

Міністерство освіти і науки України  
Шосткинський інститут  
Сумського державного університету  
Кафедра системотехніки і інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри СІТ  
Худолей Г.М.  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

"Система управління технологічної лінії виробництва вершкового масла"

Керівник проекту  
(зав кафедрою СІТ, к.т.н)

Г.М.Худолей

Дипломник:  
Студент групи Су-91ш-0

Д.В.Прокудін

## РЕФЕРАТ

Прокудін Давид Володимирович. Система управління технологічної лінії виробництва вершкового масла. Кваліфікаційна робота бакалавра. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2023 рік.

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 67 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 40 рисунків, 15 таблиці; конструкторську документацію, яка містить 1 креслення.

Розроблено технічне завдання: система управління технологічної лінії виробництва вершкового масла на базі програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02). Розроблено алгоритм управління.

Ключові слова: програмований логічний контролер, технологічний процес, система управління, автоматизація системи управління.

## ABSTRACT

Prokudin David Volodimirovich. Management system of the technological line of butter production. Bachelor's qualifying work. Shostka Institute of Sumy State University. Shostka, 2023.

The bachelor's qualification work contains 67 sheets of explanatory note, including 40 figures, 15 tables; design documentation, which contains 1 drawing.

The technical task was developed: the control system of the technological line of butter production based on the programmable logic controller OVEN PLC160-24-A-M (M02).

A management algorithm has been developed.

Keywords: programmable logic controller, technological process, control system, control system automation.

СПИСОК СКОРОЧНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	7
1.1 Опис технологічного процесу.....	7
1.2 Особливості технологічного процесу.....	12
1.3 Опис окремих частин технологічного процесу.....	14
1.4 Контроль якості.....	18
2 ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	24
3 ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ.....	25
3.1 Канали контролю та управління.....	25
3.2 Контури управління.....	25
4 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	29
4.1 Вибір датчиків.....	29
4.2 Вибір контролера.....	43
5 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	51
6 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	54
6.1 Отримання математичного опису об'єкта управління.....	54
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	64

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ

ТП – технологічний процес.

АСУ – автоматизована система управління.

ОУ – об'єкт управління.

ПЛК – програмований логічний контролер.

ПК – персональний комп'ютер.

ПЧ - перетворювач частоти.

ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика.

## ВСТУП

В наш час так як і в інші дні однією з важливих галузей виробництва представляє харчова промисловість. І виробництво вершкового масла є невід'ємною складовою представленої галузі.

Вершкове масло[1] як харчовий продукт є собою концентрат молочного жиру. Молочний жир відрізняється цінними біологічними та смаковими якістьми. Він включає оптимально збалансований комплекс жирних кислот, містить значну кількість жиророзчинних вітамінів, має низьку температуру плавлення, легко засвоюється організмом. Від якості молока і вершків залежить смак і запах майбутнього масла, терміни його зберігання. Тому, вибір продуктів повинен бути вкрай ретельний.

У харчовій промисловості деякі технологічні процеси мають свої особливості, що ускладнює технологію:

- Великі швидкості протікання;
- Чутливість до змін технологічних параметрів;
- Деяко високі вимоги до санітарії та гігієни.

Тому, через те що в силу своїх особливостей людина не в змозі підтримувати на високому рівні весь перебіг технологічних процесів, приділяється увага для комплексної автоматизації.

Завдяки цьому отримують велику точність вимірювання, безперервний час безвідмовної роботи тощо.

Також, завдяки АСУ знижується кількість бракованої продукції, зменшується або навіть зводиться нанівець виникнення аварійних ситуацій.

Так як технології виробництва вершкового масла почали з'являтися набагато пізніше, тому зараз існує багато технологій. Спираючись на цю інформацію можна зробити висновок, що найкраще всього для вдосконалення виробництва робити модернізацію, тобто замість застарілого або дорогоцінного обладнання встановлення приладів більш дешевих та нових.

Після проведення модернізації засобів управління можна отримати ряд умов. А саме: підвищення ефективності підприємства, підвищення продуктивності праці, а також зменшення енергетичних витрат.

Основною задачею проекту є побудування системи яка зможе забезпечити:

- підвищення основних техніко-економічних показників технологічного процесу;
- забезпечення необхідного рівня безпеки процесу виготовлення вершкового масла.

Робота виконується на основі завдання кафедри системотехніки та інформаційних технологій Шосткинського інституту СумДУ.

Основний зміст роботи викладено в шістьох розділах, де представлено конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації, вибір параметрів технологічного процесу, вибір каналів контролю і управління, вибір засобів автоматизації, розроблений алгоритм системи, проведений розрахунок контуру управління температурою, розроблена функціональна схема автоматизації.

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ

## 1.1 Опис технологічного процесу

Виробництво вершкового масла способом збивання складається з наступних стадій:

- 1) приймання та зберігання вершків;
- 2) теплової обробки вершків та їх дозрівання;
- 3) збивання вершків, промивання, посолки, механічної обробки олії;
- 4) фасування та зберігання масла.

Технологічний процес виробництва масла[4] способом збивання (рисунок 1.1) складає лінії, представленої на рисунку 1.2.

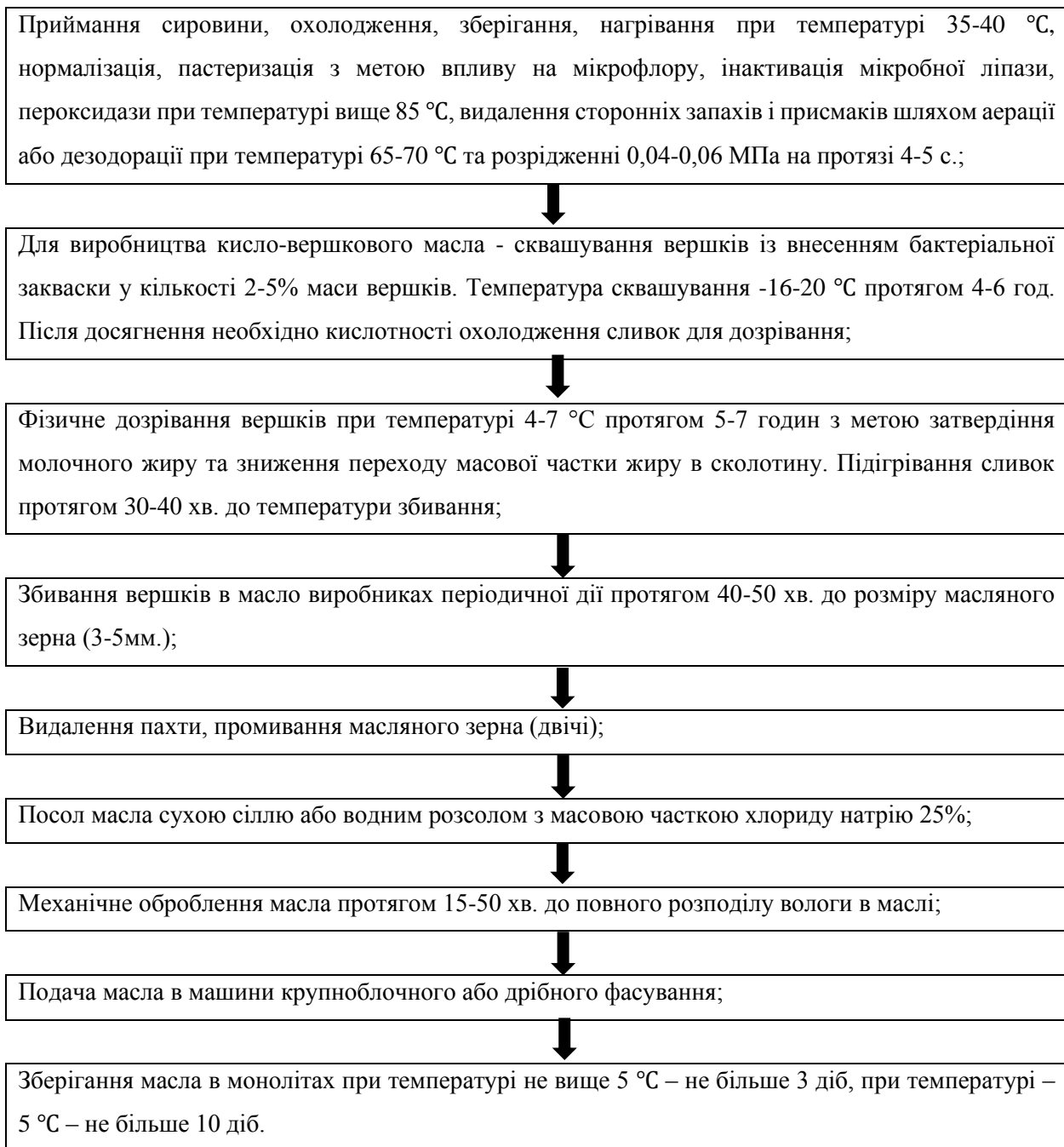


Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу виробництва вершкового масла

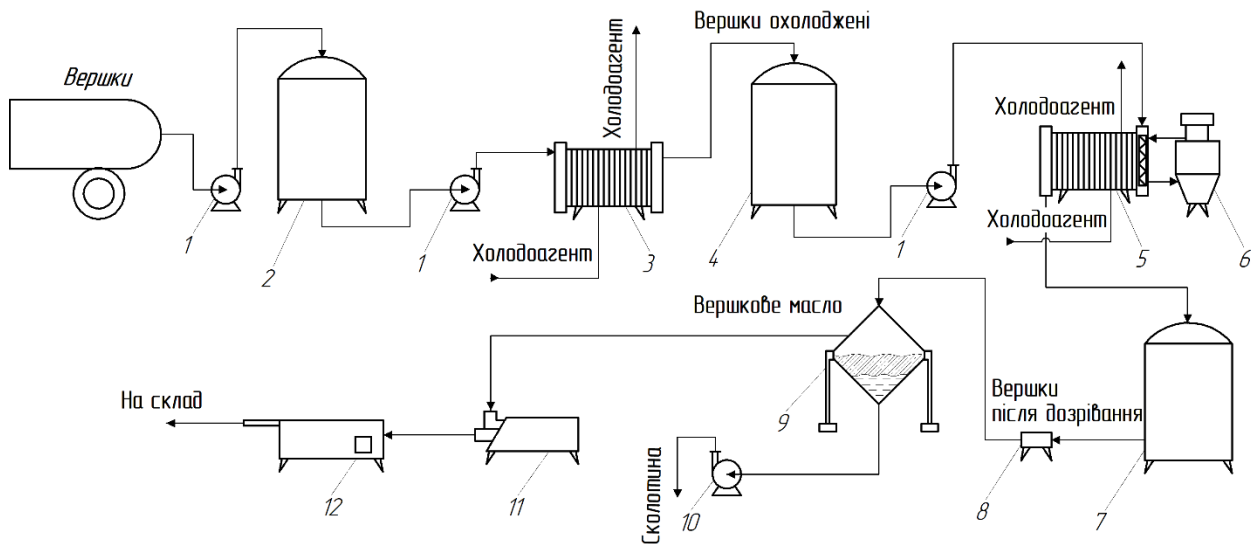


Рисунок 1.2 – Технологічна схема лінії виробництва вершкового масла:

1 - насос; 2 - приймальна ванна; 3 - пластинчастий теплообмінник; 4 - ємність для вершків; 5 - пластинчаста пастеризаційно-охолоджувальна установка; 6 - дезодоратор; 7 - ємність для дозрівання вершків; 8 - гвинтовий насос; 9 - масло виробник періодичної дії; 10 - насос для пахти; 11 - гомогенізатор-пластифікатор; 12 - машина для фасування масла в короби;

Технологічний процес враховуючи рисунок 1.2 складається з таких пунктів:

- прийняті вершки за допомогою насосів 1 направляється в ємність 2;
- прийняті вершки направляються на підігрів у пластинчастий теплообмінник 3;
- вершки з відділень надходять у ємність 4 для проміжного зберігання, звідки їх направляють на пластинчасту пастеризаційно-охолоджувальну установку 5 для вершків з дозатором 6;
- після пастеризації, дезодорації та охолодження вершки надходять у ємність 7;
- вершки після фізичного дозрівання гвинтовим насосом 8 направляють до масловиробника періодичної дії 9, де здійснюється збивання вершків, промивання масляного зерна, посолка і обробка масла. Вершки у масловиробнику періодичної дії 9 подаються під вакуумом або за допомогою насосів і збиваються до отримання масляного зерна розміром 3...5 мм. Після цього випускають пахту, промивають масляне зерно та здійснюють посолку масла сухою сіллю або розсолон;
- проводиться механічна обробку масла для відділення вологи та утворення пласта масла. Для поліпшення консистенції та розподілу вологи масло обробляють у гомогенізаторі-пластифікаторі 11;
- готове масло вивантажується в машину для фасування масла короба 12;

Сутність способу збивання[5] полягає в отриманні масляного зерна з вершків з подальшим його механічною обробкою в масло. Вершки збивають в масло виробниках періодичної дії.

Мета охолодження та фізичного дозрівання вершків - перевести частину жиру (не менше 32-35%) у твердий стан. При охолодженні вершків утворюються центри кристалізації, відбувається



часткове затвердіння гліцеридів та створюються несприятливі умови для сторонньої мікрофлори. Застосовують тривалий та прискорений режими підготовки вершків до збивання. При тривалому режимі витримують вершки від 5 до 20 год при температурах масової кристалізації гліцеридів молочного жиру. Застосовують одно- та багатоступінчасте охолодження.

При одноступінчастому режимі вершки швидко охолоджують до температури дозрівання та витримують при цій температурі до збивання; при багатоступінчастому - вершки охолоджують поетапно при двох і більше температурних режимах.

В осінньо-зимовий період вершки після пастеризації охолоджують до 8 °С і витримують при цій температурі 2 години, потім підігрівають до 19 °С, витримують 5-7 год, охолоджують до 16 °С і витримують протягом 10-12 год.

У весняно-літній період гарячі вершки охолоджують до 19-20 °С, витримують 6-8 год, потім охолоджують до 15-16 °С, витримують 12-14 год і знову охолоджують до температури збивання 7-9 °С і витримують не менше 1 год.

При прискореному режимі підготовки скорочується тривалість процесу, знижуються енерговитрати та підвищується ступінь механізації виробництва. Гарячі вершки охолоджують до 18-20 °С і в розпорошеному стані (розмір частинок близько 0,15 мкм) подають в апарат, де вони в атмосфері парів азоту миттєво охолоджуються до температури 2-4 °С. Охолоджені вершки надходять у накопичувальну ємність, де їх перемішують протягом 6 хв, підігрівають до температури збивання і перед подачею в масло виробник витримують 20-30 хв.

Збивання вершків полягає в агрегації (злипання) жирових кульок вершків, що закінчується утворенням масляного зерна.

Один із факторів отримання масляного зерна – температура збивання вершків. Вона впливає на тривалість їх збивання, масову частку жиру в сколотині та консистенцію масла. У виробничих умовах вершки збивають за 12— 16 °С. В осінньо-зимовий період року температуру збивання вершків підвищують на 1-1,5 °С. Зниження температури збільшує тривалість збивання, що веде до одержання масла з невиробленою вологою та засаленою консистенцією. Підвищення температури збивання підвищує масову частку жиру в сколотині, і масло має м'яку консистенцію, що мажуться. Тривалість збивання вершків залежить від здатності їх спінювання та швидкості руйнування піни. Для прискорення збивання слід підвищити пінистість вершків, знизити стійкість піни, що утворюється, і створити сприятливі умови для її руйнування. Однак при підвищенні пінистості вершків можливе збільшення тривалості збивання. При рясному спінюванні (причиною може бути попадання в вершки соди) весь обсяг масла виробника може бути заповнений піною, через що збивання вершків не відбувається.

Тривалість збивання вершків залежить також від масової частки жиру, зі збільшенням якої скорочується тривалість збивання і підвищується масова частка жиру в сколотині. Це пов'язано з

тим, що зі збільшенням масової частки жиру у вершках у них одночасно збільшується кількість дрібних жирових кульок в одиниці об'єму, які переходять у сколотину. З підвищенням масової частки жиру у вершках одночасно зростає в'язкість, причому особливо різко – на стадії утворення структурованої піни. Іноді в'язкість вершків може збільшуватися настільки, що вони прилипають до стінок барабана масло виробника і обертаються разом з ним, в результаті припиняється перемішування вершків і, як наслідок, масляне зерно не утворюється. Щоб уникнути цього, обмежують масову частку жиру в вершках (наприклад, при збиванні в масло виробниках періодичної дії не вище 37%).

У масло виробників періодичної дії збивання вершків відбувається в результаті їх гравітаційного перемішування. При обертанні барабана масло виробника, заповненого на 30-50%, вершки спочатку піднімаються на деяку висоту, а потім падають під дією сили тяжіння, піддаючись сильному механічному впливу. Висота підйому вершків, тиск, стан їх поверхні визначаються розмірами барабана і частотою його обертання. Обробка масляного зерна і перетворення його на пласт здійснюються в результаті багаторазового падіння грудок масла при обертанні барабана масло виробника.

Частота обертання барабана масло виробника періодичної дії повинна забезпечувати підйом вершків на максимально можливу висоту та їх падіння. Ця умова виконується тоді, коли прискорення сили тяжіння перевищує відцентрове прискорення.

Для збивання вершків в масло виробника періодичної дії необхідно оптимальне заповнення барабана. Рекомендується наступний ступінь заповнення барабана масло виробника залежно від масової частки жиру у вершках: при масовій частці жиру до 37% ступінь заповнення має бути 40—50% геометричної місткості барабана, а при жирності понад 37% — 35%. Мінімальне заповнення барабана масло виробника становить 25%.

