

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Кафедра комп'ютерних наук

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедри КН

\_\_\_\_\_ А. С. Довбиш

“ \_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ 2020 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

зі спеціальності 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
на тему: "Мікропроцесорна система управління процесом виробництва твердого  
сиру"

Дипломник

студент гр. СУмдн-91Ш

Б.І. Горбач

Керівник роботи

(ст..викл., к.т.н.)

Г.М. Худолей

## РЕФЕРАТ

Горбач Богдан Игоревич. Система управления технологическим процессом изготовления твердого сыра. Дипломный проект. Шосткинский институт Сумского государственного университета. Шостка, 2020 год.

Дипломный проект содержит 80 листов пояснительной записки, с учетом 50 рисунков, 22 таблицы; конструкторскую документацию, которая содержит 2 чертежа; 2 демонстрационные плакаты.

Разработано техническое задание: система управления технологическим процессом изготовления твердого сыра на базе программируемого логического контроллера ОВЕН 160. Разработан алгоритм управления, управляющая программа в САПР TraceMode 6. Удовлетворительное качество процесса изготовления твердого сыра подтверждено результатами моделирования на ЭВМ.

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

## РЕФЕРАТ

Горбач Богдан Игоревич. Система управління технологічним процесом виготовлення твердого сиру. Дипломний проект. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2020 рік.

Дипломний проект містить 80 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 50 рисунків, 22 таблиці; конструкторську документацію, яка містить 2 креслення; 2 демонстраційні плакати.

Розроблено технічне завдання: система управління технологічним процесом виготовлення твердого сиру на базі програмованого логічного контролера ОВЕН 160. Розроблено алгоритм управління, керуюча програма в САПР TraceMode 6. Задовільна якість процесу виготовлення твердого сиру підтверджена результатами моделювання на ЕОМ.

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

## **SUMMARY**

Horbach Bogdan Igorovich. Automation of the technological process of manufacturing of hard cheese. Diploma project. Shostka institute of the Sumy state University. Shostka, 2020 year.

A diploma project is contained by 80 leaves of explaining message, taking into account 50 pictures, 22 tables; designer document which contains 2 drafts; 2 demonstration posters.

The specification is developed. Automation of the technological process of hard cheese, on the basis of the programmable logical controller OVEN 160 is developed. The algorithm of management is developed. The control program are developed in CAD TraceMode 6. Satisfactory quality of process of manufacturing of electric detonators, a time bomb, is confirmed with results of modeling on EVM.

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

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

### 1. Назва і область застосування

Система управління технологічним процесом виготовлення твердого сиру.

Призначення цієї розробки може застосовуватись для управління процесом виготовлення твердого сиру, а також допускається використовувати при виробництві інших видів сиру.

### 2. Підстави для розробки

Завдання на дипломне проектування, затверджене наказом № 48 від "19" квітня 2019 р.

### 3. Мета і призначення розробки

Мета цієї роботи - система управління технологічним процесом виготовлення твердого сиру.

Ця розробка, а також результати її проектування можна використовувати при монтажі установок з виготовлення твердого сиру на «Бель» Шостка.

### 4. Джерела для розробки

Джерелами для розробки є:

- технологічна схема виробництва твердого сиру;
- опис технологічного процесу.

### 5. Умови експлуатації обладнання

- живлення технологічної установки здійснюється від мережі змінного струму з напругою 380 В.

### 6. Технічні вимоги

Система управління складається з:

- вузла управління на базі програмованого контролера
- АРМ на базі ПК з відповідним програмним забезпеченням

Система управління виготовленням твердого сиру повинна забезпечувати:

- ведення технологічного процесу на основі автоматичного контролю технологічних параметрів;
- зниження трудомісткості при вимірюванні і управлінні технологічними параметрами;
- візуалізацію параметрів технологічного процесу і аварійних ситуацій;
- автоматичне керування виконавчими механізмами;

- безаварійний пуск / зупинка і перемикання технологічного обладнання;
- запобігання розвитку аварійних ситуацій і забезпечення безпечного завершення процесу за заданим алгоритмом;
- прийом інформації з верхнього рівня системи управління та формування керуючих впливів на виконавчі механізми.

#### 6.1 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

Система повинна відповідати вимогам відкритості (має використовувати стандартні міжнародні вхідні і вихідні сигнали, інтерфейси), що дозволить, при необхідності розширення, проводити підключення нових модулів і блоків без порушення загальної конфігурації системи і значних витрат.

При розробці системи управління необхідно забезпечити максимальну уніфікацію застосовуваних вузлів і деталей; використання стандартних кріпильних виробів.

Засоби автоматизації, які використовуються в даній установці, повинні бути сучасними і доступними на ринку.

Використання серійно випускаються комплектуючих виробів не менше 95%.

Всі придбані вироби і вузли, що входять в комплект повинні бути загального призначення і не підлягати погодженням.

#### 6.2 Вимоги до безпеки експлуатації та дотримання санітарно гігієнічних норм

Технічні засоби АСУТП повинні відповідати вимогам:

- ДНАОП 0.00-1.32-01 "Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок"

- ГОСТ 12.4.124-83 "ССБТ. Засоби захисту від статичної електрики. Загальні технічні вимоги"

- ДНАОП 1.1.10-1.07-01 "Правила експлуатації електрозахисних засобів"

- Закон України "Про пожежну безпеку"

- ГОСТ 12.1.018-93 "ССБТ. Пожежна безпека статичної електрики. Загальні вимоги"

- ДСанПіН 3.3.2.007-98 "Державні санітарні правила і норми роботи з ВДТ електронно-обчислювальних машин"

- ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень"

Всі зовнішні елементи технічних засобів системи, що знаходяться під

напругою, повинні мати захист від випадкового дотику людини, а самі технічні засоби - заземлені відповідно до вимог ГОСТ 12.1.009-76 "ССБТ. "Електробезпека" і "Правил будови електроустановок".

Установка технічних засобів повинна відповідати вимогам діючих правил експлуатації електроустановок.

Вимоги безпеки при монтажі, налазці, експлуатації, обслуговуванні і ремонті технічних засобів АСУТП повинні бути приведені в документації на технічні засоби.

6.3 Умови експлуатації. Вимоги до технічного обслуговування і ремонту

АСУТП повинна бути розрахована на безперервний цілодобовий режим роботи.

Види, періодичність і регламент обслуговування технічних засобів повинні бути вказані у відповідних інструкціях по експлуатації. Постачальник повинен надати замовнику перелік вузлів, компонентів, роз'ємів і блоків, які підлягають профілактичному огляду, монтаж засобів автоматизації виконувати за допомогою болтів і гайок, калібрування і перевірки, із зазначенням періодичності останніх, а також інструкції з виконання цих робіт.

Для нормального функціонування обчислювальної і мікропроцесорної техніки в приміщеннях апаратних і операційних повинні бути забезпечені відповідні умови:

- температура навколишнього повітря: 22 °С;
- відносна вологість навколишнього повітря: (40 ... 70)% без конденсації;
- запиленість повітря в приміщенні (операторної і апаратної) - не більше 0,2 мг / м<sup>3</sup> при розмірі часток не більше 2 мкм;

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

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

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту на тему:

«Мікропроцесорна система управління процесом виробництва твердого  
сиру»

Керівник проекту

Г.М. Худолей

Проектант:

студент групи СУмдн-91Ш

Б.І. Горбач

Залікова книжка № 17080013

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ.....	6
2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА БЛОКУВАННЯ.....	14
3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ.....	18
4 АЛГОРИТМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	49
5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	56
6 РЕАЛІЗАЦІЯ АСУ ТП У TRACE MODE 6.....	66
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	72



## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ

ТП – технологічний процес.

ПФ – передавальна функція.

ПЧ – перетворювач частоти.

ОУ – об'єкт управління.

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом.

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.

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

## ВСТУП

На теперішній час, харчова промисловість, є одна з важливіших галузей виробництва. І одна із складових харчової промисловості є виробництво сиру. З давня існує різноманіття технологій по виготовленню сиру, на сьогодні технологія виробництва сиру досягнене майже ідеалу. Згідно цього виготовлення сиру можна покращити шляхом автоматизації або заміни існуючого обладнання та приладів на сучасні рішення.

Виготовлення твердого сиру потребує суворого притримування технології. Також необхідно повідомити, що притримуватись правил охорони праці є дуже важливим фактором, які допоможуть запобігти нещасні випадки, що відповідно збереже здоров'я працівників, працездатність обладнання та якість виготовленої продукції.

Після введення модернізації засобів управління можна досягти:

- підвищення рівню безпеки;
- поліпшення якості кінцевої продукції;
- підвищення продуктивності праці;
- підвищення ефективності підприємства;
- зменшення енергетичних витрат.

Задача проекту є реалізація системи здатної забезпечити: досягнення безпеки технологічного процесу виготовлення твердого сиру, покращення техніко-економічних показників, покращення санітарно-гігієнічних норм і безпеки умов праці. Робота виконується на основі завдання кафедри системотехніки та інформаційних технологій Шосткинського інституту СумДУ.

Зміст цієї роботи було продемонстровано в шести розділах, де представлено конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації, вибір параметрів технологічного процесу, вибір каналів контролю і управління, вибір засобів автоматизації, розроблений алгоритм роботи системи, проведений розрахунок

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

контуру управління температурою, розроблені функціональна схема та електрична схема автоматизації.

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

## 1.1 Опис технологічного процесу

Виготовлення твердого сиру складається з ряду етапів: дозріле молоко підготовлюється для швидшого згортання, потім густа маса оброблюється і на виході отримується сирне зерно, далі сирне зерно запресовується в форми, розрізується, просолюється, обсушується, упаковується, переходить на дозрівання та на зберігання сиру.

На рисунку 1.1 представлена технологічна схема виготовлення твердого сиру.

В пастеризаційно-охолоджувальну установку надходить підготовлене молоко, для пастеризації. Тобто, молоко, протягом 20 секунд, піддається одноразовому нагріву до температури 74-78 °С. Подача підготовленого молока здійснюється через клапаном, який періодично відкривається та закривається по заданому часу. Також на цій лінії розташовано контролювання витрати, в трьох блоках здійснюється регулювання температури, якщо температура вийшла із заданого режиму, то відбувається регулювання через клапан шляхом подачі пари або холодної води до відповідного блоку.

До сироварного котла (сиро-виготовлювача) надходить охолоджене молоко до температури 30-34 °С, на цьому вузлу регулюється рівень молока з подальшим внесенням компонентів. В сироварному котлі проходять етапи як коагуляція і обробка згустку: розрізання згустку, вимішування з видаленням сироватки, нагрівання, друге вимішування. На виході з котла вже сирне зерно проходить на подальше формування, попереднє пресування, пресування, просолювання сиру, упаковку в плівку, дозрівання.

Наповнення котла з внесеннями інгредієнтів:

Водорозчинний барвник, водний розчин хлористого кальцію, закваски та молокозсідального ферменту.

Коагуляція:

Це вимір часу, коли можна констатувати схоплювання після додавання си-чужного ферменту.

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

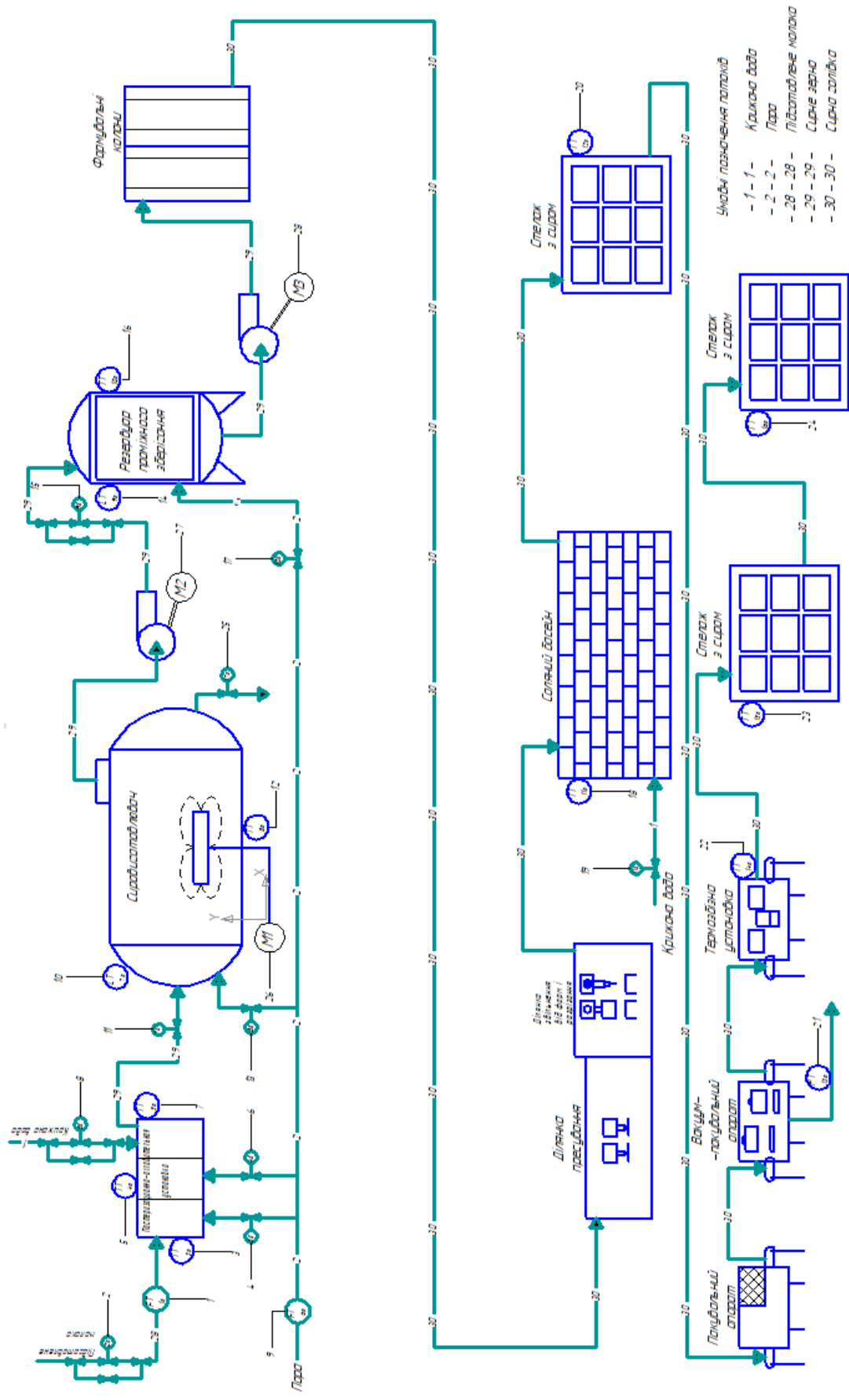


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виготовлення твердого сиру

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

Цей технологічний етап проходить в межах 28-34°C при 25-40 хвилин. Після цього проходить розрізання протягом 12 хвилин.

Обробка згустку:

Вся обробка відбувається в сироварному котлу.

Розрізаний згусток перемішується разом з сироваткою 20 хвилин, оператор отримує показання рН, величина потрібна дорівнювати - 6,51. Це необхідно для щоб сирне зерно було більш щільне, воно знаходиться в суспензії і тим самим в котлі розподіляється однаковою температурою. В залежності від розмірності сирного зерна та його твердості видаляється сироватка (40-60 %).

Далі для того щоб зменшити розмір сирного зерна і його пресування, проводиться нагрівання і вимішування.

Формування:

Цей етап проходить 55-65 хвилин, проводиться відокремлення густої маси від сироватки надається форма сиру.

Пресування:

Ця операція необхідна для видалення остаточної між зернової сироватки, а також для більшого зчеплення зерна, тим самим робиться міцний шар сиру.

Навантаження на сир проходить під різним тиском, який поступово підвищується.

Розрізання:

Конвеєр рухає головки сиру до ножів, форма розрізу сиру залежить від замовлення на виду.

Просолювання сиру в розсолі:

Головки занурюються в басейн із розсолом з температурою 8-12 °С, на 7-36 годин, це залежить від складу сиру і його виду.

Після формування кірки, що надає безпеку від мікробів, переходять до наступного етапу.

Обсушування:

Після басейну з розсолом, йде видалення вологи з поверхні стінок на голівці сиру, проводиться дана процедура в сольовому відділенні 3-15 годин при 8-14 °С, вологість повітря при цьому не повинна бути вище 95%.

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Упаковка сиру:

На дозрівання сир буде відправлений після пакування в плівку.

Дозрівання:

При вологості повітря 80% та температури 12°C проходить дозрівання.

Цей процес супроводжується різними мікробіологічними та біохімічними процесами.

