

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Виконуючий обов'язки завідувача кафедри

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

К.Т.Н., доцент _____ О.О. Опришко

(підпис)

(ПІБ)

" ____ " _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему "Розроблення системи автоматичного керування
температурою молока в танку-охолоджувачі із використанням
комплексу технічних засобів ОВЕН"**

Спеціальність 174 - "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

А.О. Дудник

(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Цигульов І. Т.

(П.І.Б.)

Виконав

(підпис)

Індиченко О. А.

(П.І.Б.)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Виконуючий обов'язки завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

к.т.н., доцент _____ О.О. Опришко

(підпис)

(ПІБ)

" ____ " _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проекту бакалавра студенту

Індиченку Олексію Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 174 - " Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка "

1. Тема дипломного проекту бакалавра: "Розроблення системи автоматичного керування температурою молока в танку-охолоджувачі із використанням комплексу технічних засобів ОВЕН",

затверджена наказом ректора НУБіП України від "24" 10 2025 р. № 2518"С"

2. Термін подання завершеного проекту на кафедру "31" травня 2026 р.

3. Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра:

- 3.1. Завдання кафедри для виконання дипломного проекту.
- 3.2. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.
- 3.3. Наукова література з тематики дипломного проекту.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

- 4.1. Охолодження як складова частина технологічного процесу первинної обробки молока.
- 4.2. Технологічна частина проекту.
- 4.3. Електротехнічна частина проекту.
- 4.4. Розробка системи автоматизації танка-охолоджувача молока ТОМ-2А.
- 4.5. Техніко-економічне обґрунтування проекту.

5. Перелік графічних документів:

- 5.1. Функціональна схема автоматизації системи керування танком-охолоджувачем молока ТОМ-2А.
- 5.2. Нормована розгінна характеристика танка-охолоджувача по каналу регулювання температури молока.
- 5.3. Схема САК температурою молока в танку-охолоджувачі структурно-алгоритмічна.
- 5.4. Визначення стійкості роботи системи за методом Гольдфарба.
- 5.5. Перехідний процес в САК температурою молока в танку-охолоджувачі.
- 5.6. Система керування танком-охолоджувачем молока ТОМ-2А. Схема електрична принципова.

Дата видачі завдання "07" листопада 2025 року.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

(Керівник дипломного проєкту бакалавра)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1	6
1.1. Основи технології для первинної обробки молока	6
1.2. Обладнання для охолодження молока	6
РОЗДІЛ 2	10
2.1. Вибір технологічного обладнання.....	10
2.2. Розрахунок параметрів електропривода водяного насоса системи охолодження молока.....	15
2.3. Вибір апаратів для керування та захисту	15
2.4. Вибір щита керування.....	20
РОЗДІЛ 3	22
3.1. Функціональна технологічна схема автоматизації системи керування танком-охолоджувачем молока ТОМ-2А	22
3.2. Оптацювання динамічних характеристик танка-охолоджувача як об'єкта керування температурою молока	23
3.3. Визначення алгоритму керування	27
3.4. Визначення сприймаючого елемента САК температурою молока в танку-охолоджувачі	28
3.5. Визначення виконавчого механізму САК та вибір його передатної	Ошибка! Закладка не определена.
3.6. Підбір промислового регулятора.....	44
3.7. Розробка електричної принципової схеми системи керування танком- охолоджувачем молока ТОМ-2А.....	45
3.8. Визначення показників якості системи автоматичного керування та дослідження на стійкості та роботи	46
РОЗДІЛ 4	48
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

ВСТУП

У сучасному молочному виробництві особливу увагу потрібно приділити забезпеченню належної якості молока ще саме на етапі його первинної обробки у фермерських господарствах. Від дотримання технологічних умов доїння, очищення, пастеризації та своєчасного охолодження значною мірою залежить збереження якісних показників продукції. В теплий період року проблема погіршення якості молока стає особливо відчутною через інтенсивний розвиток мікроорганізмів і підвищення кислотності, що негативно впливає на відповідність продукції встановленим стандартам та знижує рентабельність виробництва.

Об'єктом дослідження є процес охолодження молока в танку-охолоджувачі типу ТОМ-2А, який використовується на молочнотоварних фермах у системі первинної обробки молочної продукції.

Предмет дослідження охоплює температурні режими охолодження, процеси теплообміну, а також функціонування систем автоматизованого керування процесом підтримання необхідної температури молока.

Основною метою роботи є вдосконалення системи автоматичного керування температурним режимом охолодження молока для підвищення ефективності роботи обладнання та забезпечення стабільної якості продукції із застосуванням сучасних технічних засобів автоматизації.

Для виконання поставлених завдань застосовуються методи аналізу технологічних процесів первинної обробки молока, математичного моделювання теплообмінних процесів, теорії автоматичного керування, інженерних розрахунків електротехнічного обладнання та техніко-економічного оцінювання.

У роботі розглядаються питання дослідження процесу охолодження молока, побудови математичної моделі об'єкта керування, вибору сучасних засобів автоматизації та визначення ефективності їх використання у виробничих умовах.

РОЗДІЛ 1

ОХОЛОДЖЕННЯ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ МОЛОКА

1.1. Основні технології для первинної обробки молока

Молоко – це біологічна рідина, що є секретом молочної залози ссавців і забезпечує організм поживними, мінеральними та біологічно активними речовинами. Воно є важливим продуктом харчування людини та сировиною для виробництва різноманітних молочних продуктів.

Хімічний склад молока залежить від породи, віку тварин, періоду лактації, умов годівлі та утримання. У середньому воно містить близько 87,5% води та 12,5% сухих речовин, до складу яких входять білки, жири, молочний цукор, мінеральні речовини, вітаміни та інші біологічно активні компоненти.

Молоко належить до швидкопсувних продуктів, оскільки є сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів. Тому його якість значною мірою залежить від своєчасності та правильності обробки.