Промивка масляного зерна - операція, що впливає на смак, запах, консистенцію та стійкість масла при його зберіганні. Відповідно до чинної технологічної інструкції промивання масляного зерна не є обов'язковим. При використанні високоякісних вершків плазма має високу антиокислювальну здатність; якщо вона добре диспергована в моноліті масла, промивання можна виключити, що не вплине на стійкість. При виробленні масла з вершків, що мають виражений кормовий присмак і запах, що концентруються в плазмі, промивання масляного зерна обов'язкове. У масло виробників періодичної дії масляне зерно промивають після видалення сколотини зрошенням або ополіскують.

Масло солять сухим та мокрим (розсолон) способами. Для цього застосовують кухонну сіль вакуумного вироблення з кристалами розміром до 0,8 мм.

Сухий спосіб застосовують при використанні масляних виробників періодичної дії, а мокрий - при використанні апаратів як періодичної, так і безперервної дії. При сухому способі сіль вносять безпосередньо в масляне зерно або напіввіджатий масляний пласт.

Переваги посолу в пласті:

- підвищується ступінь використання солі до 97%;
- зменшується похибка при розрахунку солі, необхідної для посолу, оскільки масову частку вологи у пласті можна визначити точніше, ніж у зерні.

При мокрому посолі (розсолі) продукт заздалегідь вносять розсіл з розрахунку 10—12 л на кожні 100 кг масла. Для приготування розсолу беруть 1 кг солі кожні 2,8 л води. Розсіл пастеризують, дають відстоятися протягом 1 години, потім фільтрують і охолоджують. При застосуванні масла виробників періодичної дії розсіл вносять після видалення сколотини або промивної води в кількості 10-15% по відношенню до маси масляного зерна (пласту) і опрацьовують при закритих кранах в люку масло виробника. Після кількох віджимань (8-15 разів) розсіл зливають. Потім масло виробник вносять такої ж кількості розсолу, що залишився і вробляють його до отримання необхідного вмісту солі в маслі. Після цього розсіл зливають і закінчують обробку масла.

Механічну обробку масляного зерна застосовують для формування пласта масла з розрізнених частин масляного зерна, а також рівномірного змішування компонентів, усереднення складу та пластифікації продукту, що впливає на його смакові якості, консистенцію, стійкість у зберіганні та визначає товарні показники готового продукту. Механічну обробку масляного зерна починають відразу після відтискання масляного пласта та зливу сколотини або промивної води.

Показник завершеності механічної обробки – ступінь дисперсності крапель плазми на межі зіткнення її з жиром. Для масла, що виробляється збиванням в масло виробниках як періодичної, так і безперервної дії, цей показник відповідно становить 1,28 та 1,37-1,41 м<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>.

Ступінь дисперсності плазми в маслі визначають індикаторними папірцями, на яких друкується розмір крапель та їх розподіл на зрізі моноліту продукту.

Поверхня добре обробленого масла суха на вигляд, з невидимою дрібнодисперговою вологою. Таке масло можна отримати з твердого масляного зерна при інтенсивній його механічній обробці, особливо на завершальному етапі. У м'якому масляному зерні, що містить мало тугоплавкого твердого жиру, неможливо досягти однакового впливу на всі шари оброблюваного продукту, а отже, і рівномірного диспергування вологи в моноліті. При цьому в маслі залишаться канали, що з'єднують краплі плазми, внаслідок чого поряд з безперервною жировою фазою в ньому збережеться безперервне водяне середовище.

При виробленні масла в масло виробниках періодичної дії для диспергування плазми та пластифікації масла використовують гомогенізатори. Однак при достатній механічній обробці

масляного зерна гомогенізація недоцільна, тому що це може бути причиною вад масла (м'яка, засалена консистенція та знижена термостійкість).

Вершкове масло, виготовлене збиванням вершків, фасують після його виходу з масло виробника, формуючи великі моноліти та дрібні брикети різної форми та маси (від 10-15 до 50-100 г). Як тару для масла використовують дерев'яні ящики та картонні коробки. Внутрішню поверхню їх перед наповненням масла вистилають пакувальним матеріалом: пергаментом, кашованою фольгою, полімерними плівками, дозволеними для контакту з маслом, та ін.

Ящики (короба) з маслом направляють у камеру охолодження та зберігання, де їх укладають у 3-4 ряди по висоті. Для прискорення охолодження масла між рядами ящиків укладають тонкі дерев'яні рейки. Після затвердіння масла (зазвичай наступного дня) ящики укладають штабелями висотою до восьми ящиків.

Масло з масовою часткою вологи 16% можна витримувати перед фасуванням 1-3ч при температурі 12-15°C. У осінньо-зимовий період температура масла повинна відповідати 14—16 °С, у весняно-літній — 13—15 °С. Масло з масовою часткою вологи 16 і 20% можна зберігати при негативних температурах до фасування протягом 60 діб. Ящики (коробки) з фасованим маслом поміщають у холодильну камеру для швидкого охолодження та зберігання (до відвантаження), розкладаючи їх у шаховому порядку.

## 1.2 Особливості технологічного процесу

Маючі особливості технологічного процесу методом збивання вершків[6] виробляють солодко вершкове, кисловершкове, селянське масло.

Солодко вершкове масло виготовляють із свіжих пастеризованих вершків в масло виробниках періодичної та безперервної дії. Виробляють масло двох видів: солоне та несолоне.

Технологічний процес вироблення солодко вершкового масла здійснюється в послідовності, показаній на рис. 1. Після прийому, первинної та механічної обробки сировини вершки направляють на пастеризацію та дезодорацію. Температура пастеризації вершків залежить від їхньої кислотності, наявності сторонніх присмаків та запахів. Якщо вершки мають підвищену кислотність, температуру пастеризації знижують. При підвищеній кислотності вершків погіршується теплопередача та знижується продуктивність пастеризаційної пластинчастої установки. Крім того, можлива поява «пригорілого присмаку».

Влітку температура пастеризації вершків першого гатунку становить 85-90 °С. Взимку температуру пастеризації підвищують до 92-95 °. З підвищенням температури утворюються сульфгідрильні сполуки, які надають маслу присмак пастеризації та підвищують його стійкість при зберіганні. При температурі пастеризації нижче за допустиму вершки повертають на повторну

пастеризацію. Застосовується одноразова пастеризація вершків та у разі потреби багаторазова, але при цьому погіршується робота обладнання.

За наявності у вершках сторонніх присмаків та запахів підвищують температуру пастеризації або застосовують дезодорацію. Якщо вершки мають слабо виражені сторонні присмаки та запахи, то температура пастеризації у весняно-літній період становить 100—103 °С, в осінньо-зимовий — 103—108 °С. Якщо недоцільно підвищувати температуру пастеризації, то вершки нагрівають до температури 92-95 °С дезодорують у вакуумному дезодораторі при тиску 20-40 кПа в осінньо-зимовий і 10-30 кПа - у весняно-літній період.

Якщо вершки мають сильно виражені сторонні запахи та присмаки, то рекомендують наступний режим теплової обробки: у секції рекуперації пластинчастої пастеризаційної установки вершки нагрівають до 80 °С, потім обробляють у дезодораторі при тиску 40-60 кПа і направляють у другу секцію пастеризаційної установки, де до 95 °С. Така обробка сприяє видаленню речовин, що знижують якість масла, та стимулює утворення присмаку пастеризації. При дезодорації з водяними парами відносяться леткі речовини, що містяться у вершках. Тому при високо інтенсивних режимах дезодорації отримане масло може мати невиражений порожній смак.

Після пастеризації та дезодорації гарячі вершки охолоджують до температури 4-7 °С. Вершки доохолоджують у сливкодозрівальних ваннах. Від температури охолодження та витримки при ній залежить ступінь затвердіння молочного жиру. Чим нижча температура охолодження та триваліша витримка, тим вищий ступінь затвердіння жиру і краще відбувається утворення масляного зерна при збиванні.

У разі потреби вершки можна витримувати з метою дозрівання 15-17 год. При виборі режиму дозрівання слід враховувати підвищення температури вершків на 1 -2 ° С внаслідок виділення прихованої теплоти кристалізації. При правильно вибраному режимі дозрівання вершків покращується рівень використання молочного жиру за рахунок зниження його в сколотині. При недотриманні режимів дозрівання жир переходить у сколотину та погіршує консистенцію масла. Режими дозрівання вершків при підготовці їх до збивання в масло виробниках періодичної та безперервної дії однакові. Після закінчення дозрівання вершки направляють на збивання в масло виробники. Щоб уникнути підсбивання жиру для перекачування вершків застосовують гвинтові, плунжерні, ротаційні та інші насоси об'ємного типу.

Температура збивання вершків залежить від масової частки жиру, режимів дозрівання та пори року: у весняно-літній період року становить 7—12 °С; в осінньо-зимовий - 8-14 °С. Для осінньо-зимового періоду року температуру збивання збільшують на 1—1,5 °С. Насправді температура збивання може уточнюватися з урахуванням попередніх виробок. Вершки маложирні і що дозрівають при зниженій температурі слід збивати при порівняно підвищеній температурі, а вершки жирніші і недостатньо дозрілі - при зниженій температурі.

Після дозрівання вершки підігрівають до температури збивання у сливкодозрівальних ваннах. При заниженій температурі збивання його тривалість збільшується, готовий продукт містить невироблену вологу і має засалену консистенцію. При підвищенні температури збивання спостерігаються втрати жиру з сколотою, а отримане масло має м'яку консистенцію.

### 1.3 Опис окремих частин технологічного процесу

У даному технологічному процесі для збивання використовується масло виробник періодичної дії[7], він представлений на рисунку 1.3.

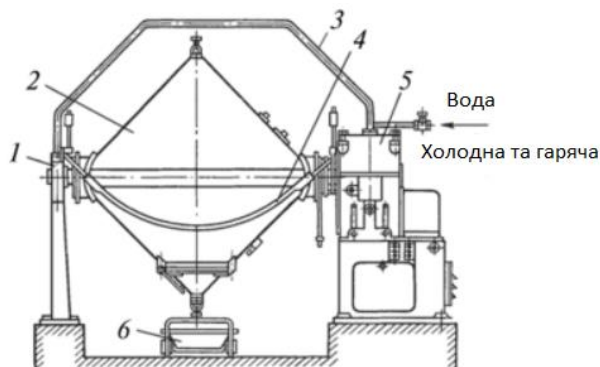


Рисунок 1.3 - Схема масло виробника періодичної дії з конічним барабаном:

1 - стійка задня; 2 - ємність; 3 - пристрій для зрошення; 4 - огорожа; 5 - станина з коробкою швидкостей; 6 - візок для прийому олії.

Перед початком роботи проводять підготовку, що полягає в послідовній обробці барабана масло виробника гарячою та холодною водою, для чого барабан заповнюють на 10-15% його ємності водою температурою 75-80 ° С і обертають 1-2 хв на швидкості збивання. Пар, що утворився в барабані, випускають через клапан після кожних 1-2 обертів. Після цього гарячу воду зливають, а барабан заливають на 30-40% холодною водою температурою на 2-3 ° С нижче температури збивання вершків і обертають його 2-3 хв. Холодну воду з барабана масло виробника видаляють перед наповненням вершками. Якщо температура води, що зливається з барабана, вища за температуру, потрібну для збивання вершків, то обробку повторюють.

Масло виробник періодичної дії з конічним барабаном, призначений для вироблення вершкового масла способом збивання вершків, наведений на рис. 3. Барабан є два конуси, зварених з основи. На вершині одного з конусів змонтовано люк для вивантаження масла. Барабан забезпечений оглядовим вікном та двома кранами для зливу сколотини; в ньому є похило приварена лопата для збивання вершків та обробки масла. Внутрішня поверхня його шорстка, що запобігає прилипанню масла. Барабан отримує обертання від двошвидкісного електродвигуна через клинопасову передачу.

Огородження масло виробника складається з вигнутої труби, що має на кінцях вуха з важелями для противаг. За допомогою вушок огорожа кріпиться шарнірно до кронштейнів,

встановлених на корпусі коробки. Огорожа зблокована з електродвигуном масло виробника, воно запобігає доступу обслуговуючого персоналу спереду в зону обертання ємності. Доступ у зону обертання ємності ззаду запобігає нерухомій огорожі, монтаж якої виконують за місцем установки мастил виготовлювача.

Для охолодження барабана масло виробника передбачено зрошуючий пристрій у вигляді душі, що має вентиль, з'єднаний на місці монтажу з магістралями гарячої та холодної води.

Вершки, призначені для збивання, заливають у масловиготовлювач на 40—50% ємності, закривають люк і опускають дугу огорожі в крайнє положення. Встановлюють час збивання вершків, на пульті управління включають на необхідну швидкість електродвигуна приводу. Для пуску масло виробника плавним рухом опускають у крайнє нижнє положення важіль коробки передач, розгальмовуючи барабан масло виробника і включаючи фрикційну муфту.

При виробленні масла повітря періодично випускають із зупиненого барабана, відкриваючи один із кранів. Після закінчення встановленої тривалості збивання масла автоматично вимикається електродвигун приводу і вмикається звуковий сигнал. Готове масло та сколотину вивантажують у візок.

Технічні характеристики масло виробника періодичної дії[7] наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - технічних характеристик масло виробника періодичної дії

Показник	Геометрична місткість барабана масловиробників періодичної дії, м <sup>3</sup>								
	1	1,1	2	0,25	0,5	0,5	0,03	1,3	0,1
Коефіцієнт завантаження	0,45	0,4	0,45- 0,5	0,45	0,45	0,45	0,5	0,45	0,4- 0,5
Частота обертів, с <sup>-1</sup> : I швидкість	0,3	0,48	0,402			0,5	0,9		
II швидкість	0,5	—	0,6	—	—	0,25	0,22	—	—
Встановлена потужність, кВт	2,8	3,0	6,2	0,5	1,5	1,5	0,9	1,1	0,75
Габаритні розміри, мм	2050х х1600х х1900	2056х х1650х х 1628	2500х х2546х х2270	1950х х2100х х1800	2180х х2300х х2100	2070х х1120х х1705	490х х580х х800	500х х1600х х1700	945х х940х х1430
Маса	700	880	2270	480	558	250	300	300	130

Обробка масляного зерна в текстураторі полягає у відтисканні надлишку вологи, а іноді й опрацювання недостатньої кількості вологи. Текстуратори бувають з однією шнековою камерою або двома камерами, розміщеними послідовно або паралельно. Кожна з цих камер може бути одно-, дво- та триступінчастою.

Циліндр збивача призначений для одержання масляного зерна без додаткового його доопрацювання в розділювальному циліндрі. У циліндрі збивача, що охолоджується через теплообмінну сорочку, обертається мішалка.

У збивач вершки надходять через кран з торця або по дотичній до стінки. При введенні з торця вершки, що розбризкуються диском, що обертається, рівномірно кільцем надходять на лопаті мішалки. При введенні по дотичній вершці направляються по тубі в конус, що обертається разом з мішалкою. Поступово розподіляючись по конусу, вершки безперервно під впливом відцентрової сили надходять на лопаті мішалки. Збивання вершків відбувається за умов енергійного перемішування. В результаті збивання утворюється масляне зерно та сколотина. Після зливу сколотини масляне зерно промивають у камері промивки і направляють у камеру відпресування, де воно спочатку продавлюється шнеком через вузьку щілину у верхній частині корпусу, а потім промивається водою, що подається форсунками. Воду після промивання зливають у відстійник. З камери промивання масляне зерно надходить у камеру обробки під вакуумом, звідки готовий продукт вивантажують і направляють на зберігання.

Дозрілі, нагріті до температури збивання, ретельно перемішані вершки подають через зрівняльний бак гвинтовим насосом на збивач, а потім тангенціально в збивальний циліндр масло виробника. Вершки надходять на білі збивального циліндра зі швидкістю, приблизно рівної швидкості обертання більших лопатей, що сприяє утворенню масляного зерна і запобігає раптовому механічному впливу на вершки та дроблення жирових кульок. Масляне зерно, що утворилося, з сколотою надходить у бункер першої камери шнекового текстуратора, де зерно промивається в сколотині і обробляється шнеками.

Утворення масляного пласта починається у першій камері. У другій камері відбувається остаточне промивання масла та подальша обробка масляного зерна. У третій камері вакуум-насосом створюється розрідження для видалення повітря, так як високий вміст повітря в маслі негативно впливає на його стійкість при зберіганні.

Для остаточної механічної обробки масло продавлюється через ряд решіток, між якими встановлені ножі для перемішування масла. При масовій волозі в маслі нижче необхідної включають апарат для дозування вологи.

### 1.3.1 Особливості технологічного процесу масло виробника

Тривалість збивання становить 50-60 хв і залежить від температури збивання, масової частки жиру у вершках, пори року, ступеня заповнення. У підготовлений масло виробник заливають вершки. При збиванні вершків масою часток жиру до 37% ступінь заповнення барабана становить 40-50%.



У перші 3-5 хв збивання масло виробник зупиняють 1-2 рази і випускають повітря. Вершки збивають до утворення масляного зерна розміром 3-5 мм, після чого зливають сколотину через сито. Масова частка жиру в сколотині має перевищувати встановленої норми. При перевищенні норми сколотину сепарують окремо або сумішю з молоком. Свіжі вершки, отримані сепаруванням сколотини, можна переробляти у суміші із звичайними.