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

## 1.2 Схеми інформаційно-матеріальних потоків

Спираючись на технологічний процес виготовлення твердого сиру складемо схему руху матеріальних потоків. Схема руху матеріальних потоків представлена на рисунку 1.2

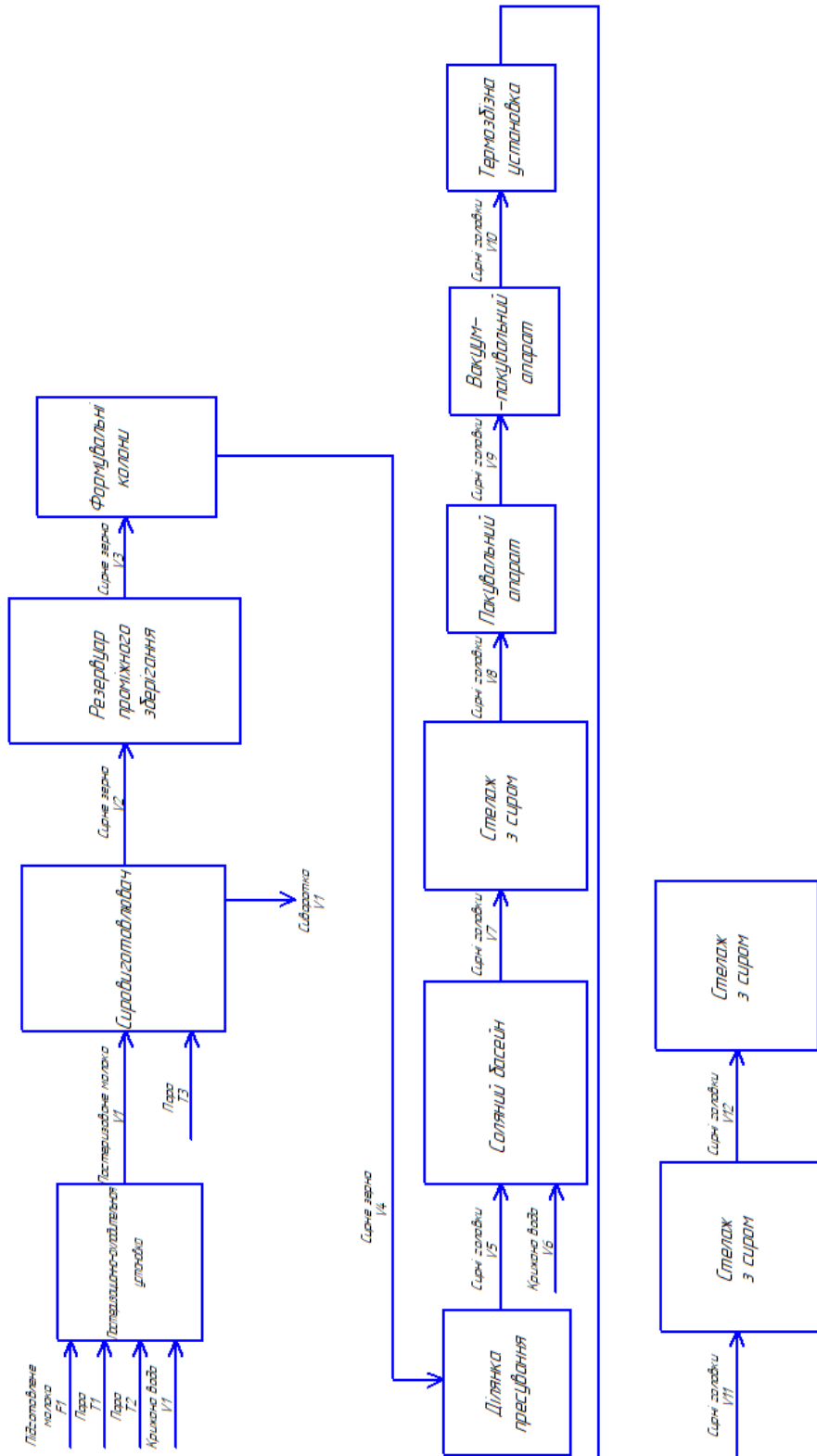


Рисунок 1.2 – Схема інформаційно-матеріальних потоків виготовлення твердого сиру

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



На основі аналізу технологічного процесу та схеми руху матеріальних потоків визначимо параметри для сигналізації контролю, управління, та зведемо їх до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Перелік параметрів сигналізації, контролю та управління

№	Найменування параметр, місце відбору вимірюючого імпульсу	Задане значення параметру, допустимі відхилення	Відображення інформації					Найменування керуючого впливу, місце встановлення керуючого органу.	Характеристики середовища			
			Показання	Регістрація	Похибка	Сигналізація	Регулювання		Давачів		Керуючих органів	
									Агресивне	Пожежо і вибухонебезпечне	Агресивне	Пожежо і вибухонебезпечне
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Температура в пастеризаційно-холоджувальній установці (секція 1)	50-60 °C	+	+	± 5%	+	+	Зміна подачі пари в секцію 1	-	-	-	-
2	Температура в пастеризаційно-холоджувальній установці (секція 2)	74-78 °C	+	+	± 5%	+	+	Зміна подачі пари в секцію 2	-	-	-	-
3	Температура в пастеризаційно-холоджувальній установці (секція 3)	30-34 °C	+	+	± 5%	+	+	Зміна подачі пари в секцію 3	-	-	-	-
4	Температура в сировиготовлювачі (перша операція)	30-34 °C	+	+	± 5%	+	+	Зміна подачі пари в сировиготовлювач	-	-	-	-
5	Температура в сировиготовлювачі (друга операція)	37-39 °C	+	+	± 5%	+	+	Зміна подачі пари в сировиготовлювач	-	-	-	-
6	Температура в резервуарі проміжного зберігання	37-39 °C	+	+	± 5%	+	+	Зміна подачі пари в резервуар проміжного зберігання	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7	Температура в соляному басейні	8-12 °С	+	+	± 5%	+	+	Зміна подачі пари в стінки басейну	-	-	-	-
8	Температура в камері сте-лажу з си-ром (1)	8-14 °С	+	+	± 5%	-	-	-	-	-	-	-
9	Температура в камері термозбіж-ної установ-ки	95-90 °С	+	+	± 5%	-	-	-	-	-	-	-
10	Температура в камері сте-лажу з си-ром (2)	10-14 °С	+	+	± 5%	-	-	-	-	-	-	-
11	Температура в камері сте-лажу з си-ром (3)	2-6 °С	+	+	± 5%	-	-	-	-	-	-	-
12	Вакуум в вакуум-пакувально-му апарату	-1 кгс/см <sup>2</sup>	+	+	± 5%	-	-	-	-	-	-	-
13	Рівень в си-ровиго-товлювачі	1,2-1,3 м	+	+	± 5%	+	+	Відкриття або закриття кла-пану подачі пастеризовано-го молока	-	-	-	-
14	Рівень в ре-зервуарі проміжного зберігання	1 - 1,2 м	+	+	± 5%	+	+	Відкриття або закриття кла-пану подачі сирного зерна	-	-	-	-
15	Витрати по-дачі підгото-вленого молока пас-териза-ційно-холод-жувальну установку	2 м <sup>3</sup> /час	+	+	± 5%	+	-	-	-	-	-	-
16	Витрати по-дачі пари	2 м <sup>3</sup> /час	+	+	± 5%	-	-	-	-	-	-	-

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата
------	------	----------	---------	------

СУ.мдн-91ш

Лист

12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
17	Витрати подачі сирного зерна в резервуар проміжного зберігання	2 м <sup>3</sup> /час	+	+	± 5%	-	-	-	-	-	-	-
18	Витрати подачі сирного зерна в формувальні колони	2 м <sup>3</sup> /час	+	+	± 5%	-	-	-	-	-	-	-

## 2 ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЇ І БЛОКУВАННЯ

Величини, що вибираються для регулювання - цільові, вони мають зв'язки з іншими процесами, також є необхідність підтримувати задане значення параметру. Також необхідно проаналізувати вплив збурення, який здійснюється на об'єкт управління, і як подолати збурення.

Для безпеки протікання технологічного процесу необхідно забезпечити контроль технологічного параметра та його сигналізування.

Під час аналізу схеми руху матеріальних потоків визначені такі контури, як: управління, контроль та сигналізація.

### 2.1 Контроль витрати підготовленого молока до пастеризаційно-охолоджувальної установки

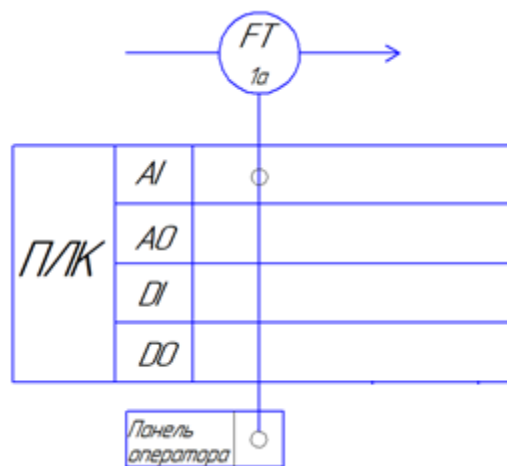


Рисунок 2.1 – Контур контролю витрати

В якості датчика витрати використовуємо вихровий витратомір «ЭМИС Вихрь 200» (поз. 1а), через нього проходить підготовлене молоко, сигнал зміни витрати у вигляді 4-20 мА надходить на аналоговий вхід ПЛК (програмний логічний контролер) (поз. 1б).

Також є БПІ (блок перетворення інтерфейсів), який перетворює сигнал з контролера до панелі оператора.

## 2.2 Регулювання подачі підготовленого молока до пастерізаційно-охолоджувальної установки

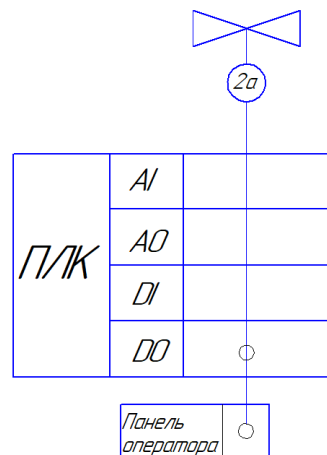


Рисунок 2.2 - Контур подачі підготовленого молока

Підготовлене молоко проходить в трубопроводі через клапан (поз. 2а), який відкривається або закривається в залежності від керуючого вихідного дискретного сигналу, що надходить з ПЛК (програмного логічного контролера) (поз. 1б).

Також є БПІ (блок перетворення інтерфейсів), який перетворює сигнал з контролера до панелі оператора.

## 2.3 Регулювання температури в пастерізаційно-охолоджувальної установки

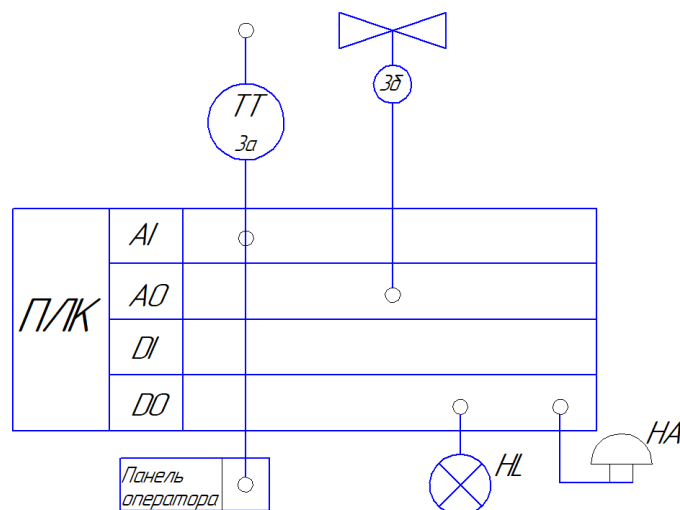


Рисунок 2.3 - Структурна схема контуру регулювання температури в пастерізаційно-охолоджувальної установки

В якості датчика температури використовуємо термоперетворювач ДТС (поз. 3а), сигнал зміни температури у вигляді 4-20 мА надходить на аналоговий вхід ПЛК (програмний логічний контролер) (поз. 1б), цей сигнал порівнюється з заданим значенням, якщо значення параметра не дорівнює заданому, то на контролері утворюється аналоговий вихідний сигнал, який надходить на електропривід (поз. 3б), який здійснює регулювання.

Дискретний сигнал з виходу контролера надходить до сигнальної лампи НЛ та до дзвоника НА, що сигналізує про те, що температура вийшла за межі заданого значення.

Також є БПІ (блок перетворення інтерфейсів), який перетворює сигнал з контролера до панелі оператора.

#### 2.4 Регулювання рівня сирного зерна в сиро-виготовлювачі

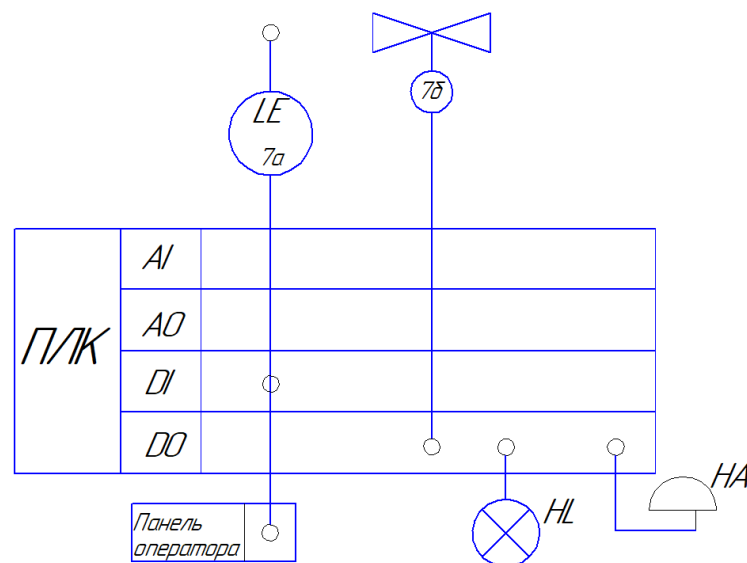


Рисунок 2.4 – Контур регулювання рівня сирного зерна в сиро-виготовлювачі

В якості датчика рівня використовуємо ОВЕН ПДУ-И (поз. 7а), сигнал зміни рівня у вигляді 4-20 мА надходить на дискретний вхід ПЛК (програмний логічний контролер) (поз. 1б), цей сигнал порівнюється з заданим значенням, якщо значення параметра не дорівнює заданому, то на контролері утворюється вихідний дискретний сигнал, який надходить на електромагнітний клапан (поз. 7б) і відбудеться його закриття, подача по трубопроводу припиниться.

Якщо заданого рівня не буде досягнуто клапан (поз. 7б) буде відкритий  
 Дискретний сигнал з виходу контролера надходить до сигнальної лампи  
 НЛ та до дзвоника НА , що сигналізує про те, що рівень вийшов за межі заданого  
 значення.

Також є БПІ (блок перетворення інтерфейсів), який перетворює сигнал з  
 контролера до панелі оператора.

## 2.5 Контроль тиску у вакуум-пакувальному апараті

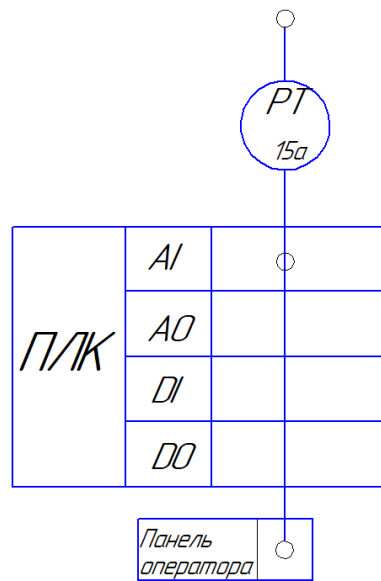


Рисунок 2.5 - Контур контролю тиску у вакуум-пакувальному апараті

В якості датчика надлишкового тиску використовуємо ОВЕН ПД100 ДИ  
 (поз. 15а), сигнал зміни тиску, у вигляді 4-20 мА, надходить на аналоговий вхід  
 ПЛК (програмний логічний контролер) (поз. 1б).

Також є БПІ (блок перетворення інтерфейсів), який перетворює сигнал з  
 контролера до панелі оператора.

Інші контури мають аналогічні принципи роботи.

З виходу контролера дані надходять на ПК, де записуються і зберігаються  
 у його пам'яті. Також у разі необхідності за допомогою ПК можна управляти па-  
 раметрами і змінювати задані значення на контролері.

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

Прийнявши до уваги особливості ТП виробництва твердого сиру, топологію об'єкта і розподіл функціональних елементів технологічного процесу підприємством, обираємо 3-х рівневу систему управління. Даний технологічний процес не є вибухо- і пожежонебезпечним. Важливими критеріями вибору засобів автоматизації (зокрема нижнього рівня) виступають їх точність та надійність.

Найбільший пріоритет у даному технологічному процесі має дешевизна та точність засобів автоматизації. 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 датчика температури**

В даному ТП проводиться регулювання температури у пастеризаційно-охолоджувальної установки. Так як діапазон регульованої температури невеликий, для її вимірювання можливе застосування термометри опору.

Можливе використання наступних термометрів опору:

- Термоперетворювач опору ОВЕН ДТС 100М;
- Термоперетворювач опору ОВЕН ДТС125М-И.

#### **а) Технічні характеристики термоперетворювача опору ОВЕН ДТС 100М**

Основні технічні характеристики даної термопари наведені у таблиці 3.1.