У технології молочної промисловості процеси поділяються на основні та допоміжні. До основних належать гідромеханічні (фільтрування, сепарація, транспортування), біохімічні (бродиння, дозрівання), теплові (охолодження, пастеризація) та механічні (гомогенізація). Допоміжні процеси включають приймання, контроль якості, транспортування, миття обладнання та зберігання.

Процеси на молочних фермах мають специфічні особливості: нестаціонарність режимів роботи, випадкові зміни витрат молока, наявність двофазних потоків та циклічність функціонування обладнання.

Мікроклімат виробничого приміщення є важливим чинником, що впливає на стан здоров'я та працездатність персоналу. До основних параметрів мікроклімату належать температура повітря, його вологість і швидкість руху.

Після доїння молоко фільтрують і охолоджують до температури не вище 10 °С, після чого зберігають у спеціальних ємностях протягом обмеженого часу. Подальша обробка на підприємствах включає очищення, сепарацію, нормалізацію, гомогенізацію, термічну обробку та фасування.

Парне молоко має температуру, сприятливу для розвитку мікроорганізмів, тому без охолодження швидко зростає його кислотність, що призводить до погіршення якості. Зниження температури уповільнює розвиток мікрофлори, хоча повністю не знищує її. Температура охолодження визначається тривалістю зберігання і зазвичай знаходиться в межах від +1 до +10 °С.

Отже, ефективна організація процесів первинної обробки, зокрема швидкого охолодження молока, є ключовою умовою збереження його якості та зменшення втрат при зберіганні і транспортуванні.

1.2. Обладнання для охолодження молока

Охолодження молока відбувається шляхом теплообміну з холодоносієм, який відбирає тепло, охолоджує продукт і при цьому сам нагрівається.

Обладнання для охолодження класифікують за різними ознаками: типом взаємодії з середовищем (відкрите і закрите), конструкцією та формою (трубчасте, пластинчасте, плоске, кругле), способом руху продукту (під тиском, вакуумом або самопливом) і напрямком потоків теплообміну (прямоточний, зустрічний, перехресний).

До охолоджувачів висувають вимоги: універсальність, захист від бактеріального забруднення, зручність очищення та запобігання випаровуванню продукту.

Найпростішим способом є охолодження у флягах, однак воно малоефективне і трудомістке. Швидше охолодження досягається у холодній проточній воді або з використанням льоду.

Найбільш ефективними є пластинчасті охолоджувачі, які відзначаються високою продуктивністю, компактністю та інтенсивною тепловіддачею.

Тривалий вплив може призводити до різних негативних наслідків для здоров'я, включаючи порушення слуху, підвищення рівня стресу та тривожності, зниження концентрації та продуктивності праці, а також розлади нервової та серцево-судинної систем.

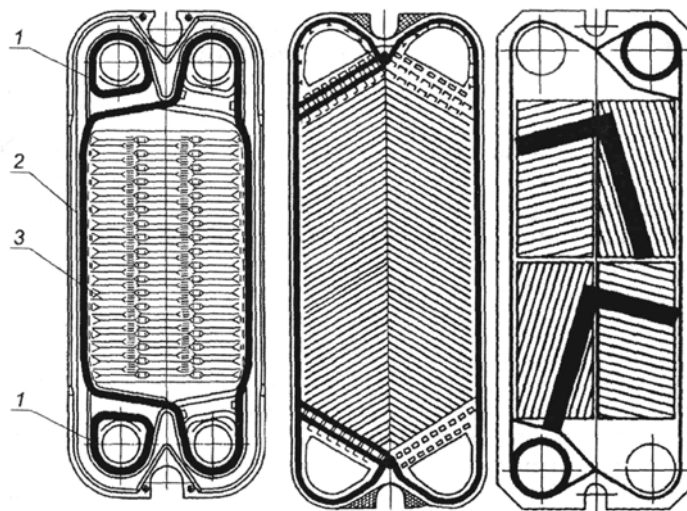


Рис. 1.1. Схеми пластин пластинчастих теплообмінників: 1 – мала прокладка; 2 – велика прокладка; 3 – пластина

Розрізняють одно- та двохсекційні пластинчасті охолоджувальні установки. Секції замикаються кільцевими пластинами. В одnoseкційних молоко охолоджується тільки одним холодоносієм (водою або розсолом), а в двохсекційних – у першій секції водопровідною водою, а в другій - доохолоджується льодяною водою або розсолом. Пластини компонуються за допомогою затискних пристроїв на загальній рамі так, щоб їх було зручно розбирати і збирати під час огляду, очищення та зміни прокладок.

Застосовують такі пластинчасті холодильні установки, як ООУ-М (рис. 1.2), ООТ-М, ПОМ-1, ОМ-400А, АІ-ООЛ-3, АІ-ООЛ-5 та ін.

Автоматизовані пластинчасті охолоджувальні установки ООУ-М і ООТ-М, що мають відповідно продуктивність 3000 і 5000 л/год., служать для охолодження молока від температури 35°C до 4÷2°C. Теплообмінники комплектовані на базі пластин П1 і включають дві секції: водяного і розсольного охолодження. В секції водяного охолодження молоко охолоджується до температури 20÷22°C і доохолоджується в секції розсольного охолодження.