Масляне зерно після утворення промивають, за винятком масляного зерна із вершків першого сорту. Кількість промивань залежить від якості вершків. Для кожного промивання використовують 50-60% води від об'єму вершків. Вода для промивання повинна відповідати вимогам на питну воду. Для промивання масляного зерна не можна використовувати воду, що містить понад 0,3 мг заліза на 1 л, загальна кількість органічних речовин має перевищувати 2,5 мг на 1 л води. Якщо вода незадовільної якості, її піддають спеціальній обробці (пастеризації, фільтрації, коагуляції солей, домішок, хлорування тощо.).

При промиванні зрошують усю поверхню масляного зерна. Залив необхідну кількість води, люк барабана закривають і включають масло виробник на швидкість збивання. Після обробки масляного зерна зливають промивну воду. При необхідності проводять дворазове промивання. Для отримання масляного зерна нормальної консистенції температура промивної води повинна бути на 1-2 °С нижче температури сколотини. При промиванні м'якого зерна, що зліпилося, для достатнього затвердіння його температуру води знижують ще на 1—2 °С і збільшують тривалість промивання до 5 хв. Якщо зерно грубе, пухке і малопов'язане, то температуру промивної води збільшують на 1-2 °С у порівнянні з температурою сколотини.

Для отримання моноліту масла з рівномірним розподілом всіх компонентів промите масляне зерно піддають механічній обробці, тривалість якої залежить від ступеня завантаження та частоти обертання барабана, хімічного складу молочного жиру та температури продукту.

У весняно-літній період обробка масляного зерна триває 15-25 хв, а осінньо-зимовий - 25-50 хв. На початку обробки, до утворення масляного пласта (5—8 хв), барабан масловиготовлювача обертається із закритими кранами, а після утворення пласта крани відкривають для витікання вільної вологи. При досягненні критичного моменту, коли волога перестає витікати, масло виробник зупиняють, відбирають середню пробу масла з різних місць і визначають масову частку вологи.

Температуру обробки масляного зерна регулюють зрошенням водою барабана масло виробника. Для твердого масляного зерна вона становить 18-20 °С, а якщо зерно м'яке, для зрошення застосовують холодну воду. Після припинення витікання вологи з барабана при механічній обробці температуру масла, що обробляється, підтримують в діапазоні 11 - 14 °С.

Після завершення механічної обробки відбирають пробу масла з різних місць і визначають масову частку вологи. Якщо масова частка вологи в маслі нижче нормативної, то масло виробник вносять її недостатню кількість і продовжують обробку. Закінчення обробки встановлюють за

відсутністю вологи на поверхні масла. Готовий продукт вивантажують з масла виробника та направляють на фасування.

#### 1.4 Контроль якості

Для контролю якості сировини[8] відбирають проби при її надходженні за основними операціями ( нормалізації, пастеризації, охолодження, дозрівання і т.д.) його переробки, а для готового продукту роблять вибірку з партії. Для аналізу показників якості вершкового масла пробу відбирають від вибірки.

Партією масла (вершкового всіх видів) і пластичних вершків вважають продукцію, вироблену з вершків однієї ванни перетворенням високожирних вершків, однієї збійки - періодичним збиванням його в масло виробниках періодичної дії та однієї ємності - збиванням в масло виробниках безперервної дії. Обсяг партії не повинен перевищувати 40 ящиків.

Обсяг вибірки від партії масла у транспортній та споживчій тарі становить 5% одиниць транспортної тари з продуктом. За наявності партії менше 20 одиниць відбирають одну. З кожної включеної у вибірку одиниці транспортної тари з фасованим маслом відбирають 3% одиниць споживчої тари з продукцією.

Точкові проби від масла у транспортній тарі, включеної у вибірку, відбирають щупом. При упаковці бочки щуп занурюють по діагоналі від краю бочки до центру; при упаковці в ящики щуп занурюють по діагоналі від торцевої стінки до центру моноліту продукту. Пробу масла при температурі нижче 10 °С відбирають щупом, нагрітим у воді температурою  $38 \pm 2$  °С.

Точкову пробу масла масою 50 г у споживчій тарі відбирають ножом від кожного брикету масла. Перед відбором точкової проби необхідно зняти упаковку з продукту та його зовнішній шар завтовшки 5-7 мм. Точкову пробу поміщають у посуд для складання об'єднаної проби, при складанні якої від нижньої частини стовпчика масла, взятого щупом з кожної одиниці транспортної тари з продуктом, відбирають ножом точкову пробу масла масою 50 г і поміщають у посуд. Верхню частину масла, що залишилася, повертають на колишнє місце. Від масла в брикетах масою 50 г і менш об'єднану пробу складають із цілих брикетів без зняття зовнішнього шару, попередньо видаливши упаковку.

Об'єднану пробу масла поміщають у водяну баню з температурою  $30 \pm 2$  °С. При постійному перемішуванні нагрівають пробу до розм'якшення маси. Потім з розм'якшеної та охолодженої до  $20 \pm 2$  °С маси вершкового масла виділяють пробу масою 50 г для аналізу. Схема контролю якості виробництва вершкового масла наведена у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Схема контролю якості виробництва вершкового масла

Показник	Місце відбору проби	Періодичність контролю	Виконавець
1	2	3	4
колір, смак, запах, консистенція	Вибірка з партії	Кожна партія	Лаборант
Масова частка, %: жиру, вологи, кухонної солі (для солоного масла), цукру (для шоколадного масла)	Вибірка з партії	Кожна партія	Лаборант
Титрована кислотність або рН плазми вершкового масла	Вибірка з партії	Кожна партія	Лаборант
Загальна кількість бактерій (ЗКБ)	Вершки після пастеризації (проба з пастеризатора)	1 раз на місяць	Мікробіолог
Бактерії групи кишкової палички (БГКП)	Вершки після пастеризації (проба з пастеризатора)	1 раз У 10 днів	Мікробіолог
ЗКБ, БГКП	Вершки після охолоджувача (при збиванні)	1 раз на місяць	Мікробіолог
БГКП	Вершки перед збиванням (проба із слив-дозрівальної ванни)	1 раз на місяць	Мікробіолог
Кількість бактерій, що редукують	Вершки перед збиванням (проба із слив-дозрівальної ванни)	1 раз у 10 днів	Мікробіолог
ОКБ, БГКП	Вершки (після сепаратора), отримані перетворенням високожирних вершків	1 раз на місяць	Мікробіолог

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4
БГКП	Вершки високожирні після нормалізації (проба з кожної ванни)	1 раз на місяць	Мікробіолог
ОКБ (для солодковершкового масла)	Проба з одного ящика (коробки) від кожної партії	2 рази на місяць	Мікробіолог
БГКП	Проба з одного ящика (коробки) від кожної партії	2 рази на місяць	Мікробіолог
Кількість протеолітичних бактерій	Проба з одного ящика (коробки) від кожної партії	2 рази на місяць	Мікробіолог
Кількість дріжджів та цвілевих грибів	Проба з одного ящика (коробки) від кожної партії	2 рази на місяць	Мікробіолог
Кількість ліполітичних бактерій	Проба з одного ящика (коробки) від кожної партії	В случае появления пороков	Мікробіолог
Кількість бактерій, що редукують (для масла, отриманого збиванням і перетворенням високожирних вершків)	Проба з одного ящика (коробки) від кожної партії	1 раз в 10 днів	Мікробіолог

Консистенція - один з основних органолептичних показників масла. Вона залежить від стану жирової фази продукту та співвідношення в ньому рідкого та затверділого жиру. У свою чергу, кристалізація молочного жиру залежить від параметрів технологічного процесу, а також способу вироблення масла. Особливостями окремих способів виробництва вершкового масла зумовлені різні фізико-механічні показники свіжовиробленого масла. Під свіжовиробленим вершковим маслом розуміють масло при виході з масло утворювача або після його зберігання при температурі не вище  $-5^{\circ}\text{C}$  не більше 10 діб або при температурі не вище  $6^{\circ}\text{C}$  не більше 3 діб.

При виробництві збиванням масло, що виходить з масло виробника, має щільну, твердо подібну консистенцію; при виробництві перетворенням високо жирних вершків консистенція масла

при виході з масло утворювача текуча, рідка. Після стабілізації структури вершкового масла консистенція щільна, тверда. Споживчі властивості масла не диференціюються залежно від способу її виробництва. Тому і способи оцінки консистенції масла після стабілізації її структури для масла, виробленої різними способами, ідентичні. Для отримання масла з необхідною консистенцією її контролюють у процесі вироблення та після стабілізації структури готового продукту.

Консистенцію вершкового масла в процесі вироблення оцінюють за швидкістю затвердіння масла та зміною її температури, готового продукту після стабілізації його структури - по пробі на зріз, визначення термостійкості, розподілу та розміру крапель вологи в маслі.

Консистенцію масла за швидкістю її твердіння оцінюють при виробленні масла перетворенням високо жирних вершків. Пробу відбирають із струменя масла, що виходить із масло утворювача.

Швидкість затвердіння виражають у секундах від моменту відбору проби до припинення деформації масла. У весняно-літній період проба масла твердне протягом 30-70 с, в осінньо-зимовий - 40-100 с; це свідчить, що вироблення масла проведено правильно і готовий продукт має хорошу консистенцію. Тривалість затвердіння менше ніж 30 с вказує на інтенсивність кристалізації молочного жиру. При холодильному зберіганні таке масло набуває грубої, крихкої консистенції. Затвердіння понад 70 с у весняно-літній період і 100 с в осінньо-зимовий вказує на надмірну обробку масла та дуже м'яку консистенцію готового продукту.

Консистенцію масла щодо зміни температури оцінюють тільки при перетворенні високо жирних вершків. Температуру вимірюють у ящику після його наповнення маслом через кожні 5 хв до її постійного значення. Зміна температури масла характеризує залишкові процеси кристалізації гліцеридів, що залежить від режимних параметрів роботи масло-утворювача. Підвищення температури масла від 1,5 до 2,5 ° С вказує на нормальний перебіг процесу масло-утворення, а підвищення температури менше 1,5 ° С - на зайву механічну обробку в масло-утворювачі, що може бути причиною вироблення масла з м'якою консистенцією, недостатньо термостійкого. Підвищення температури на 3-5 ° С свідчить про недостатню обробку в масло-утворювачі і про те, що консистенція готового продукту може бути крихливою.

При оцінці консистенції масла пробій на зріз відбирають пробу масою 200-300 г, охолоджують і витримують протягом доби за мінусової температури. Заморожене масло не потрібно витримувати за мінусової температури. Потім пробу теплюють до температури 5 °С. Від підготовленої проби відрізають загостреним шпателем пластину масла завтовшки 1,5-2 мм і довжиною 50-70 мм і випробовують її на вигин та деформацію.

Консистенцію продукту визначають за шкалою оцінки залежно від характеру зрізу:

- пластина має щільну рівну поверхню та краї, при легкому натиску прогинається хороша консистенція;

- пластина витримує невеликий вигин, потім повільно ламається задовільна консистенція;
- пластина має нерівні краї і при невеликому згині ламається - трохи крихлива консистенція;
- при відрізанні та згинанні пластинка поділяється на шари - консистенція шарувата;
- пластина при натиску легко деформується (зминається), поверхня засолена на вигляд — консистенція зайво м'яка.

У разі надмірно м'якої консистенції масла залишок проби витримують, щоб температура збільшилася до 15 °С. Потім знову роблять зрізи та перевіряють пластини на вигин та деформацію. При цій температурі гліциридів у твердому стані менше і краще помітні вади переробленого масла надмірно м'яке, що розпливається.

Термостійкість вершкового масла визначають наступним чином. З моноліту масла вирізують пробу масою 100 г і для завершення кристалізації молочного жиру охолоджують до мінусової температури протягом доби, після чого теплюють до 10 °С. З підготовленої проби пробовідбірником вирізають циліндри заввишки 20 мм і діаметром 20 мм (рис.3 а). Ці циліндри нумерують і розміщують на скляній пластинці з відривом 20—30 мм друг від друга. Далі пластинку з пробами поміщають у повітряний термостат і витримують 2 години при температурі 30 °С, а потім витягають з термостата, поміщають на міліметровий папір і вимірюють діаметр основи кожного циліндра. Якщо основа циліндра має еліпсоподібну форму, то вимірюють максимальний та мінімальний діаметри та визначають середнє значення.

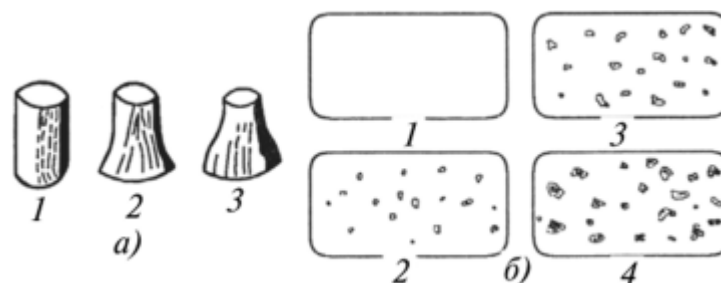


Рисунок 1.4 - Оцінка консистенції вершкового масла:

а - шкала визначення термостійкості: 1 - хороша; 2- задовільна; 3 - незадовільна; б — зразок визначення розміру крапель та його розподілу в маслі: 1 —добрий розподіл вологи; 2 - задовільний розподіл вологи; 3- незадовільний розподіл вологи; 4 - поганий розподіл вологи.

За розподілом крапель вологи в маслі та їх розмірах судять про її обробку. При правильній обробці масла волога в ньому знаходиться у вигляді дрібних крапельок, рівномірно розподілених по всьому об'єму. При неправильному проведенні процесу поряд з дрібними краплями в маслі можуть бути великі. Такий розподіл вологи сприятливо впливає розвиток мікрофлори.

Розподіл вологи в маслі визначають за індикаторним реактивним папером. Від моноліту масла дротяним ножом роблять зріз розміром 60x60 мм і товщиною 20-30 мм. На зріз пінцетом щільно прикладають індикаторний папір та витримують 15-30 с. Потім її опускають у зневоднений

розплавлений парафін для фіксації відбитків крапель, що утворилися. За кількістю синьо-фіолетових крапок або плям, розміром і характером їх розподілу судять про розподіл вологи в маслі. Залежно від розподілу вологи масло відносять до одного з чотирьох класів (рисунок 1.4 б).

При хорошому розподілі вологи в маслі на індикаторному папері відбитків не видно; при задовільному розподілі вологи на індикаторному папері видно незначну кількість рівномірно розподілених точок (3-5) діаметром 0,3-1 мм; при незадовільному розподілі вологи на індикаторному папері більше 5 точок діаметром понад 1 мм і при поганому розподілі на індикаторному папері багато точок та плям діаметром понад 3 мм.

Індикаторний папір можна виготовити за умов лабораторії. Для цього з беззольного фільтрувального паперу нарізають смужки розміром 50x30 мм і на 1 - 1,5 хв занурюють їх у розчин бромфенолблау. Потім індикаторні папірці просушують при температурі 35-40 ° С (у сушильній шафі або термостаті). Готові індикаторні папірці зберігають у щільно закритій банці з темного скла. Схильність масла до пліснявіння визначають наступним чином. Щупом беруть пробу масла з його моноліту. Потім шпателем відрізають шматочки довжиною 30-40 мм і кладуть у відкриті бюкси, які поміщають в ексікатор; на дно його налито трохи води. Ексікатор закривають і ставлять у темне місце за температури 20 °С. Поверхня масла в ексікаторі щодня оглядають та відзначають появу плісняви. Відсутність цвілі через 14 днів свідчить про стійкість масла до пліснявіння.

Масову частку жиру визначають у всіх видах масла без наповнювачів. У чистий сухий жиромір для вершків відважують 2,5 г масла. Потім піпеткою наливають 7,5 см<sup>3</sup> дистильованої води, обережно по стінці — 10 см<sup>3</sup> сірчаної кислоти щільністю 1815 ± 5 кг/м<sup>3</sup> і 1 см<sup>3</sup> ізоамілового спирту. Жиромір закривають пробкою і перемішують його до повного розчинення білкових речовин. Далі визначають масову частку жиру.

Кількість бактерій, що редукують, у вершках визначають перед збиванням, у високо-жирних вершках — після їх нормалізації, а також у готовому продукті. Не рідше 1 разу на 10 днів у солодко-вершковому маслі із застосуванням мікробіотестів визначають бактерії, що редукують.

При виробленні вершкового масла у вершках після пастеризації визначають ЗКБ та БГКП не рідше одного разу на місяць. ЗКБ після пастеризатора в 1 см<sup>3</sup> вершків хорошої якості допускається до 1000, а вершків задовільного якості - до 5000. БГКП повинні бути відсутніми в 10 см<sup>3</sup> вершків. У пастеризованих вершках перед збиванням та високожирних вершках після нормалізації БГКП не повинні виявлятися в 1 см<sup>3</sup>. Якщо в 1 см<sup>3</sup> вершків відсутні БГКП, то якість таких вершків задовільна. Контроль виробництва солодковершкового масла із застосуванням мікробіотестів для визначення бактерій, що редукують, проводять не рідше 1 разу на 10 днів.

## 2. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Проаналізувавши перебіг технологічного процесу виготовлення вершкового масла методом збивання, було виявлено ряд ключових параметрів, а саме представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри технологічного процесу

Параметр	Позиція технологічної схеми	функція	Відхилення	Значення	
				Min	Max
Витрати	Вершки що поступають в приймальну ємність	Контроль	5%	3 м <sup>3</sup>	5 м <sup>3</sup>
Рівень	Приймальна ємність	Контроль, регулювання	5%	0,2 м <sup>3</sup>	2,0 м <sup>3</sup>
Температура	Пластинчастий охолоджувач	Контроль, регулювання	5%	4 °C	7 °C
Рівень	Ємність зберігання	Контроль	5%	0,2 м <sup>3</sup>	2,0 м <sup>3</sup>
Температура	Пастеризаційно охолоджуюча установка	Контроль, регулювання	5%	85°C	90°C
Температура	Пастеризаційно охолоджуюча установка	Контроль, регулювання	5%	4 °C	7 °C
Рівень	Ємність для дозрівання вершків	Контроль	5%	0,2 м <sup>3</sup>	2,0 м <sup>3</sup>



### 3. ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

Для забезпечення безпеки та точності технологічного процесу виникає необхідність в контролі технологічного параметру та управління.