										Лист
										18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



Таблиця 3.1 - Технічні характеристики термопар ОВЕН ДТПК сталь 12Х18Н10Т

Найменування параметра	Значення
Робочий діапазон вимірюваних температур	-50...+150 °С
Номінальна статична характеристика (НСХ)	100 М
Клас допуску	В
Умовний тиск	6,3 МПа
Показник теплової інерції	не більше 10...30 с
Опір ізоляції	не менше 100 МОм
Кількість чутливих елементів	1 або 2
Схема внутрішніх з'єднань провідників	4 – чотирьохдротова
Виконання сенсора відносно корпусу	ізольований
Довжина кабельного виводу	5 м
Тип нарізного штуцера	метрична різь
Матеріал захисної арматури	сталь 12Х18Н10Т латунь
Вартість, грн	624, 00

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

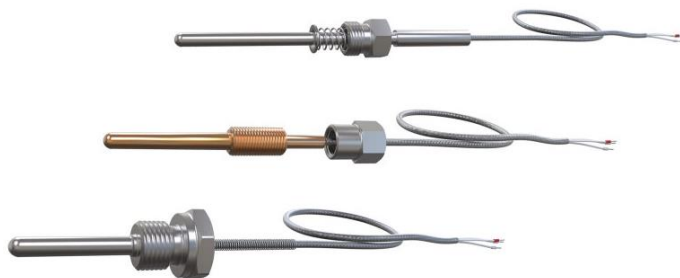


Рисунок 3.1 - Термопара ОВЕН ДТПК сталь 12Х18Н10Т

**б) Технічні характеристики термоперетворювача опору ДТС125М-И**

Основні технічні характеристики даного датчика температури приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики термоперетворювача опору ОВЕН ДТС125М-И

Найменування параметра	Значення
Номінальне значення напруги живлення (постійного струму)	24 В
Діапазон допустимої напруги живлення (постійного струму)	12...36 В
Максимальна потужність, що споживається перетворювачем	0,8 Вт
Діапазон вихідного струму перетворювача	4...20 мА
Вид залежності «струм від температури»	лінійна
Нелінійність перетворення, не менше	$\pm 0,2\%$
Розрядність цифро-аналогового перетворювача, не менше	12 біт
Опір кожного дроту, що з'єднує перетворювач з термометром опору, Ом, не більше	30
Опір лінії зв'язку з термоелектричним перетворювачем, Ом, не більше	100
Номінальне значення опору навантаження (при напрузі живлення 24 В)	500 Ом $\pm 5\%$
Максимальний допустимий опір навантаження (при напрузі живлення 36 В) *	1250 Ом
Пульсації вихідного сигналу живлення, не більше	0,6% 30 хв
Показник теплової інерції, не більше	20...40 с
Вартість, грн	1191,60

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

СУ.мдн-91ш

Лист

20

Зовнішній вигляд термоперетворювача опору ОВЕН ДТС125М-И представлено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 - Термоперетворювача опору ОВЕН ДТС125М-И

Порівнявши технічні характеристики ОВЕН ДТС 100М і ОВЕН ДТС125М-И, можна зробити висновок, що ОВЕН ДТС125М-И має уніфікований сигнал 4-20 мА, що дає змогу підключати датчик до контролера без перетворювача, що є дешевше. Тому свій вибір зупиняємо на ньому.

### 3.1.2 Вибір датчика рівня

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

- ОВЕН ПДУ-И.3000;
- SIEMENS Milltronics The Prode 7ML1201-1AF00

#### а) Технічні характеристики поплавкового датчика рівня ОВЕН ПДУ-И.3000

Основні технічні характеристики даного датчика рівня приведені в таблиці 3.3.

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Таблиця 3.3 - 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...4000
Дискретність вимірювання рівня (роздільна здатність), мм	10
Похибка вимірювання рівня, мм	$\pm 0,5$

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата

СУ.мдн-91ш

Лист

22

Конструктивні параметри	
Розташування осі кріплення отвору датчика у резервуарі	Вертикально
Типорозмір приєднувальної різьби	G2
Розмір «під ключ», мм	36
Діаметр зовнішньої оболонки з'єднувального кабелю, мм	4...8
Перетин з'єднувальних дротів, мм <sup>2</sup>	0,2...2
Матеріал робочої частини датчика	Сталь 12X18H10T
Ступінь захисту за ГОСТ 14254	IP65
Маса	3,1
Вартість, грн	4887

Зовнішній вигляд рівнеміра ОВЕН ПДУ-И.3000 представлено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 - Рівнемір ОВЕН ПДУ-И.3000

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

## б) Технічні характеристики ультразвукового рівнеміра SIEMENS Milltronics The Prode 7ML1201-1AF00

Основні технічні характеристики даного датчика рівня приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - 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 3.4 - 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 ОВЕН ПДУ-И.3000 дешевший, до того ж він має меншу похибку. Тому свій вибір зупиняємо на ньому.

### 3.1.3 Вибір датчиків витрати рідини

У даному ТП здійснюється регулювання витрат підготовленого молока в трубопроводі подачі його в пастеризаційно-охолоджувальну установку.

Можливе використання наступних витратомірів:

- SIEMENS SITRANS FX300;
- Датчик витрати ЭМИС-Вихрь 200.

#### а) Технічні характеристики вихрового витратоміра SIEMENS SITRANS FX300

Основні технічні характеристики даного датчика витрати приведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - 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 3.5.



Рисунок 3.5 - Витратомір SIEMENS SITRANS FX300

**б) Технічні характеристики датчика витрати ЭМИС-Вихрь 200**

Основні технічні характеристики даного датчик витрати приведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Технічні характеристики витратоміра ЭМИС-Вихрь 200

Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірювання об'ємної витрати, м <sup>3</sup> /год	0...5
Напруга живлення	10 ... 36В
Вихідний сигнал:	4 ... 20 мА
Похибка вимірювань	±0,5%
Час вимірювання	не більше 0,65 с
Ступінь захисту корпусу	IP 67
Вартість, грн	6625

Зовнішній вигляд витратоміра ЭМИС-Вихрь 200 представлено на рисунку 3.6.





Рисунок 3.6 - Витратомір ЭМИС-Вихрь 200

Порівнявши технічні характеристики SIEMENS SITRANS FX300 і витратомір ЭМИС-Вихрь 200, можна зробити висновок, що обидва витратоміри однакові за характеристиками, але ЭМИС-Вихрь 200 нижчий по вартості, до того ж він має меншу похибку вимірювань і більший ступень захисту. Тому свій вибір зупиняємо на ЭМИС-Вихрь 200.

### 3.1.4 Вибір датчика тиску

У даному ТП здійснюється контроль тиску у вакуум-пакувальному апараті.

#### **Технічні характеристики датчика тиску ОВЕН ПД100И**

Основні технічні характеристики даного датчика тиску ОВЕН ПД100И приведено в таблиці 3.7.

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Таблиця 3.7 - Технічні характеристики датчика тиску ОВЕН ПД100И

Найменування	Значення
Електричні параметри	
Вихідний сигнал постійного струму	4...20 мА, 2-дротова
Основна зведена похибка	0,25
Діапазон робочих температур вимірювального середовища	-40...+100 °С
Напруга живлення	12...24 В постійного струму
Опір навантаження	0...1,0 кОм (залежно від напруги живлення)
Споживана потужність	не більше 0,8 Вт
Ступінь захисту корпусу	IP65
Стійкість до кліматичних впливів	УХЛ3.1
Діапазон робочих температур навколишнього повітря	-40...+80 °С
Атмосферний тиск робочий	66...106,7 кПа
Середній час наробітку на відмову	не менше 500 000 год
Середній термін служби	12 років
Методика перевірки	КУВФ.406230.100 МП
Вага без упаковки / в упаковці	0,18 кг / 0,3 кг
Штуцер для підмикання тиску	М20×1,5 манометричної форми, G1/2 манометричної форми, G1/4 манометричної форми
Тип електричного з'єднувача	EN175301-803 форма А
Габаритний розмір (за висотою)	не більше 92 мм
Перевантажувальна здатність	не менше 200 % від ВМВ
Граничний тиск перевантаження	не менше 400 % від ВМВ
Вартість, грн	3211,20

Зовнішній вигляд датчика тиску ОВЕН ПД100И представлено на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Датчик тиску ПД100И

### 3.1.5 Вибір регулюючих клапанів

Для регулювання витрати холодної води, пари, сирного зерна можливе використання такого виконавчого механізму, як запірно-регулюючий клапан, який задовольняв би умовам даного ТП.

Можливе використання наступних регулюючих клапанів:

- електропривід BELIMO R2032-16-S3;
- електропривід АМЕ 435.

#### а) Технічні характеристики електропривода BELIMO R2032-16-S3

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 електропривід BELIMO R2032-16-S3 приведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики електропривід BELIMO R2032-16-

S3

Найменування параметра	Значення
Номинальна напруга живлення	-24 В, 50-60 Гц
Споживана потужність	1,5 Вт
Керуючий сигнал	0...10 В
Ступінь захисту корпусу	IP54 в будь-якому положенні установки
Вартість, грн	7677

Зовнішній вигляд електроприводу BELIMO R2032-16-S3 представлено на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 - Електропривід BELIMO R2032-16-S3

### б) Технічні характеристики редукторного електропривода АМЕ 435

Основні характеристики редукторного електропривода АМЕ 435 приведені в таблиці 3.9.

Найменування параметра	Значення
Номінальна напруга живлення	-24 В, 50-60 Гц
Споживана потужність	1,5 Вт
Керуючий сигнал	0...10 В
Ступінь захисту корпусу	IP54 в будь-якому положенні установки
Вартість, грн	8730

Зовнішній вигляд електроприводу АМЕ 435 представлено на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 - Електропривід BELIMO R2032-16-S3

Порівнявши технічні характеристики електропривода клапана BELIMO R2032-16-S3 і АМЕ 435 можна зробити висновок, що оскільки електропривід BELIMO R2032-16-S3 дешевший, то вибираємо його.

### 3.1.6 Вибір соленоїдних клапанів:

Для регулювання подачі підготовленого молока до пастеризаційно-оходжувальної установки можливе використання такого виконавчого механізму, як запірно-регулюючий клапан, який задовольняв би умовам даного ТП.

Можливе використання наступних регулюючих клапанів:

- Привід BELIMO TF24 відкр/закр 24 В =/~;
- Привід DANFOSS EV220W.

**а) Технічні характеристики привода BELIMO TF24 відкр/закр 24 В =/~**

Основні характеристики привода BELIMO TF24 приведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.10 - Технічні характеристики привода BELIMO TF24

Найменування параметра	Значення
Номінальна напруга живлення	=/~ 24 В, 50-60 Гц
Споживана потужність	1,5 Вт
Обертаючий момент	2,5 Нм
Ступінь захисту корпусу	IP42 в будь-якому положенні установки
Вартість, грн	8560

Зовнішній вигляд електропривода BELIMO TF24 відкр/закр 24 В =/~ представлено на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 - Електропривід BELIMO TF24 відкр/закр 24 В =/~

**б) Технічні характеристики привода DANFOSS EV220W**

Основні характеристики привода DANFOSS EV220W приведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 - Технічні характеристики привода DANFOSS EV220W

Найменування параметра	Значення
Номінальна напруга живлення	=/~ 24 В, 50-60 Гц
Споживана потужність	4,5 Вт
Обертаючий момент	5 Нм
Ступінь захисту корпусу	IP65
Вартість, грн	9306

Зовнішній вигляд електропривода DANFOSS EV220W представлено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 - привід DANFOSS EV220W

Порівнявши технічні характеристики соленоїдних клапанів BELIMO TF24 і DANFOSS EV220W можна зробити висновок, що BELIMO TF24 дешевший, до того ж DANFOSS EV220W споживає більше потужності, тому вибираємо BELIMO TF24.

### 3.1.7 Вибір пристроїв плавного пуску

Пристрої плавного пуску використовуються для забезпечення м'якого (плавного) пуску і зупинки двигуна. Проведемо вибір ППП між:

- УПП2-3К5-В;
- RSE 4003В.

#### а) Технічні характеристики пристрою плавного пуску УПП2-3К5-В

Основні характеристики УПП2-3К5-В приведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 - Технічні характеристики УПП2-3К5-В

Найменування параметра	Значення
Мережа живлення, В	3×200 ... 440 В
Частота електроживлення, Гц	45 ... 66
Потужність	3,5кВт
Час розгону	2 ... 20 сек
Час гальмування	2 ... 20 сек
Керуюча напруга	110 ... 240 В (2-дротове підключення), 380 ... 440 В (3-дротове підключення)
Діапазон робочих температур	-10 ... + 60 ° С
Ступінь захисту	IP20 - до 30 кВт, IP00 - 30 ... 110 кВт
Вартість, грн	10293

Зовнішній вигляд УПП2-3К5-В представлений на рисунку 3.12



Рисунку 3.12 - Зовнішній вигляд УПП2-3К5-В



## б) Технічні характеристики RSE 4003B

Пристрої плавного пуску / зупинки RSE 4003B, призначене для плавного запуску/зупинки трифазного короткозамкнутого асинхронного електродвигуна. Пристрій плавного пуску зменшують пусковий струм і, отже, ривки на валу двигуна в момент пуску / зупинки. Під час роботи напівпровідникові силові елементи шунтуються за допомогою вбудованого електромеханічного реле.

Основні характеристики виконавчого механізму приведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 - Технічні характеристики RSE 4003B

Найменування параметра	Значення
Потужність	3,5кВт
Час розгону	5,5 ... 7,5 сек
Час гальмування	6,0 ... 10 сек
Індикація живлення	Зелений індикатор
Індикація розгону / зупинки	Жовтий індикатор
Ступінь захисту	IP20
Вартість, грн	11105

Зовнішній вигляд RSE 4003B представлений на рисунку 3.13



Рисунку 3.13 - Зовнішній вигляд RSE 4003B

Порівнявши технічні характеристики пристроїв плавного пуску / зупинки УПП2 і RSE 4003В можна зробити висновок, що обидва пристрої плавного пуску мають практично однакові технічні характеристики. Але УПП2 дешевше за RSE 4003В. Тому будемо використовувати пристрій плавного пуску УПП2-3К5-В.

### 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.

#### 3.1.8 Вибір контролера

На основі таблиці переліку параметрів сигналізації, контролю та управління (таблиця 1.2), робимо висновок вимоги до портів контролера (табл. 3.14).

Таблиця 3.14 – Вхідні-вихідні сигнали

Сигнали	Кількість сигналів
Аналогові вхідні	15
Аналогові вихідні	6
Дискретні вхідні	4
Дискретні вихідні	9

Для реалізації управління даним процесом у якості контролера можуть бути використані:

- Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК 160
- Програмований логічний контролер SIEMENS SIMATIC S7-1200
- Програмований логічний контролер VIPA System 200V

#### а) Технічні характеристики програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК 160

ПЛК 160 призначений для створення систем управління малими і

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.

### **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 3.14 – 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 р-n-p.
- Дискретні виходи типу: Р - реле.

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

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

Вартість ПЛК – 19105,36 грн.

#### **б) Технічні характеристики програмованого логічного контролера 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.

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.

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

- 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 перебогах у живленні контролера.
- Вбудовані дискретні входи універсального призначення, що дозволяють вводити потенціальні або імпульсні сигнали.
- Вбудований апаратний годинник реального часу з запасом ходу при перебогах 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.
- 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 3.15.



Рисунок 3.15 –ПЛК SIMATIC S7-1200

Вартість ПЛК – 21906,36 грн.

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

## в) Технічні характеристики програмованого логічного контролера VIPA System 200V

VIPA System 200V - контролер для вирішення задач центральної і розподіленої системи автоматизації, де він може виступати у якості як "керованих" 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 підбрати 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.

Вартість ПЛК – 12696,52 грн.

Зовнішній вигляд ПЛК представлено на рисунку 3.16.



Рисунок 3.16 –ПЛК VIPA System 200V

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

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
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 перебогах 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
Інтерфейс	RS-232, RS-485, Ethernet 10/100 Mbps, USB-Device	Ethernet/PROFINET	MP2I (MPI+PPI)

Всі вищезгадані контролери однаково добре підходять для поставлених завдань і вимог, але оскільки датчики були вибрані фірми ОВЕН, тому для уникнення конфліктів в протоколі RS 485 зупиняємо свій вибір на ОВЕН ПЛК 160.

Так як вбудованих аналогових входів недостатня кількість, то існує необхідність використання додаткового модуля вводу аналогових сигналів. Також необхідними компонентами є панель оператора і блок живлення.

### 3.1.9 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 ОВЕН МВ110-8А.

Основні характеристики модуля аналогового вводу ОВЕН МВ110-8А приведені в таблиці 3.16.



Таблиця 3.16 – Основні характеристики ОВЕН МВ110-8А

Найменування	Позначення
Інтерфейс та протоколи	RS-485 ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON
Аналогових входів	8
Типи вхідних сигналів:	уніфіковані сигнали струму (0-20 мА, 4-20 мА, 0-5 мА) і напруги (0-10 В)
Частота вимірів	до 200 вибірок в секунду
Напруга живлення	~ 220 В або 24 В (в залежності від модифікації)
Вбудований джерело живлення датчиків	24 В, 180 мА (для модифікації зі змінним напругою живлення).
Вартість, грн	3402

Зовнішній вигляд ОВЕН МВ110-8А представлено на рисунку 3.17.