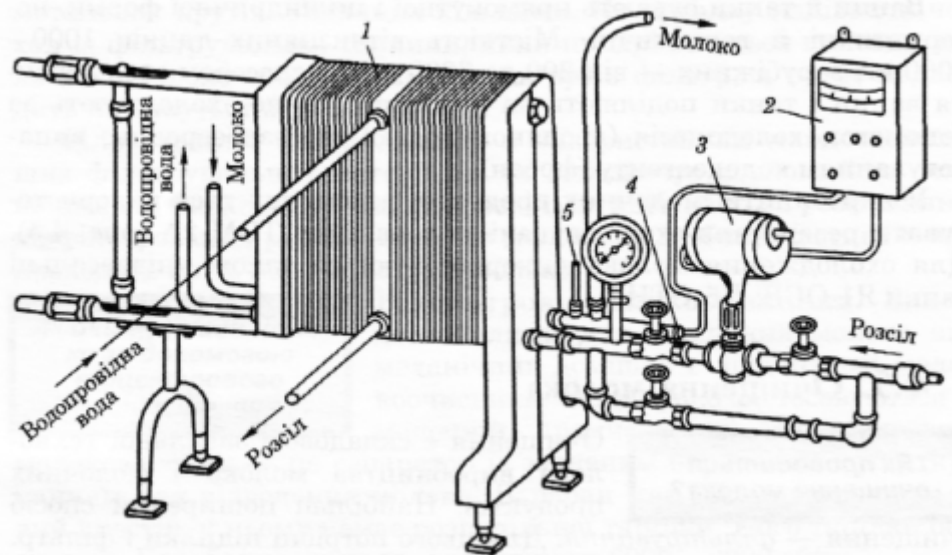


Рис. 1.2. Автоматизована пластинчаста установка для охолодження молока ООУ-М: 1 – пластинчастий охолоджувач; 2 – шафа управління; 3 – виконавчий механізм; 4 – термометр опору; 5 – ртутний термометр

Пластинчасті охолоджувальні установки ОО1-У10 та ООУ-25 охолоджують молоко від 20°C до 4°C з продуктивністю 10 000 і 25 000 л/год. Вони двосекційні (водяна та розсольна) та забезпечують охолодження в замкнутому потоці з можливістю циркуляційного промивання лінії. Недоліки – багато гумових прокладок та необхідність резервуару для тимчасового зберігання молока.

Для збирання, охолодження та зберігання молока застосовують резервуари (ванни та танки), що зменшують втрати молока та витрати праці. Вони бувають прямокутні або циліндричні, герметичні та негерметичні, місткістю від 200 до 30 000 л, з охолодженням холодоносієм або фреоном. В Україні використовують резервуари ТОМ-2А, Я1-ОСВ, Л5-ОТН та імпорتنі установки.

Високі значення можуть бути зумовлені формуванням у легованому шарі, при умовах електроіскрових розрядів, комплексних інтерметалідів. Метод електроіскрового легування є економічно вигідним і екологічно чистим процесом нанесення покриттів, який не вимагає складного обладнання та високих витрат енергії. Цей метод забезпечує хорошу адгезію покриття до основного матеріалу та можливість контролю товщини покриття.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Вибір технологічного обладнання

Об'єктом дипломного проекту є молочний блок, виконаний за типовим проектом 810-5-28.85, який обслуговує два корівники на 200 корів із прив'язним утриманням, які входять до складу молочно-товарної ферми ВРХ

1 – сховище половини; 2 – зерносховище; 3 – будівля для 3 тракторів зі складом для дезінфікуючих засобів; 4 – склад вітамінного борошна; 5 – Водонапірна башта; 6 – склад концентрованих кормів; 7 – телятник на 342 гол. із родильним відділенням; 8 – каналізаційна насосна станція; 9 – кормоцех; 10 – будівля молодняку на 240 гол.; 11 – трансформаторна підстанція; 12 – силосні траншеї; 13, 14 – гноєсховище; 15 – майданчик для зберігання грубих кормів; 16 – майданчик для обробки шкіряного покриву ВРХ; 17, 19 – корівник на 200 гол.; 18 – молочний блок; 20 – бригадний будинок; 21 – санпропускник; 22 – амбулаторія; 23 – ізолятор.

Молочний блок призначений для збору молока, його первинної обробки та нетривалого зберігання.

В склад молочного блоку будуть входити такі елементи технологічного обладнання, як:

- вакуумний насос щоб створювати вакууму у молокопроводі;
- пастеризатори;
- сепаратор-очишувачі;
- насоси для використання з водою і молоком;
- резервуар молока;
- охолоджувач для молока;
- холодильний агрегат.

Продуктивність технології будемо визначати за формулою:

$$V = 0,1014 \cdot \frac{M \cdot N \cdot I \cdot Ж \cdot (1 - I_x)}{D \cdot T}; \quad (2.1)$$

де M – кількість поголів'я, гол., $M = 400$ гол.;

N – середньорічний надій на одну корову, кг, $N = 4001$ кг;

I – коефіцієнт нерівномірності, $I = 1,26$;

$Ж$ – частина добового надою, що приходить на максимальний разовий надій, при дворазовому доїнні $Ж = 0,6$;

I_x – коефіцієнт, що враховує кількість сухостійних корів у стаді,

$I_x = 0,18$;

D – кількість днів максимального за надоєм місяця, $D = 30$;

T – тривалість доїння, год., $T = 2$ год.

$$V = 0,1014 \cdot \frac{400 \cdot 4000 \cdot 1,25 \cdot 0,6 \cdot (1 - 0,18)}{30 \cdot 2} = 1662,96 \text{ кг/год.}$$

Для забезпечення реалізації технологічних процесів у молочному відділенні передбачено таке технологічне обладнання:

– вакуумні насоси УВУ-60/45 (2 одиниці) продуктивністю 45 м³/год кожен, укомплектовані електродвигунами AIR100S4U3 потужністю 3,0 кВт;

– молочний насос НМУ-6 продуктивністю 3000–6000 л/год із приводом від електродвигуна AIR71V2U3 потужністю 1,1 кВт;

– резервуари для охолодження молока ТОМ-2А (3 одиниці) робочим об'ємом 1800 л, укомплектовані холодильною установкою МХУ-12Т, із часом охолодження 2,0–2,5 год (з подальшим обґрунтуванням потужності електроприводів мішалки та мийної системи);

– холодильні установки МХУ-12Т (2 одиниці) для резервуарів охолодження, кожна холодопродуктивністю 35 600 кДж/год (з подальшим обґрунтуванням потужності електроприводів компресора та вентилятора конденсатора);

– сепаратор-очисник ОМ-1 продуктивністю 1500 л/год і встановленою потужністю 1,5 кВт;

- пастеризатор ОПД-1М продуктивністю 1800 л/год, площею поверхні теплообміну 1,2 м² та електродвигуном AIR80V4U3 потужністю 1,5 кВт;
- водяний насос КМ50-32-125А продуктивністю 10 м³/год та напором 16 м (з подальшим обґрунтуванням потужності електродвигуна);
- електричні водонагрівачі ВЕТ-400 (2 одиниці) продуктивністю 80 кг/год і потужністю 10,5 кВт.