Взявши за основу попередню інформацію, що наведена у попередніх пунктах, робимо вибір каналів контролю, управління та регулювання.

#### 3.1 Канали контролю та управління

##### 3.1.1 Витрати сировини, що поступає до приймальної ємності

Для запобігання переповнення приймальної ємності, виникає необхідність регулювати та контролювати витрату сировини. Для цього в приймальній ємності встановлюється витратомір (датчик витрати). За допомогою насосу №1, відбувається керування.

##### 3.1.2 Рівень у приймальній ємності

Для запобігання переповнення приймальної ємності, виникає необхідність контролювати витрату сировини. Для цього встановлено датчик рівня.

##### 3.1.3 Температура у пластинчастому охолоджувачі

Для заданого протікання процесу охолодження вершків, необхідно підтримувати задану температуру у пластинчастому охолоджувачі. Для цього встановлено датчик температури, а на трубопроводі з подачею холодоагенту встановлено регулюючий клапан.

##### 3.1.4 Рівень у ємності зберігання

Для запобігання переповнення ємності зберігання, потрібно контролювати рівень сировини у ємності. Для цього встановлено датчик рівня.

##### 3.1.5 Температура у пастеризаційно-охолоджуючій установці

Для заданого протікання процесу пастеризації, потрібно регулювати температури нагрівання та охолодження молока. Для цього встановлено два датчики температури. Регулювання, нагріву, першого датчика температури відбувається за рахунок керування ТЕНом. Регулювання, охолодженням, другого датчика температури за рахунок керування клапаном подачі холодоагенту.

##### 3.1.6 Рівень у ємності для дозрівання

Для запобігання переповнення ємності для дозрівання, потрібно контролювати рівень сировини у ємності. Для цього встановлено датчик рівня.

#### 3.2 Контури управління

3.2.1 Контур контролю витрати вершків, що поступають в приймальну ємність предсталено на рисунку 3.1.

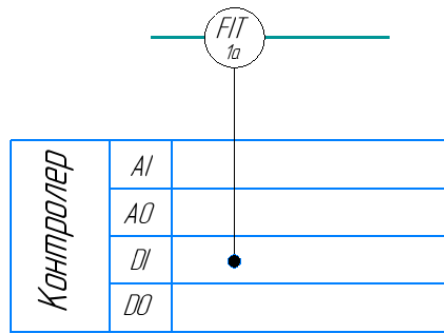


Рисунок 3.1 – Контур контролю витрати вершків, що поступають в приймальну ємність

Для даного контура в якості датчика витрати використовуємо T-SONIC TUF2000B з токовим виходом 4...20 мА. , через який проходять підготовлені вершки.

3.2.2 Контур контролю та регулювання рівня в приймальній ємності представлено на рисунку 3.2.

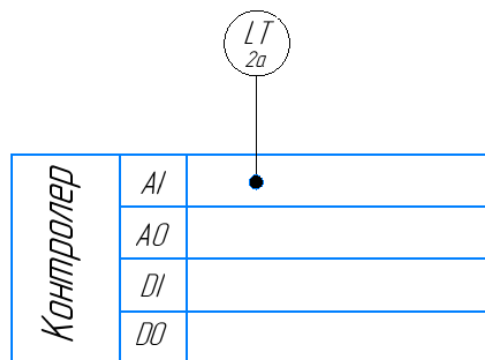


Рисунок 3.2 - Контур контролю та регулювання рівня в приймальній ємності

Для цього контуру використовуємо ємнісний рівнемір ОВЕН ПДУ-И 3000.

3.2.3 Контур контролю та регулювання температури у пластинчатому охолоджувачі представлено на рисунку 3.3.

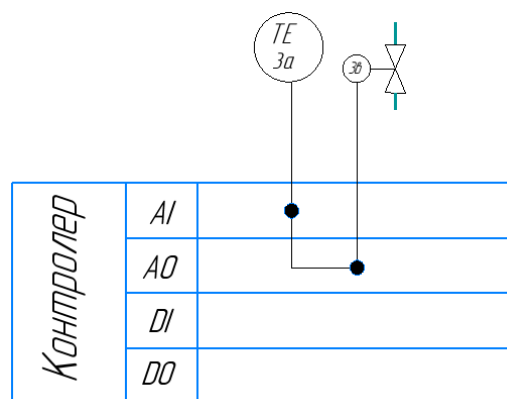


Рисунок 3.3 - Контур контролю та регулювання температури у пластинчатому охолоджувачі

Для цього контуру використовуємо термоперетворювач опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1) та електропривід для клапану BELIMO L24A.

3.2.4 Контур управління насосами представлено на рисунку 3.4.

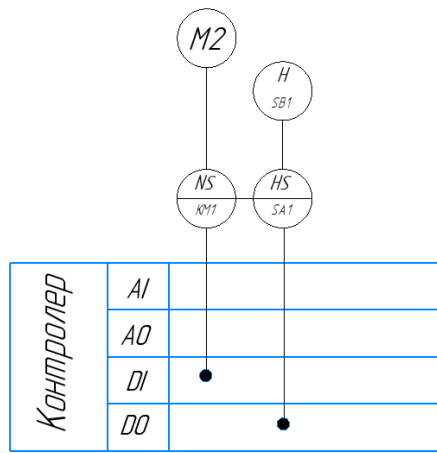


Рисунок 3.4 - Контур управління насосами

Для контуру керування насосами зазвичай використовуються універсальні перемикачі, а також кнопки та магнітні пускачі. В залежності від кількості насосів, обирають потрібну кількість комутаційних засобів.

3.2.5 Контур контролю рівня у ємності для зберігання представлено на рисунку 3.5.

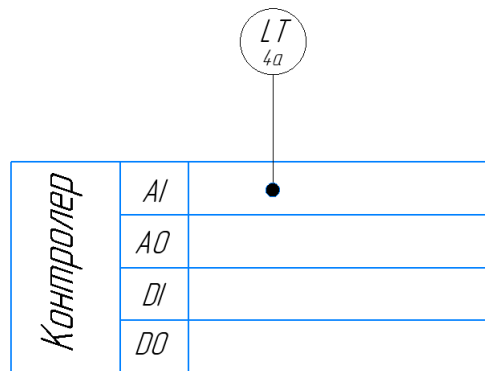


Рисунок 3.5 - Контур контролю рівня у ємності для зберігання

Для цього контуру використовуємо ємнісний рівнемір ОВЕН ПДУ-И 3000.

3.2.6 Контур регулювання температури нагріву у пастеризаційно-охолоджуючій установці представлено на рисунку 3.6.

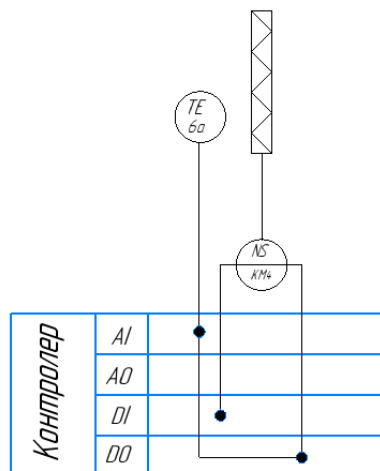


Рисунок 3.6 - Контур регулювання температури нагріву у пастеризаційно-охолоджуючій установці

Для цього контуру використовуємо термоперетворювач опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1).

3.2.7 Контур регулювання температури охолодження у пастеризаційно-охолоджуючій установці представлено на рисунку 3.7.

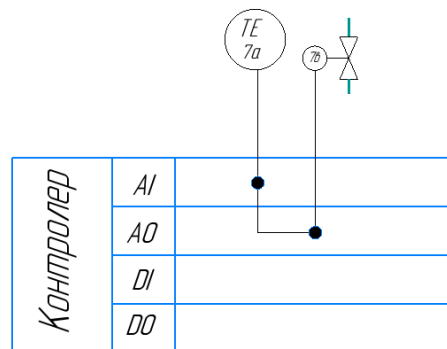


Рисунок 3.7 - Контур регулювання температури охолодження у пастеризаційно-охолоджуючій установці

Для цього контуру використовуємо термоперетворювач опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1) та електропривід для клапану BELIMO L24A.

3.2.8 Контур контролю рівня у ємності для дозрівання вершків представлено на рисунку 3.8.

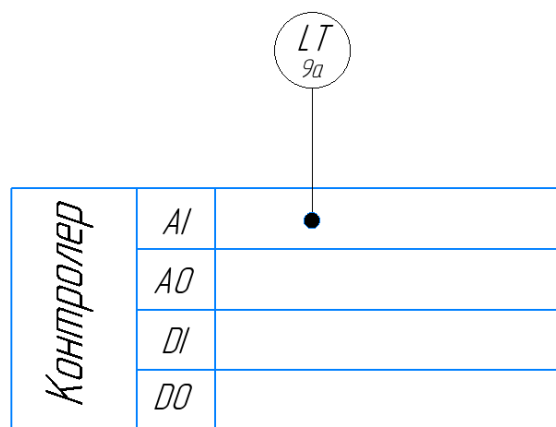


Рисунок 3.8 - Контур контролю рівня у ємності для дозрівання вершків

Для цього контуру використовуємо ємнісний рівнемір ОВЕН ПДУ-И 3000.

Взявши до уваги попередньо представлені структурної схеми технологічного процесу виготовлення вершкового масла а також розглянутих контурів контролю та регулювання, розроблено функціональну схему автоматизації системи управління технологічної лінії виготовлення вершкового масла.

## 4. ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Взявши до уваги особливості технологічного процесу виробництва вершкового масла, обираємо для використання централізовану систему контролю та регулювання. Для цього обираємо технічні засоби автоматизації у яких найбільш важливішими критеріями вибору виступають їх точність, надійність та дешевизна. Адже саме ці критерії зроблять виробництво більш рентабельним та надійним.

### 4.1 Вибір датчиків

Розглянувши контури регулювання та контролю обрано для їх реалізації відповідні датчики витрати, рівня та температури.

#### 4.1.1 Вибір датчиків витрати

У цьому технологічному процесу здійснюється контроль витрат підготовленого вершків в трубопроводі, подачі їх у приймальні ємність для подальшого використання.

Для цього відібрано декілька витратомірів для можливого використання:

- SIEMENS SITRANS FX330
- T-SONIC TUF2000B

##### а) Витратомір SIEMENS SITRANS FX330

Витратоміри SITRANS FX330[9] розроблені для використання в промисловості та оптимально відповідають вимогам систем.

- Зовнішній вигляд витратоміра SIEMENS SITRANS FX330 представлено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Витратомір SIEMENS SITRANS FX330

- Особливості витратоміру:
  - Висока точність вимірювання;
  - Зносостійка повністю зварена конструкція із нержавіючої сталі, висока стійкість до корозії;
  - Сенсор не потребує обслуговування;
  - Резервування даних - проста зміна електронного модуля без втрати даних для калібрування та конфігурації.
- Основні технічні характеристики витратоміру SIEMENS SITRANS FX330 представлено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Характеристики витратоміру SIEMENS SITRANS FX330

Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірювання об'ємної витрати, м <sup>3</sup> /год	0.45...5.07
Вихідний сигнал	4...20 мА
Номінальна напруга навантаження	12...36 В
Похибка вимірювань	±1.5 %
Ступінь захисту корпусу	IP66, IP67
Вартість, грн	85 589

#### б) Витратомір T-SONIC TUF2000B

Витратомір T-SONIC TUF2000B[10] можна використовувати для широкого діапазону довгострокових вимірів різноманітних рідин: вода, спирти, олії, розчини, бензин тощо.

- Зовнішній вигляд витратоміра T-SONIC TUF2000B представлено на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – витратомір T-SONIC TUF2000B

- Особливості витратоміру[12]:

- Можливість застосування для вимірювання витрат забруднених і агресивних середовищ;
  - Безінерційність вимірювання;
  - Безконтактність вимірів;
  - Відсутність рухомих частин в потоці;
  - Відсутність втрат тиску в трубопроводах та ін.
- Основні технічні характеристики[11] витратоміру T-SONIC TUF2000B представлено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Характеристики витратоміру T-SONIC TUF2000B

Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірювання об'ємної витрати, м <sup>3</sup> /год	0...7 м <sup>3</sup> /с
Вихідний сигнал	4...20 мА
Номинальна напруга навантаження	8...36 В
Похибка вимірювань	1%
Ступінь захисту корпусу	IP67, IP68
Вартість, грн	12 136

Розглянувши та порівнявши технічні характеристики витратомірів SIEMENS SITRANS FX330 та T-SONIC TUF2000B, можна зробити висновок, що витратомір T-SONIC TUF2000B має нижчу вартість, а також має меншу похибку вимірювання і кращий ступінь захисту. Зважаючи на все це, зупиняємо свій вибір саме на витратомірі T-SONIC TUF2000B.

#### 4.1.2 Вибір датчиків рівня

Автоматичний контроль рівнів[13] різних середовищ — необхідна умова при управлінні рядом технологічних процесів і автоматизації роботи деяких машин. Найчастіше використовують рівнеміри: гідростатичні, електродні, поплавкові, буйкові, п'єзометричні, ємнісні, радарні, радіоізотопні, фотометричні.

Для даного технологічного процесу було обрано декілька датчиків рівня а саме:

- ОВЕН ПДУ-И 3000
- OPTIWAVE 5400

##### а) Поплавковий рівнемір ОВЕН ПДУ-И 3000

Поплавковий рівнемір ОВЕН ПДУ-И 3000[14] призначений для моніторингу поточного рівня рідини у резервуарі та перетворення виміряного значення в уніфікований вихідний сигнал 4...20 мА постійного струму.

Можуть застосовуватись у системах контролю рівня рідини у різних резервуарах, у тому числі тих, що знаходяться під тиском. Робочим середовищем для датчиків цього типу є хімічно нейтральні та агресивні рідини, що не проявляють корозійну активність до матеріалу датчика (нержавіючої сталі 12Х18Н10Т) та не утворюють летучих вибухонебезпечних сполук.

- Зовнішній вигляд поплавкового рівнеміра ОВЕН ПДУ-И 3000 представлено на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 - поплавковий рівнемір ОВЕН ПДУ-И 3000

- Технічні характеристики поплавкового рівнеміра ОВЕН ПДУ-И 3000 представлено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Технічні характеристики поплавкового рівнеміра ОВЕН ПДУ-И 3000

Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірювань, мм	0...4000
Діапазон температур, °С	-60...+125
Напруга живлення, В	12...36
Вихідний сигнал, мА	4...20
Похибка вимірювання, мм	0,2%
Ступінь захисту	IP 65
Вартість, грн	4 738

б) Радарний рівнемір OPTIWAVE 5400



Радарний рівнемір OPTIWAVE 5400[15] забезпечує точні результати вимірювання, в тому числі в процесах з рівнем вмісту, що швидко змінюється, в резервуарах або на відкритих водоймах.

Цей рівнемір може замінити радарні датчики в базових застосуваннях, що вимагають більш високої точності вимірювань. Він доступний з фланцевими або різьбовими приєднаннями, а також з опціонально доступними подовжувачами антен для можливості установки на патрубках будь-якої висоти.

- Зовнішній вигляд радарного рівнеміру OPTIWAVE 5400 представлений на рисунку 4.4.



Рисунок 4.4 - радарний рівнемір OPTIWAVE 5400

- Особливості радарного рівнеміру:
  - Нечутливість до ефектів конденсації;
  - Підфланцева захисна пластина з поліпропілену та армовані антенні подовжувачі для корозійно-активних середовищ;
  - Функція запису спектра порожньої ємності, що дозволяє виключити помилкові сигнали відбиття від внутрішніх конструкцій резервуара;
  - Еліптична форма та гладка поверхня антени для мінімізації відкладень;
  - Фланцеві або різьбові приєднання.
- Технічні характеристики радарного рівнеміру OPTIWAVE 5400 представлені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Технічні характеристики радарного рівнеміру OPTIWAVE 5400

Найменування параметра	Значення
Діапазон вимірювань, м	0...100
Діапазон температур, °С	-50...+130
Напруга живлення, В	12...36
Вихідний сигнал, мА	4...20
Похибка вимірювання, мм	2%
Ступінь захисту	IP66, IP68
Вартість, грн	46 741

Розглянувши та порівнявши технічні характеристики рівнемірів ОВЕН ПДУ-И 3000 та OPTIWAVE 5400, можна зробити висновок, що поплавковий рівнемір ОВЕН ПДУ-И 3000 має нижчу вартість, а також має меншу похибку вимірювання і кращий ступінь захисту. Зважаючи на все це, зупиняємо свій вибір саме на поплавковому рівнемірі ОВЕН ПДУ-И 3000.

#### 4.1.3 Вибір частотного перетворювача

На сьогоднішній день у багатьох виробничих організаціях світового рівня використовуються частотні перетворювачі[16].

Вони поділяються на три основні види:

- універсальні;
- загальнопромислові;
- спеціалізовані.