Рисунок 3.17 – Модуль аналогового вводу ОВЕН МВ110-8А

### 3.1.10 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 ОВЕН МУ110-6У.

Основні характеристики модуля аналогового виводу ОВЕН МУ110-6У приведено в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 – Основні характеристики МУ110-6У

Найменування	Позначення
Інтерфейс та протоколи	RS-485, ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON
Аналогових виходів	6
Тип аналогових вихідних сигналів:	ЦАП «параметр - напруга 0 ... 10 В»
Основна приведена по-хибка ЦАП, %	не більше $\pm 0,5$
Діапазон напруги живлення виходу, В	12 ... 36
Інтерфейс зв'язку з комп'ютером	RS-485
Вартість, грн	4002

Зовнішній вигляд ОВЕН МУ110-6У представлено на рисунку 3.18.



Рисунок 3.18 – Модуль аналогового виводу ОВЕН МУ110-6У

### 3.1.11 Панель оператора

Для візуалізації проходження ТП, відображення поточних параметрів, задання вхідних величин та індикації каналу аварії застосуємо сенсорну графічну панель оператора ОВЕН СП310-Р (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.

Основні характеристики панелі оператора ОВЕН СП310-Р приведено в таблиці 3.18.

Таблиця 3.18 – Основні характеристики ОВЕН СП310-Р

Найменування	Позначення
Процесор	AT91SAM9G35-CU
Частота, МГц	400
Тип дисплея, діагональ, мм (в дюймах)	16,7 млн кольорів TFT (10,1)
Роздільна здатність дисплея, піксель	800 × 480
Вбудований годинник реального часу	присутнє
Пам'ять програм (Flash-RAM), Мб	128
Тип напруги живлення	постійне
Номінальна напруга живлення, В	24
Споживана потужність, Вт	не більше 10
Вартість, грн	15300

Зовнішній вигляд ОВЕН СП310-Р представлено на рисунку 3.19.

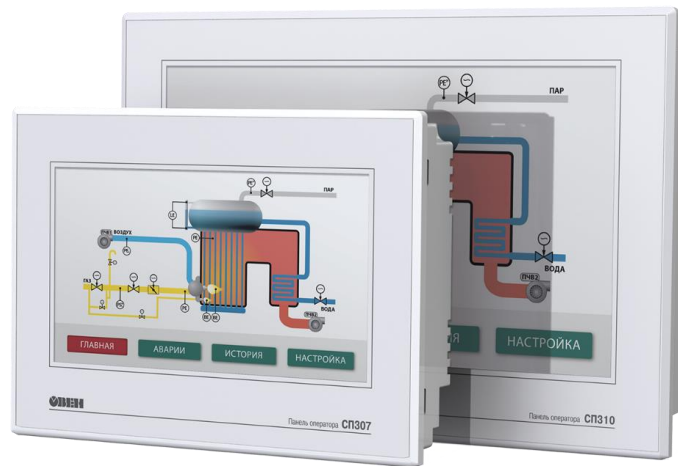


Рисунок 3.19 – Панель оператора ОВЕН СП310-Р

### 3.1.12 Блок живлення

Для живлення модулів вводу, виводу, ПЛК і панелі оператора оберемо блок живлення ОВЕН БП60.

Блок живлення ОВЕН БП60 оптимальний для серії контролерів ОВЕН за дизайном і функціональністю та забезпечує зовнішнє живлення входів і виходів, коли потужності, вбудованого в ЦПУ джерела живлення, недостатньо.

Основні функції:

- перетворення змінного (постійного) напруги в постійне стабілізоване у двох або чотирьох незалежних каналах
- обмеження пускового струму
- захисту від перенапруги й імпульсних завад на вході
- захист від перегрузки, короткого замикання і перегріву
- регулювання вихідного напруги за допомогою внутрішнього підлаштування резистора в діапазоні  $\pm 8\%$  від номінального вихідного напруги зі збереженням потужності
- індикація про наявність напруги на виході кожного каналу

Основні характеристики блоку живлення ОВЕН БП60 представлено в таблиці 3.19.

										Лист
										46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Таблиця 3.19 – Основні характеристики ОВЕН БП60

Найменування	Позначення
Частота вхідної змінної напруги	47...63 Гц
Поріг спрацьовування захисту по струму	не більше 1,5 I <sub>max</sub>
Максимальна вихідна потужність	60 Вт
Нестабільність вих. напруги при зміні напруги живлення	±0,2 %
Нестабільність вих. напр. при зміні струму навантаження від 0,1 I <sub>max</sub> до I <sub>max</sub>	±0,25 %
Робочий діапазон температур	–20...+50 °С
Коефіцієнт температурної нестабільності вихідної напруги в робочому діапазоні температур	±0,025 % / °С
Рівень радіоперешкод по ГОСТ Р 51527	група С
Ступінь захисту	IP20
Вихідна напруга	24 ± 1 % В
Амплітуда пульсації вихідної напруги	120мВ
Вартість, грн	2655

Зовнішній вигляд ОВЕН БП60 представлено на рисунку 3.20.

										Лист
										47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	СУ.мдн-91ш					



Рисунок 3.20 – Блок живлення РМ1207

### 3.1.13 Вибір ARM

Модель AdvantiX IPC-SYS1-3-A9 поєднує в Собі невісоку ВАРТІСТЬ стації оператора АСУ з усім необхідним для відмовостійкої роботи, властивім серверного рішення.

Основні характеристики панелі оператора ОБЕН СП310-Р приведено в таблиці 3.20.

Таблиця 3.20 – Основні характеристики AdvantiX

Найменування	AdvantiX IPC-SYS1-3-A9
Процесор	Core i7-6700 (4 ядра, HT)
Пам'ять	до 64Гб, 4 x DIMM DDR4-2133
Відеосистема	Інтегрований графічний адаптер Intel HD Graphics 510/530, DX 12
Мережа	2 x контролера Ethernet 10/100/1000 Intel i219LM, i210AT, підтримується WoL (Wake-on-Lan), PXE, Teaming, iAMT 11
Порти	7 x USB 2.0 4 x USB 3.0 2 x LAN (RJ-45) 2 x PS / 2 2 x COM (RS-485), 1 x LPT Line In, Line Out, Mic

Живлення	2 x 400W або 2 x 450W RPS з Гаряча заміною
Операційна система	Microsoft Windows 7 32/64, Windows 8.1 x64, Windows 10 x64, Win Server 2012 Linux

Зовнішній вигляд ОВЕН МУ110-6У представлено на рисунку 3.18.



Рисунку 3.21-Зовнішній вигляд AdvantiX IPC-SYS1-3-A9

### 3.13 Вибір інтерфейсу зв'язку

Для передачі даних з великою точністю і при великій дистанції використовуємо уніфікований інтерфейс RS485. Тому для зв'язку модулів розширення з промисловим контролером, будемо використовувати вказаний інтерфейс з відповідними протоколами.

Інформаційні мережі, засновані на даному інтерфейсі, набули найбільшого поширення при проектуванні промислових мереж автоматизації. Це високошвидкісний і перешкодостійкий послідовний інтерфейс, який дозволяє створювати мережі шляхом паралельного підключення до 32 пристроїв до однієї фізичної лінії. По інтерфейсу RS485 Дані передаються за допомогою «симетричного» диференціального сигналу по двох лініях (А і В). Максимальна довжина лінії

зв'язку між крайніми пристроями може становити до 1200 м (і більше з використанням повторювачів). Швидкість передачі становить 115200 біт / с. Для зв'язку промислового контролера ОВЕН ПЛК160. Із промисловим комп'ютером буде використовувати інтерфейс RS485.

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50



## 4 АЛГОРИТМ РАБОТИ СИСТЕМИ

У загальному вигляді система працює за алгоритмом, представленим на рисунку 4.1, 4.2.

Після включення живлення система перевіряє працездатність всіх пристроїв, і потім, в разі несправності система видає повідомлення про несправність, після чого буде очікувати подальших дій від оператора. У разі вдалої перевірки система робить ініціалізацію всіх пристроїв і чекатиме команди старту роботи. Після надходження команди старту запускається програма запуску управління пастеризаційно-охолоджувальної установки, управління сировиготовлювачем, управління резервуаром проміжного зберігання. Дана програма необхідна для того щоб уникнути аварійних ситуацій під час пуску, але у разі виникнення аварії під час роботи, буде виконані заходи вимкнення двигунів, передача аварійного сигналу до панелі оператора, де оператор може вимкнути звукове оповіщення.

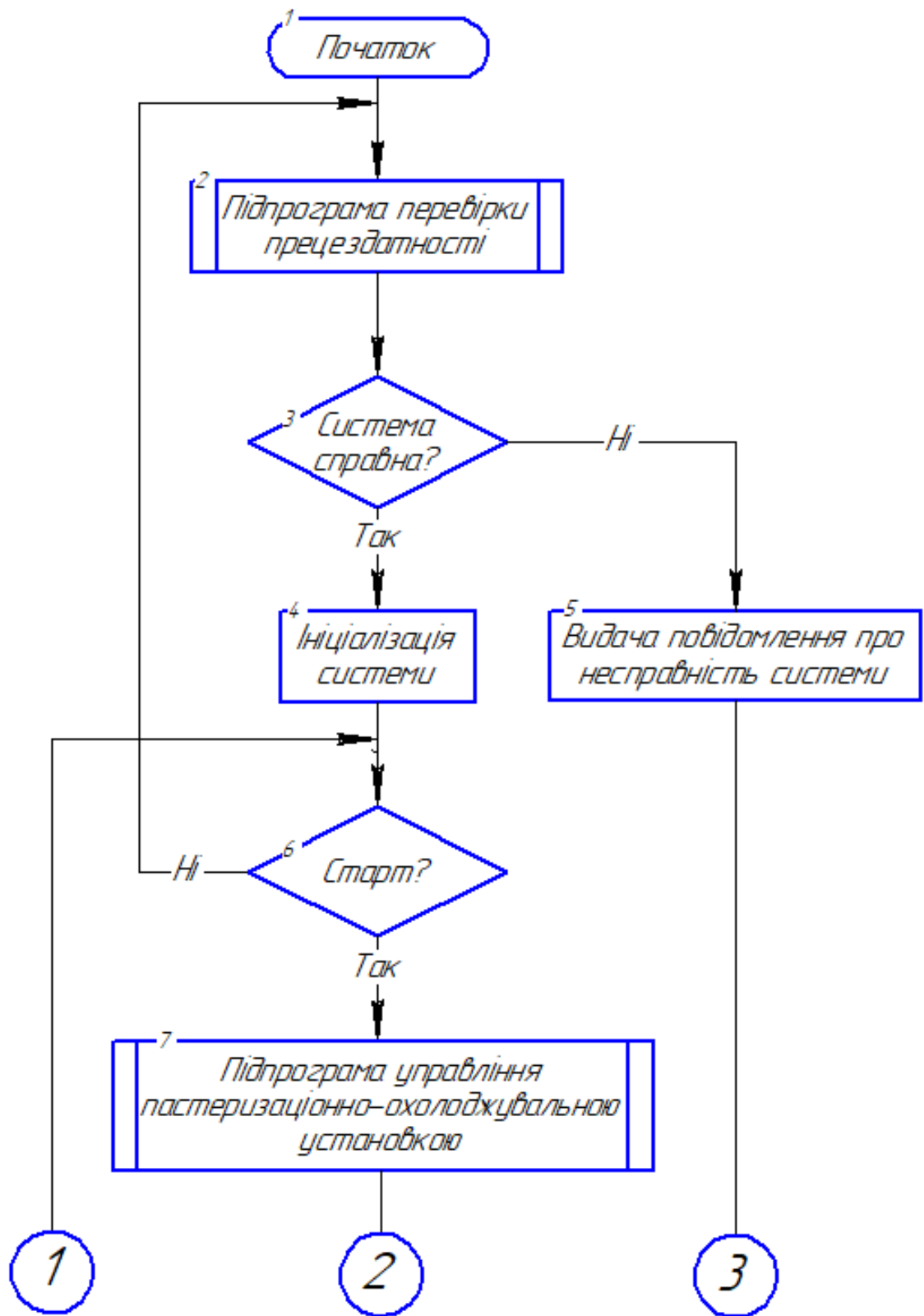
### Програма перевірки працездатності

Алгоритм перевірки працездатності є такий порядок дій:

Спочатку система подає запит до контролера, проводиться його ініціалізація та проходить перевірка з'єднання з панеллю оператора, після цього йде перевірка готовності контролера, який повинен подати відповідний сигнал протягом деякого часу, до спрацьовування сторожового таймера. Якщо контролер не подає сигнал протягом цього часу, то робиться висновок, що система несправна, якщо все ж таки контролер відповідає на запит готовності, то система переходить до перевірки датчиків програми, послідовно відправляючи запити кожному з них і чекаючи відповіді. Якщо хоча б один датчик не відповідає, система робить висновок про несправність.

У разі якщо всі пристрої і датчики справні, система виходить з програми.

									Лист
									51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

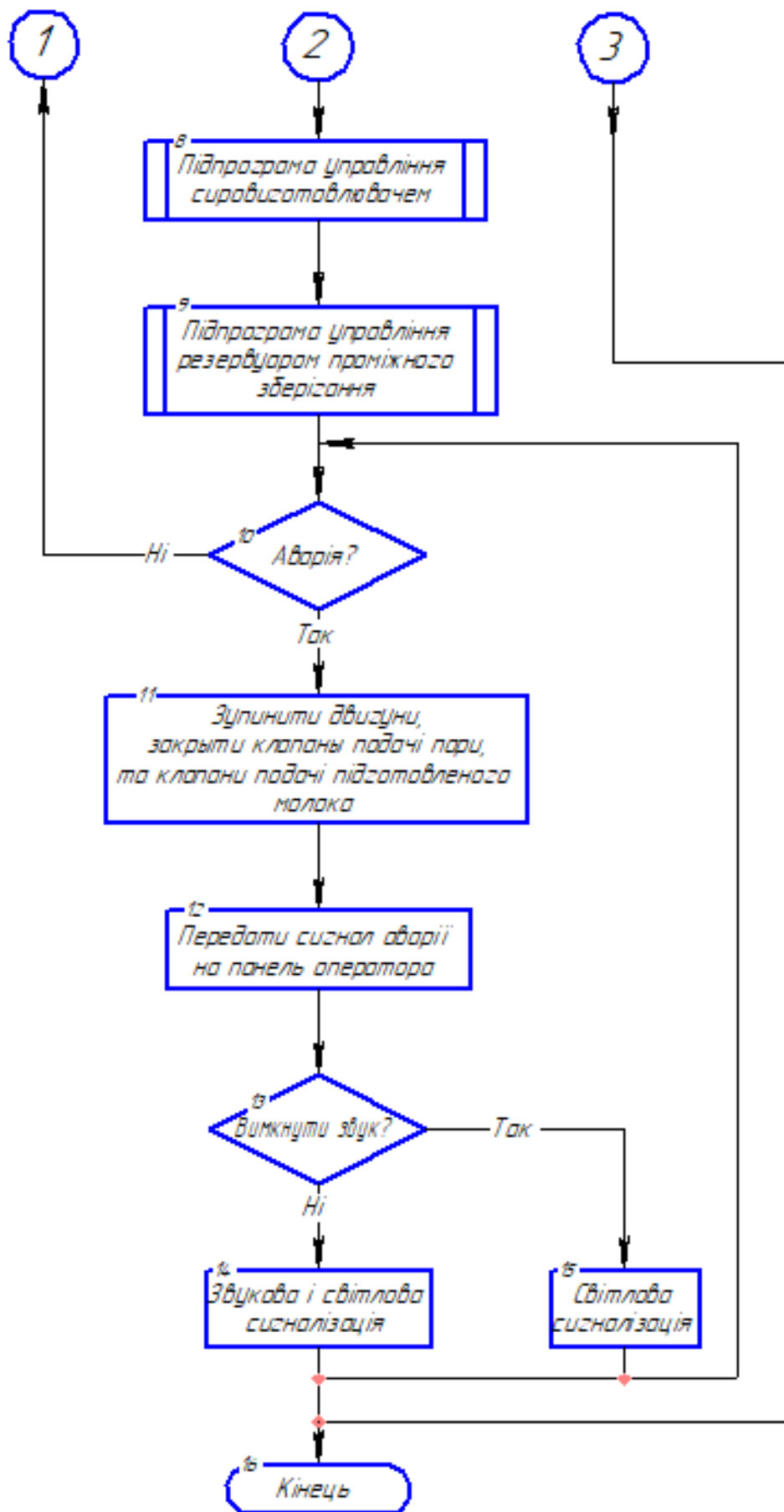


Рисунок 4.1 – Загальний алгоритм роботи системи

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Алгоритми підпрограми працездатності системи приведені на  
 рисунку 4.2