Резервуар для охолодження молока ТОМ-2А (рис. 2.1) призначений для збирання, охолодження та короткочасного зберігання молока на фермі. Його конструкція включає молочну ємність (рис. 2.1), оснащену мішалкою, а також холодильну установку типу МХУ-12Т.

Холодильна установка МХУ-12Т складається з таких основних вузлів:

- фреонового чотирициліндрового одноступеневого компресора типу ФУ-12;
- конденсатора, виконаного у вигляді оребреного змійовика з латунних трубок з алюмінієвим оребренням, із загальною площею поверхні теплообміну 75 м², оснащеного чотирилопатевим вентилятором.

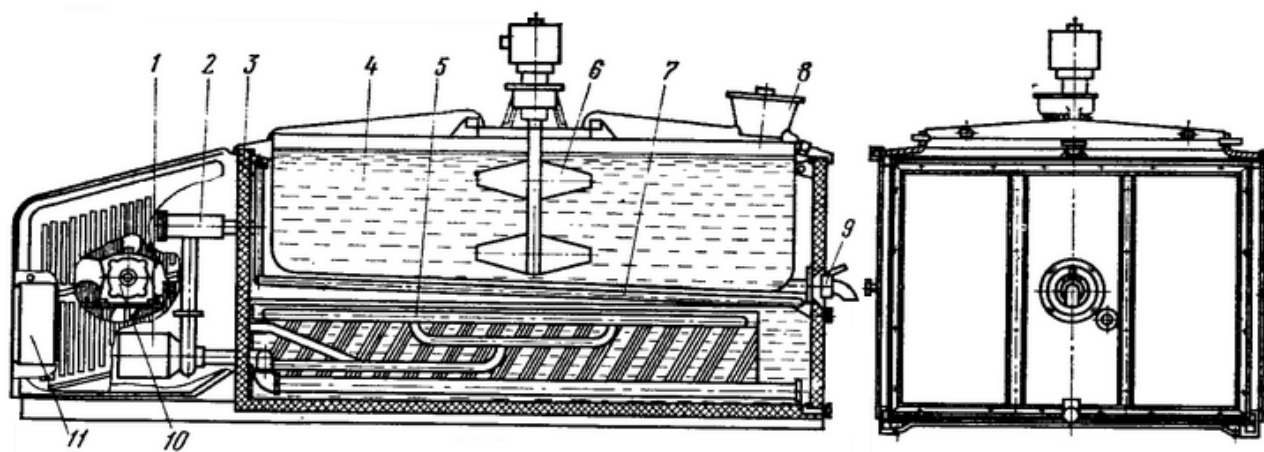


Рис. 2.1. Зовнішнє виконання танк-охолоджувача молока ТОМ-2А:

1 – це насос; 2 – є фільтр; 3 – це корпус; 4 – це ванна; 5 – є випаровувач; 6 – це мішалка; 7 – є система зрошування; 8 – це молочний фільтр; 9 – це зливний патрубок; 10 - компресорно-конденсаторний агрегат; 11 – шафа управління

- ресивера 3;

- фільтра-осушника 4;
- теплообмінника 5;
- панельного зануреного випарника (акумулятора холоду) 6 з 12 панелями загальною площею 21,4м², встановленого на дні водяного бака;
- відцентрового насоса 7 для води КМ-50-32-125А;
- терморегулюючого вентиля 10;
- реле тиску 11.

Крім циклічних операцій, принципова схема містить і позациклові функції, виконання яких не пов'язане з окремими робочими циклами. До таких функцій належать контроль тех. стану та ресурсу інструменту за кількістю відпрацьованих циклів або часом експлуатації, ведення обліку браку, фіксація простоїв обладнання, а також диспетчерське керування процесами. З урахуванням функцій принципова схема є документом, який визначає структуру та склад алгоритмів системи керування. Функціональні можливості системи можуть бути розширені із реалізації дистанційного пуску і зупинки дільниці від, забезпечення роботи виробничої системи в автоматичному або напівавтоматичному режимі, а також автоматичного відновлення її працездатності.

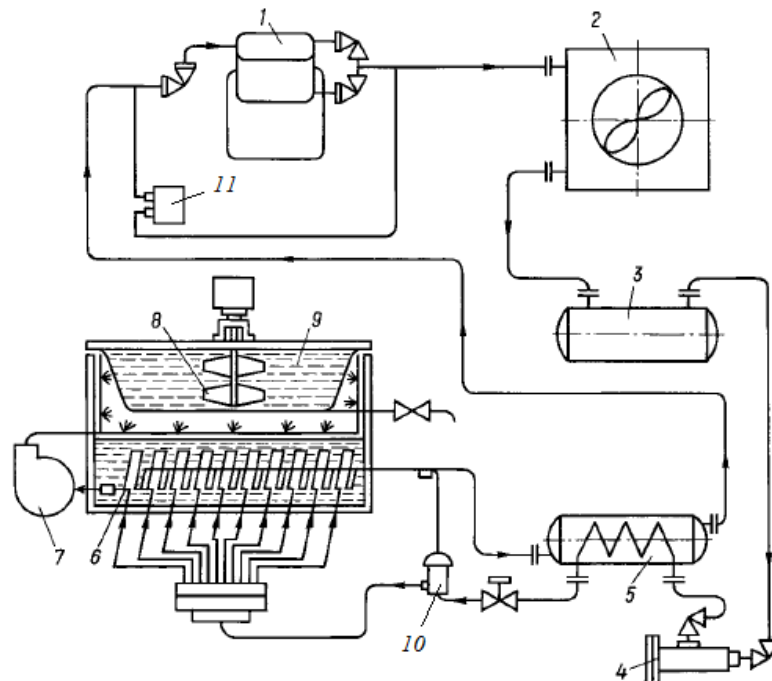


Рис. 2.2. Технологічна схему танка-охолоджувачу молока ТОМ-2А:

На основі функцій, передбачених принциповою схемою, формують часткові алгоритми, що використовуються як основа для подальшого програмування системи. Рівень деталізації таких алгоритмів залежить від складу та можливостей операторів ЕОМ.

