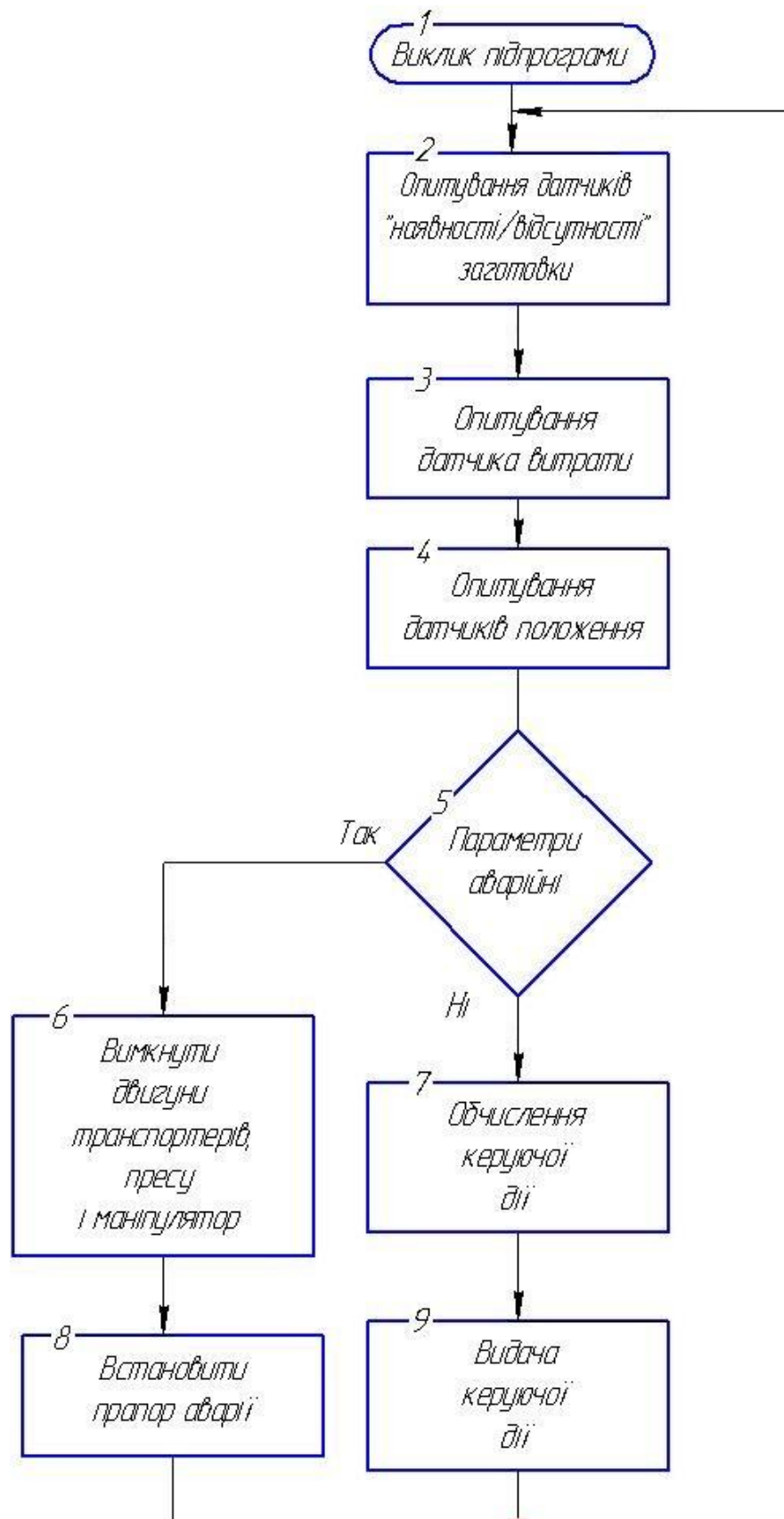


Рисунок 3.35 – Підпрограма управління зоною насипки запального складу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

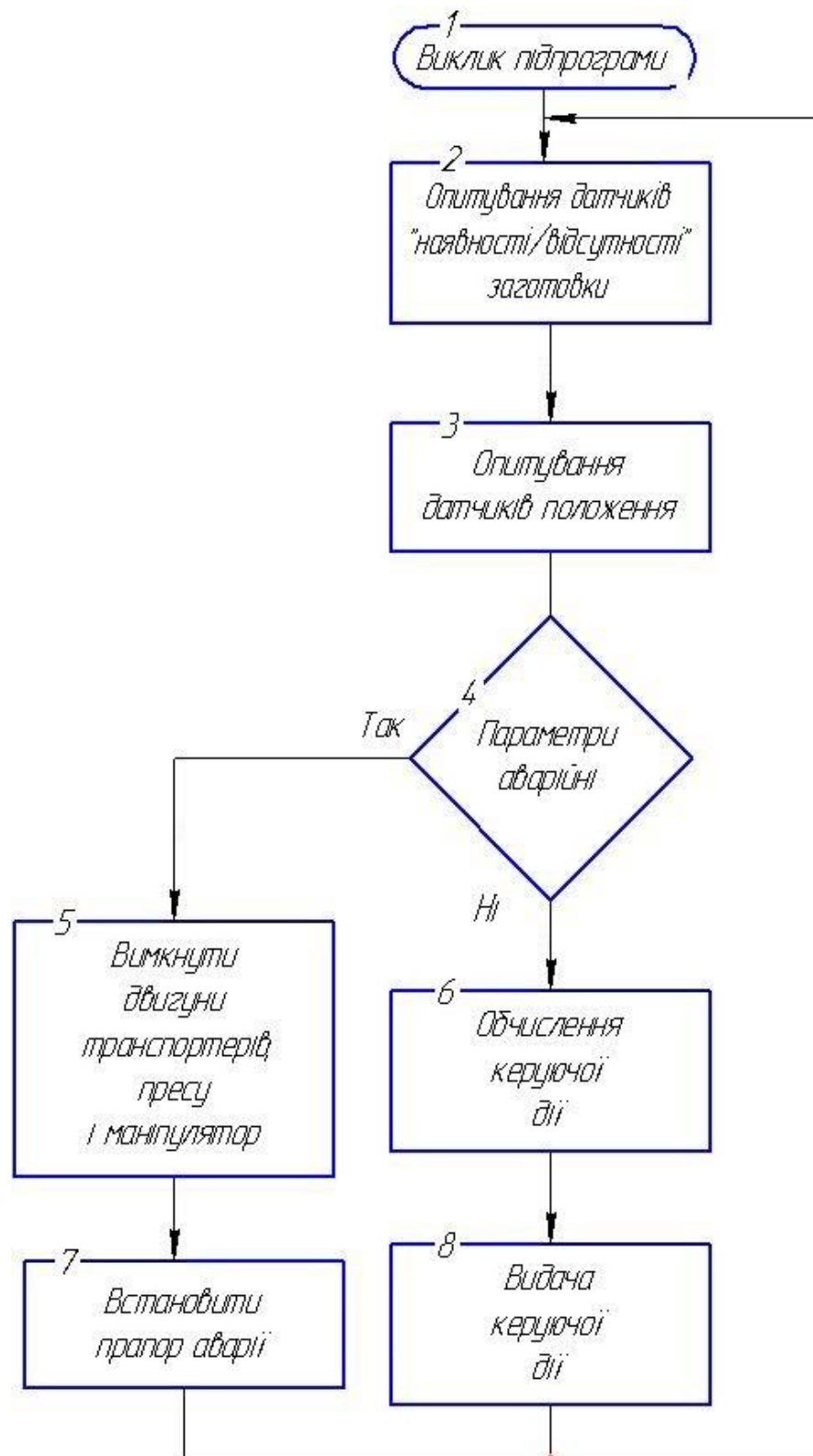


Рисунок 3.36 – Підпрограма управління зоною досилу і обтиску  
електродетонаторів

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 4.1 Опис об'єкту моделювання

Технологічний процес виготовлення електродетонаторів дуже складний і включає до себе багато різноманітних операцій. Однією з основних операцій є висушування запального складу крапельної головки електрозапальника, так як від цього напряму залежить якість детонатора. Цей процес є пожежо - та вибухонебезпечним, а тому вимагає жорсткого контролю і управління.

Об'єкт моделювання (рис. 4.1) являє собою контур управління температурою в сушильній шафі, де здійснюється сушка крапельного складу на електрозапальниках при виробництві електродетонаторів сповільненої дії. Повітря з атмосфери за допомогою вентилятора постачається у нагрівач, де прогрівається до потрібної температури нагрівальним елементом, в якості якого виступає ТЕН номінальною потужністю 1 кВт. Потім трубопроводом це повітря підіймається у нижній відсік сушильної шафи. Безпосереднім об'єктом управління в даному випадку виступає сушильна шафа з електрозапальниками, що знаходяться у ній. Регульована величина - температура в сушильній шафі  $T_{in}$  (змінює своє значення у межах 80...85 °С) залежить від збурюючої дії – температури навколишнього середовища  $T_{out}$  змінює своє значення у межах 22...25 °С). Величину  $T_{in}$  можна регулювати, змінюючи регулюючу дію – потужність нагрівального елемента  $P$ .

Можна відзначити деякі характерні особливості об'єкта, що є суттєвими при складанні моделі. Це, перш за все те, що при включенні ТЕНу на певну потужність, спочатку температура всередині сушильної шафи буде зростати, а потім встановиться на певному рівні, тобто настане теплова рівновага між кількістю тепла від нагрівача і кількістю тепла, що розсіюється у навколишнє середовище (виробниче приміщення) через стінки, дверцята та ін. Аналогічно при відключенні нагрівального елемента температура всередині сушильної шафи знизиться до навколишньої.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65



Таким чином, можна зробити висновок про те, що досліджуваний об'єкт моделювання є об'єктом із самовирівнюванням (статичним).

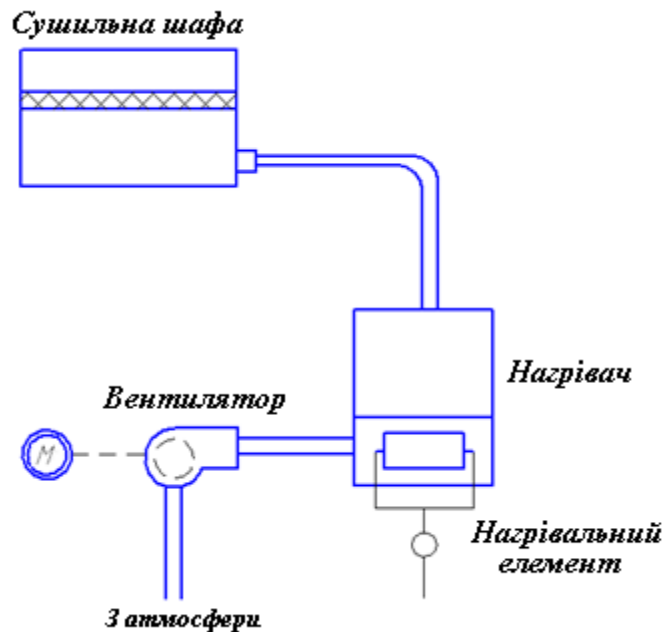


Рисунок 4.1 – Функціональна схема об'єкту моделювання

У результаті синтезу ми повинні отримати перехідний процес з такими показниками якості:

- час перехідного процесу  $\leq 0,9$  с;
- перерегулювання  $\leq 20$  %;
- статична точність 3%.