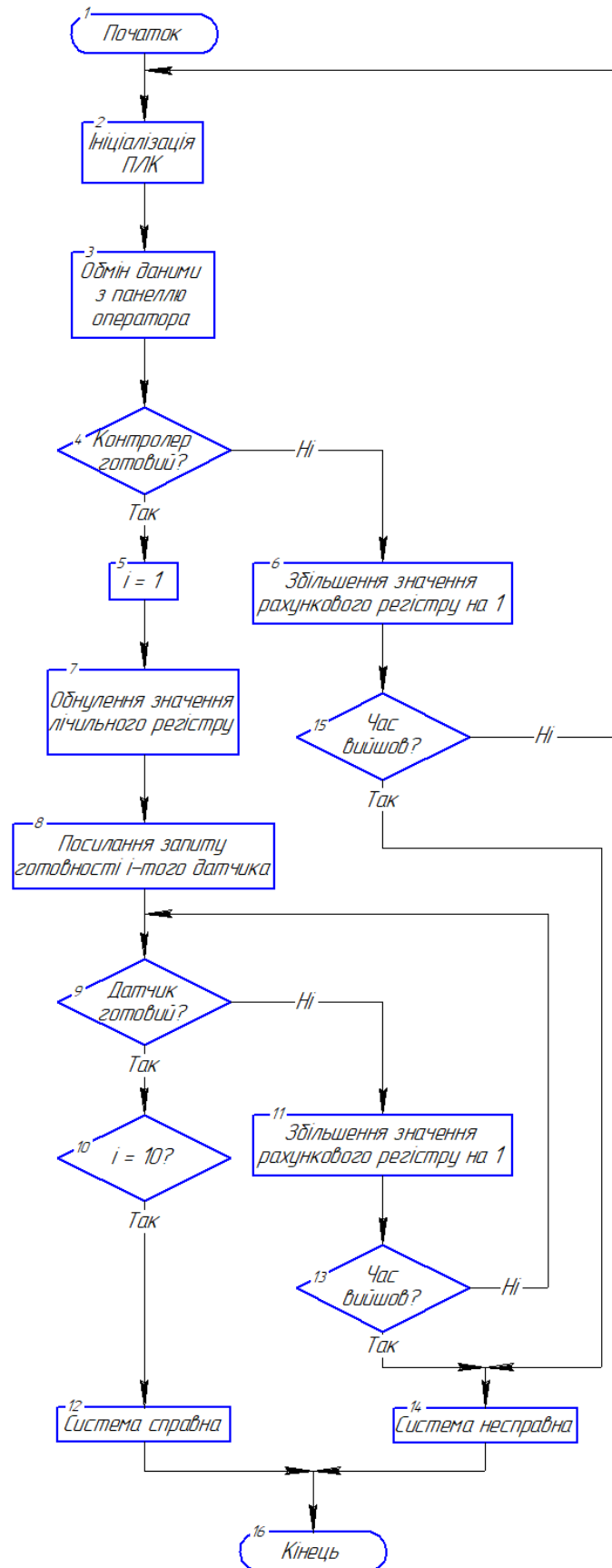


Рисунок 4.2 – Підпрограма працездатності системи

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Алгоритми окремих підпрограм управління приведені на рисунках 4.3-4.5.

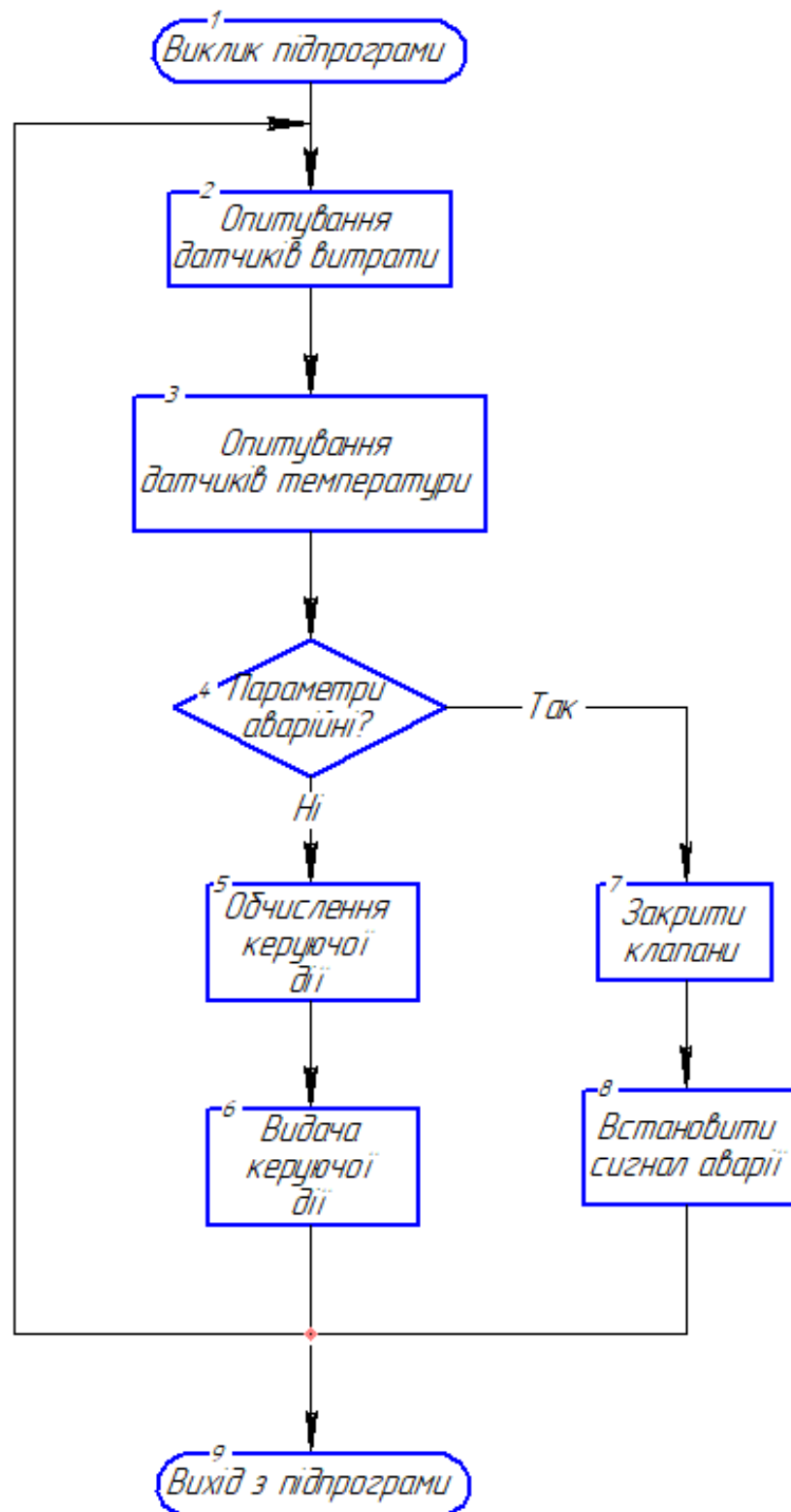


Рисунок 4.3 – Підпрограма управління пастеризаційно-оходжувальною установкою

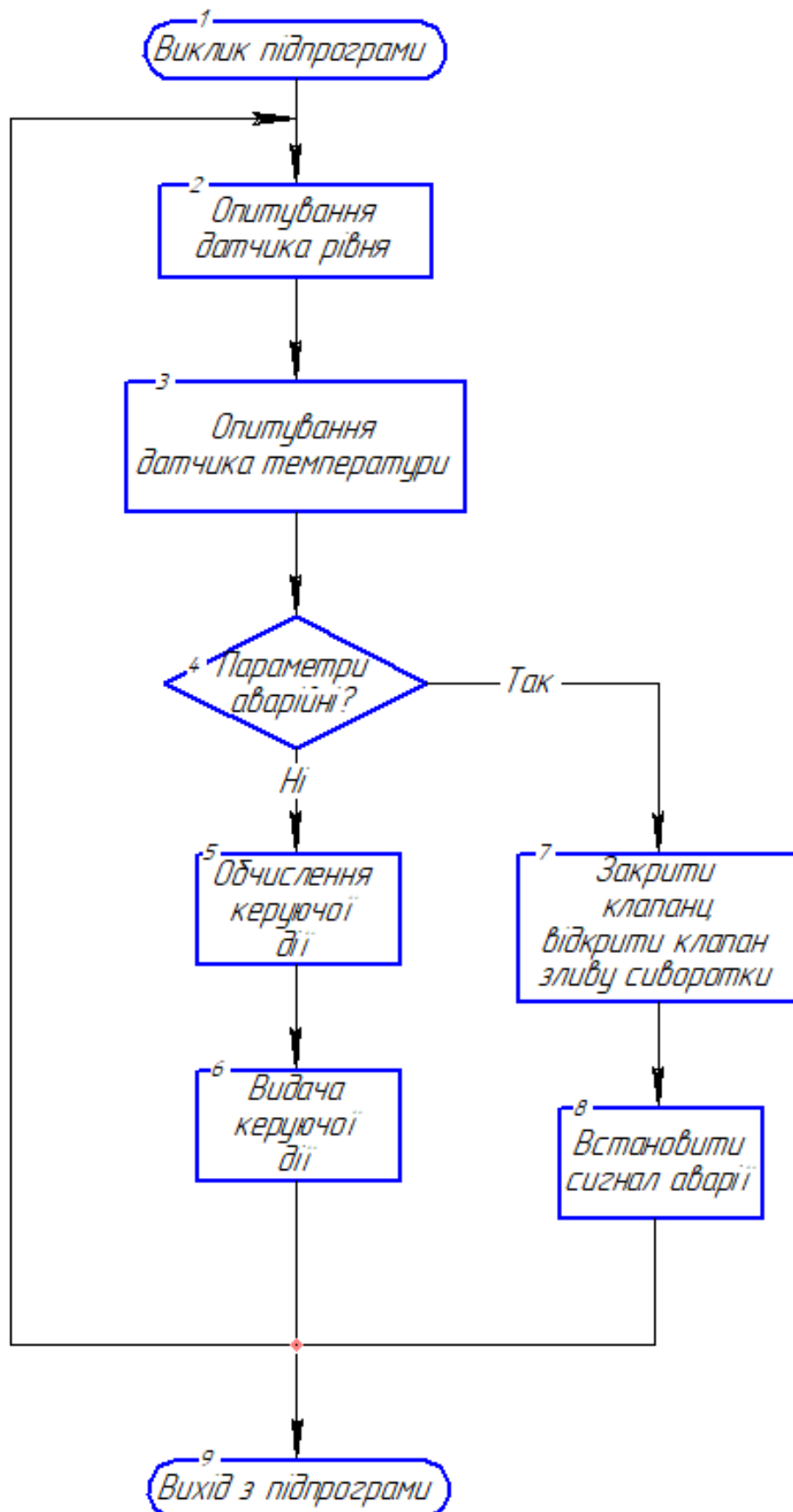


Рисунок 4.4 – Підпрограма управління сировиготовлювача

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

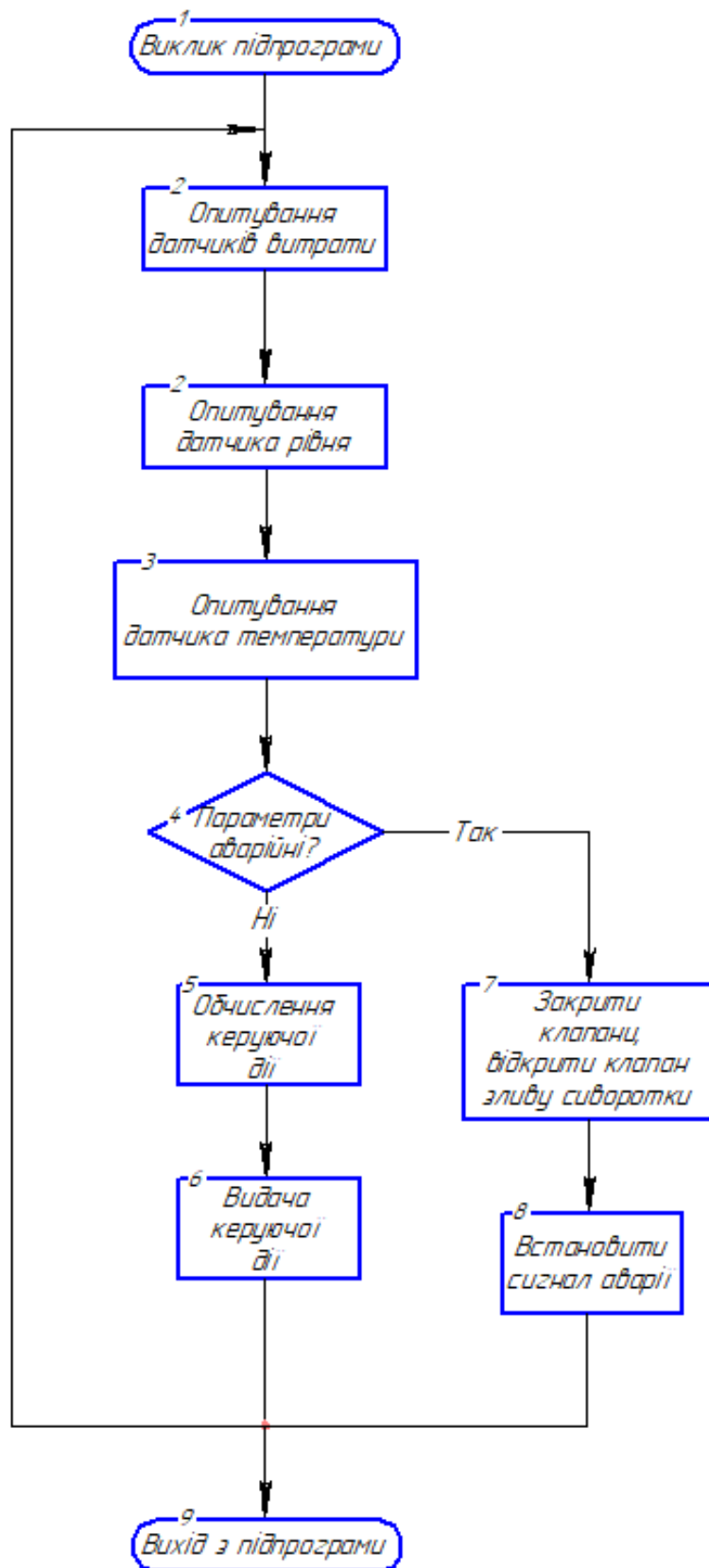


Рисунок 4.5 – Підпрограма управління резервуара проміжного зберігання

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 5 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

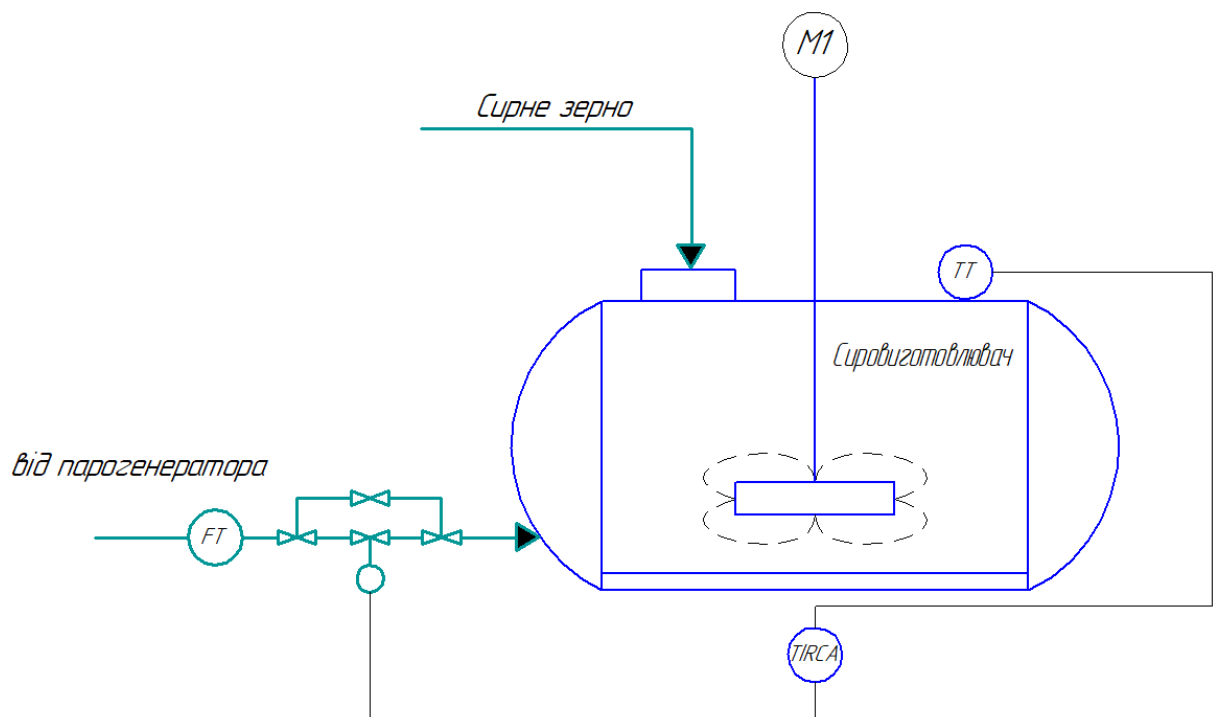
Нагрівання сирного зерна проходить в сировиготовлювачі, сировиготовлювач являє собою закриту ємність з сорочкою обігріву і оснащений лопатевою мішалкою.