В даній таблиці наведена характеристики танка-охолоджувача ТОМ-2А в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Технічні характеристики танка-охолоджувача молока ТОМ-2А

Продуктивність при охолодженні молока, л/добу	5400-7200
Габарити, л: геометрична робоча	2000 1800
Година акумуляції холоду охолодження молока	3...4 2,0...2,5
Температура, °C що надходить для охолодження охолодженого	36 4...6
Холодильник: Марка виробу продуктивність по холоду, кДж/год. холодильний агент	МХУ12Т 35600 фреон-12
Конденсаторна установка: Марка виробу поверхня теплообміну, м ²	КВ-75 75
Масло в змащенні	Ф-12-18
Водяний насос системи зрошення: марка продуктивність, м ³ /год. напір, м ККД, %	КМ-50-32-125А 10,0 16,0 56
Габаритні розміри (висота з мішалкою), мм	4040x1670x1764
Маса, кг	1522

2.2. Розрахунок параметрів електропривода водяного насоса системи охолодження молока

Як зазначалося раніше, для подачі води в систему охолодження молока буде застосовуватись насос типу КМ50-32-125А (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Візуальний вигляд насоса КМ50-32-125А

Відцентрові консольні моноблочні електронасоси серії КМ призначені для перекачування технічної води, окрім морської, а також інших рідин, фізико-хімічні властивості яких подібні до води, у стаціонарних умовах роботи. У рідині допускається наявність механічних домішок у кількості до 0,1 % від її об'єму, при цьому розмір твердих частинок не повинен перевищувати 0,2 мм. Насоси даної серії належать до I класу електробезпеки, є виробами та мають відповідне кліматичне виконання для експлуатації у встановлених умовах.

2.3. Вибір апаратів для керування та захисту

Згідно з електричною схемою керування танком-охолоджувачем молока ТОМ-2А, запуск, вимкнення та захист електродвигунів здійснюються за допомогою автоматичного вимикача QF, електромагнітних пускачів КМ1–КМ4 і теплових реле КК1–КК5. Захист кола керування забезпечується запобіжником FU, а захист блока логічного керування — реле струму КА. Вибір та перемикання режимів роботи виконуються пакетним перемикачем SA і тумблерами S1–S4. Для комутації електричних кіл використовується проміжне реле KV1, а світлова індикація режимів «Живлення» та «Аварія» здійснюється сигнальними лампами HL1 і HL2.

Окремі автоматизовані вузли, що входять до складу установки, є конструктивними елементами, які забезпечують виконання основних робочих операцій технологічного процесу охолодження та контролю. Допоміжні операції, зокрема холості ходи, реалізуються механізмами транспортування та іншими допоміжними пристроями. Система керування координує роботу всіх механізмів, забезпечує взаємне блокування, контроль технічного стану, пошук несправностей і подачу сигналізації. Під час роботи танка-охолоджувача ТОМ-2А можуть одночасно функціонувати мішалка М1, водяний насос системи охолодження М2, компресор М3 та вентилятор конденсатора М4.



Рис. 2.3. Візуальний вигляд автоматичного вимикача
BA47-29 3P 25A 4,5кА

Таблиця 2.11.

Таблиця характеристики теплового реле КК1-КК5

Електро-двигун за принциповою схемою	Номінальний струм електродвигуна, $I_{H.д}, A$	Теплове реле за принциповою схемою	Тип теплового реле	Номінальний струм теплового реле, $I_{H.ПР}, A$	Діапазон керування струму неспрацювання, $I_{H.ЕСПР.ПР}, A$
М1	0,5	КК1	РТЛ1004	25	0,38 – 0,65
М2	3,2	КК2	РТЛ1008		2,4 – 4,0
М3	11,0	КК3	РТЛ1016		9,5 – 14,0
М4	1,9	КК4	РТЛ1007		1,5 – 2,6
М5	3,1	КК5	РТЛ1008		2,4 – 4,0

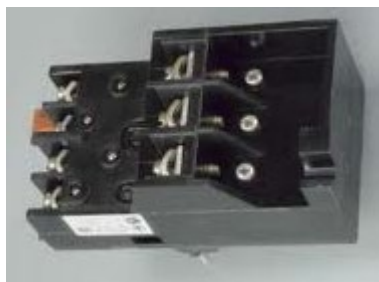


Рис. 2.4. Візуальний вигляд теплового реле РТЛ

Оскільки в колах керування протікають невеликі струми, максимальне значення яких не перевищує 5 А, доцільним є використання плавкого запобіжника NTOOC (рис. 3.6) з номінальним струмом 6 А. Даний запобіжник призначений для експлуатації в колах змінного струму з напругою до 660 В та відповідає вимогам міжнародних стандартів IEC269 і VDE0636.



Рис. 2.5. Зовнішнє виконання плавкого запобіжника NTOOC

Для захисту блока логічного керування від струмів, величина яких перевищує допустиме значення 1 А, згідно з принциповою схемою застосовано реле струму АЛ-1 (рис. 3.7). Це реле призначене для використання в системах автоматики та захисту енергетичного обладнання від перевантажень за струмом. Основні технічні характеристики реле наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12.

Технічні характеристики реле струму АЛ-1

Номінальна напруга живлення, В	- 110, 220 100, 220 (50Гц)
Номінальний струм, А діапазон уставок струму спрацювання, А	1,0 0,125 – 1,0
Час спрацювання реле, с, не більше	0,05

Кількість та тип контактів	(13) + (1р)
Комутаційна зносостійкість, циклів, не менше	20000
Механічна зносостійкість, циклів, не менше	100000
Клас точності	5
Ступінь захисту: реле / клемної колодки	IP40 / IP10
Діапазон робочих температур, °C	– 40... + 50
Маса, кг, не більше	0,8



Рис. 2.6. Візуальний вигляд реле струму АЛ-1

Відповідно до принципової схеми для кола керування обрано пакетний перемикач типу ПМО (рис. 2.7), який застосовується для комутації кіл керування, сигналізації та захисту. Даний перемикач призначений для роботи в колах постійного струму з напругою 12–220 В, а також змінного струму 24–380 В частотою 50, 60 та 400 Гц при струмах від 0,25 до 6,3 А у стаціонарних електроустановках.