#### 4.2 Отримання математичного опису об'єкту управління аналітичним методом

Для складання математичної моделі запишемо рівняння теплового балансу

$$Q = Q_s + Q_p, \quad (4-1)$$

де  $Q$  - зміна кількості теплоти, викликана нагріванням або охолодженням внутрішнього простору сушильної шафи на нескінченно малу різницю температур  $dT_{in}$  за малий проміжок часу  $dt$  (приріст ентальпії);

$Q_p$  - кількість теплоти, що поступає від нагрівального елемента;  $Q_s$  - кількість теплоти, що йде через поверхню стінок.

Кількість теплоти  $Q$ , яку необхідно витратити, щоби нагріти або охолодити тіло масою  $m$  і теплоємністю  $c$  на різницю температур  $dT_{in}$  за час  $dt$ , дорівнює

$$Q = cm \frac{dT_{in}(t)}{dt}. \quad (4-2)$$

Кількість теплоти  $Q_p$  визначається потужністю нагрівального елемента  $P(t)$

$$Q_p = P(t). \quad (4-3)$$

Кількість теплоти, що проходить через поверхню стінок  $Q_s$ , за умови, що теплопровідність стінки суттєво менша, ніж теплопровідність середовища (повітря) буде пропорційною різниці температур:  $T_{in}$  - всередині сушильної шафи і  $T_{out}$  - зсередини, тобто

$$Q_s = k(T_{out}(t) - T_{in}(t)), \quad (4-4)$$

де  $k$  - коефіцієнт теплопередачі.

Після підстановки виразів (4-2), (4-3) і (4-4) в рівняння (4-1), отримаємо диференціальне рівняння

$$cm \frac{dT_{in}(t)}{dt} = k(T_{out}(t) - T_{in}(t)) + P(t), \quad (4-5)$$

яке описує динаміку зміни температури  $T_{in}(t)$  і залежності від зміни потужності нагрівального елемента  $P(t)$  (управління) і температури навколишнього середовища  $T_{out}(t)$  (збурення).

Позначивши добуток коефіцієнтів  $cm = a$ , і, розділивши змінні для інтегрування, можна вираз (4-5) представити у вигляді

$$T_{in}(t) = \frac{1}{a} \int_0^t (k(T_{out}(t) - T_{in}(t)) + P(t)) dt. \quad (4-6)$$

Після перетворення за Лапласом виразу (4-6) при нульових початкових умовах, отримаємо передаточну функцію сушильної шафи за регулюючою дією ( $T_{out}(s)=0$ )

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

$$W_{c.u.}(s) = \frac{T_{in}(s)}{P(s)} = \frac{1/k}{(a/k) \cdot s + 1} \quad (4-7)$$

### 4.3 Ідентифікація параметрів математичної моделі об'єкта управління в MatLab 7 (додаток Simulink)

У додатку Simulink створюємо модель об'єкта управління у відповідності до виразу (4-7), представлену на рисунку 4.2.

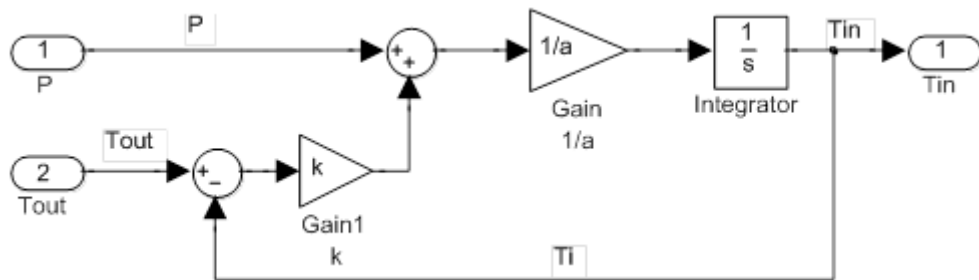


Рисунок 4.2 – Модель об'єкта, підготовлена до ідентифікації

В отриманій раніше математичній моделі сушильної шафи (4-7) необхідно ідентифікувати параметри  $a$  і  $k$ .

У додатку Simulink вбудовано засіб для ідентифікації параметрів моделі Simulink Design Optimization.

Спочатку в основному вікні MATLAB у командному рядку вводимо  
`>> a = 1; k = 1;`  
і натискаємо клавішу Enter.

Simulink Design Optimization підтримує різні формати джерел даних для ідентифікації моделей. Зокрема, залежності  $u(t)$  і  $y(t)$  можуть бути отримані просто з вимірювального обладнання, що є сумісним с MatLab.

Вимірювання виконувалися на протязі 48 годин з інтервалом у 3 хвилини, що в кінці склало кількість вимірів, що дорівнює 961.

Вводимо інтервал моделювання – 961, вважаючи, що одиницею модельного часу є 3 хвилини.

Для виконання ідентифікації параметрів запускаємо Control and Estimation Tools Manager з меню Simulink: Tools/Parameter Estimation..., у результаті з'являється вікно засобу ідентифікації параметрів і синтезу регуляторів.

В дереві у віконці зліва обираємо гілку Transient Data (Часові дані) для вводу даних вимірювань з об'єкту, вказуючи відповідні імена файлів.

Натискаємо праворуч кнопку New для створення нового набору даних з іменем за замовчуванням New Data. Обираємо створений набір даних New Data ліворуч у дереві під Transient Data, що дозволяє отримати доступ до таблиці праворуч для вводу даних усіх входів (закладка Input Data) і виходів (закладка Output Data) моделі.

При обраній закладці Input Data клікаєм клітку в колонці Data таблиці праворуч з іменем вхідного порту даних «Model\_for\_ident/P» і натискаємо кнопку Import. Обираємо у вікні, що відкрилося, Import from: ASCII file – імпорт з текстового файлу; у списку Select delimiter Character: tab – вид розділювача між даними в файлі. При імпорті з інших портів ці налаштування не змінюються. Вказуємо шлях доступу до текстового файлу P.txt з даними порту P, використовуючи кнопку Browse. Клікаємо в області колонки A таблиці для виділення усіх зчитаних з файлу даних і натискаємо кнопку Import. У таблиці з іменем «Model\_for\_ident/P» у колонці Data з'являється запис , що підтверджує завантаження даних «%ColumnA», у колонці Length – розмірність масиву «961/-».

Тепер імпортуємо відмітки часу, які відповідають моментам вимірів потужності P нагрівального елемента. Клікаємо клітинку в колонці Time/Ts таблиці праворуч з ім'ям вхідного порту даних «Model\_for\_ident/P» і натискаємо кнопку Import.

Подальші дії з імпорту аналогічні діям, що вказані у попередньому абзаці Виділяючи відповідні комірки таблиці «Model\_for\_ident/Tout».

Імпортуємо дані вимірювань температури в сушильній шафі Tin, які відповідають виходу моделі. Для цього переходимо на наступну вкладку Output Data і виділяючи комірки таблиці «Model\_for\_ident/Tin» у колонках Data і Time/Ts.

Наступний крок підготовки процесу ідентифікації – специфікація параметрів моделі, які необхідно буде підібрати в ході розв’язання задачі оптимізації.

Задля цього в дереві ліворуч виділяємо пункт Variables і у вікні, що змінилося, праворуч на закладці Estimated Parameters натискаємо кнопку Add... У вікні, що відкрилося, Select Parameters виділяємо в таблиці змінні a і k, які до цього були заявлені в робочому просторі MatLab і натискаємо кнопку ОК.

Наступний етап – безпосередня ідентифікація параметрів.

Виділяємо в дереві зліва пункт Estimation і у вікні, що змінилося, праворуч натискаємо кнопку New, створивши, таким чином, нову задачу ідентифікації з ім’ям за замовчуванням New Estimation, яка відображається у дереві ліворуч. Виділяємо в дереві New Estimation.

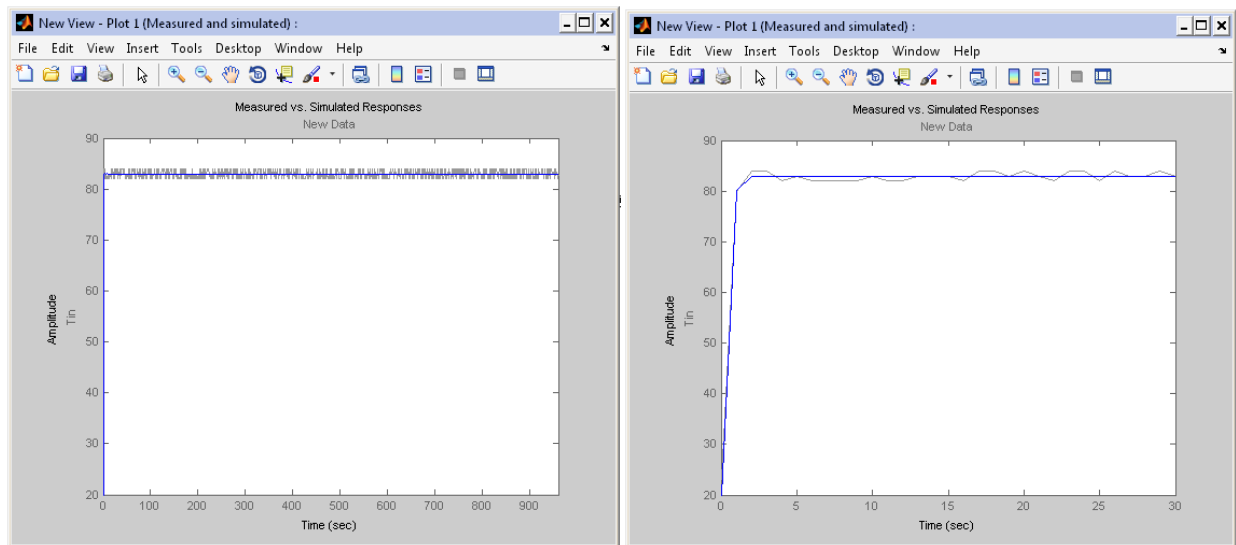
На закладці Data Sets встановлюємо прапорець у списку доступних наборів даних навпроти створеного раніше набору з ім’ям New Data – це означає, що цей набір даних буде використано при ідентифікації.