Підігрів сирного зерна і підтримання температури в баку на рівні 32-34°C здійснюється паром, яка надходить в «сорочку» обігріву. Температура пари на вході в апарат повинна бути в межах від 20 до 25 °С.

Було зроблено плавну зміну подачі пари від парогенератора до об'єкту, що дало змогу досягти температуру з 20 °С до 34 °С, крива розгону цього об'єкта представлена на рисунку 5.2

### 5.1 Отримання математичного опису об'єкта управління

Контур регулювання температури в сировиготовлювачі зображений на рисунку 5.1



Рисунку 5.1- Контур регулювання температури в сировиготовлювачі

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

- Час перехідного процесу –  $t_p \leq 20$  хв
- Перерегулювання –  $\sigma \leq 25\%$



Математична модель об'єкта управління у вигляді кривої розгону представлена на рисунку 5.2.

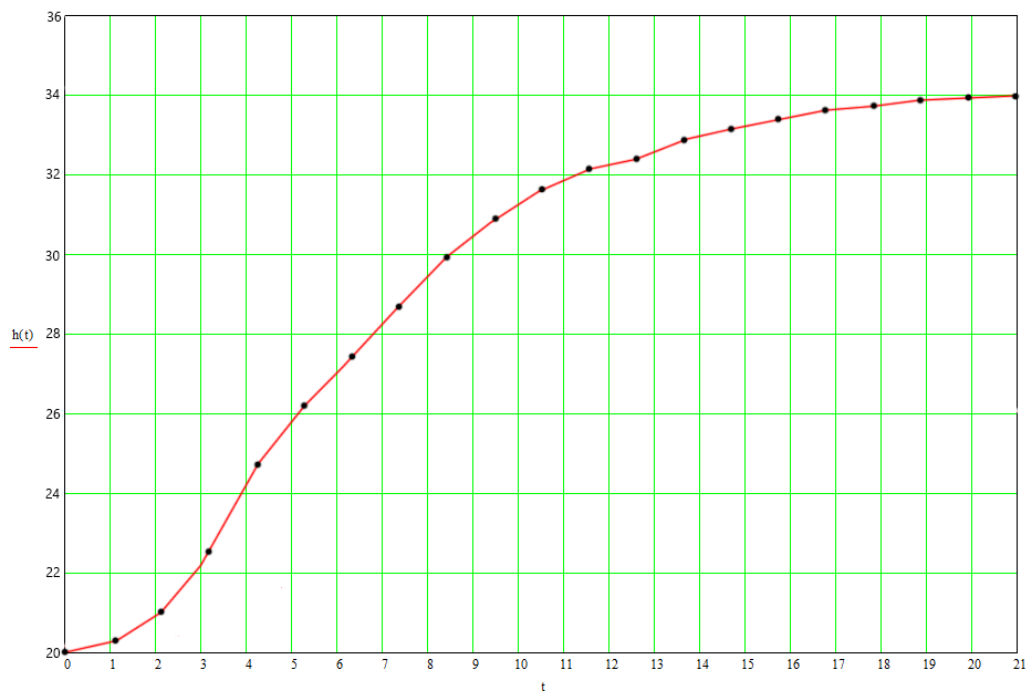


Рисунок 5.2 - Крива розгону об'єкта управління

Отримаємо передаточну функцію об'єкта управління на основі апроксимації “кривої розгону” з використанням методу Сімою.

Нормування кривої розгону

Із ординат кривої розгону формуємо вектор-строку даних

$$y(t) := (20.0 \ 20.2 \ 21.1 \ 22.5 \ 24.8 \ 26.2 \ 27.5 \ 28.8 \ 30.0 \ 31.0 \ 31.9 \ 32.2 \ 32.5 \ 33.0 \ 33.2 \ 33.6 \ 33.8 \ 33.9 \ 33.95 \ 34 \ 34.1).$$

Пронормуємо вектор-рядок  $Y(t)$ . Для цього від отриманих значень віднімемо 20

$$Y(t) = (0 \ 0.2 \ 1.1 \ 2.5 \ 4.8 \ 6.2 \ 7.5 \ 8.8 \ 10.0 \ 11.0 \ 11.9 \ 12.2 \ 12.5 \ 13.0 \ 13.2 \ 13.6 \ 13.8 \ 13.9 \ 13.95 \ 14.0 \ 14.)$$

Транспонуємо вектор-строку в вектор-стовпець, нормуємо криву розгону (ділимо все значення на  $y_{уст} = 14,1$ ) і визначаємо розмірність вектора  $N$ , результати заносимо до таблиці 1.

$$h = \left( \frac{y}{14,1} \right)^T \quad N = \text{length}(h) - 1,$$

$$N = 20.$$

Крок розрахунку по часу  $\Delta t = 1,25\text{с}$ . Встановлюємо значення коефіцієнту  $S_0 = 0$  для забезпечення можливості автоматизації розрахунків. Записуємо функцію в MathCad, яка описує підінтегральний вираз рівняння для знаходження коефіцієнтів  $S_k$  в загальному вигляді в дискретній формі

$$u(S, i, k) = \left[ (1 - h_i) \left[ \sum_{j=0}^{k-1} S_{k-1-j} \cdot \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^j}{j!} + \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^{k-1}}{(k-1)!} \right] \right]$$

де:  $k$  – номер обчислюваного коефіцієнта  $S_k$ ;  $i$  – номер кроку розрахунку за часом.

За допомогою пакета MathCad проводимо розрахунок перших 5-ти коефіцієнтів  $S$  (рисунок 5.3).

$$U(S, i, k) := (1 - h_i) \cdot \left[ \sum_{j=0}^{k-1} S_{k-1-j} \cdot \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^j}{j!} + \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^{k-1}}{(k-1)!} \right] ;$$

$$S_k := \Delta t \cdot \left( \sum_{i=1}^{N-1} U(S, i, k) + \frac{U(S, 0, k) + U(S, N, k)}{2} \right) ;$$

Рисунок 5.3 – Розрахунок коефіцієнтів  $S$  допомогою пакета MathCad  
Згідно розрахунків, отримали 5 перших коефіцієнтів:

$$S_1 = 8.21;$$

$$S_2 = 20.153;$$

$$S_3 = 14.462;$$

$$S_4 = -1.211;$$

$$S_5 = 94.883.$$

Оскільки коефіцієнт  $S_4$  від'ємний, то для розрахунку обмежимося першими трьома коефіцієнтами.

$$\alpha_1 = S_1 = 8.21; \alpha_2 = S_2 20.153; \alpha_3 = S_3 14.462.$$

Коефіцієнт підсилення розраховується за формулою  $K = \frac{y_{\max}}{u_{\max}}$

$$W(s) = \frac{K}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1} = \frac{14.1}{14,462 \cdot s^3 + 20,153 \cdot s^2 + 8,21s + 1} \quad (5-1)$$

Перехідна характеристика побудована по передаточній функції (5-1), та крива розгону об'єкта зображена на рисунку 5.4 .

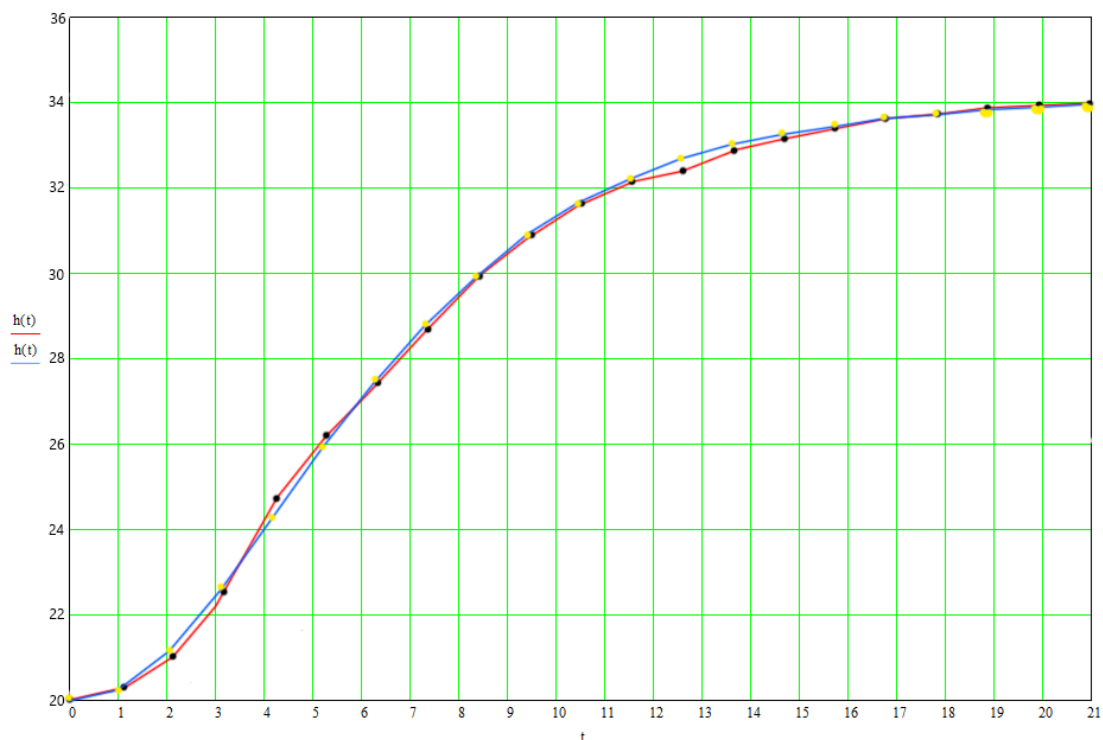


Рисунок 5.4 – перехідна характеристика

З рисунку 5.4 видно, що крива розгону отримана експериментально і аналітично співпадають, це означає, що їх можна вважати однаковими.

## 5.2 Розрахунок параметрів настроювання стандартного регулятора

Визначимо параметри типового регулятора за методом незатухаючих коливань (Циглера-Ніколса).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Проведемо розрахунок параметрів регулятора, що забезпечують оптимальне, за будь-яким критерієм якості, протікання перехідного процесу в системі. Структурна схема імітаційної моделі представлена на рисунку 5.5.

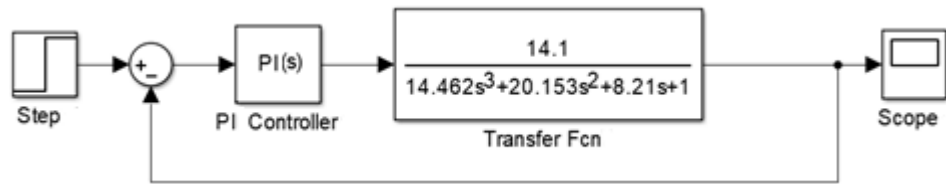


Рисунок 5.5 – Структурна схема моделювання з ПІ- регулятором

При  $k_0^* = 0.74$  отримали незатухаючий перехідний процес, представлений на рисунку 5.6.

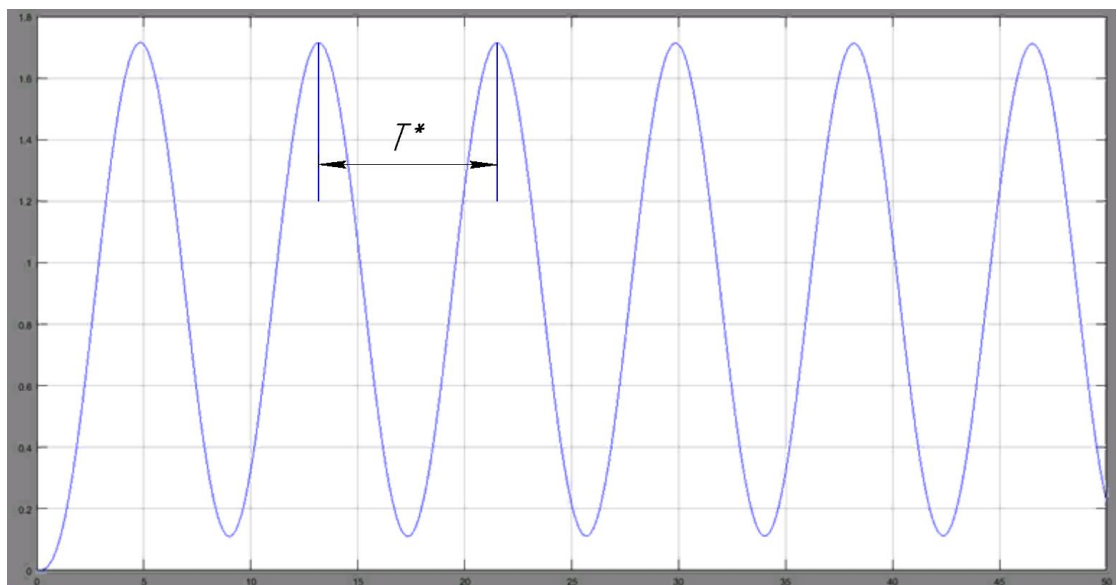


Рисунок 5.6 – Незатухаючі коливання при  $k_0^* = 0.74$

Критичне значення періоду коливань  $T^* = 8,3$  с

Для розрахунку ПІ-регулятора використаємо формули:

- коефіцієнт при пропорційній складовій  $k_0 = 0.45k_0^* * 0.74 = 0.333$ ;
- коефіцієнт при інтегральній складовій  $k_1$  отримаємо зі співвідношення

$$\frac{k_0}{k_1} = T^*/1,12, \text{ звідки } k_1 = \frac{k_0 * 1,12}{T^*} = \frac{0.74 * 1,12}{8,3} = 0.099;$$

Перевіримо розрахунок за допомогою імітаційного моделювання.

Структурна схема моделювання в середовищі MatLab (Simulink) системи управління з ПІ-регулятором, настроєним методом незатухаючих коливань (Циглера-Ніколса) представлена на рисунку 5.7.

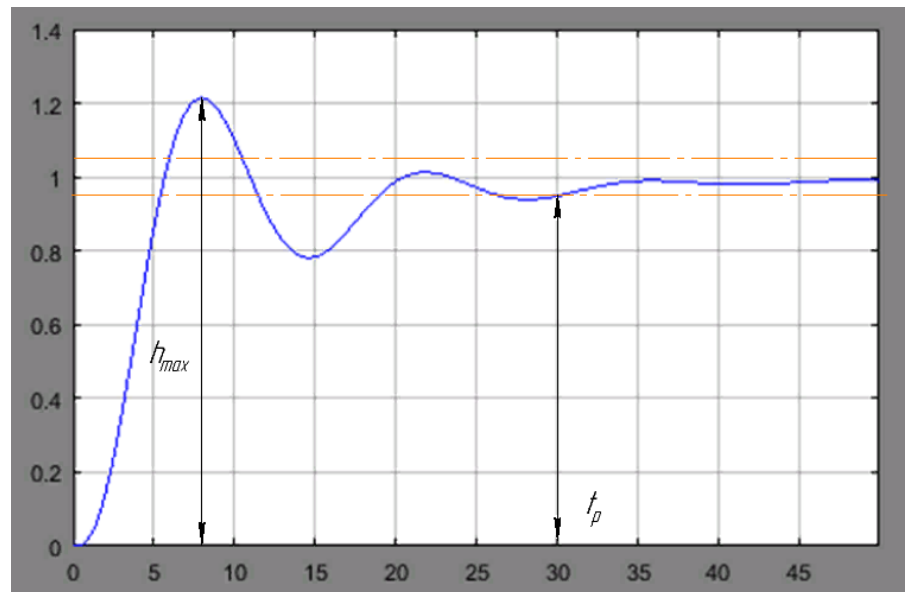


Рисунок 5.7 – Перехідний процес при розрахункових настройках

Аналізуючи перехідний процес, одержуємо такі показники якості:

а) час перехідного процесу:

$$t_p = 30 \text{ хв};$$

б) перерегулювання:

$$\sigma = 21 \%$$

Оскільки час перехідного процесу не задовольняє заданим критеріям якості технологічного процесу, .. Розрахуємо регулятор методом Солодовнікова

### 5.3 Синтез системи управління по каналу завдання методом логарифмічних частотних характеристик (методом Солодовнікова)

Побудова асимптотичної ЛАЧХ незмінної частини системи  $L_n(\omega)$  з передатною функцією об'єкта управління (5-1).

Використовуючи математичний пакет MathCad знаходимо корінь полінома знаменника передатної функції (5-1)

$$14.462 \cdot s^3 + 20.153 \cdot s^2 + 8.21 \cdot s + 1 \text{ solve} \longrightarrow \begin{pmatrix} -0.778 \\ -0.384 \\ -0.232 \end{pmatrix}$$

Попередньо проводимо аналіз передаточної функції об'єкта управління (5-1) у наступному порядку:

1) Поліном знаменника має три від'ємних кореня, кожний з яких відповідає співмножнику виду  $(s+s_i)$ ,

де:  $s_i$  -значення кореня.