Кожен із них використовується в певних умовах. Наприклад, перетворювачі частоти універсального типу підходять як для побутових потреб, так і для роботи у промисловому середовищі. Вони широко використовуються спільно з насосними електроприводами тощо. Загальнопромисловий тип представлених пристроїв використовується, виходячи з назви на виробничих підприємствах будь-якого рівня. Спеціалізований тип таких пристроїв служить для виконання особливих завдань. Їх можна зустріти в системах опалення, кондиціонування тощо.

Використання частотного перетворювача[3] знижує навантаження на ланки ланцюга в технологічному процесі, тим самим підвищуючи термін їх безперебійної служби і дає істотну економію на ремонт і обслуговування системи. Також він необхідний для синхронізації, адаптації різних вузлів, що входять до системи та працюють від електродвигунів.

Для даного технологічного процесу можливе використання наступних частотний перетворювачі, а саме:

- Danfoss VLT Basic Drive FC 101 0,75 кВт - 131L9862

- Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024

а) Частотний перетворювач Danfoss VLT Basic Drive FC 101 0,75 кВт - 131L9862

Частотний перетворювач Danfoss VLT Basic Drive FC 101 0,75 кВт - 131L9862 [17] має найвищий ступінь у сфері обладнання нового часу. Завдяки своїй широкій функціональності його можна використовувати у багатьох галузях промисловості. Найкраще працює із системами вентиляції та кондиціонування.

- Зовнішній вигляд частотного перетворювача Danfoss VLT Basic Drive FC 101 0,75 кВт - 131L9862 представлено на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Частотний перетворювач Danfoss VLT Basic Drive FC 101 0,75 кВт - 131L9862

- Технічні характеристики частотного перетворювача Danfoss VLT Basic Drive FC 101 0,75 кВт - 131L9862 представлено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Технічні характеристики частотного перетворювача Danfoss VLT Basic Drive FC 101 0,75 кВт - 131L9862

Найменування параметра	Значення
1	2
Струм, А	2.2
Потужність, кВт	0.75
Частота комутації, кГц	4...32

Продовження таблиці 4.5

1	2
Захист, клас	IP20
Фазність	3-ф 380 В
Проектна продуктивність, кВА	2.1
Робоча температура, °С	-10...-50
Вартість, грн	24 944

б) Частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024

Частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024 [18] призначений для регулювання швидкості електричних моторів для зниження їх електроспоживання та підвищення ефективності їх функціоналу.

- Зовнішній вигляд частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024 представлено на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 – Частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024

- Особливості частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024:
  - Простота встановлення;
  - Компактна форма;
  - Спрощене керування та налаштування;
  - Простота в керуванні.

- Технічні характеристики частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024 представлено у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Технічні характеристики частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024

Найменування параметра	Значення
Струм, А	7.2
Потужність, кВт	3
Частота комутації, кГц	2...16
Захист, клас	IP20
Фазність	3-ф 380 В
Робоча температура, °С	0...+50
Вартість, грн	18 806

Розглянувши та порівнявши технічні характеристики частотних перетворювачів Danfoss VLT Basic Drive FC 101 0,75 кВт - 131L9862 та Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024, можна зробити висновок, що частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024 має нижчу вартість, а також має більшу потужність і діапазон робочих температур. Зважаючи на все це, зупиняємо свій вибір саме на частотному перетворювачі Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024.

#### 4.1.4 Вибір датчиків температури

Для даного технологічного процесу обрано термоперетворювачі опору, а саме:

- ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1)
- ОВЕН ДТС125М-100М.1,0.80.И(14)

##### а) Термоперетворювач опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1)

Термоперетворювач опору[19] з високоточним нормувальним перетворювачем ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1) застосовуються для безперервного вимірювання та перетворення значень температури рідких, газоподібних, твердих та сипких речовин в уніфікований вихідний струмовий сигнал 4...20 мА.

- Зовнішній вигляд термоперетворювача опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1) представлено на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – термоперетворювач опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1)

- Особливості термоперетворювача опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1):
  - Простота підключення термодатчиків до контролерів;
  - Збільшення довжини лінії зв'язку від датчика до вимірювального пристрою (до 800 метрів);
  - Ізоляція лінії датчика від вимірювальної системи;
  - Зниження впливу електромагнітних завад у колі вимірювання температури.
- Технічні характеристики термоперетворювача опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1) представлені на рисунку 4.6

Найменування	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	±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 ±5%
Максимальний допустимий опір навантаження (при напрузі живлення 36 В) *	1250 Ом
Пульсації вихідного сигналу	0,6%
Час встановлення робочого режиму для перетворювача (попереднє прогрівання) після увімкнення напруги живлення, не більше	30 хв
Показник теплової інерції, не більше	20...40 с

Рисунок 4.6 – Технічні характеристики термоперетворювача опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1)

б) Термоперетворювач опору ОВЕН ДТС125М-100М.1,0.80.И(14)

Термоопори ДТС125М-И[20] застосовуються для вимірювання температури навколишнього повітря в автоматизованих системах опалення, вентиляції, кондиціонування повітря та кліматичного контролю. Конструктивні особливості комутаційної головки перетворювача температури дозволяють встановлювати його на стіну або іншу поверхню за допомогою шурупів, гвинтів або інших монтажних елементів. Модель ДТС125М-И має ступінь захисту від пилу та вологи IP65.

Термоопори ДТС125М-И оснащено вбудованим нормувальним перетворювачем НПТ-3, який перетворює виміряне значення температури повітря в уніфікований вихідний сигнал 4...20 мА постійного струму.

- Зовнішній вигляд термоперетворювача опору ОВЕН ДТС125М-100М.1,0.80.И(14) представлено на рисунку 4.7.



Рисунок 4.7 – термоперетворювач опору ОВЕН ДТС125М-100М.1,0.80.И(14)

- Технічні характеристики термоперетворювача опору ОВЕН ДТС125М-100М.1,0.80.И(14) представлені на рисунку 4.8.

Назва	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	±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 ±5%
Максимальний допустимий опір навантаження (при напрузі живлення 36 В) *	1250 Ом
Пульсації вихідного сигналу живлення, не більше	0,6%
Показник теплової інерції, не більше	20...40 с

Рисунок 4.8 – технічні характеристики термоперетворювача опору ОВЕН ДТС125М-100М.1,0.80.И(14)

Розглянувши та порівнявши технічні характеристики термоперетворювачів опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1) та ОВЕН ДТС125М-100М.1,0.80.И(14), можна зробити висновок, що термоперетворювач опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1) має більш підходящий діапазон температур для даного технологічного процесу, а також має меншу похибку вимірювання. Зважаючи на все це, зупиняємо свій вибір саме на термоперетворювачі опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1).

#### 4.1.5 Вибір регулюючих клапанів

Електроприводи[21] є основними споживачами електричної енергії (до 60 %) і головним джерелом механічної енергії в промисловості.

Найефективнішим способом економії енергії на всіх виробництвах, де потрібне регулювання продуктивності механізмів на базі електродвигунів змінного струму є застосування регульованого електропривода змінного струму. Впровадження такого електропривода на механізмах з



квадратичним навантаженням (насосів, вентиляторів, повітрорудок) дозволяє відмовитися від дроселювання і досягти економії електроенергії в 30-70 %.

Тому для даного виробництва можливе використання наступних електроприводів, а саме:

- AMV 435
- BELIMO L24A

а) Електропривід AMV 435

Електропривід AMV435[22] призначений для керування дво- та триходовими регулюючими клапанами. Привід має кінцеві моментні вимикачі, що припиняють їхню роботу при виникненні перевантажень, а також при досягненні штоком клапана крайніх положень.

- Зовнішній вигляд електропривода AMV435 представлено на рисунку 4.9.



Рисунок 4.9 – Електропривід AMV 435

- Особливості електроприводу AMV 435
  - Ручне та електричне керування;
  - Є індикатор крайніх положень штока;
  - Імпульсний вихідний сигнал;
  - Точне та швидке регулювання;
  - Зовнішній діагностичний світлодіод;
  - Дуже простий і легкий у монтажі на клапан без використань будь-яких інструментів.
- Технічні характеристики електропривода AMV 435 представлені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Технічні характеристики електропривода AMV 435

Найменування параметра	Значення
1	2
Споживна потужність, Вт	2
Керуючий сигнал, В	0...10

Продовження таблиці 4.5

1	2
Ступінь захисту	IP54
Робоча температура	-40...+70
Вартість, грн	12 643

б) Електропривід BELIMO L24A

Електропривід BELIMO L24A[23] призначений для керування регулюючим, позиційним або кульовим клапаном.

- Зовнішній вигляд електропривода BELIMO L24A представлено на рисунку 4.10.



Рисунок 4.10 – Електропривід BELIMO L24A

- Особливості електроприводу BELIMO L24A:
  - Простий монтаж, привід легко кріпиться на клапан за допомогою одного гвинта горизонтально в будь-якому з чотирьох положень;
  - Висока надійність. Привід захищений від перенавантажень, зупинка відбувається автоматично при досягненні крайніх положень;
  - Можливість ручного керування за допомогою важеля. При натисканні ручки на корпусі редуктор приводу виводиться із зачеплення і клапаном можна керувати вручну;
  - Кут повороту налаштовується механічними упорами;
  - Привід без поворотної пружини.

- Технічні характеристики електропривода BELIMO L24A представлені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Технічні характеристики електропривода BELIMO L24A

Найменування параметра	Значення
Споживна потужність, В	24
Керуючий сигнал, В	0...10
Ступінь захисту	IP54
Робоча температура	-40...+50
Вартість, грн	4 930

Розглянувши та порівнявши технічні характеристики електроприводів AMV 435 та BELIMO L24A, можна зробити висновок, що електропривід BELIMO L24A має нижчу вартість та більшу надійність. Зважаючи на все це, зупиняємо свій вибір саме на електроприводі BELIMO L24A.

#### 4.2 Вибір контролера

Під час вибору контролера для автоматизованої системи управління зазвичай потрібно прийняти до уваги дещо велику кількість факторів.

Взявши за основу таблицю переліку параметрів контролю та регулювання(табл. 2.1), можна зробити висновки, що до вимог портів контролера, які представлені у таблиці 4.7

Таблиця 4.7 – вимоги портів контролера

Сигнали	Кількість сигналів
Аналогові вхідні	6
Аналогові вихідні	3
Дискретні вхідні	6
Дискретні вихідні	5

Проаналізувавши ці фактори, було віддано перевагу виробнику високотехнологічних мікропроцесорних контролерів ОВЕН, з них можливе використання:

- ОВЕН ПЛК200-03-CS
- ОВЕН ПЛК160-24-A-M(M02)

##### а) ОВЕН ПЛК200-03-CS

Програмований контролер[24] ОВЕН ПЛК200-03-CS - призначено для створення системи автоматизованого керування технологічним обладнанням у промисловості та сільському господарстві.

У ньому реалізовано:

- 12 дискретних входів;
- 8 швидких дискретних входів;
- 8 швидких дискретних виходів типу транзисторний ключ з контролем обриву навантаження.

навантаження.

Логіка роботи контролера задається за допомогою середовища розробки Codesys V3.5.

Підтримуються всі мови програмування стандарту МЕК 61131-3.

- Зовнішній вигляд ОВЕН ПЛК200-03-CS представлено на рисунку 4.11.



Рисунок 4.11 – зовнішній вигляд ОВЕН ПЛК200-03-CS

- Функціональна схема[25] програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК200-03-CS представлена на рисунку 4.12.

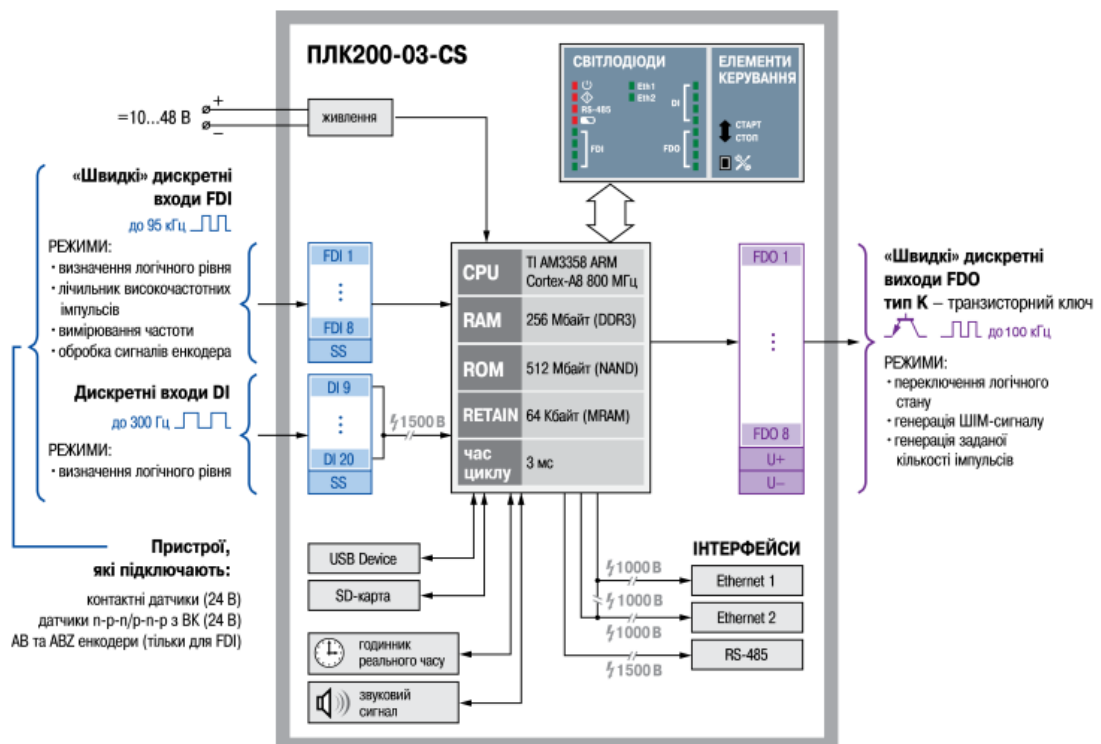


Рисунок 4.12 - Функціональна схема програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК200-03-CS

- Конструкція[25] програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК200-03-CS представлена на рисунку 4.13.

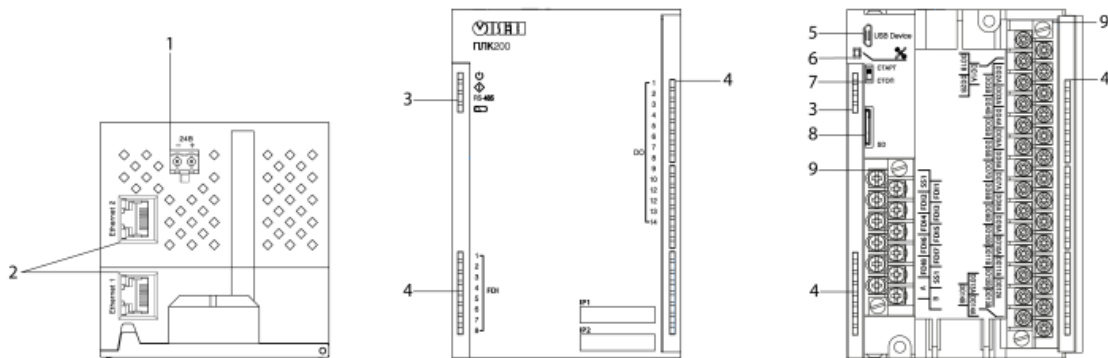


Рисунок 4.13 – Конструкція програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК200-03-CS:

1- Порт 24 В; 2- Ethernet (Рознімач RJ45); 3- Світлодіодні індикатори стану контролера; 4- Світлодіодні індикатори стану входів і виходів; 5- USB Device (роз'єм Micro-USB); 6- Сервісна кнопка; 7- Тумблер СТАРТ/СТОП; 8- Слот для підключення SD-карти; 9- Знімні клемні колодки, для підключення датчиків, виконавчих механізмів та інтерфейса RS-485.

- Особливості програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК200-03-CS:
  - Висока продуктивність;
  - Ергономічний корпус;
  - Експлуатація у важких умовах.
- Технічні характеристики[26] програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК200-03-CS представлено у таблиці 4.8, 4.9.

Таблиця 4.8 - Технічні характеристики програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК200-03-CS

Параметр	Значення( властивості)
1	2
Живлення	
Напруга живлення	10...48 В (номінальна 24 В)
Обчислювальні ресурси	
Центральний процесор	RISC-процесор Texas Instruments Sitara AM3358, 800 МГц
Об'єм флеш-пам'яті (тип пам'яті)	512 Мбайт (NAND)
Об'єм оперативної пам'яті (тип пам'яті)	256 Мбайт (DDR3)
Об'єм Retain-пам'яті (тип пам'яті)	64 Кбайт (MRAM)
Інтерфейси зв'язку	
RS-485	
Кількість портів	1

Продовження таблиці 4.8

1	2
Підтримувані протоколи	Modbus RTU (Master / Slave), Modbus ASCII (Master / Slave), ОВЕН (Master), Протоколи тепло/електролічильників
USB Device	
Кількість портів	1 × micro USB (RNDIS)
Підтримувані протоколи	CODESYS Gateway, FTP, SSH, HTTP, HTTPS
Накопичувачі, що їх підключають	
SD card	
Кількість рознімачів	1
Тип	microSD
Максимальна ємність	4 ГБ (microSD), 32 ГБ (microSDHC), 512 ГБ (microSDXC)
Годинник реального часу	
Похибка ходу, не більше: – при температурі +25 °С – при температурі -40 °С і +55 °С	3 секунди за добу 18 секунд за добу
Умови експлуатування	
Умови зовнішнього середовища	закриті вибухобезпечні приміщення без агресивних парів і газів
Температура навколишнього повітря	від -40 до +55 °С
Відносна вологість повітря	від 10 до 95 % (при 35 °С без конденсації вологи)
Атмосферний тиск	від 84 до 106,7 кПа

Таблиця 4.9 - Технічні характеристики програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК200-03-CS

Дискретні входи (DI і FDI)	Дискретні входи (DI)	Швидкі дискретні входи (FDI)
Кількість входів	12	8
Мінімальна тривалість імпульсу, що сприймається входом	3 мс	5 мкс
Максимальна частота вхідного сигналу	300 Гц	95 кГц

б) ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02)

Програмований контролер[27] ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02) – моноблоковий контролер з дискретними і аналоговими входами/виходами на борту для автоматизації середніх систем. Застосовується у автоматизації торгового обладнання, керування кліматичним обладнанням, керування малими верстатами і механізмами, керування пакувальними та харчопереробними апаратами та інше.