Переходимо на закладку Parameters і відмічаємо параметри моделі, що підлягають у даній задачі ідентифікації.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70



пункт New Estimation. Натискання кнопки Show Plots призводить до побудови двох суміщених графіків (вимірної і змодельованої за ідентифікованими параметрами температури, як це зображено на рис. 4.4).



а)

б)

Рисунок 4.4 – Графіки температури в сушильній шафі, що виміряна в ході експерименту і отриманої моделюванням:

а) загальний вигляд; б) початкова ділянка

На графіку (рис. 4.4) світлою лінією зображені вимірні значення температури в сушильній шафі (з урахуванням накладених шумів вимірювань) і темним кольором (на рис. 4.4 товстою перерваною лінією), отримана в результаті моделювання. Як можна помітити, обидва графіки достатньо гарно співпадають (у середньому), що дозволяє зробити висновок про задовільний вибір параметрів моделі.

Виводимо знайдені в результаті ідентифікації параметри, набравши їх імена в командному вікні MatLab і натиснувши Enter як це показано нижче:

```
>> a ← a = 0.0039;
```

```
>> k ← k = 0.0167.
```

Таким чином, передаточна функція об'єкта управління у відповідності с (4-7)

$$W(s) = \frac{59,88}{0,23 \cdot s + 1} \quad (4-8)$$

Так як одиницею модельного часу є 3 хвилини (0,23 треба помножити на 180), переписуємо (4-8) у вигляді

$$W(s) = \frac{59,88}{41,4s + 1} \quad (4-9)$$

#### 4.4 Аналіз стійкості САУ без регулятора

Замкнемо об'єкт управління одиничним зворотним зв'язком [10]

$$W_3(s) = \frac{W(s)}{1 + W(s)} = \frac{59,88}{41,4s + 60,88} \quad (4-10)$$

Характеристичний поліном системи (вираз у знаменнику)

$$D(s) = 41,4s + 60,88 \quad (4-11)$$

Необхідна умова стійкості системи виконується, так як усі коефіцієнти її характеристичного поліному (4-11) додатні (однакові). Однак ця умова є одночасно і достатньою для стійкості системи, так як дана система є системою 1-го порядку. Значить, система стійка.

#### 4.5 Побудова перехідної характеристики замкненої системи і визначення основних показників якості

Для побудови перехідної характеристики замкненої системи управління подамо на її вхід одиничну ступінчасту дію, зображення якої

$$U(s) = \frac{1}{s} \quad (4-12)$$

Так як передаточна функція визначається як відношення зображень за Лапласом вихідного сигналу до вхідного, тобто  $W_3(s) = Y(s)/U(s)$ , то можемо записати

$$Y(s) = W_3(s)U(s) \quad (4-13)$$

Таким чином, маємо

$$Y(s) = \frac{59,88}{s \cdot (41,4s + 60,88)} \quad (4-14)$$

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



З допомогою математичного пакету MathCad будуюмо графік перехідної функції, який представлено на рисунку 4.5.

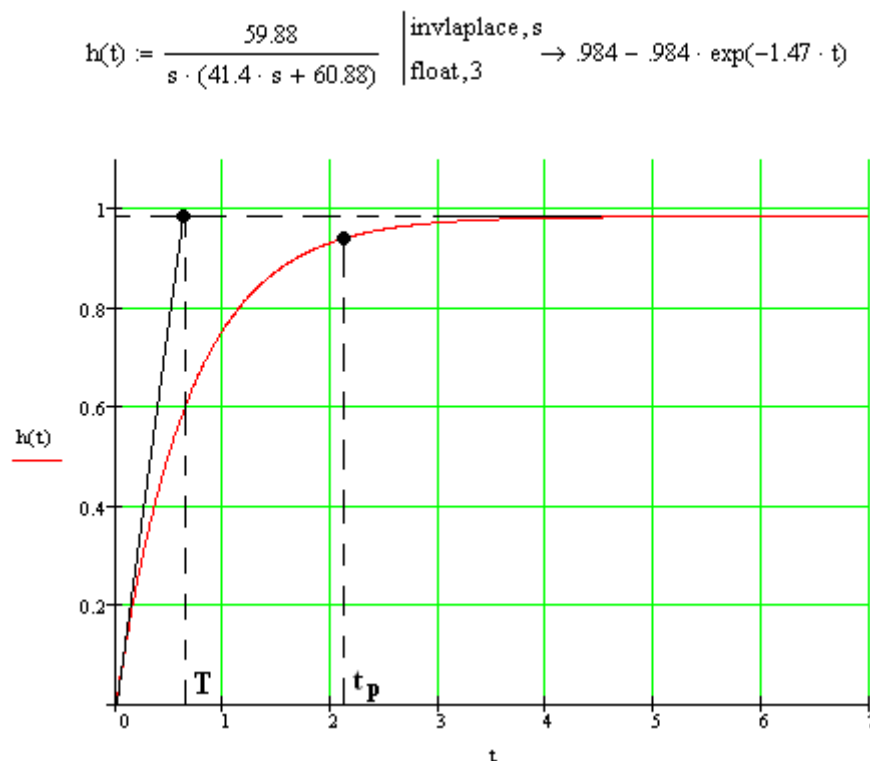


Рисунок 4.5 – Перехідна характеристика замкненої системи

За графіком (рис.4.5) знаходимо основні показники якості перехідного процесу:

а) перерегулювання

$$\sigma = 0\% ;$$

б) час перехідного процесу

$$t_p = 3T, \quad (4-15)$$

де  $T$  – стала час, яка за графіком (рис.5.5)  $T = 0,7$  с.

Таким чином

$$t_p = 2,1 \text{ с.}$$

## 4.6 Синтез системи управління за каналом завдання методом логарифмічних частотних характеристик (методом Солодовнікова)

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

Попередньо проводимо аналіз передаточної функції об'єкту управління (4-9) у наступному порядку:

1) з виразу (4-9) знаходимо і записуємо сталу часу елементарної ланки  $T = 41,4$  с, за якою визначаємо частоту спряження

$$\omega = \frac{1}{T} = \frac{1}{41,4} = 0,024 \text{ с}^{-1}. \quad (4-16)$$

2) оскільки у складі передаточної функції об'єкту управління (4-9) відсутні інтегруючі ланки, низькочастотна асимптота ЛАЧХ буде мати початковий нахил 0 дБ / дек;

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

$$L_n(1) = 20 \cdot \lg(k) = 20 \cdot \lg(59,88) = 35,6 \text{ дБ}, \quad (4-17)$$

де  $k$  - коефіцієнт підсилення незмінної частини САУ.

Застосовуючи правила побудови асимптот, будемо ЛАЧХ наступним чином: від частоти спряження  $\omega$  проводимо асимптоту з нахилом, збільшеним у порівнянні із попереднім на 20 дБ / дек, тобто  $0-20 = -20$  дБ / дек, так як дана частота пов'язана із співмножником виду  $(Ts+1)^\alpha$  ( $\alpha = 1$ ) у знаменнику передаточної функції.

ЛАЧХ незмінної частини системи представлена на рисунку 4.8 (крива  $L_n(\omega)$ ).

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

## 4.6.2 Побудова бажаної асимптотичної ЛАЧХ за Солодовніковим

### 4.6.2.1 Побудова низькочастотної частини бажаної асимптотичної ЛАЧХ

Нахил і положення низькочастотної асимптоти ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  залежить від вимог, що висунуті до статичної точності.

Бажана система не змінює порядку астатизму. З умови заданої статичної точності  $S_0$  може бути розрахований коефіцієнт підсилення (добротність за швидкістю) розімкненого ланцюга системи (об'єкту управління і коригуючого пристрою)

$$k_v = \frac{1 - S_0}{S_0}. \quad (4-18)$$

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

$$L_n(1) = 20 \cdot \lg(k_v) = 20 \cdot \lg\left(\frac{1 - 0,03}{0,03}\right) = 27,6 \text{ дБ}. \quad (4-19)$$

### 4.6.2.2 Побудова середньочастотної частини бажаної асимптотичної ЛАЧХ

#### а) Визначення частоти зрізу $\omega_3$ і побудова середньочастотної асимптоти бажаної ЛАЧХ

Для визначення мінімально допустимого значення частоти зрізу  $\omega_3$  ЛАЧХ бажаної системи використовуємо одну з номограм Солодовнікова для статичних систем, яка встановлює відповідність між величиною максимального значення частотної характеристики  $P_{\text{max}}$  і величинами перерегулювання  $\sigma$  та часу перехідного процесу  $t_p$ .

За заданими значеннями перерегулювання  $\sigma = 20\%$  за допомогою кривої  $\sigma(P_{\text{max}})$  номограми (рис.4.6) знаходимо відповідне йому значення  $P_{\text{max}} = 1,39$ , за яким за допомогою другої кривої  $t_p(P_{\text{max}})$  (рис.4.7) визначаємо

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

значення часу перехідного процесу  $t_p$ , що виражене через частоту зрізу  $\omega_z$  співвідношення  $3,15\pi/\omega_z$ .

Частоту зрізу  $\omega_z$  визначаємо з наступного рівняння

$$\omega_z = \frac{3,15 \cdot \pi}{t_p} = \frac{3,15 \cdot \pi}{0,9} = 11 \text{ c}^{-1}. \quad (4-20)$$

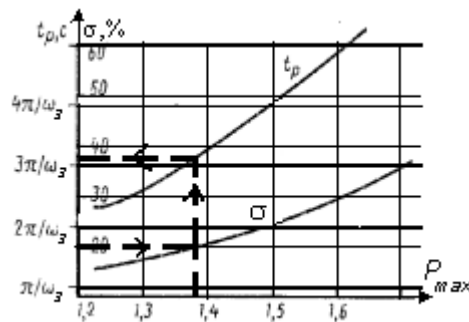


Рисунок 4.6 - Номограма якості Солодовнікова для статичних систем

Проводимо через точку  $\omega_z = 11 \text{ c}^{-1}$  на осі частот середньочастотну асимптоту з нахилом  $-20 \text{ дБ/дек}$  (рис.4.8).

### б) Визначення діапазону частот середньочастотної частини ЛАЧХ

За номограмою (рис.4.7) і знайденим раніше значенням  $P_{\max} = 1,39$  знаходимо необхідний запас за фазою  $\gamma_{\min} = 38^\circ$  і відповідні йому ординати середньочастотної частини ЛАЧХ  $L_m = \pm 11 \text{ дБ}$ .