Таким чином, знаменник можна представити у вигляді  $(s+0.778) \cdot (s+0.384) \cdot (s+0.232)$  і після перетворення з метою одержання вільних членів, рівних одиниці остаточно одержимо:

$$(1.3 \cdot s + 1) \cdot (2.6 \cdot s + 1) \cdot (4.31 \cdot s + 1).$$

2) Остаточно передатна функція об'єкта прийме вид:

$$W_n(s) = \frac{14.1}{(1.3 \cdot s + 1) \cdot (2.6 \cdot s + 1) \cdot (4.31 \cdot s + 1)} = \frac{k}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1) \cdot (T_3 \cdot s + 1)} \quad (5-3)$$

З виразу (3) знаходимо й запишемо постійні часу елементарних ланок  $T_1=1.3$ ,  $T_2=2.6$ ,  $T_3=4.31$  по них визначаємо частоти сполучення й розташовуємо їх в порядку зростання :

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{1}{T_3} = \frac{1}{4.31} = 0.232 \text{ хВ}^{-1}; \\ \omega_2 &= \frac{1}{T_2} = \frac{1}{2.6} = 0.38 \text{ хВ}^{-1}; \\ \omega_3 &= \frac{1}{T_1} = \frac{1}{1.3} = 0.78 \text{ хВ}^{-1}. \end{aligned} \quad (5-3)$$

1) Оскільки у складі передаточної функції об'єкта управління (3) відсутні інтегруючі ланки, низькочастотна асимптота ЛАЧХ буде мати початковий нахил 0 дБ/дек;

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

$$20 \lg k = 20 \cdot \lg(14.1) = 23.$$

де  $k$  – коефіцієнт підсилення незмінної частини САУ.

										Лист
										64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Застосовуючи правила побудови асимптот, будемо ЛАЧХ у наступному порядку:

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

2) від частоти сполучення  $\omega_2$  до частоти  $\omega_3$  будемо асимптоту з нахилом, збільшеним у порівнянні з попереднім на 20 дБ/дек, тобто з нахилом  $-20-20=-40$  дБ/дек, так як частота  $\omega_2$  пов'язана зі співмножником вигляду  $(Ts+1)^\alpha$  ( $\alpha=1$ ) у знаменнику передаточної функції;

3) від частоти сполучення  $\omega_3$  і до кінця будемо асимптоту з нахилом, збільшеним у порівнянні з попереднім на 20 дБ/дек, тобто з нахилом  $-40-20=-60$  дБ/дек, так як частота  $\omega_3$  пов'язана зі співмножником вигляду  $(Ts+1)^\alpha$  ( $\alpha=1$ ) у знаменнику передаточної функції.

Будемо асимптотичну ЛАЧХ незмінної частини системи по частотах (4) (рис.5.10, крива  $L_n(\omega)$ ).

Побудова низькочастотної частини бажаної асимптотичної ЛАЧХ

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

За завданням ніяких вимог до коефіцієнта  $k$  не пред'являється, тому низькочастотна частина бажаної ЛАЧХ так ж сама як і ЛАЧХ не змінна  $k = 14,1$ .

Вихідна незмінна система статична, а бажана повинна мати астатизм першого порядку, тоді початкова асимптота придбає нахил, що відповідає астатизму першого порядку -20 Дб/дек.

Фіксація низькочастотної асимптоти ЛАЧХ знаходиться на  $\omega = 1$  на рівні обумовленому з виразу.

$$20 \lg k = 20 \cdot \lg(14.1) = 23.$$

Через точку  $L(1) = 23$  проведемо асимптоту з нахилом -20 Дб/дек.

Побудова середньочастотної частини бажаної асимптотичної ЛАЧХ.

Визначення частоти зрізу  $\omega_3$  та побудова середньо частотної асимптоти бажаної ЛАЧХ.

									Лист
									65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

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  $P_{\max}$  і величинами перерегулювання  $\sigma$  і часу перехідного процесу  $t_p$ .

За заданим значенням перерегулювання  $\sigma=20\%$  за допомогою кривої  $\sigma(P_{\max})$  номограми (рис.5.8) знаходимо відповідне йому значення  $P_{\max}=1,08$ , за яким за допомогою другої кривої  $t_p(P_{\max})$  (рис.5.9) визначаємо значення часу перехідного процесу  $t_p=20$  хв, виражене через частоту зрізу  $\omega_3$  співвідношенням  $2,8\pi/\omega_3$ .

Частоту зрізу  $\omega_3$  визначаємо з наступного рівняння

$$\omega_3 = \frac{2,8 \cdot \pi}{t_p} = \frac{2,8 \cdot \pi}{2} = 3 \text{ хВ}^{-1}$$

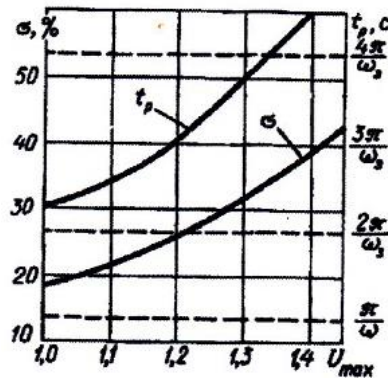


Рисунок 5.8 – Номограма якості Солодовнікова для астатичних систем

Проводимо через точку  $\omega_3=3 \text{ хВ}^{-1}$  на осі частот середньо частотну асимптоту з нахилом  $-20$  дБ/дек (рис.5.10).

Визначення діапазону частот середньочастотної частини ЛАЧХ

За номограмою (рис.5.9) та знайденим раніше значенням  $P_{\max}=1,08$  знаходимо необхідний запас по фазі  $\gamma_{\min}=55^\circ$  й відповідні йому ординати середньочастотної частини ЛАЧХ  $L_m=\pm 20$  дБ.



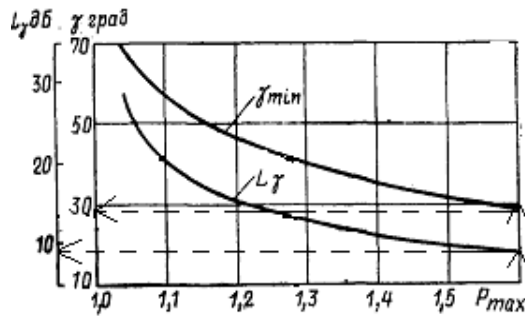


Рисунок 5.9 – Графік для визначення ширини середньо частотної асимптоти й необхідного надлишку фази

Лінії, проведені паралельно осі частот на рівні  $L_m = \pm 20$  дБ, дають у точках перетину із середньочастотною асимптотою частоти сполучення  $\omega_a = 0,3$  хв<sup>-1</sup> у низькочастотній частині бажаної ЛАЧХ і  $\omega_b = 30$  хв<sup>-1</sup> у високочастотній (рис.5.10).

в) Спряження низькочастотної і середньочастотної частин бажаної ЛАЧХ зробимо в точці  $\omega_a$ . Через цю точку проводимо асимптоту з нахилом -40 дБ/дек

і в точці перетину низькочастотної асимптоти з нахилом -20дБ/дек одержимо точку сполучення  $\omega_{н1} = 0,06$ хв<sup>-1</sup>

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

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

Високочастотну частину сполучаємо в точці  $\omega_b$ , через яку проводимо асимптоту за нахилом -60 дБ/дек, такий же нахил має и високочастотна частина незмінної ЛАЧХ об'єкта керування.

Побудована у такий спосіб бажана ЛАЧХ розімкнутої системи управління  $L_{ж}(\omega)$  представлена на рис.5.10.

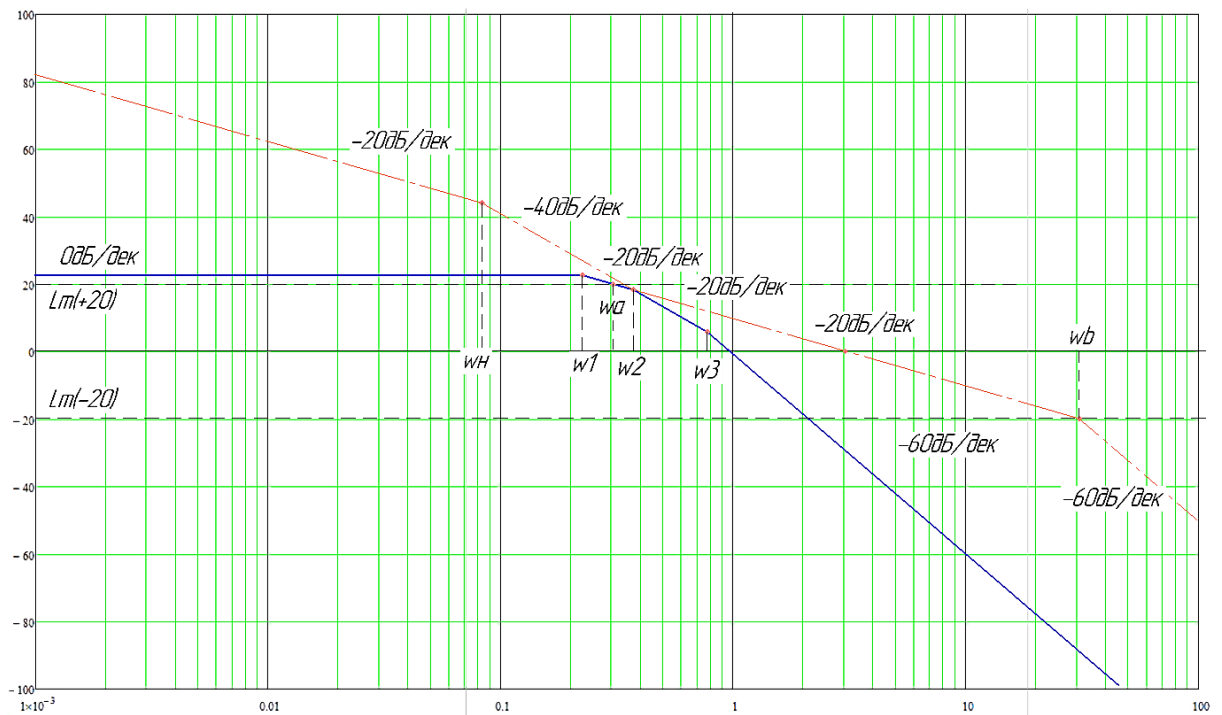


Рисунок 5.10 – Бажана і незмінна асимптотичні ЛАЧХ аналогової системи

### 5.3.4 Одержання передаточної функції розімкненого ланцюга бажаної системи

Для одержання передаточної функції розімкненого ланцюга бажаної системи  $W_{\text{ж}}(\omega)$  за видом отриманої бажаної асимптотичної ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  застосуємо методику, що впливає з методики побудови асимптотичної ЛАЧХ за видом її передаточної функції:

1) визначаємо частоти сполучення  $\omega_i$  побудованої бажаної ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  і розташовуємо їх у порядку зростання:  $\omega_{\text{н1}} = 0,06 \text{ хв}^{-1}$ ;  $\omega_{\text{а}} = 0,3 \text{ хв}^{-1}$ ;  $\omega_{\text{в}} = 30 \text{ хв}^{-1}$ ;

2) визначаємо порядок астатизму бажаної системи за першим нахилом низькочастотної асимптоти бажаної ЛАЧХ. Так як перший нахил становить  $-20 \text{ дБ/дек}$ , дана система має астатизм першого порядку. Що відповідає появі співмножника  $\frac{1}{s}$  у передатній функції бажаної ЛАЧХ;

3) визначаємо коефіцієнт підсилення розімкненої системи, вимірявши ординату низькочастотної асимптоти  $L_{\text{ж}}(\omega)$  на частоті  $1 \text{ с}^{-1}$ , із подальшим використанням формули

$$k = 23 \frac{L_{\text{ж}}(1)}{20} = 23 \frac{22}{20} = 14 .$$

3) знаходимо вирази для співмножників чисельника і знаменника передаточної функції розімкнутої системи, послідовно аналізуючи

4) поводження асимптотичної ЛАЧХ:

а) після частоти сполучення  $\omega_{н1}=0,07 \text{ хв}^{-1}$  нахил асимптоти збільшується на 20дБ/дек і став -40 дБ/дек, що відповідає наявності у знаменнику співмножника

$$\frac{1}{\omega_{н1}} s + 1 = \frac{1}{0,06} s + 1 = 16,67s + 1; \quad (3-6)$$

б) після частоти сполучення  $\omega_a=0,3 \text{ хв}^{-1}$  нахил асимптоти зменшився на 20дБ/дек, що відповідає наявності у чисельнику співмножника

$$\frac{1}{\omega_a} s + 1 = \frac{1}{0,3} s + 1 = 3,33s + 1; \quad (3-7)$$

в) після частоти сполучення  $\omega_b=30 \text{ хв}^{-1}$  нахил асимптоти збільшився на 20дБ/дек, що відповідає наявності у знаменнику співмножника

$$\frac{1}{\omega_b} s + 1 = \frac{1}{30} s + 1 = 0,03s + 1; \quad (3-8)$$

Таким чином, передаточна функція бажаної розімкненої системи матиме вигляд

$$W_{ж}(s) = \frac{14 \cdot (3,33s+1)}{s \cdot (16,67s+1) \cdot (0,03s+1)^2} \cdot \quad (3-9)$$

Визначення фактичного надлишку фази в області значущих частот бажаної ЛАЧХ

Для перевірки відповідності запасу стійкості тому, що вимагається, будемо у діапазоні  $\omega_a < \omega < \omega_b$  одним з відомих способів (з використанням математичного пакету MatLab) логарифмічну фазочастотну характеристику бажаної розімкненої системи (рис.5.11). Як видно з побудови (запас по фазі визначається на частоті зрізу системи) отриманий фактичний надлишок фази складає  $\gamma=73^\circ$ , що цілком достатньо.

									Лист
									69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

```

>> sys=tf([46.953 14.1],[0.018 1.1 16.736 1 0]);
>> w=0:.1:10;
>> H=freqresp(sys,w);
>> F=angle(H(:));
>> bode(sys)

```

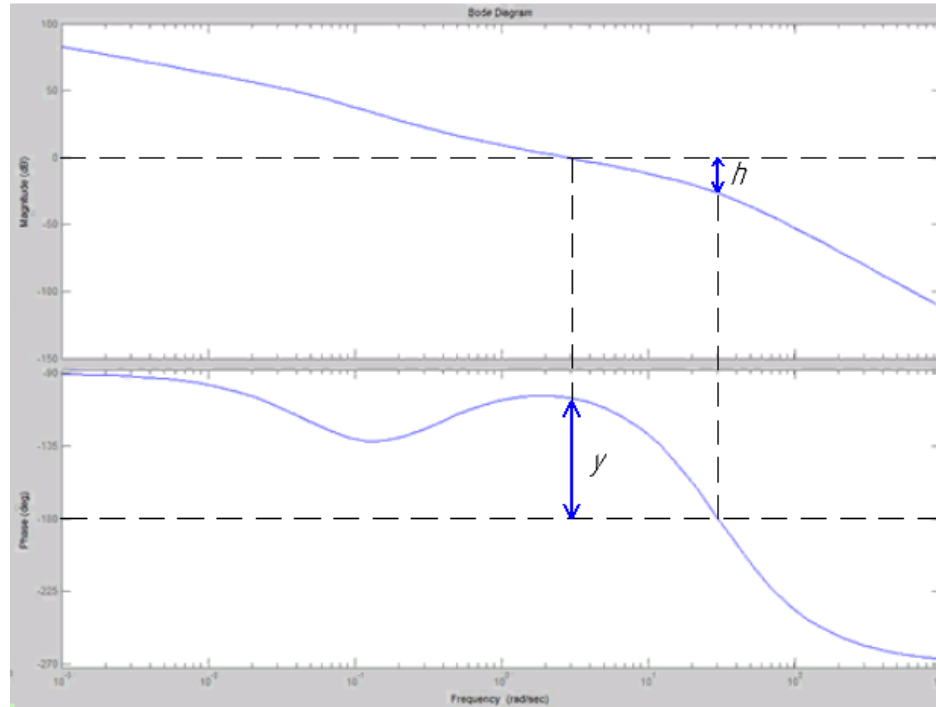


Рисунок 5.11 – ЛАФЧХ бажаної розімкненої САУ

Моделювання синтезованої системи і визначення показників якості перехідного процесу.