Рис. 2.7. Візуальний вигляд пакетного перемикача типу ПМО

Умовне позначення ПМОФ 90-444444/І-Д46 УЗ розшифровується таким чином: ПМО — малогабаритний перемикач загальнопромислового призначення; Ф — виконання з фіксацією положень; 90 — кут фіксації 90°; 444444

— шість секцій на чотири положення (1–0–2–3); І — варіант монтажу з боку монтажного блока; Д46 — номер схеми згідно з каталогом виробника; УЗ — кліматичне виконання та категорія розміщення відповідно до чинних стандартів. Даний перемикач відповідає вимогам ГОСТ 16708-84 та допускається до роботи в усіх передбачених режимах експлуатації.

Для ручного керування колом управління застосовуються тумблери типу Т1021 (рис. 2.8), які мають два контакти та два фіксовані положення. Вони використовуються в загальнопромислових системах для керування електромагнітними пусками та реле автоматики при напрузі 220/110 В і струмі до 10/5 А.



Рис. 2.8. Зовнішнє виконання тумблера Т1022

Проміжні реле в колі керування підбираються відповідно до напруги кола управління, максимально допустимої комутаційної здатності контактів (при цьому робочий струм не повинен перевищувати номінальний струм реле), а також за кількістю і типом допоміжних контактів (замикаючі, розмикаючі, перемикаючі).

З урахуванням вимог принципової схеми та зазначених критеріїв обрано проміжне реле загального призначення РП-21-211 УХЛЗ (рис. 2.9), яке оснащено двома замикаючими та одним розмикаючим контактом і не має перемикаючих контактів.

Дане реле відзначається компактними габаритами, економічністю, надійною роботою контактної групи, високою комутаційною здатністю та тривалим строком експлуатації. Основні технічні характеристики наведено в таблиці 2.13.

Технічні характеристики реле РП-21-211 УХЛЗ

Номінальна напруга, В	240 (50 Гц)
Напруга управління, В	~ 12...220 , - 6...220
Номінальний струм контактів, А	5
Мінімальний струм контактів, А	0,025
Механічний ресурс, циклів	20 млн.
Робоча температура, °С	- 40...+ 55
Категорія розміщення	3 (за ГОСТ 15150-69)
Ступінь захисту корпусу / контактів	IP40 / IP00



Рис. 2.9. Візуальний вигляд реле типу РП-22

Для організації світлової сигналізації в колі керування обрано дві сигнальні лампи типу AD-21DS (рис. 2.1.1) з LED-прооявляє світінняіндикацією, розраховані на напругу 230 В. Лампи оснащені плоским світлофільтром та гвинтовим способом підключення провідників. Для індикації режимів роботи використано зелений індикатор («ЖИВЛЕННЯ») та червоний («АВАРІЯ»).



Рис. 2.1.1. Візуальний вигляд сигнальної лампи типу AD-21DS

2.4. Вибір щита керування

Щити та пульти є центральними пунктами керування, контролю, сигналізації та захисту електрифікованих і автоматизованих систем, на яких розміщується вся необхідна апаратура керування, вимірювання та захисту. Для електромагнітного випромінювання також встановлені граничні рівні

відповідно до чинних санітарних норм. На лицьових панелях таких пристроїв зазвичай встановлюють мнемонічні схеми, інформаційні написи та елементи підсвітки, що забезпечує зручність експлуатації.

Під час проєктування вибір щитів і пультів здійснюється згідно з чинними нормативними документами, зокрема ГОСТ 20504-81, ДСТУ 3288-95 (ГОСТ 26032-96) та ОСТ 36.13-76, які регламентують їх класифікацію, конструктивні особливості та технічні вимоги. Проте, для забезпечення безпеки працівників, необхідно контролювати вплив інших видів, таких через великі проміжки часу і в тих випадках, коли за умовами створення більш досконалих завантажувальних пристроїв недоцільно. Додатково враховуються рекомендації, наведені в інструкції РМ4-107-82.

Щити призначені для експлуатації в закритих приміщеннях за температури від -30 до $+50$ °C і відносної вологості до 80%, а також можуть мати спеціальні виконання для роботи в ускладнених умовах.

Шафові щити використовуються у приміщеннях із підвищеною вологістю та запиленістю, а також для розміщення допоміжного обладнання й забезпечення захисту персоналу від доступу до струмоведучих частин.

З урахуванням габаритів обладнання системи керування танком-охолоджувачем молока ТОМ-2А, яке встановлюється на передній і задній панелях, обрано шафовий малогабаритний щит типу ЩШМ (600×400×250) V4 IP30 відповідно до ОСТ 36.13-76.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТАНКОМ-ОХОЛОДЖУВАЧЕМ МОЛОКА ТОМ-2А.

3.1. Функціональна технологічна схема автоматизації системи керування танком-охолоджувачем молока ТОМ-2А

Функціональна схема автоматизації системи керування танком-охолоджувачем молока ТОМ-2А наведена на листі 3 графічної частини проєкту.

Керування технологічним процесом здійснюється блоком логічного керування (БЛК) УС (2-є) залежно від стану вихідного сигналу регулятора температури ТІС (1-в).

БЛК формує часові сигнали заданої тривалості, реалізує алгоритм керування та забезпечує формування вихідних сигналів через проміжні реле, які керують електродвигунами компресора, конденсатора, водяного насоса системи охолодження та мішалки.