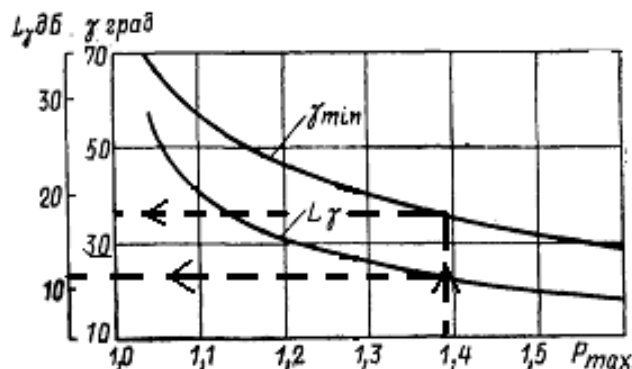


Рисунок 4.7 - Графік для визначення ширини середньочастотної асимптоти і необхідного надлишку фази

Лінії, проведені паралельно осі частот на рівні  $L_m = \pm 11 \text{ дБ}$ , дають

у точках перетину із середньочастотною асимптотою частоти спряження  $\omega_{c1}=3,1\text{c}^{-1}$  у низькочастотній частині бажаної ЛАЧХ і  $\omega_{c2}=39\text{ c}^{-1}$  у високочастотній (рис. 4.8).

### в) Спряження низькочастотної і середньочастотної частин бажаної ЛАЧХ

Так як точка перетину низькочастотної і середньочастотної асимптот існує і знаходиться лівіше середньочастотної ділянки, то вона і визначає спряження. За графіком (рис.4.8) визначаємо частоту спряження  $\omega_a=0,46\text{ c}^{-1}$ .

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

Побудова високочастотної частини бажаної ЛАЧХ виконується таким чином, щоб вигляд бажаної ЛАЧХ у цій області як змога менше відрізнявся від вигляду незмінної ЛАЧХ.

Побудова високочастотної частини бажаної ЛАЧХ виконуємо, зберігаючи її паралельною незмінній.

Побудована таким чином бажана ЛАЧХ розімкненої системи управління  $L_6(\omega)$  представлена на рис.4.8.

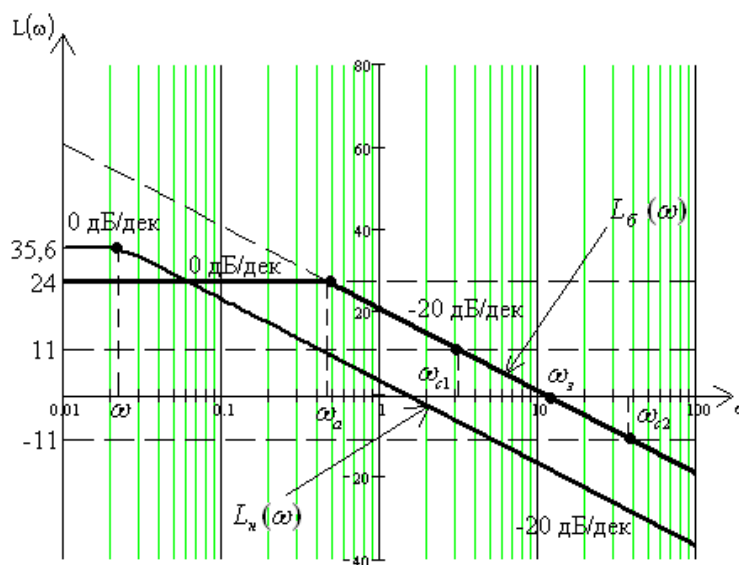


Рисунок 4.8 - Бажана і незмінна асимптотичні ЛАЧХ аналогової системи

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

### 4.6.3 Отримання передаточної функції розімкненого ланцюга бажаної системи

Для отримання передаточної функції розімкненого ланцюга бажаної системи  $W_0(\omega)$  за виглядом отриманої бажаної асимптотичної ЛАЧХ  $L_0(\omega)$  застосуємо методику, яка слідує з методики побудови асимптотичної ЛАЧХ за виглядом її передаточної функції:

1) визначаємо частоту спряження побудованої бажаної ЛАЧХ  $L_0(\omega)$   $\omega_a=0,46 \text{ c}^{-1}$ ;

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

3) визначаємо коефіцієнт підсилення розімкненої системи, вимірявши ординату низькочастотної асимптоти  $L_0(\omega)$  на частоті  $1 \text{ c}^{-1}$ , з подальшим використанням формули

$$k = 10^{\frac{L_0(1)}{20}} = 10^{\frac{27,6}{20}} \approx 24. \quad (4-21)$$

4) знаходимо вираз для співмножників числівника і знаменника передаточної функції розімкненої системи, послідовно аналізуючи поведінку асимптотичної ЛАЧХ. Встановлюємо, що після частоти спряження  $\omega_a=0,46 \text{ c}^{-1}$  нахил асимптоти збільшується на 20 дБ/дек, що відповідає наявності у знаменнику співмножника

$$\frac{1}{\omega_a} \cdot s + 1 = \frac{1}{0,46} \cdot s + 1 = 2,174 \cdot s + 1. \quad (4-22)$$

Таким чином, передаточна функція бажаної розімкненої системи буде мати вигляд

$$W_a(s) = \frac{24}{2,174 \cdot s + 1}. \quad (4-23)$$

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

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

Використовуючи вираз передаточної функції бажаної (скорегованої) розімкненої системи, отримуємо перехідну характеристику замкненої системи, яка представлена на рис.4.9. Для цього використовуємо математичний пакет MathCad

$$W_g(s) := \frac{24}{(2.174 \cdot s + 1)} \quad W_z(s) := \frac{W_g(s)}{1 + W_g(s)}$$

$$h(t) := \frac{W_z(s)}{s} \begin{cases} \text{invlaplace, } s \\ \text{simplify} \rightarrow 0.960 - 0.960 \cdot \exp(-11.5 \cdot t) \\ \text{float, } 3 \end{cases}$$

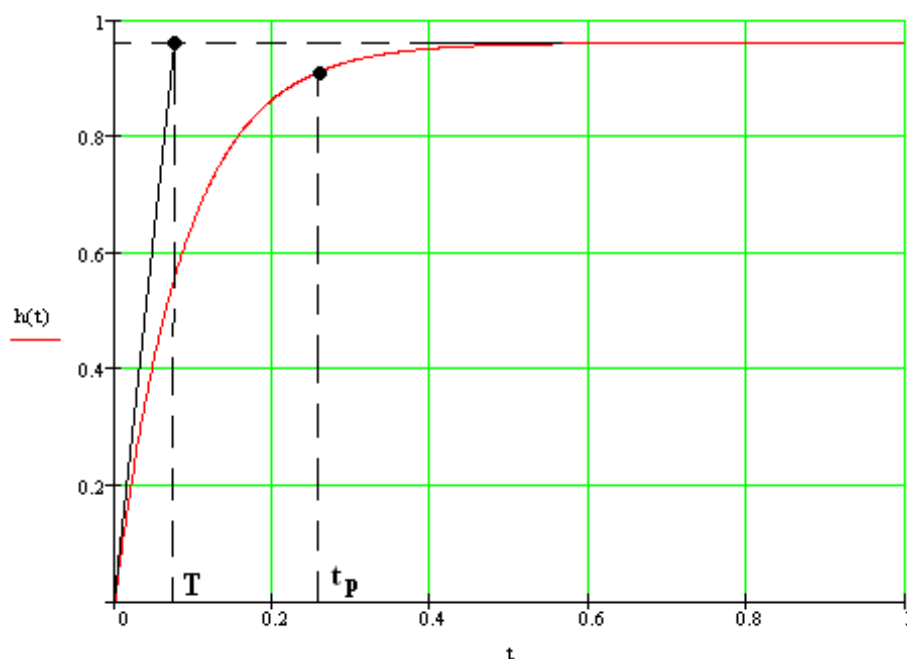


Рисунок 4.9 - Перехідний процес у скоригованій системі

Аналізуючи перехідний процес, отримуємо наступні показники якості:

а) перерегулювання

$$\sigma = 0\% ;$$

б) час перехідного процесу при  $T = 0,09$  с за формулою (4-15)

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

Отримані показники якості перехідного процесу задовольняють заданим показникам, а значить, синтез виконано успішно.

#### 4.8 Отримання математичного опису коригуючого пристрою

Передаточну функцію коригуючого пристрою  $W_k(s)$  отримуємо діленням передаточної функції бажаної розімкненої системи  $W_6(s)$  на передаточну функцію незмінної системи  $W_n(s)$

$$W_k(s) = \frac{W_6(s)}{W_n(s)} = \frac{24}{\frac{2,174 \cdot s + 1}{59,88}} = \frac{0,4 \cdot (41,4 \cdot s + 1)}{2,174 \cdot s + 1}. \quad (4-24)$$

#### 4.9 Розрахунок параметрів налаштування стандартного регулятора формульним методом

Використовуючи формульний метод, знаходимо параметри налаштування стандартного ПІ-регулятора, так як передаточна функція об'єкта управління (4-9) вказує на те, що він статичний із самовирівнюванням без чистого транспортного запізнювання. Для цього застосуємо формули налаштування ПІ-регулятора для статичного об'єкта, типовий процес регулювання - аперіодичний

$$k_p = \frac{0,6}{\frac{K_{oy}}{T_{oy}}} = \frac{0,6}{\frac{59,88}{41,4}} = 0,415; \quad (4-25a)$$

$$T_i = 0,6 \cdot T_{oy} = 0,6 \cdot 41,4 = 24,84 \text{ с}. \quad (4-25b)$$

Таким чином, отримуємо наступну передаточну функцію регулятора

$$W_p(s) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s}\right) = 0,415 \cdot \left(1 + \frac{1}{24,84 \cdot s}\right). \quad (4-26)$$

#### 4.10 Визначення перехідної функції замкненої системи і побудова перехідної характеристики

Використовуючи визначені в п.4.9 параметри регулятора і передаточну функцію об'єкта управління (4-9), знаходимо передаточну функцію замкненої системи

$$W_3(s) = \frac{W(s) \cdot W_p(s)}{1 + W(s) \cdot W_p(s)} = \frac{24,84 \cdot s + 1}{41,4 \cdot s^2 + 25,84 \cdot s + 1}. \quad (4-27)$$



За допомогою математичного пакету MathCad будемо перехідну характеристику замкненої системи управління з ПІ-регулятором (рис.4.10)