Використовуючи вираз передаточної функції бажаної (скоригованої) розімкненої системи, одержуємо перехідну характеристику замкненої системи, яка представлена на рис.5.12. Для цього використаємо математичний пакет MathCad.

$$W(s) := \frac{14.1 \cdot (3.33 - s + 1) \cdot 1}{s \cdot (16.67 - s + 1) \cdot (0.033 - s + 1)^2} \quad Wz(s) := \frac{W(s)}{1 + W(s)} \quad (3-10)$$

$$h(t) := 0.119 \cdot e^{-0.332 \cdot t} + -1.48 \cdot e^{-3.27 \cdot t} + -0.000641 \cdot e^{-30.3 \cdot t} + 0.000275 \cdot e^{-0.06 \cdot t} + 0.459 \cdot e^{-18.6 \cdot t} + -0.0973 \cdot e^{-38.4 \cdot t} + -0.0184 \cdot t \cdot e^{-30.3 \cdot t} + 1.0$$

Данна функція можливо буде переведена в цифровий фільтр, після цього дану програму можна використовувати під час програмування ПЛК 160.

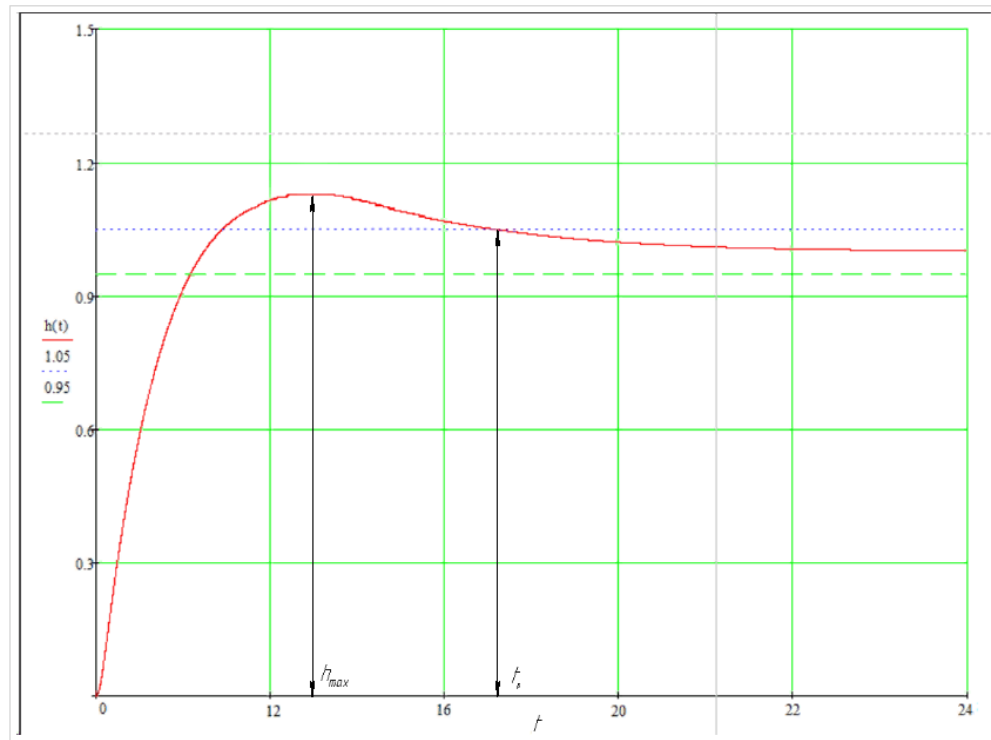


Рисунок 5.12 – Перехідний процес у скоригованій системі

Аналізуючи перехідний процес, одержуємо такі показники якості:

а) час перехідного процесу:

$$t_p = 17 \text{ хв};$$

б) перерегулювання:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} = \frac{1.13 - 1}{1} = 13 \%$$

Висновок: отримані показники якості перехідного процесу задовольняють заданим показникам, а значить, синтез виконано успішно.

## 5.4 Висновок

Порівнявши характеристики показників якості наведених в таблиці 5.1 можна зробити висновок, що параметри регулятора розраховані методом Солодовнікова, на відмінну від розрахунку методом незатухаючих коливань має показники котрі задовольняють якість перехідного процесу. Тому в якості регулятора виберемо передаточну функцію регулятора отриману методом Логарифмічно-амплітудо-частотних характеристик.

Таблиця 5.1 – Порівняльні характеристики показників якості системи

Метод синтезу	Показник якості	Одиниця виміру	Чисельне значення
Солодовнікова	Перерегулювання	$\sigma$ , %	13
	Час перехідного процесу	$t_p$ , хв	17
Незатухаючих коливань	Перерегулювання	$\sigma$ , %	21
	Час перехідного процесу	$t_p$ , хв	30



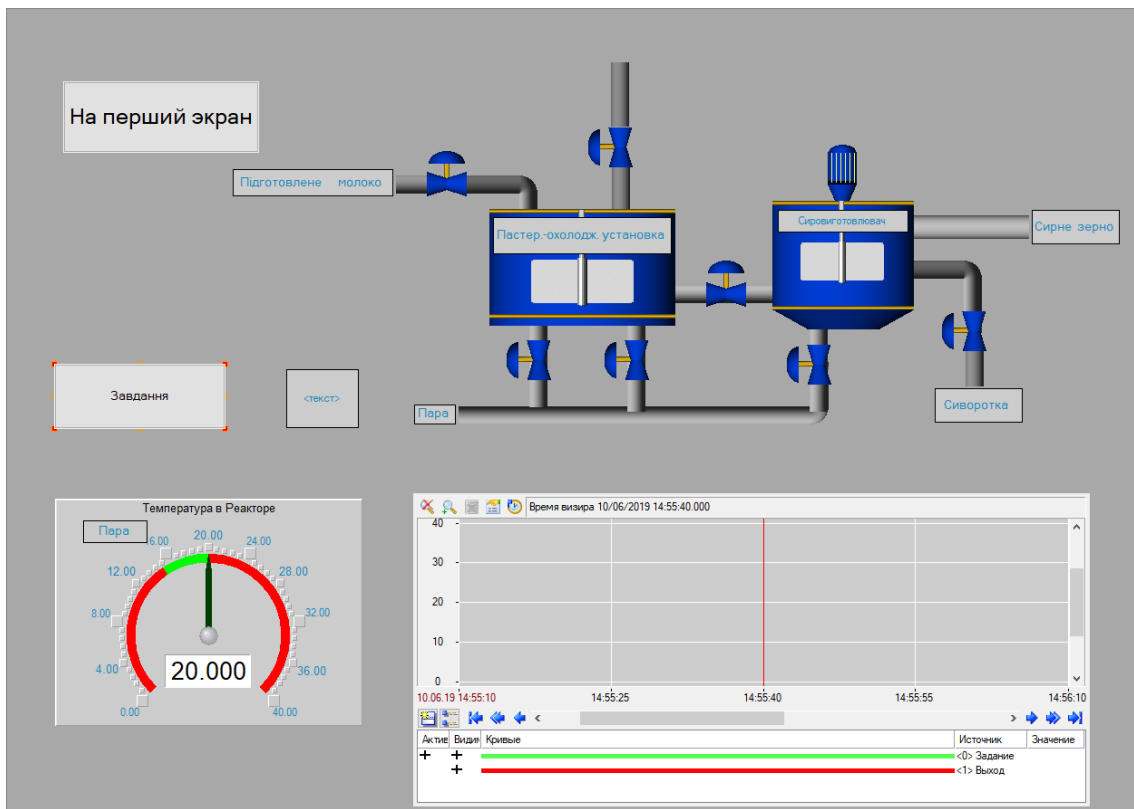


Рисунок 6.2 – Контур управління температурою в сировиготовувачі

## 5.2 Створення програмного забезпечення для контролера

Створимо програму, що реалізує керуючі функції – регулювання температури в пастеризаційно-охолоджувальній установці; регулювання витрати підготовленого молока.

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 об'єкта (OBJ)».



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

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

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

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

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

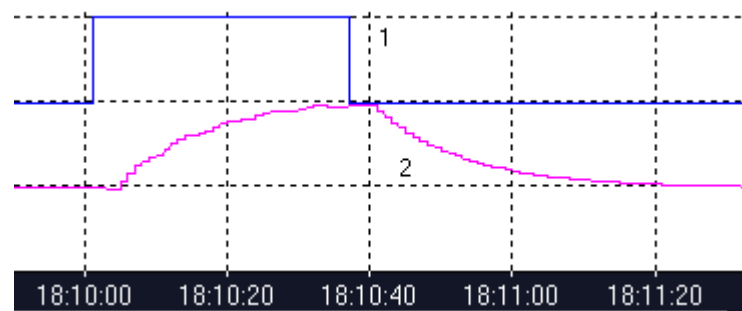


Рисунок 5.2 - Робота модуля ОВJ

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.

Блок для імітації роботи сировиготовлювача наведений на рисунку 6.4

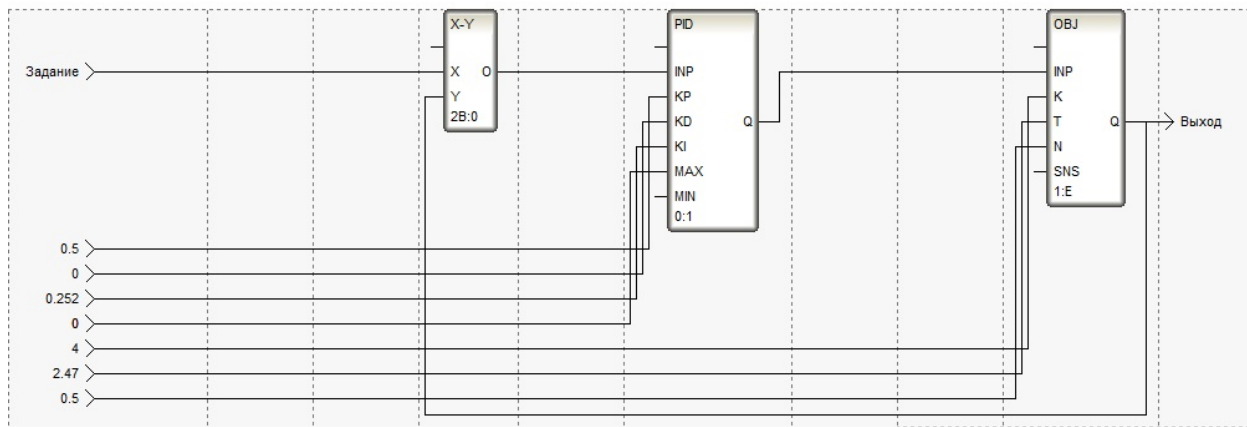


Рисунок 6.4 - Блок для імітації роботи сировиготовлювача

### 6.3 Перевірка роботи системи

Розглянута АСУТП спиралися на цілком конкретні апаратні засоби (плата вводу / виводу, виконавчі органи, сигнали від датчиків). Для перевірки працездатності створеного проекту вдамося до імітації технологічного об'єкта.

Для імітації АСУТП використовуємо запусимо процес симуляції. Для запуску симуляції необхідно задати значення в поле «завдання» та підтвердити його. Як тільки програму отримує завдання, віртуальний контролер відпрацює закон регулювання і виводить систему на задане значення, цей процес представлений на рисунку 6.5

У лівому нижньому куті екрана АРМ відображається шкала температури в баку кристалізаторі. На ній видно як система відпрацьовує рівноваги вплив.

У правій нижній частині екрана відображаються графіки зміни параметри, які забезпечує реєстрацію значень.

Робота моделі представлена на рисунку 6.5.

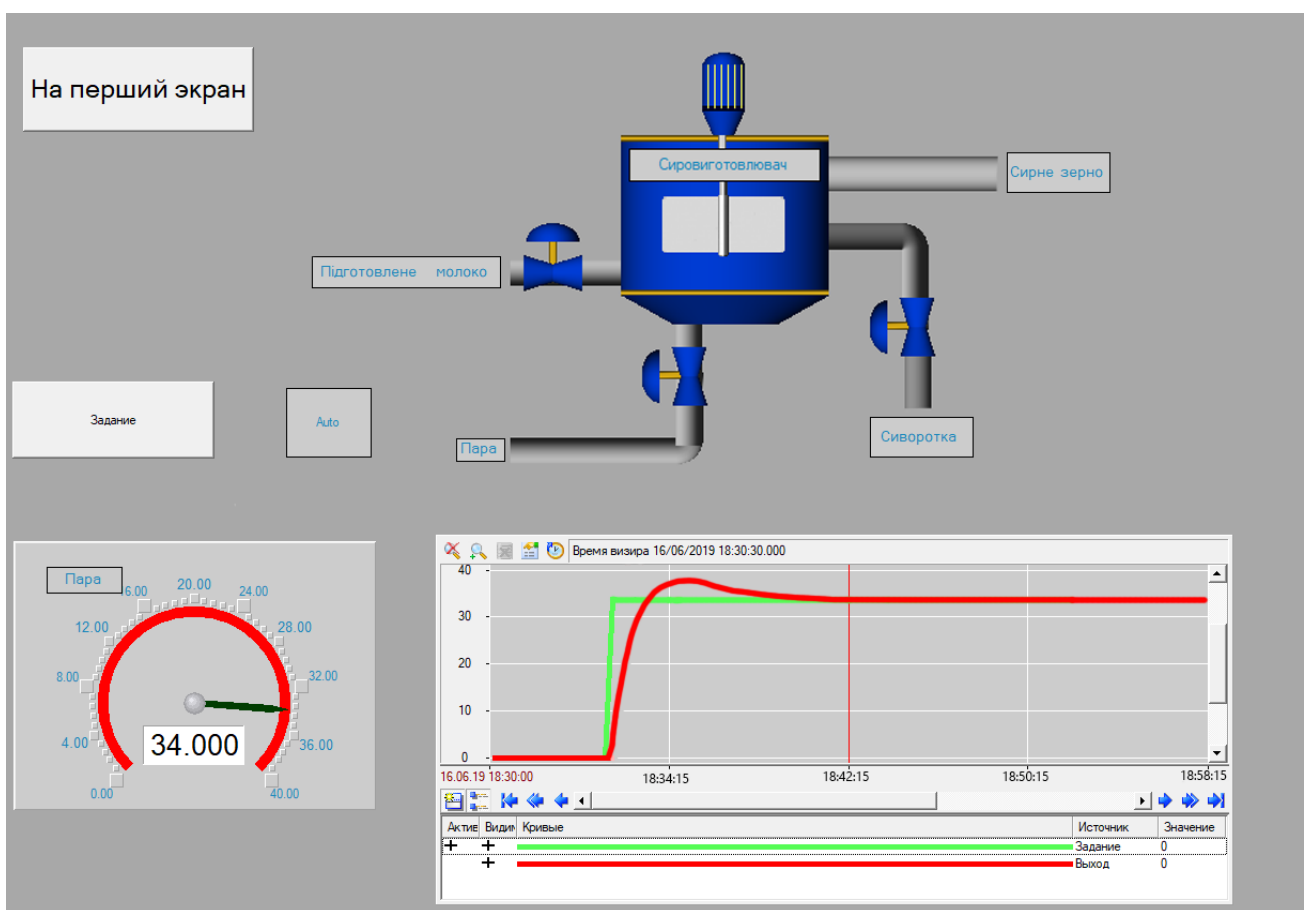


Рисунок 6.5 - Екран симуляції контуру управління температури в сировиготовлювачі

## 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.

									Лист
									78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

## СИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Муромцев Д.И. Интернет Вещей: Введение в программирование на arduino / Д.И. Муромцев, В.Н. Шматков - СПб: Университет ИТМО, 2018 – 36с.
2. Романова Е.Б. Основы конструирования электронных средств: практикум / Е.Б. Романова, О.В. Кузнецова, А.Ю. Кузнецов - СПб: Университет ИТМО, 2017 – 53с.
3. Ключев А. С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А. С. Ключев, Б. В. Глазов, А. Х. Дубровский, А. А. Ключев. Издательство «Альянс» 2016. – 394 с.
4. Bardavelidze A. Computer Modeling of Automation Systems / A. Bardavelidze, K. Bardavelidze, I. Basheleishvili - LAP Lambert Academic Publishing , 2019 – 112с.
5. Пащенко Ф.Ф. Теория автоматического управления (с использованием MATLAB - SIMULINK). Учебное пособие / Ф.Ф. Пащенко , И.Ю. Кудинов - Лань, 2016 – 256с.
6. Поляк Б.Т. Математическая теория автоматического управления – М.: URSS, 2016 – 504с.
7. Сольнищев Р.И., Автоматизация проектирования систем автоматического управления —М: Высш. шк., 1991. — 335 с.
8. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування /М.Г. Попович, О.Б. Ковальчук – К.: Либідь, 1997. – 542 с.
9. Каталог продукции ОВЕН «Оборудование для автоматизации» - Харьков: ОВЕН, 2017. – 419 с.
10. Francis Perea, Arduino Essentials/ Perea F. : Packt Publishing, 2015 – 206 с.
- 11 Толбатов В.А. Методичні вказівки до змісту та структури кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітній ступінь магістр денної, заочної та дистанційної форм навчання – Суми: СумДУ, 2017 – 30 с.

										СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							79

12. Осипов М. О. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004 – 592с.

13. Матеріали ІІІ Всеукраїнської науково-методичної конференції «Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи» - Суми: Вид-во СумДУ, 2018 – 230с.

14. Техничко-економическое обоснование дипломных проектов / под ред.В.К. Беклешова. –М.: Высш.шк., 1991. – 247 с.

					СУ.мдн-91ш	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80