- Зовнішній вигляд програмованого контролера ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02) представлена на рисунку 4.14.



Рисунок 4.14 - Зовнішній вигляд програмованого контролера ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02)

- Конструкція[28] програмованого контролера ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02) представлена на рисунку 4.15.

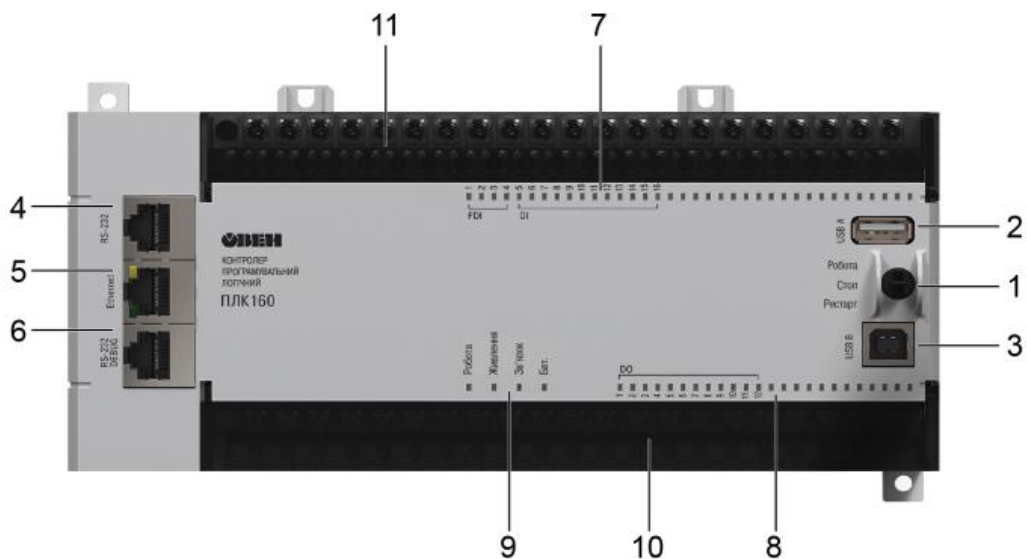


Рисунок 4.15 - Конструкція програмованого контролера ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02):

1 - Перемикач «Робота/Стоп/Рестарт» - Трипозиційний перемикач, 2 - USB-Host (Рознімач USB Type-A) - Порт для підключення USB-flash накопичувачів, 3- USB-Device (Рознімач USB Type-B) - Порт для програмування, 4- RS-232 (Рознімач RJ-45) - Послідовний інтерфейс для підключення пристроїв, 5- Ethernet

(Рознімач RJ-45) - Порт Ethernet 100 Base-T призначений для підключення ПЛК у локальній мережі, передавання даних та програмування, 6- RS-232 Debug (Рознімач RJ-45) - Послідовний інтерфейс призначений для підключення пристроїв і програмування, 7 – Світлодіодні індикатори стану входів: - FDI – позначення для швидких входів контролера; - DI – звичайні дискретні входи, 8 – Світлодіодні індикатори стану виходів - DO – звичайні дискретні виходи, 9 – Світлодіодні індикатори стану - Індикація стану контролера: «Робота», «Живлення», «Зв'язок», «Бат.», 10,11 - Знімні клемні колодки - Для підмикання живлення пристрою, дискретних датчиків, виконавчих механізмів, аналогових входів і виходів, інтерфейсів RS-485 і клеми вбудованого джерела постійної напруги 24 В

○ Особливості програмованого контролера[27] ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02):

- Швидкісні входи для обробки енкодерів;
- Вбудовані дискретні та аналогові входи/виходи на борту;
- Просте й зручне програмування в системі CODESYS V. 2 через порти USB Device, Ethernet, RS-232 Debug;
- Передача даних на верхній рівень через Ethernet або GSM-мережі (GPRS)
- 3 послідовних порти RS-232, RS-485):
  - Збільшення кількості входів-виходів;
  - Керування частотними перетворювачами.

- Технічні характеристики[5] програмованого контролера ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02) представлені у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 - Технічні характеристики програмованого контролера ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02)

Параметр	Значення(властивості)
1	2
<b>Живлення</b>	
Напруга живлення	від 9 до 30 В постійного струму при $T > \text{мінус } 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ; від 9 до 26 В постійного струму при $\text{мінус } 40 \text{ }^\circ\text{C} > T > \text{мінус } 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (номінальна напруга 12 або 24 В)
Параметри вбудованого джерела живлення	Вихідна напруга $24 \pm 3 \text{ В}$ , струм споживання не більше 400 мА
<b>Цифрові (дискретні) входи</b>	
Кількість входів з них швидкодіючих	16 4 (DI1–DI4)
Напруга живлення дискретних входів	$24 \pm 3 \text{ В}$
<b>Дискретні виходи (контакти електромагнітних реле)</b>	
Кількість релейних вихідних каналів	12



Продовження таблиці 4.10

1	2
Максимальний струм, комутований контактами реле, не більше	3 А (для змінної напруги не більше 250 В, частотою 50 Гц і $\cos \varphi > 0,4$ – навантаження для категорії використання АС-15 за ДСТУ ІЕС 60947-1) 3 А (для постійної напруги не більше 30 В – навантаження для категорії використання DC-13 за ДСТУ ІЕС 60947-1)
Час перемикання контактів реле зі стану «лог. 0» у «лог. 1» і назад, не більше	50 мс (виходи DO1–DO12)
Аналогові входи	
Кількість аналогових входів	8
Тип підтримуваних уніфікованих сигналів	Струм від 0 (4) до 20 мА, від 0 до 5 мА напруга від 0 до 10 В
Вхідний опір: • у режимі вимірювання струму • у режимі вимірювання напруги	не більше 170 Ом не менше 200 кОм
Період опитування одного входу	10 мс
Аналогові виходи	
Тип вихідного сигналу	Універсальний, струм від 4 до 20 мА, напруга від 0 до 10 В
Опір навантаження: • для виходів типу 4...20 мА • для виходів типу 0...10 В	не більше 500 Ом не менше 2000 Ом
Мінімальний період оновлення виходів	100 мс
Живлення аналогових виходів, зовнішнє	24 ± 3 В, довжина лінії від джерела живлення не повинна перевищувати 30 м
Обчислювальні ресурси	
Центральний процесор	RISC-процесор Texas Instruments Sitara AM1808
Об'єм оперативної пам'яті	Користувацька програма 1 Мбайт, дані користувацької програми 128 Кбайт

Продовження таблиці 4.10.

1	2
Об'єм енергонезалежної пам'яті (FLASH)	6 Мбайт доступно для зберігання файлів та архівів
Розмір Retain-пам'яті (MRAM)	16 Кбайт
Кількість сокетів	30
Вбудоване обладнання	
Годинник реального часу з власним батарейним живленням. Похибка ходу, не більше:	
• при плюс 25 °С	5 с за добу
• при мінус 40 °С	20 с за добу
Умови експлуатування	
Температура навколишнього повітря	Від мінус 40 до плюс 55 °С
Відносна вологість (без утворення конденсації)	Від 10 до 95 % при плюс 35 °С

Розглянувши та порівнявши технічні характеристики програмованих контролерів ОВЕН ПЛК200-03-CS та ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02), можна зробити висновок, що програмований контролер ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02) більше підходить до даного технологічного процесу, адже він має як і аналоговій так і дискретній входи/виходи на відміну від ОВЕН ПЛК200-03-CS який має тільки дискретні входи/виходи. Також програмований контролер ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02) має нижчу вартість на відміну від ОВЕН ПЛК200-03-CS, адже у ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02) є потрібна кількість аналогових і дискретний входів/виходів, та не потребує придбання додаткових модулів. Зважаючи на все це, зупиняємо свій вибір саме на програмованому контролері ОВЕН ПЛК160-24-А-М(М02).

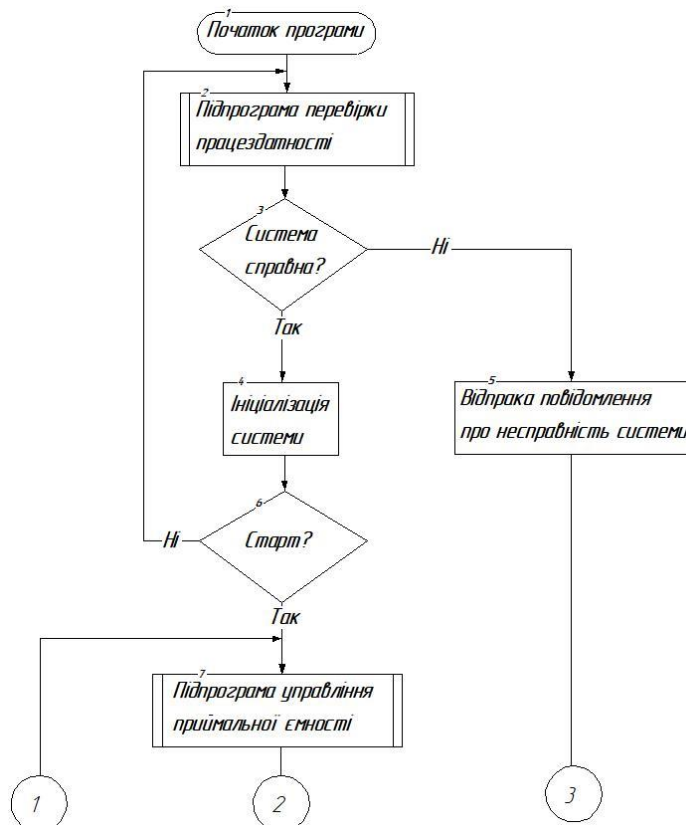
## 5. АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ

Алгоритм роботи системи починається з подачі живлення. Після цього виконується програма перевірки обладнання(пристроїв) на працездатність, у разі несправності, подається сигнал на комп'ютер де буде очікувати подальших дій. Але якщо несправності не буде виявлено тоді система робить ініціалізацію всього обладнання(пристроїв) і чекатиме команди старту до роботи. Коли команда отримана виконується програма запуску управління приймальною ємність, управління пластинчастим охолоджувачем, управління ємністю для зберігання, управління пастеризаційно-охолоджувальної установки, управління ємністю для дозрівання. Даний алгоритм потрібен щоб уникнути аварій під час початку виробництва.

Сам алгоритм програми перевірки працездатності виглядає так: система подає запит до програмованого логічного контролера, та проводиться його перевірка з комп'ютером, після цього контролер повинен подати сигнал до готовності. Але якщо сигнал не надходить, тоді робиться висновок, що є несправність в системі. Якщо контролер подає запит готовності, тоді система переходить до перевірки програми датчиків де послідовно відправляється запит кожному у подальшому чекаючи на відповідний сигнал. Але якщо якийсь з датчиків не подає сигналу до готовності, система подає сигнал про несправність.

Якщо всі датчики подали сигнал до готовності, система виходить з програми перевірки працездатності.

Загальний вигляд алгоритму системи представлений на рисунку 5.1



Продовження рисунку 5.1



Рисунок 5.1 – Загальний вигляд алгоритму

Алгоритм підпрограми системи представлено на рисунку 5.2.

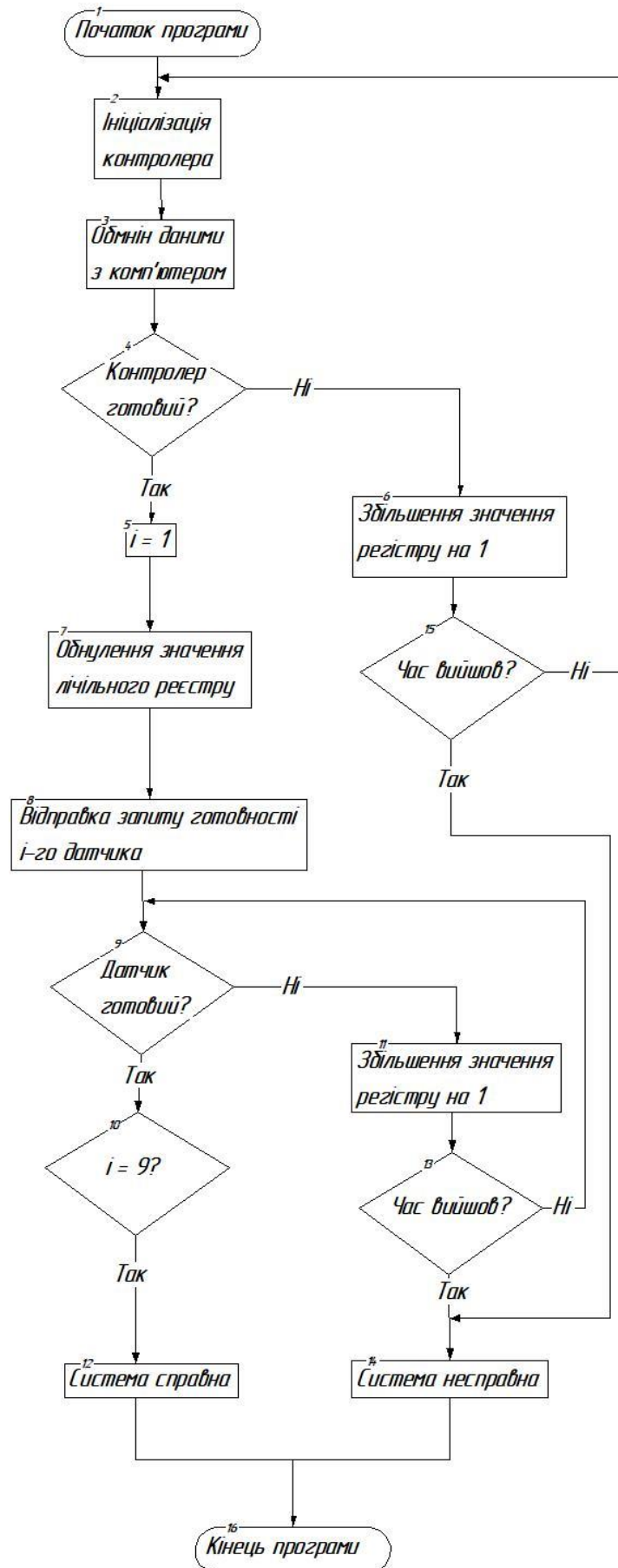


Рисунок 5.2 – алгоритм підпрограми системи

## 6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Нагрівання вершків виконується у пластинчастому-охолоджувачі, він являє собою теплообмінник[29] з набором пластин спеціального профілю, розділених гумовими прокладками. До теплообмінника приєднані трубопроводи, на яких встановлені прилади контролю температури.

Нагрівання вершків проводиться в межах 35-40 °С в пластинчастому-охолоджувачі, за для підтримання температури використовується охолоджуюча рідина(холодоагент).

Зважаючи на ці параметри було зроблено криву розгону що представлена на рисунку 6.2

### 6.1 Отримання математичного опису об'єкта управління

Контур контролю та регулювання температури у пластинчастому охолоджувачі представлений на рисунку 6.1

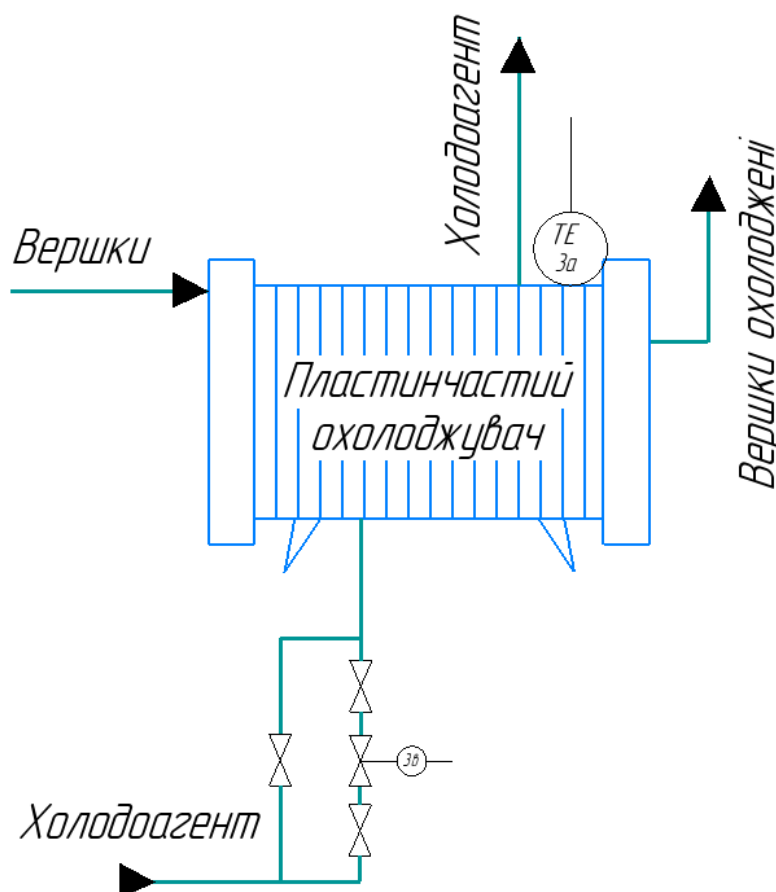


Рисунок 6.1 - Контур контролю та регулювання температури у пластинчастому охолоджувачі

За даними результату синтезу, потрібно отримати перехідний процес з показниками якості як:

- Час перехідного процесу –  $t_p \leq 40$  с.
- Перегулювання -  $\sigma \leq 25\%$

У вигляді кривої розгону на рисунку 6.2 представлена математична модель об'єкта.