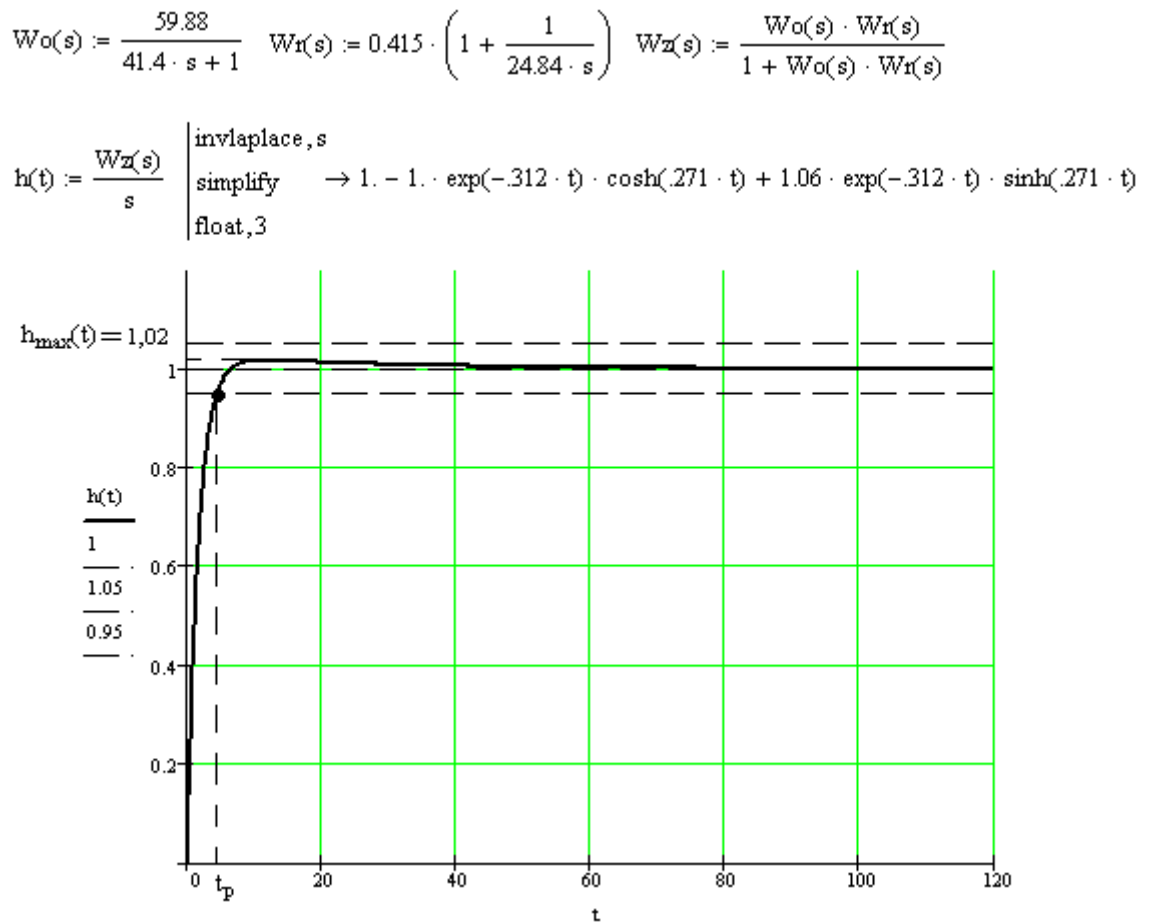


Рисунок 4.10 - Перехідна характеристика замкненої системи управління з ПІ-регулятором

За графіком (рис.4.10) знаходимо основні показники якості перехідного процесу:

а) перерегулювання

$$\sigma = \frac{h_{\max}(t) - h_{уст}}{h_{уст}} 100\% = \frac{1.02 - 1}{1} 100\% = 2\% \quad ; \quad (4-28)$$

б) час перехідного процесу

$$t_p = 4,64 \text{ с.}$$

Знайдені оцінки якості свідчать про те, що отримана система не задовольняє висунутим вимогам, а саме часу регулювання (перехідного процесу), що має складати менше 0,9 секунди. Це пояснюється тим, що

формульний метод є наближеним методом налаштування регуляторів.

#### 4.11 Отримання математичного опису цифрового коригуючого пристрою

Так як система управління буде реалізована через мікроконтролер, доцільно замінити неперервний регулятор цифровим.

$T=2,174$  с - стала часу передаточної функції неперервного регулятора (4-24). За умовами теореми Котельникова

$$T \geq 0,5T_0 \quad (4-29)$$

вибираємо період квантування, що дорівнює  $T_0=0,01$ .

Знаходимо дискретну передаточну функцію регулятора, використовуючи переобладнання за методом Ейлера заміною  $s \leftarrow \frac{z-1}{T_0}$

$$W_k(z) = \frac{8280 \cdot z - 8280}{1090 \cdot z - 1080} \quad (4-30)$$

#### 4.12 Моделювання аналогової і цифрової САУ в MatLab (додаток Simulink)

Використовуючи математичний пакет MatLab і додаток Simulink, моделюємо аналогову САУ (рис.4.11).

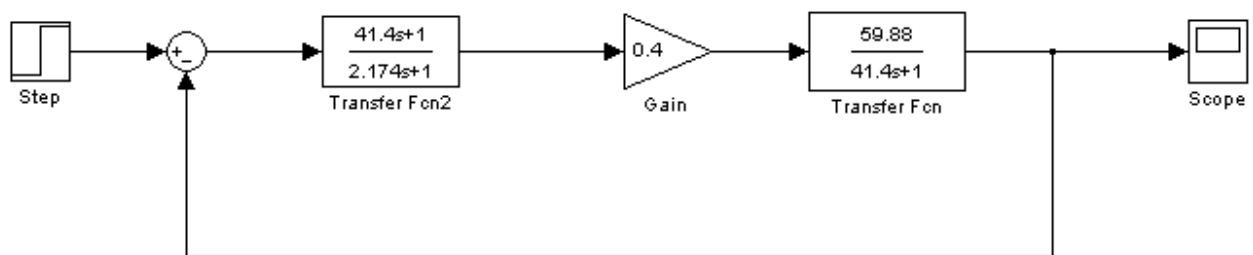


Рисунок 4.11 – Схема моделювання аналогової САУ

Графік перехідної характеристики змодельованої системи представлено на рисунку 4.12.

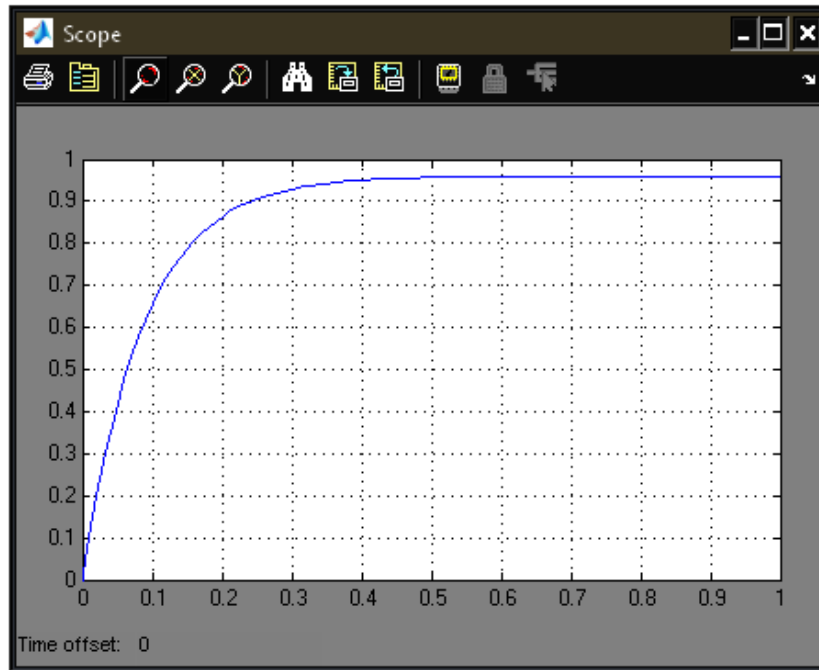


Рисунок 4.12 - Перехідна характеристика аналогової системи

Аналізуючи перехідний процес, отримуємо наступні показники якості:

а) перерегулювання

$$\sigma = 0\% ;$$

б) час перехідного процесу при  $T = 0,09$  с за формулою (4-15)

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

Отримані показники якості перехідного процесу повністю співпадають з аналогічними з п.4.7, а значить, моделювання виконано правильно.

Використовуючи математичний пакет MatLab і додаток Simulink, моделюємо цифрову (рис.4.13) САУ.

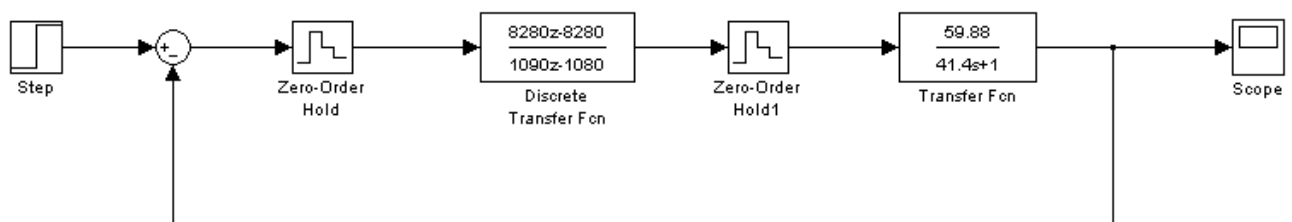


Рисунок 4.13 – Схема моделювання цифрової САУ

Перехідна характеристика змодельованої системи зображена на рисунку 4.14.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

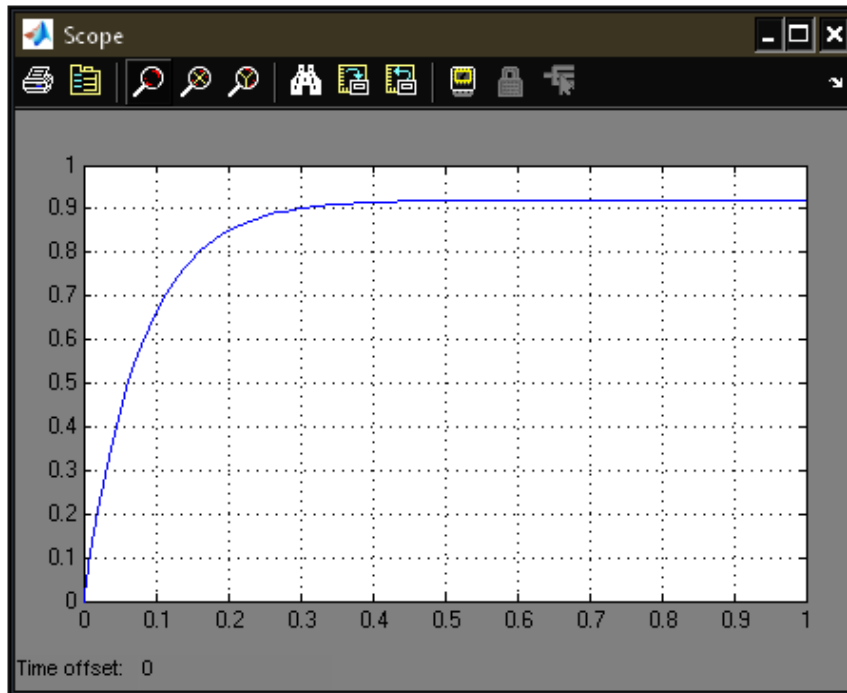


Рисунок 4.14 - Перехідна характеристика цифрової системи

Аналізуючи перехідний процес, отримуємо наступні показники якості:

а) перерегулювання

$$\sigma = 0\% ;$$

б) час перехідного процесу при  $T = 0,09$  с за формулою (4-15)

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

Отримані показники якості також задовольняють вимогам, що викладені у завданні.