Завдяки компактним габаритам перетворювачі серії FR-D700 SC зручно застосовувати в умовах обмеженого монтажного простору. Наявність сучасних функцій, зокрема захисту від рекуперативного перенапруження, регулювання натягу за сигналами плаваючого ролика та ниткоукладальної функції, розширює можливості їх використання в різних технічних системах і установках.

Цей частотний перетворювач характеризується підвищеною продуктивністю та розширеними функціональними можливостями, серед яких вбудований USB-інтерфейс, поворотний регулятор із дисплеєм, а також забезпечення високої вихідної потужності на низьких швидкостях. Для організації обміну даними передбачено широкий вибір варіантів підключення до мережі.

Максимальне значення вихідної напруги не може перевищувати рівень вхідної напруги. Регулювання вихідної напруги здійснюється в межах усього діапазону вхідної напруги. При цьому імпульсна напруга на виході

перетворювача залишається практично сталою та становить приблизно $\sqrt{2}$ від значення вхідної напруги.

Максимальне значення вихідної напруги не перевищує рівень вхідної напруги. Регулювання вихідної напруги здійснюється в межах усього діапазону вхідної напруги. Імпульсна напруга на виході перетворювача залишається практично сталою та становить приблизно $\sqrt{2}$ від значення вхідної напруги.

Номінальна вхідна потужність змінюється залежно від величини імпедансу з боку джерела живлення перетворювача, включаючи кабельні лінії та вхідний дросель.

Процес програмування полягає в тому, що шляхом послідовного натискання декількох клавiш на лицьовій панелі з бібліотеки, зашитої в постійну пам'ять, викликаються потрібні функціональні блоки, які об'єднуються в систему заданої конфігурації, після чого в них встановлюються необхідні параметри налаштування.

3.2. Дослідження динамічних характеристик танка-охолоджувача як об'єкта регулювання температури молока.

Схема теплових потоків в охолоджувачі після заповнення молочної ванни наведена на рис. 3.1.

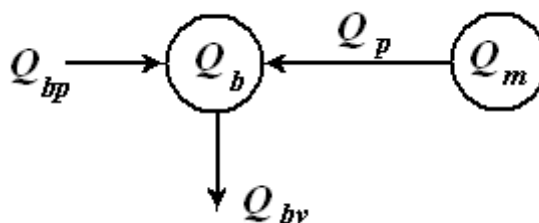


Рис. 3.1. Схема теплових потоків в танку-охолоджувачі молока

На схемі (рис. 3.1) прийняті наступні позначення:

Q_b і Q_m – відповідно тепло плівки води, яка омиває молочну ванну, і тепло молока у ванні;

Q_{bp} і Q_{bv} – тепло яке поступає і виходить з водою;

Q_p – тепло, яке переходить від молока до води.

У типових об'єктах зазвичай реалізується один клас технологічних процесів, проте в більшості установок харчового виробництва одночасно відбувається декілька різних процесів. Для спрощення моделі температурного режиму танка-охолоджувача вважають, і відтік молока відсутній, а регулювання здійснюється зміною подачі холодної води насосом. Після цього виконують розрахунок теплових потоків, зокрема теплоти, яку переносить вода під час оббрикування ванни та стікання в бак-акумулятор холоду.

$$Q_{bp} = G_b \rho_b C_b t_{bp}, \quad (3.1)$$

$$Q_{bv} = G_b \rho_b C_b t_{bv}, \quad (3.2)$$

де G_b – продуктивність насосу, $\text{м}^3/\text{с}$;

K_b – густина води, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C_b – теплоємність води, $\text{Вт}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

t_{bp}, t_{bv} – температура води на вході і охолодження, $^\circ\text{C}$.

Що середня температура води - середньоарифметичною:

$$t_{bs} = \frac{t_{bp} + t_{bv}}{2}. \quad (3.3)$$

Тепло що яке буде переходити від молока до води визначається як

$$Q_p = kF\Delta t, \quad (3.4)$$

де різницю температур знаходимо за формулою $\Delta t = t_m - t_{bs}$;

k – коефіцієнт теплопередачі від молока до води, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

F – поверхня теплопередачі, м^2 .

Тепло води і молока, яке буде знаходитися у плівці води об'ємі молока відпо-
відно, визначаємо за формулами