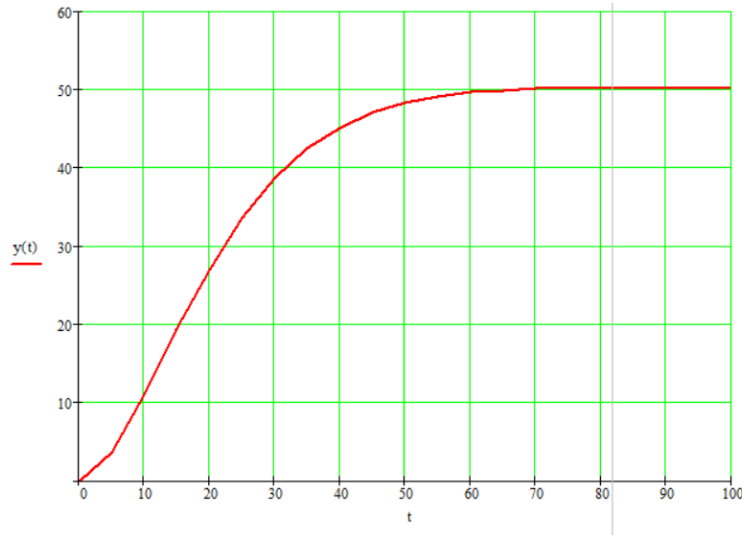


Рисунок 6.2 – Крива розгону об'єкта управління

Тепер отримаємо передаточну функцію об'єкту з використанням методу Сімою[30] у програмі MathCad.

Спочатку із ординат кривої розгону формуємо вектор-строку даних

$$y := (0 \ 3.5 \ 10.9 \ 19.2 \ 27 \ 33.5 \ 39 \ 42.4 \ 45.1 \ 47 \ 48.3 \ 49.1 \ 49.6 \ 49.8 \ 50 \ 50.1)$$

Потім транспонуємо вектор-строку послідовно у вектор-стовбець.

При нормуванні кривої розгону ділимо всі значення на  $y_{уст}=50.1$  - (максимальне значення ординати) і визначаємо розмірність вектора N

$$h := \left( \frac{y}{50.1} \right)^T \quad N := \text{length}(h) - 1$$

Далі задаємо крок розрахунку за часом  $\Delta t := 5$ , а також встановлюємо значення коефіцієнту  $S_0 = 0$  для забезпечення можливості автоматизації розрахунків.

Після задання кроку визначаємо функцію що описує підінтегральний вираз рівняння для знаходження коефіцієнтів  $S_k$  у загальному вигляді і у дискретній формі.

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

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

Далі проводимо розрахунок перших 5-ти коефіцієнтів  $S$ . Для цього задаємо ранжування змінної  $k := 1..5$  для визначення 5-ти коефіцієнтів і реалізуємо метод чисельного інтегрування.

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

Згідно з методу отримали перші 5-ть коефіцієнтів

$$S = \begin{pmatrix} 0 \\ 21.163 \\ 137.579 \\ 159.326 \\ 784.054 \\ 1.849 \times 10^4 \end{pmatrix}$$

Для розрахунку обмежимося першими двома коефіцієнтами.

$$W(s) := \frac{50.1}{137.6s^2 + 21.1s + 1}$$

Після розрахунку коефіцієнтів будемо передаточну функцію, і перехідну характеристику по передаточній функції, що представлена на рисунку 6.3.

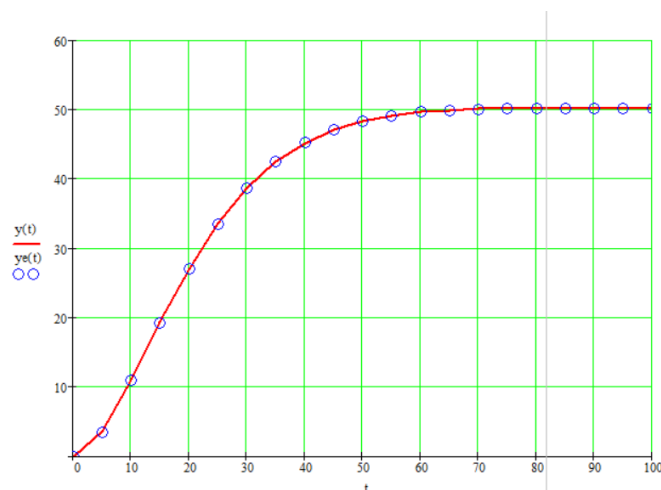


Рисунок 6.3 – перехідна характеристика по передаточній функції

Отже, взявши до уваги рисунок 6.3 можна сказати, що крива розгону отримана експериментально і аналітично є схожими(співпадають). Тобто їх можна вважати однаковими.

6.1 Синтез системи управління по каналу завдання методом логарифмічних частотних характеристик[30] (метод Солодовникова)

6.1.1 Побудова ЛАЧХ незмінної частини системи  $L_H(\omega)$ .



Використовуючи математичний пакет MathCad знайдемо корінь полінома знаменника попередньо отриманої передаточної функції

$$137.6s^2 + 21.1s + 1 \left| \begin{array}{l} \text{solve, s} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -7.67 \cdot 10^{-2} - 3.73 \cdot 10^{-2} \cdot 1i \\ -7.67 \cdot 10^{-2} + 3.73 \cdot 10^{-2} \cdot 1i \end{pmatrix}$$

Проводимо аналіз отриманого рішення:

- ЛАЧХ незмінної частини системи буде мати початковий нахил 0 дБ/дек;

- фіксація незмінної частини системи проводиться на рівні отриманим з виразу  $L_H(\omega) = 20 \lg(k) = 20 \lg(50.1) = 34 \text{ дБ}$ , де коефіцієнт  $k$  – це коефіцієнт посилення незмінної частини розімкнутої САУ

- Поліном знаменника має два комплексно сопряжених коренів виду  $s_i = a \pm jb$  відповідні співмножники виду  $s^2 + ps + q$ , коефіцієнти друго-го зв'язані з речовинної та уявної частинами коренів вираза  $p = 2 * a$ ;  $q = a^2 + b^2$ .

Таким чином, отримаємо поліном  $s^2 + ps + q = s^2 + 0.153s + 0.012$  звідки отримаємо рівняння коливальної ланки  $T_i^2 s^2 + 2\xi_i T_i s + 1 = (83.3)^2 s^2 + 2 * 83.3s + 1$

- отже  $T = \sqrt{83,333} = 9,128$ , де  $T$ - постійна часу коливальної ланки. Звідси знайдемо частоту сполучення  $\omega_1 = \frac{1}{T_1} = 0.11$

- Так як порядок астатизму 2 нахил низькочастотної асимптоти буде -40 дБ/дек.

ЛАЧХ незмінної частини системи представлена на рисунку 6.4

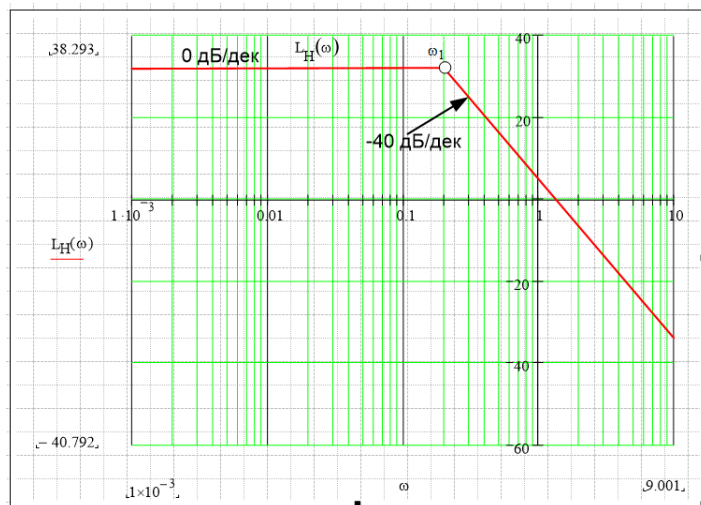


Рисунок 6.4 – ЛАЧХ незмінної частини системи

### 6.1.2 Побудова низькочастотної частини бажаної асимптотичної ЛАЧХ

Нахил і положення низькочастотної асимптоти бажаної ЛАЧХ  $L_{ж}(\omega)$  залежить від вимог, що висуваються до статичної точності проектованої системи. Так як на проектування системи ніяких додаткових вимог до статичної точності не висувається, тоді низькочастотна частина бажаної ЛАЧХ приймається співпадаючи з низькочастотною асимптотою незмінної частини системи.

### 6.1.3 Побудова середньочастотної частини бажаної асимптотичної ЛАЧХ

#### 1) Знаходження частоти зрізу $\omega_{cp}$ бажаної ЛАЧХ

- Для цього знайдемо  $\omega_{c1}$  – мінімальне допустиме значення частоти зрізу, використовуючи номограму Солодовникова[30], що представлена на рисунку 6.5. На ній встановлюємо відповідність між величиною максимального значення речової частотної характеристики замкнутої системи  $P_{max}$  і величинами перерегулювання  $\sigma$  і часу перехідного процесу  $t_p$  для статичних систем. По заданому допустимому значенню перерегулювання  $\sigma = 25\%$  по кривій  $\sigma(P_{max})$  номограми знаходимо  $P_{max} = 1.48$ , і використовуючи його за допомогою другої кривої  $t_p(P_{max})$  знаходимо значення часу перехідного процесу  $t_p$ , яке виражене через частоту зрізу  $\omega_{cp}$  співвідношенням  $\frac{4\pi}{\omega_{cp}}$ .

З рівняння  $t_p = \frac{4\pi}{\omega_{cp}}$  знаходимо мінімальну частоту зрізу.  $\omega_{cp} = \frac{4\pi}{t_p} = \frac{4\pi}{120} = 0.1\text{с}^{-1}$

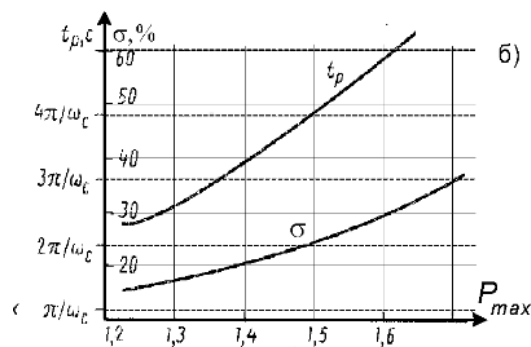


Рисунок 6.5 – Номограма статичних систем

#### 2) Побудова середньочастотної асимптоти бажаної ЛАЧХ

- Спочатку проводимо через точку  $\omega_{cp} = 0.1\text{с}^{-1}$  на осі частот середньочастотну асимптоту з нахилом – 20 дБ/дек ( див. рисунок 6.6).

#### 3) Находження діапазону частот середньочастотної частини ЛАЧХ

Для цього використовуємо номограму для знаходження ширини середньочастотної асимптоти і необхідного надлишку фази[30] ( див. рисунок 6.7)

По знайденому раніше значенню  $P_{max} = 1.48$ , знаходимо необхідний запас по фазі  $\gamma_{min} = 35^\circ$  і відповідні йому ординати середньочастотної ЛАЧХ  $L_m = \pm 10$ дБ. Лінії паралельної осі частот, проведені на рівні  $L_m = \pm 10$ дБ дають у точках перетину із середньочастотною асимптотою частоти сполучення середньочастотної асимптоти з низькочастотною  $\omega_2 = 0.04\text{с}^{-1}$  і високочастотною  $\omega_3 = 0.38\text{с}^{-1}$  асимптотами. (див. на рисунку 6.6)

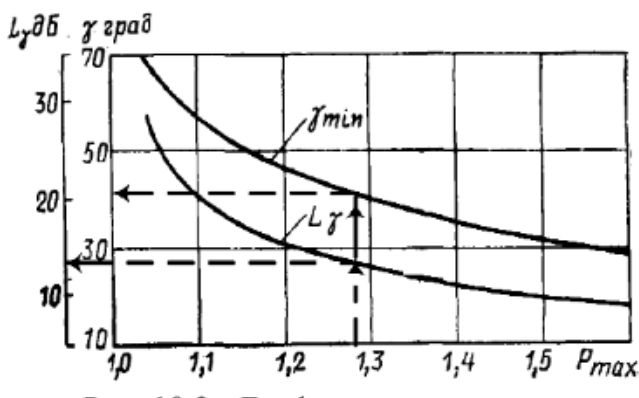


Рисунок 6.7 - номограма для знаходження ширини середньочастотної асимптоти і необхідного надлишку фази

#### 4) Поєднання низькочастотної та середньочастотної частин бажаної ЛАЧХ.

Характер поєднання низькочастотної та середньочастотної асимптот[30] залежить від їх взаємоположення. В даному випадку точка перетину низькочастотної та середньочастотної асимптот існує то вона визначає сполучення, як це показано на рисунку 6.8. Відповідно до варіанта сполучення, представленого на рисунку 6.8, виконуємо сполучення низькочастотної та середньочастотної частин бажаної ЛАЧХ сполучною асимптотою з нахилом мінус 20 дБ/дек. Візуально (за графіком) визначаємо частоту сполучення, рівну  $\omega_2 = 0.04\text{с}^{-1}$ .

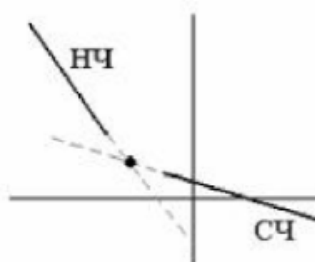


Рисунок 6.8 - поєднання низькочастотної та середньочастотної асимптот

#### 6.1.4 Побудова високочастотної частини бажаної ЛАЧХ и поєднання її з середньочастотною асимптою

Так як побудова високочастотної частини бажаної ЛАЧХ проводиться таким чином, щоб вигляд ЛАЧХ в цій області був як можна менше відрізнявся від вигляду незмінної ЛАЧХ. Тобто з

точки поєднання  $\omega_3 = 0.38\text{c}^{-1}$  виконуємо поєднання середньочастотної частини ЛАЧХ з високочастотною за допомогою поєднаної асимптоти з нахилом мінус 40 дБ/дек до перетину з високочастотною асимптотою незмінної ЛАЧХ. В області високих частот обираємо бажану ЛАЧХ, повністю збігаючою з незмінною.

Отже побудована таким чином бажана ЛАЧХ розімкнутої системи управління  $L_{\text{ж}}(\omega)$  представлена на рисунку 6.6, жирною лінією.

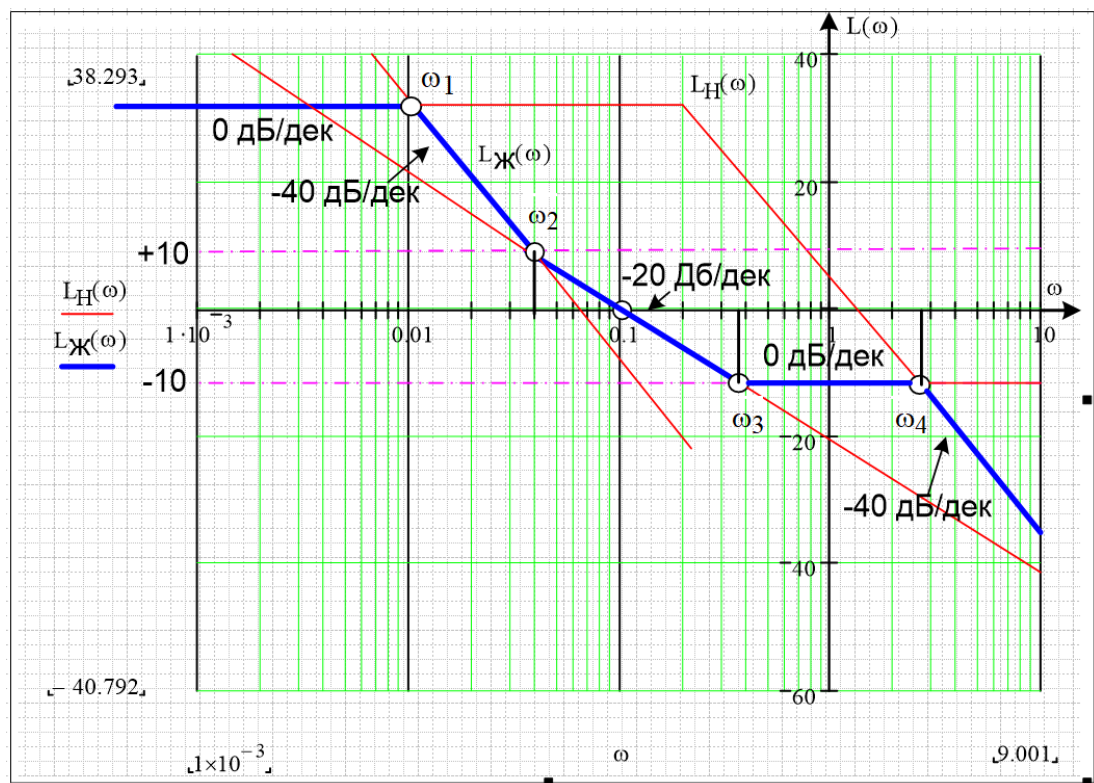


Рисунок 6.6 – бажана ЛАЧХ розімкнутої системи управління

### 6.1.5 Отримання передаточної функції розімкнутого ланцюга бажаної системи.

Щоб отримати передаточну функцію розімкнутого ланцюга бажаної системи  $W_{\text{ж}}(s)$  на вигляд отриманої бажаної асимптотичної ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  використовуємо методику побудови асимптотичної ЛАЧХ за видом передаточної функції.