## 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 виготовлення електродетонаторів сповільненої дії.

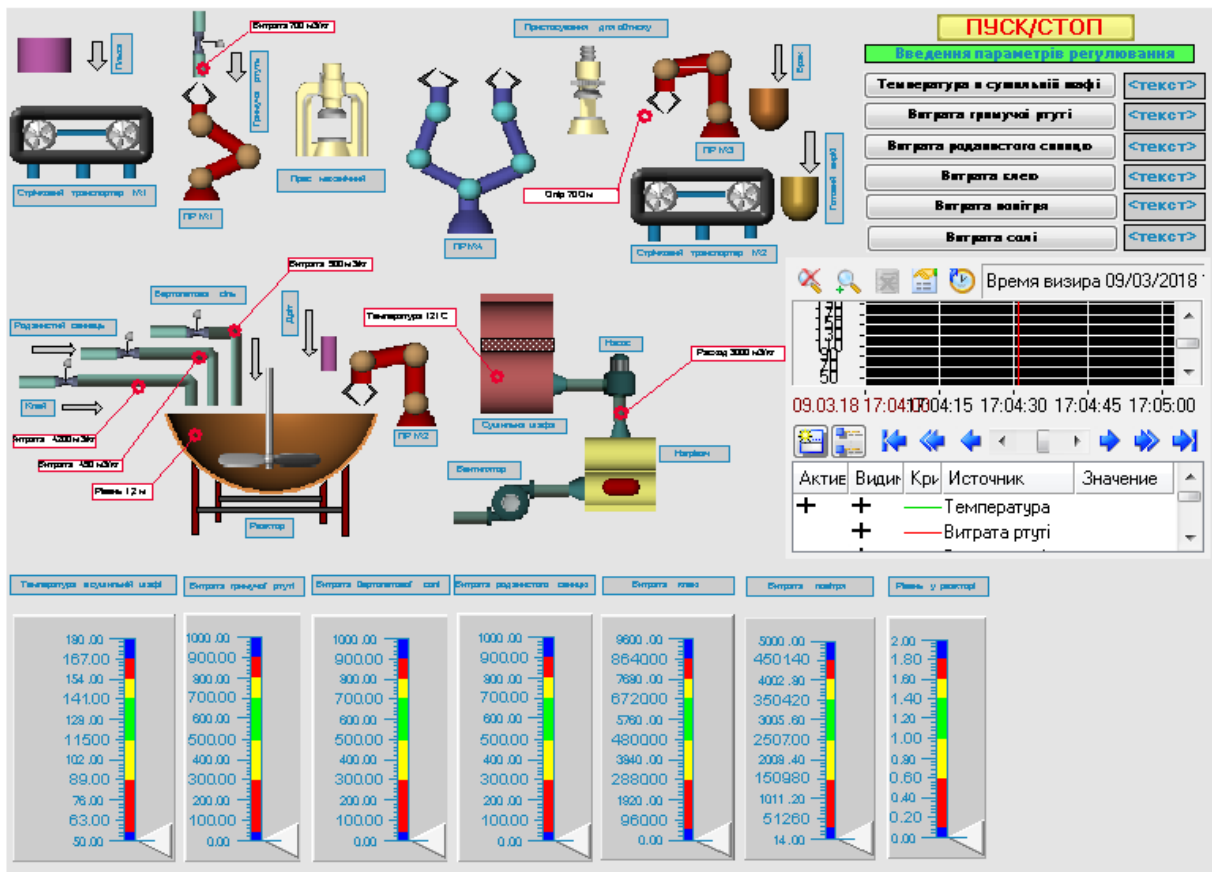


Рисунок 5.1 – Екран АРМ САУ виготовлення електродетонаторів сповільненої дії

За допомогою кнопки під підказкою “Ввод параметров регулирования” на екрані АРМ задаються: температура в сушильній шафі, витрата фульмінату ртуті (гримучої ртуті), хлорату калію (бертолетової солі), тіоціанату свинцю (роданистого свинцю), кісткового клею і 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 керуючі функції – регулювання температури в сушильній шафі; регулювання витрати гримучої ртуті, бертолетової солі, роданистого свинцю, клею і повітря; контроль рівня в реакторі.

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)».

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

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).

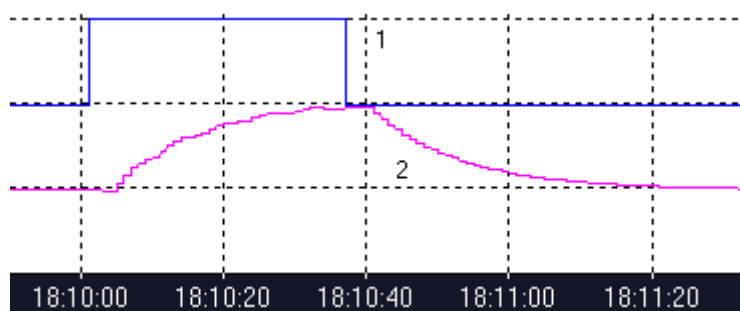


Рисунок 5.2 - Робота модуля OBJ

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





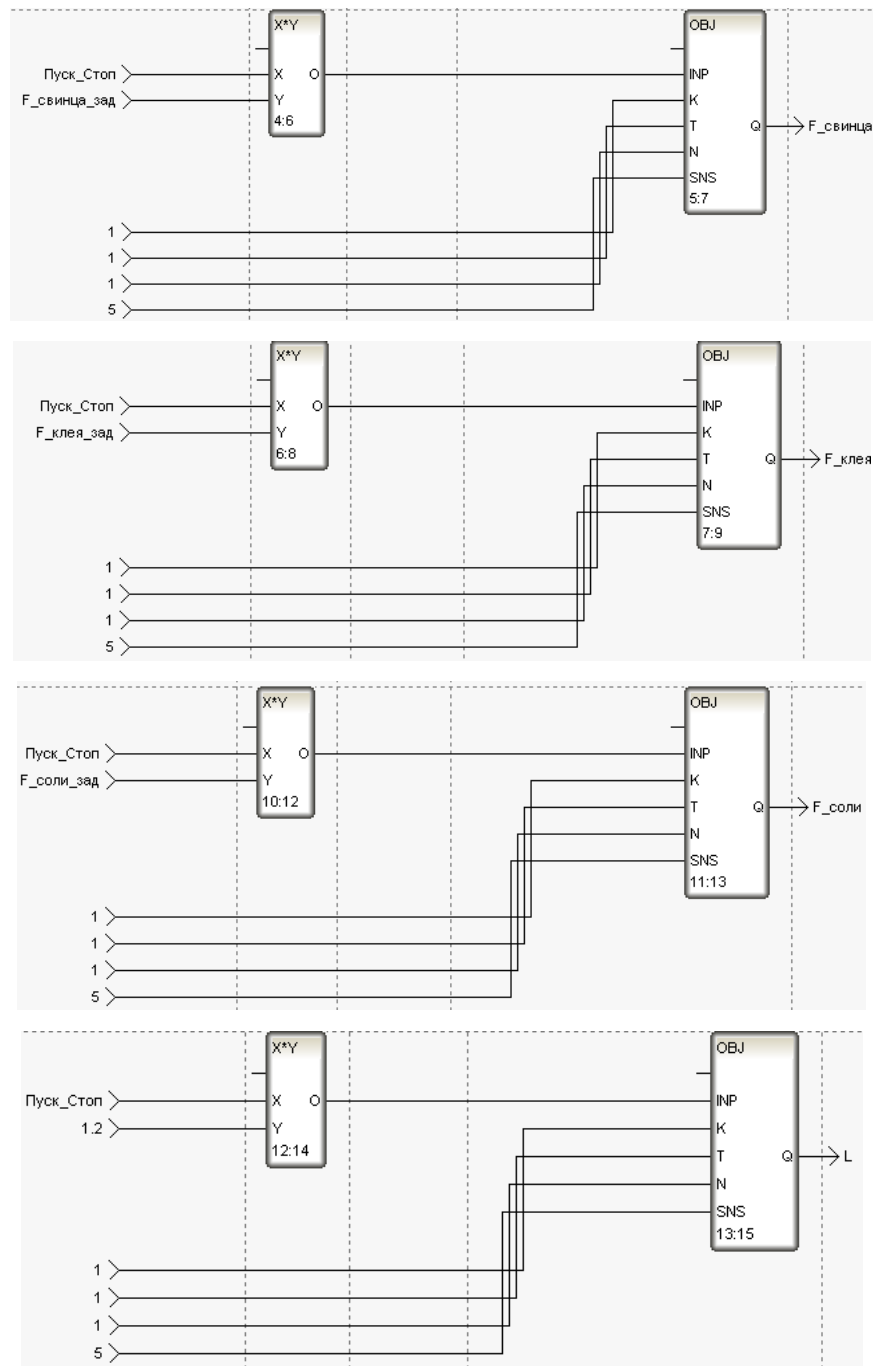


Рисунок 5.5 - Блок імітації роботи реактора

### 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.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

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.

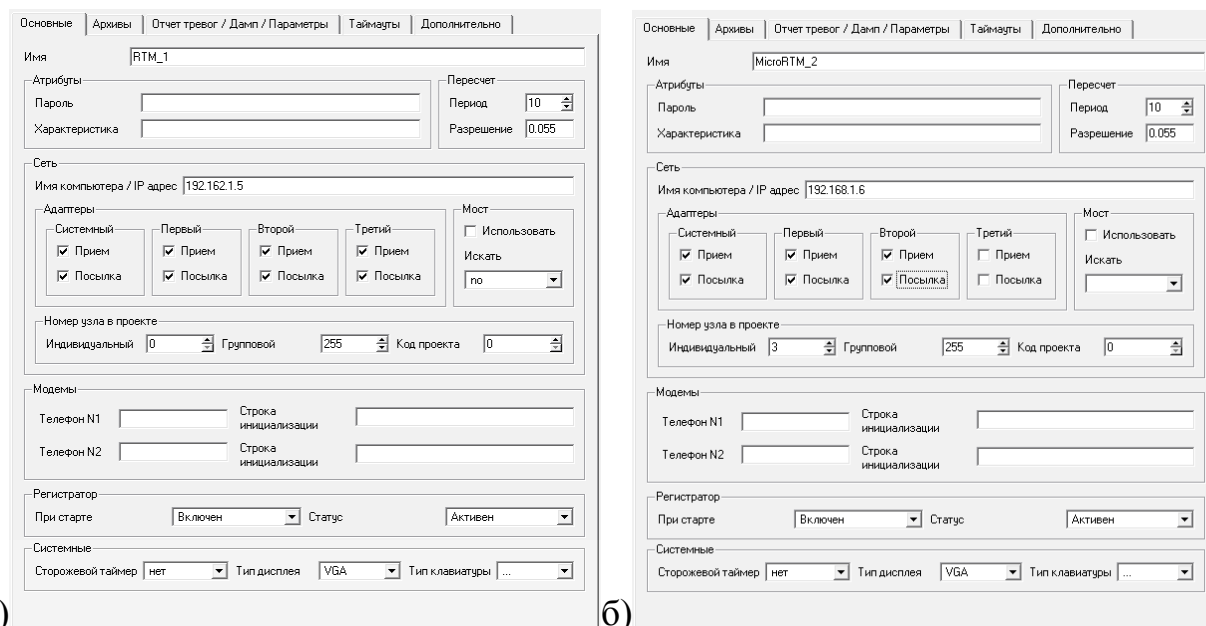


Рисунок 5.6 - Налаштування параметрів мережі Ethernet:

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 гримучої ртуті, роданистого свинцю, бертолетової солі, клею і повітря.

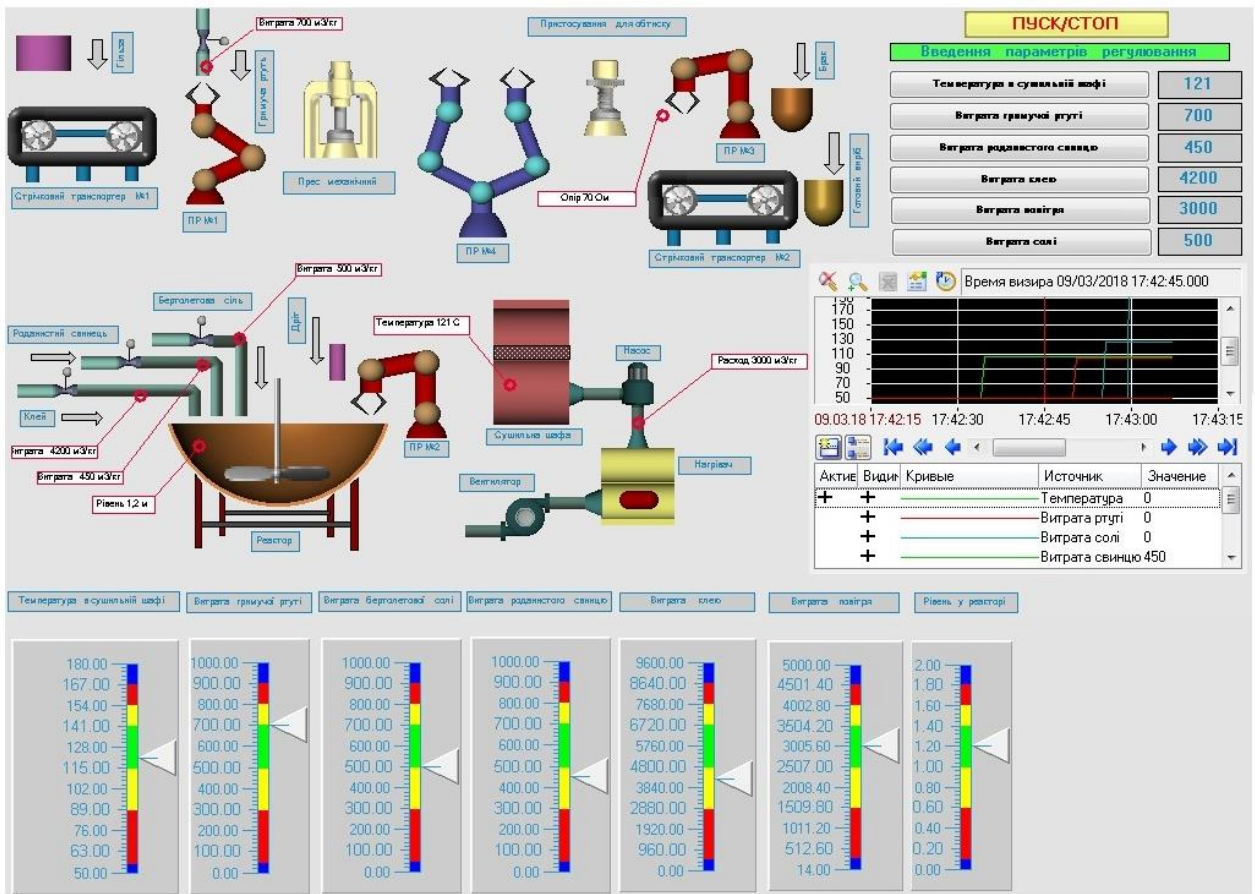


Рисунок 5.7 – Результат моделювання роботи АСУ ТП виготовлення електродетонаторів сповільненої дії

## ВИСНОВКИ

На основі завдання кафедри розроблено інформаційне і технічне забезпечення системи автоматизації.

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.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
						93
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

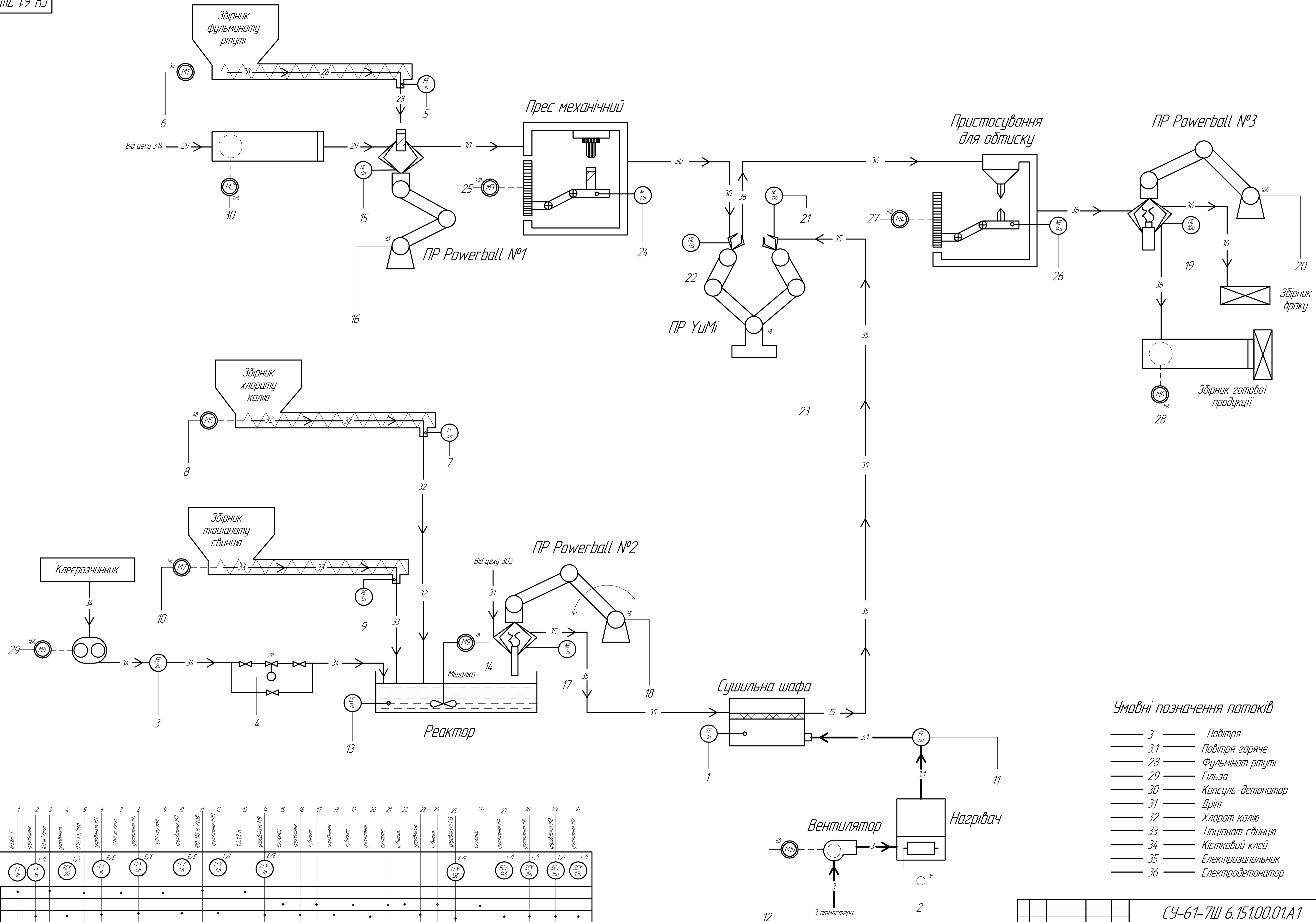
## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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 автоматизи". - Сумы.: СумГУ, 1998. - 77 с.
3. Средства иницирования, 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.Типовое положение по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции. Утверждено КМ Украины от 26 апреля 1996 № 473.
6. Сайт компании «Овен»: [www.owen.ua](http://www.owen.ua).
8. Сайт компании SIEMENS: [www.siemens.com](http://www.siemens.com).
9. Электронный каталог промышленных роботов: [www.robotics.com.ua](http://www.robotics.com.ua).
10. Теорія автоматичного керування. Попович М.Г., Ковальчук О.Б. Підручник для вузів. – К.: Либідь, 1997. – 542 с.
11. Волошенко А.В., Горбунов Д.Б., Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования.-Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 109 с.
12. Сольнищев Р.И., Автоматизация проектирования систем автоматического управления —М: Высш. шк., 1991. — 335 с.
13. Методичні вказівки з оформлення графічної частини конструкторської документації проектів автоматизації. Структурні, функціональні та принципові схеми / укладач О.Ю. Журавльов. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – 48с.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

14. Технично-економическое обоснование дипломных проектов / под ред. В.К. Беклешова. – М.: Высш.шк., 1991. – 247 с.
15. Экономика и организация производства в дипломных проектах : учебное пособие / К. М. Великанов и др. ; под ред. К.М. Великанова. – 4-е изд., перераб. И доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986, - 288 с.
16. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломних проектів / укладачі: О. М. Тур, І. В. Новикова. – Шостка : Сумський державний університет, 2014. – 42 с.