- Знаходимо сполучні частоти  $\omega_i$  побудованої бажаної ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  і вишукуємо їх у порядку зростання;

$$\omega_1 = 0.01 \quad \omega_2 = 0.04 \quad \omega_3 = 0.38 \quad \omega_4 = 2,8$$

- Знаходимо вирази для співмножників чисельника та знаменника передавальної функції розімкнутої системи, послідовно аналізуючи поведінку асимптотичної ЛАЧХ:

- Після частоти сполучення  $\omega_1 = 0.01\text{c}^{-1}$ (праворуч) нахил асимптоти збільшується на 20 дБ/дек, що відповідає наявності у знаменнику співмножника  $\frac{1}{\omega_1}s + 1 = \frac{1}{0.01}s + 1 = 100s + 1$
- Після частоти сполучення  $\omega_2 = 0.04\text{c}^{-1}$ (праворуч) нахил асимптоти зменшується на 20 дБ/дек, що відповідає наявності у знаменнику співмножника  $\frac{1}{\omega_1}s + 1 = \frac{1}{0.04}s + 1 = 25s + 1$
- Після частоти сполучення  $\omega_3 = 0.38\text{c}^{-1}$ (праворуч) нахил асимптоти зменшується на 20 дБ/дек, що відповідає наявності у знаменнику співмножника  $\frac{1}{\omega_1}s + 1 = \frac{1}{0.38}s + 1 = 2.6s + 1$
- Після частоти сполучення  $\omega_4 = 2.8\text{c}^{-1}$  (праворуч) нахил асимптоти збільшується на 20 дБ/дек, що відповідає наявності у знаменнику співмножника  $\frac{1}{\omega_1}s + 1 = \frac{1}{2.8}s + 1 = 0.35s + 1$

Таким чином, передаточна функція бажаної розімкнутої системи буде мати вигляд:

$$W_{\text{ж}}(s) = \frac{50.1(25s + 1)(2.6s + 1)}{(100s + 1)^2(0.35s + 1)^2}$$

#### 6.1.6 Моделювання синтезованої системи і визначення показників якості перехідного процесу.

- Для того щоб визначити показники якості системи потрібно розімкнену передаточну

функцію перевести у замкнену передаточну функцію, за формулою  $W_e(s) := \frac{W(s)}{1 + W(s)}$ .

- Далі виконуємо зворотне перетворення Лапласа і формуємо передаточну функцію.

$$h(t) := \frac{W_e(s)}{s} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, } s \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow .980 - .216 \cdot \exp(-2.81 \cdot t) \cdot \cos(1.54 \cdot t) - .446 \cdot \exp(-2.81 \cdot t) \cdot \sin(1.54 \cdot t) + 1.00 \cdot \text{li}(-.223 \cdot \exp(-2.81 \cdot t) \cdot \cos(1.54 \cdot t) + .108 \cdot \exp(-2.81 \cdot t) \cdot \sin(1.54 \cdot t)) + 1.00 \cdot \text{li}(.223 \cdot \exp(-2.81 \cdot t) \cdot \cos(1.54 \cdot t) - .108 \cdot \exp(-2.81 \cdot t) \cdot \sin(1.54 \cdot t)) - .765 \cdot \exp(-6.20 \cdot 10^{-2} \cdot t) \cdot \cos(1.51 \cdot 10^{-2} \cdot t) + 2.28 \cdot \exp(-6.20 \cdot 10^{-2} \cdot t) \cdot \sin(1.51 \cdot 10^{-2} \cdot t) + 1.00 \cdot \text{li}(1.14 \cdot \exp(-6.20 \cdot 10^{-2} \cdot t) \cdot \cos(1.51 \cdot 10^{-2} \cdot t) + .382 \cdot \exp(-6.20 \cdot 10^{-2} \cdot t) \cdot \sin(1.51 \cdot 10^{-2} \cdot t)) + 1.00 \cdot \text{li}(-1.14 \cdot \exp(-6.20 \cdot 10^{-2} \cdot t) \cdot \cos(1.51 \cdot 10^{-2} \cdot t) - .382 \cdot \exp(-6.20 \cdot 10^{-2} \cdot t) \cdot \sin(1.51 \cdot 10^{-2} \cdot t))$$

- Будуємо перехідний процес в скорегованій системі(див. рисунок 6.9) і знаходимо показники якості.

а) Перерегулювання  $\sigma$  величина, рівна відношенню першого максимального відхилення керованої величини  $y(t)$  від її значення  $y(\infty)$  до встановленого значення.

Тобто перерегулювання дорівнює  $\sigma = 4\%$

б) Час регулювання  $t_p$  – інтервал часу від моменту застосування ступінчастої дії до моменту, після якого відхилення керованої (вихідної) величини  $y(t)$  від нового значення  $y(\infty)$ , що встановилося, стають менше деякого заданого числа  $\delta$ .

Тобто час перехідного процесу  $t_p = 18$  с.

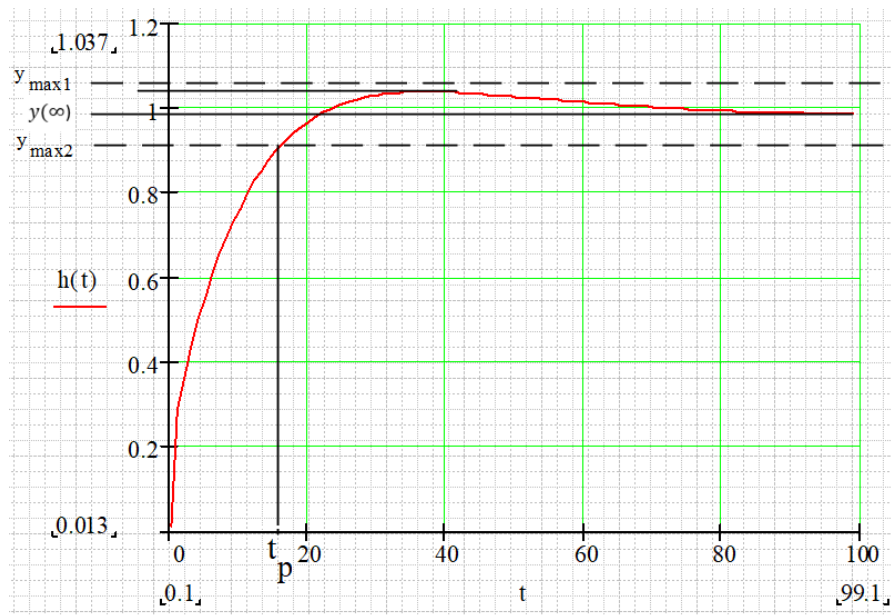


Рисунок 6.9 - перехідний процес в скорегованій системі

Отже: отримані показники якості перехідного процесу задовольняють попередньо заданим показникам, з цього виходить, що синтез виконано успішно.

## ВИСНОВКИ

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

Взявши до уваги особливості технологічного процесу виробництва вершкового масла, було обрано для використання централізовану систему контролю та регулювання. Для цього обрали технічні засоби автоматизації у яких найбільш важливішими критеріями вибору виступають їх точність, надійність та дешевизна.

Було розроблено креслення функціональної схеми автоматизації, а також розрахована параметри регулювання, які задовольняють показникам якості.

Завдяки використанню сучасних та новітніх технічних засобів автоматизації, отримали підвищення ефективності виробництва, що призвело до:

- зниження сировинних витрат, а також енергетичних ресурсів на ТП.
- можливості використовувати меншу кількість робітників, щоб підтримувати технологічний процес у робочому стані без аварійних ситуацій.
- покращення якості продукції, що випускається і в тому числі зменшення ціни на продукцію, що була виготовлена.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сухотеpla К. В. Особливості виготовлення вершкового масла : Реферат. [електронний ресурс] <http://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/2780/1/.pdf>
2. Бредихін С.О. Технологія і техніка переробка молока : Підручник [електронний ресурс] [https://studref.com/667574/tovarovedenie/tehnologiya\\_i\\_tehnika\\_pererabotki\\_moloka](https://studref.com/667574/tovarovedenie/tehnologiya_i_tehnika_pererabotki_moloka)
3. Карпеня М.М. Технологія виробництва молока і молочних продуктів : Підручник [електронний ресурс] [https://studref.com/675059/agropromyshlennost/tehnologiya\\_proizvodstva\\_moloka\\_i\\_molochnyh\\_produktov](https://studref.com/675059/agropromyshlennost/tehnologiya_proizvodstva_moloka_i_molochnyh_produktov)
4. Карпеня М.М. Способи виробництва масла : Підручник [електронний ресурс] [https://studref.com/675109/agropromyshlennost/sposoby\\_proizvodstva\\_masla](https://studref.com/675109/agropromyshlennost/sposoby_proizvodstva_masla)
5. Бредихін С.О. Технічні операції при виробництві масла збиванням вершків : Підручник [електронний ресурс] [https://studref.com/667666/tovarovedenie/tehnologicheskie\\_operatsii\\_proizvodstve\\_masla\\_sbivaniem\\_slivok#328](https://studref.com/667666/tovarovedenie/tehnologicheskie_operatsii_proizvodstve_masla_sbivaniem_slivok#328)
6. Бредихін С.О. Особливості виробництва вершкового масла способом збивання вершків : Підручник [електронний ресурс] [https://studref.com/667667/tovarovedenie/osobennosti\\_proizvodstva\\_slivochnogo\\_masla\\_sposobom\\_sbivaniya\\_slivok#812](https://studref.com/667667/tovarovedenie/osobennosti_proizvodstva_slivochnogo_masla_sposobom_sbivaniya_slivok#812)
7. Бредихін С.О. Масло виробники : Підручник [електронний ресурс] <https://studref.com/667678/tovarovedenie/masloizgotoviteli>
8. Бредихін С.О. Контроль якості під час виробництва вершкового масла : Підручник [електронний ресурс] [https://studref.com/667674/tovarovedenie/kontrol\\_kachestva\\_proizvodstve\\_slivochnogo\\_masla#137](https://studref.com/667674/tovarovedenie/kontrol_kachestva_proizvodstve_slivochnogo_masla#137)
9. Технічні характеристики та опис витратоміра SIEMENS SITRANS FX330. [електронний ресурс] <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:22c18854-b10c-4cf9-9fa8-b868fe2d22e6/fi01-fx330-ua.pdf>
10. Опис витратоміра T-SONIC TUF2000B. [електронний ресурс] <https://gtest.com.ua/uk/vimiryuvalni-priladi/vitratomiri-ultrazvukovi/TUF2000B.html>
11. Технічні характеристики витратоміра T-SONIC TUF2000B. [електронний ресурс] <https://drive.google.com/file/d/0Bxn-7lFBAZdQmdIc0pQWgdIMFk/view?resourcekey=0-nHwucjEdEhrFsAbBg5xTKQ>
12. Особливості ультразвукових витратомірів. [електронний ресурс]



[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B2%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC%D1%96%D1%80](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%B2%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC%D1%96%D1%80)

13. Особливості датчиків рівня. [електронний ресурс]

[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8\\_%D1%80%D1%96%D0%B2%D0%BD%D1%8F](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D1%80%D1%96%D0%B2%D0%BD%D1%8F)

14. Технічні характеристики рівнеміра ОВЕН ПДУ-И 3000. [електронний ресурс]

<https://owen.ua/ua/datchyky/pdu-i-poplavlkovyi-datchyky-rivnja-z-analogovym-vhidnym-sygnalom-4-20-ma>

15. Технічні характеристики рівнеміра OPTIWAVE 5400. [електронний ресурс]

<https://krohne.com/ru/pribory/izmerenie-urovnja/urovneremery/radarnye-fmcw-urovneremery/optiwave-5400>

16. Особливості частотних перетворювачів. [електронний ресурс]

<https://ovk.ua/ua/shop/category/elektro-oborudovanie/chastotnye-preobrazovateli/chastotnye-preobrazovateli-danfoss>

17. Технічні характеристики та опис частотного перетворювача Danfoss VLT Basic Drive FC 101 0,75 кВт - 131L9862. [електронний ресурс]

<https://ovk.ua/ua/shop/product/chastotnyi-preobrazovatel-danfoss-vlt-basic-drive-fc-101-075-kvt-131l9862>

18. Технічні характеристики та опис частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3 кВт/3ф - 132F0024. [електронний ресурс]

<https://ovk.ua/ua/shop/product/132f0024-danfoss-fc-51>

19. Технічні характеристики та опис термоперетворювача опору ОВЕН ДТС405М-РТ100.0,5.160.МГ.И(1). [електронний ресурс]

<https://owen.ua/ua/datchyky/dtsxx5mi-ymoperetvorjuvachi-oporu-z-vyhidnym-sygnalom-4...20ma/tehnichni-harakterystyky>

20. Технічні характеристики та опис термоперетворювача опору ОВЕН ДТС125М-100М.1,0.80.И(14). [електронний ресурс]

<https://owen.ua/ua/datchyky/dts125m-i-termoopory-dlja-vymirjuvannja-temperatury-povitrja-z-vyhidnym-sygnalom-4-20-ma/poznachennja-pry-zamovlenni>

21. Особливості електроприводів. [електронний ресурс]

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D1%96%D0%B4>

22. Технічні характеристики та опис електропривода AMV 435. [електронний ресурс]

[https://epicentrk.ua/ua/shop/mplc-yelektroprivid-danfoss-amv-435-230-v-1ecfbaea-d048-6972-8ad9-7f1ccb0327d6.html?gclid=EAIaIQobChMIxYfCgbu2\\_wIV5gWiAx09ogWiEAQYAiABEgLjrfD\\_BwE](https://epicentrk.ua/ua/shop/mplc-yelektroprivid-danfoss-amv-435-230-v-1ecfbaea-d048-6972-8ad9-7f1ccb0327d6.html?gclid=EAIaIQobChMIxYfCgbu2_wIV5gWiAx09ogWiEAQYAiABEgLjrfD_BwE)

23. Технічні характеристики та опис електропривода BELIMO L24A. [електронний ресурс]  
[https://profimann.com.ua/zaporno-reguliruyuschaya-armatura/elektroprivody/elektroprivod-belimo-lr24a-24v-90s-5nm-3-point/?gclid=EAIAIQobChMIg6yrx7q2\\_wIVb0KRBR2wIQCDEAQYCSABEGIstPD\\_BwE](https://profimann.com.ua/zaporno-reguliruyuschaya-armatura/elektroprivody/elektroprivod-belimo-lr24a-24v-90s-5nm-3-point/?gclid=EAIAIQobChMIg6yrx7q2_wIVb0KRBR2wIQCDEAQYCSABEGIstPD_BwE)
24. Опис ПЛК. ОВЕН ПЛК200-03-CS. [електронний ресурс]  
<https://owen.ua/ua/programovani-logichni-kontrolery/plk200-programovanyj-logichnyj-kontroler/tehnichni-harakterystyky>
25. Конструктивні особливості ПЛК ОВЕН ПЛК200-03-CS. [електронний ресурс]  
[https://owen.ua/uploads/139/re\\_oven\\_plk200\\_2-uk-105791-1.3.pdf](https://owen.ua/uploads/139/re_oven_plk200_2-uk-105791-1.3.pdf)
26. Технічні характеристики ПЛК ОВЕН ПЛК200-03-CS. [електронний ресурс]  
[https://owen.ua/uploads/145/kr\\_oven\\_plk200-03\\_2-uk-105418-1.3\\_a4.pdf](https://owen.ua/uploads/145/kr_oven_plk200-03_2-uk-105418-1.3_a4.pdf)
27. Опис ПЛК ОВЕН ПЛК160-24-A-M(M02). [електронний ресурс]  
<https://owen.ua/ua/programovani-logichni-kontrolery/plk160-m02-programovanyj-logichnyj-kontroler>
28. Технічні характеристики ПЛК ОВЕН ПЛК160-24-A-M(M02). [електронний ресурс]  
[https://owen.ua/uploads/119/kr\\_oven\\_plk160\\_m02\\_2-uk-60704-1.3\\_a3.pdf](https://owen.ua/uploads/119/kr_oven_plk160_m02_2-uk-60704-1.3_a3.pdf)
29. Опис пластинчастий охолоджувач [електронний ресурс]  
<https://kmbp.com.ua/produksiya/rishennia-dlia-molochnoi-promyslovosti/pasterizatori-ta-okholodzhuvachi/okholodzhuvach-plastynchastyi>
30. Теорія автоматичного управління: конспект лекцій: у 2 частинах. Ч. 2 «Синтез лінійних систем автоматичного управління» / укладач Г. М. Худoley. – Суми: Сумський державний університет, 2012. - 87с.
31. Теорія автоматичного управління : конспект лекцій : у 2 ч. Ч. 1 «Аналіз лінійних систем автоматичного управління» / укладач Г. М. Худoley. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 179 с.