					СУ-61-7Ш 6.151.00.01.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95



Умовні позначення потоків

- 3 — Повітря
- 3.1 — Повітря гаряче
- 28 — Фульмінат ртуті
- 29 — Гільза
- 30 — Капсуль-детонатор
- 31 — Дріт
- 32 — Хлорат калію
- 33 — Тіоціанат свинцю
- 34 — Кістковий клей
- 35 — Електрозапальник
- 36 — Електродетонатор

Прилад за місцем	Умовні позначення потоків																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
УСО	ТТ 10	ТУ 10	FCY 20	FCY 30	FCY 40	FCY 50	FCY 60	FCY 70	FCY 80	FCY 90	FCY 100	FCY 110	FCY 120	FCY 130	FCY 140	FCY 150	FCY 160	FCY 170	FCY 180	FCY 190	FCY 200	FCY 210	FCY 220	FCY 230	FCY 240	FCY 250	FCY 260	FCY 270	FCY 280	FCY 290	FCY 300
МК	AI	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO	AO
Панель оператора	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Сенсоризація	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	

СЧ-61-7Ш 6.15100.01A1				Лист	Масштаб
Система управління технологічним процесом виготовлення електродетонаторів. Функціональна схема автоматизації.				1	1:1
Ізм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Лист
Разраб.	Дифрабін Д.В.				Листів
Пров.	Андрусенко О.О.				Листів
Т.контр.					Листів
Інконтр.					Листів
Утв.	Худяков Г.М.				Листів

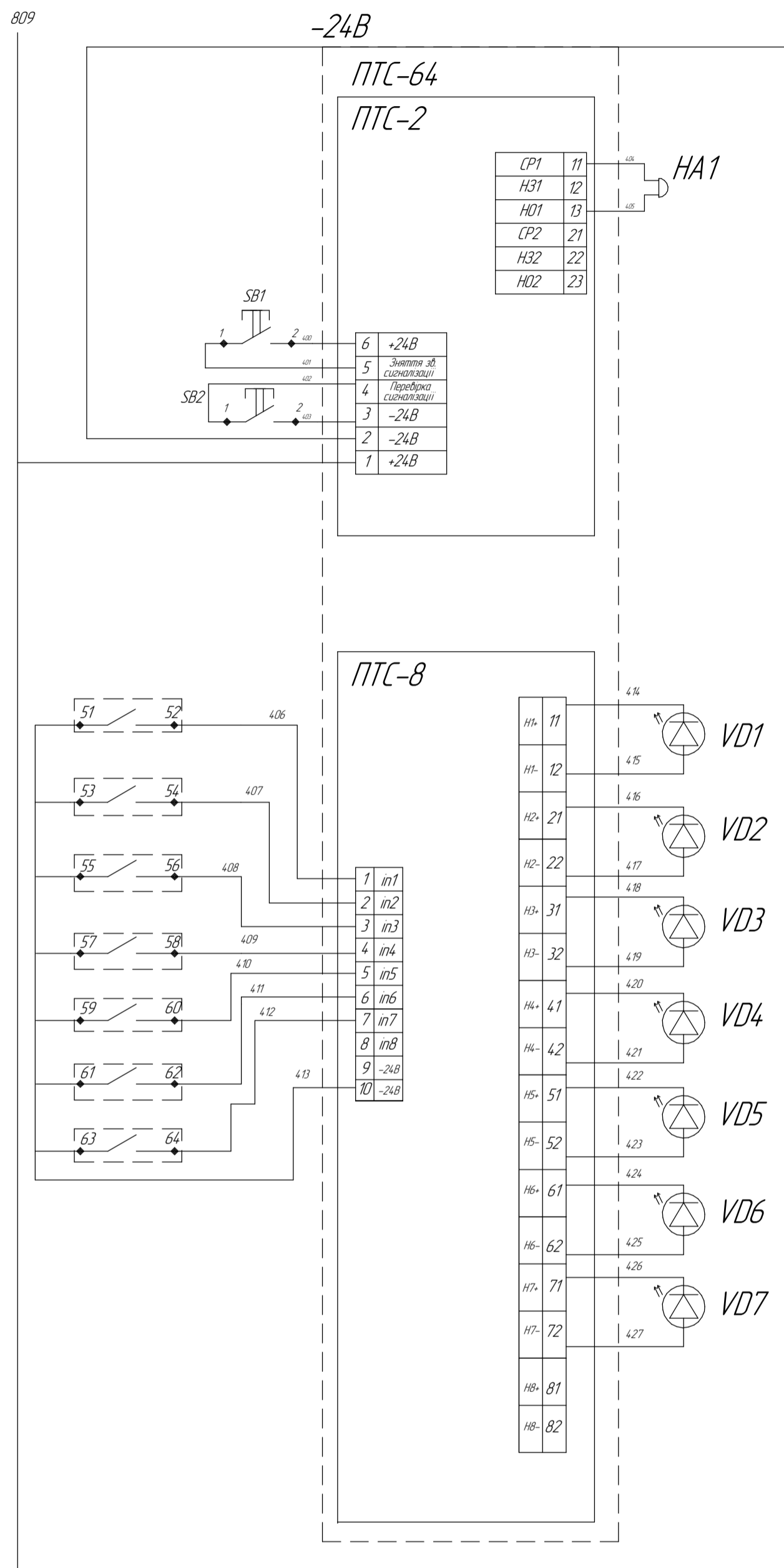
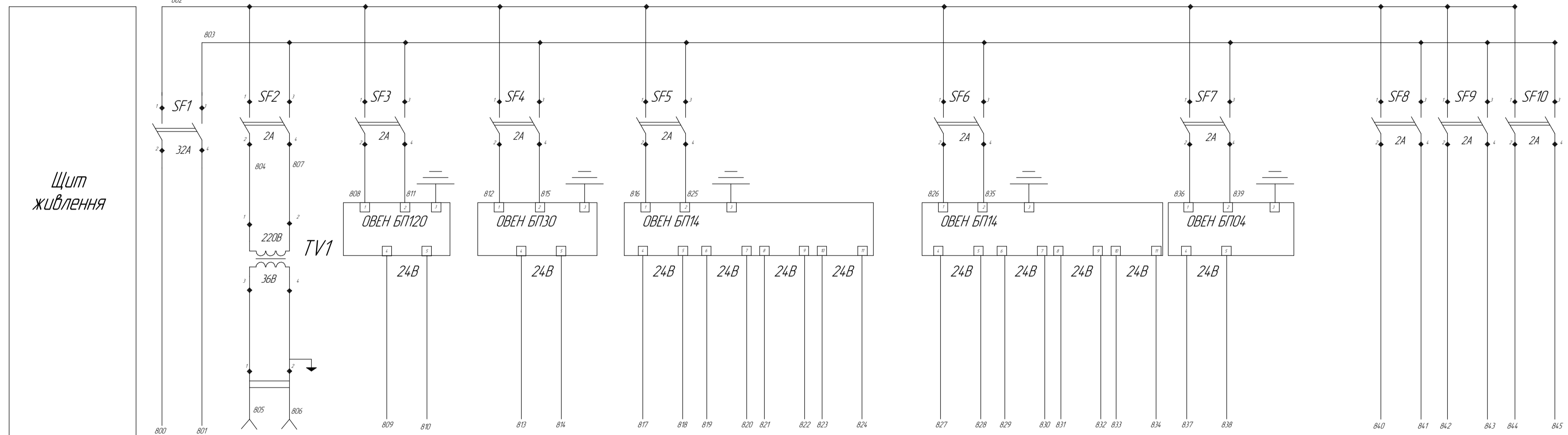


Схема сигналізації

810

Звукова сигналізація
Кнопка сняття обобщеної сигналізації
Опробування звукової і світлової сигналізації
Підвищення температури в сушильній шафі
Підвищення рівня у реакторі
Перевищення витрати фульмінату ртуті в зоні настилки запального складу
Перевищення витрати хлорату калію у реакторі
Перевищення витрати тіоціанату свинцю у реакторі
Перевищення витрати кісткового клею у реакторі
Перевищення витрати повітря атмосферного в сушильній шафі



Позиція	XS1	Схема сигналізації	1b	12a	15a	15b	3a	4a	5a	2a	6a
Тип	Ввід робочий	Разетка штепсельна	SIEMENS SIMATIC S7-1200	ОВЕН ПД4-И.3000	SIEMENS SM 1231	SIEMENS SM 1232	SIEMENS SITRANS F C MASS	SIEMENS SITRANS F C MASS	SIEMENS SITRANS F C MASS	ОВЕН PM1	ОВЕН PM1
Напруга, В	220	36	24	24	24	24	220	220	220	220	220
Потужність, Вт, мА	1500	100	80	10	0,8	4	10	10	10	10	10
Місце встановлення	щит №1	щит №1	щит №1	щит №1	по месту	щит №1	щит №1	за місцем	за місцем	за місцем	за місцем

Позиція	Позначення	Кількість	Примітка
SF1	Автоматичний вимикач ВА-2001, кількість полюсів 2 Іном-32А, Іном-220/380В	1	
SF2-SF10	Автоматичний вимикач ВА-2001, Іном-2А, Іном-220В	9	
VD1-VD7	Лампа сигнальна світлодіодна, колір червоний Рном-2,6Вт, Іном-24В, ступінь захисту IP67, 8LM2TL224	7	
TV1	Трансформатор понижуючий ОСМ1-0,1, U=220В, U2=36В P=320Вт	1	
SB1-SB2	Кнопка з підвісткою червона 100mA, Іном-24В 8LM2T QI.104	2	
XS1	Штепсельна розетка РШ-К-2-СО-2-6/10/220 U=36В	1	
овен бп120	Блок живлення стабілізованого напругою постійного струму 24В, 120Вт	1	
овен бп30	Блок живлення стабілізованого напругою постійного струму 24В, 30Вт одноканальний	1	
овен бп14	Блок живлення стабілізованого напругою постійного струму 24В, 14Вт багатоканальний	2	
овен бп14	Блок живлення стабілізованого напругою постійного струму 24В, 4Вт багатоканальний	1	
PTC64	Прилад технічної сигналізації. Дискретних входів 8 Іном-24В	1	

Є3-61-7Ш 6.15100.01.Є3

Система управління технологічним процесом виготовлення електродетонаторів  
Схема електрична принципова

Лист 1 з 1  
Масштаб 1:1

Ізм. Лист № док. Підп. Дата  
Розроб. Діброва Д.В.  
Проб. Андрусенко О.О.  
Т.контр.  
Н.контр.  
Утв. Хижалей Г.М.

ШІ СумДУ  
Формат А1

Лист 1 з 1  
Стор. №  
Лист 1 з 1  
Взам. шиф. №  
Лист 1 з 1  
Лист 1 з 1  
Лист 1 з 1