$$Q_b = V_p \rho_b C_b \frac{t_{bp} + t_{bv}}{2},$$

$$Q_m = V_m \rho_m C_m t_m, \quad (3.5)$$

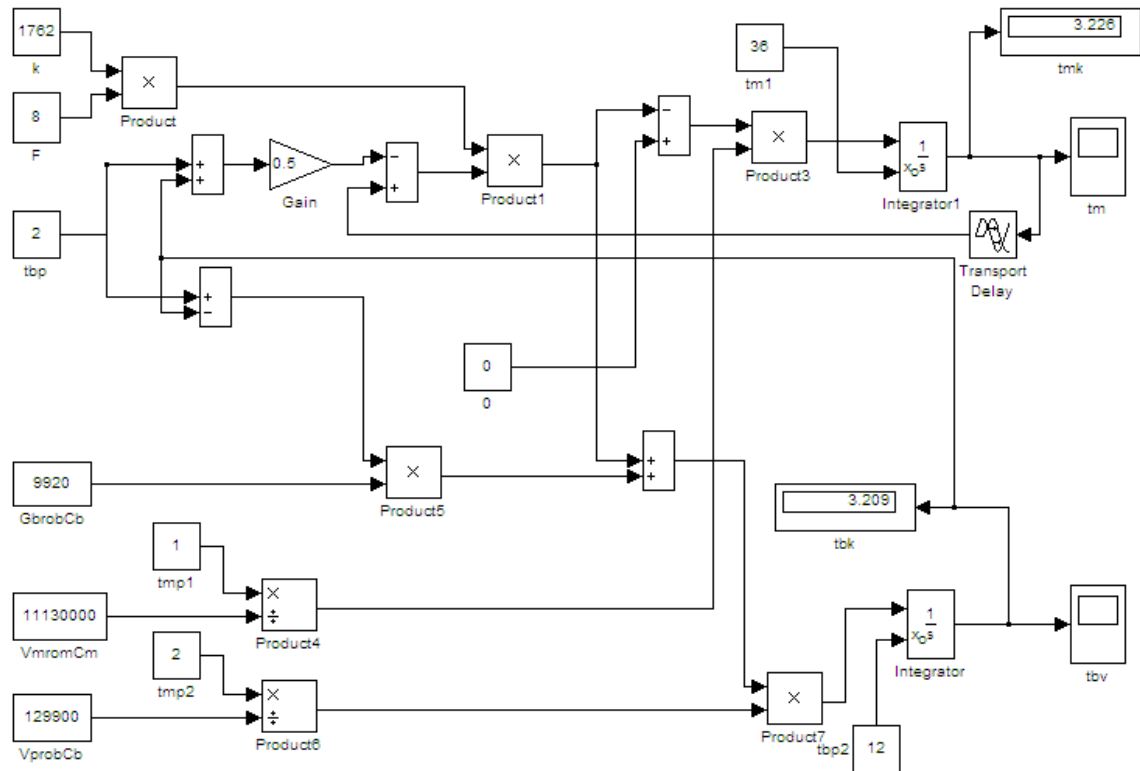


Рис. 3.2 Блок-схема математичної моделі динаміки зміни температури
молока в танку-охолоджувачі ТОМ-2А виконана в пакеті Simulink.

Після побудови імітаційної моделі (рис. 3.2) отримано розгінну характе-
ристику танка-охолоджувача молока за каналом регулювання температури
(рис. 3.3).

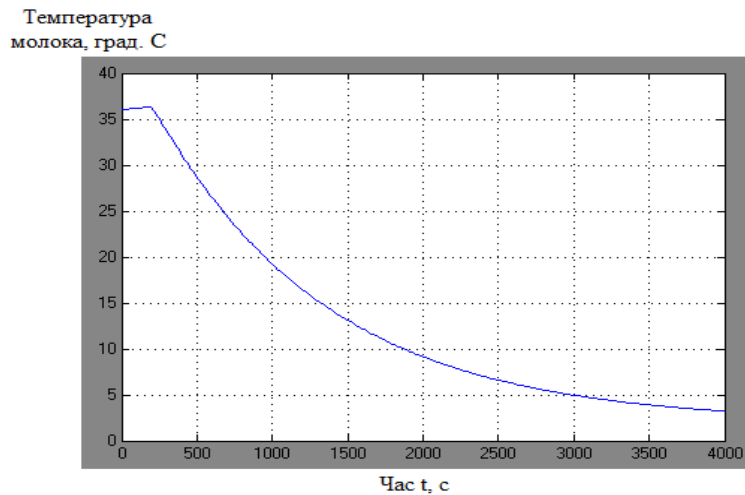


Рис. 3.3. Розгінна характеристика танка-охолоджувача молока
ТОМ-2А за каналом регулювання температури молока.

Для визначення передатної функції охолоджувача молока за каналом регулювання температури використано графічний метод. Тому згінну характеристику (рис. 3.3) вирівнюють відповідно до виразу:

$${}^0 y(t_i) = \frac{y(t_i) - y(t_0)}{y(\infty) - y(t_0)} = \frac{y(t_i) - 36}{3 - 36}. \quad (3.8)$$

Таблиця 3.1.

Розрахункові дані для побудови нормованої розгінної характеристики
танка-охолоджувача молока ТОМ-2А

Час t_i, c	Температура молока $T, ^\circ C$	${}^0 y(t_i)$	Час t_i, c	Температура молока $T, ^\circ C$	${}^0 y(t_i)$
0	36,00	0	2200	7,75	0,859
200	35,50	0,015	2400	7,00	0,881
400	30,75	0,160	2600	6,25	0,904
600	26,00	0,304	2800	5,50	0,927
800	22,25	0,418	3000	5,00	0,942
1000	18,75	0,524	3200	4,50	0,957
1200	16,25	0,600	3400	4,00	0,973
1400	14,00	0,669	3600	3,50	0,988
1600	12,00	0,729	3800	3,20	0,997
1800	10,50	0,775	4000	3,00	1,000
2000	9,00	0,821	4400	3,00	1,000

Для статичних об'єктів передатна функція, визначена за кривою розгону, описується у вигляді інерційної ланки із запізненням.

$$W(s) = \frac{k_{oy} \cdot e^{-\tau_{oy} \cdot s}}{T_{oy} \cdot s + 1}, \quad (3.9)$$

де k_{oy} - коефіцієнт передачі об'єкта;

T_{oy} - постійна часу об'єкта, що характеризує його інерційність, с;

τ_{oy} - час чистого запізнення, с.

Числові значення сталої часу та часу запізнення об'єкта визначають за допомогою дотичної, проведеної в точці перегину розгінної характеристик (3 лист графічної частини проекту). Точка перегину відповідає середині інтервалу часу, на якому спостерігається максимальне зростання ординати кривої розгону. Коефіцієнт підсилення, передача, об'єкта керування розраховується за відповідною формулою:

$$k_{oy} = \frac{T_k - T_n}{\varphi_k - \varphi_n}, \quad (3.10)$$

$$T_k = 3^\circ C, \quad T_n = 36^\circ C;$$

$$\varphi_k = 100\%, \quad \varphi_n = 0\%.$$

$$k_{oy} = \frac{3 - 36}{100 - 0} = -0,33 \left[\frac{^\circ C}{\% \text{ подачі насоса}} \right].$$

Знак «мінус» вказує на спадний характер зміни температури в процесі. Значення сталої часу та часу чистого запізнення, отримані з нормованої розгінної характеристики танка-охолоджувача молока, дорівнюють:

$$T_{oy} = 1420 \text{ с}, \quad \tau_{oy} = 180 \text{ с}.$$

Отже, передатна функція танка-охолоджувача молока а саме по каналу регулювання температури в молоці $W_{oy}(s) = \frac{0,33}{1420 \cdot s + 1} \cdot e^{-180 \cdot s}$.

3.3. Вибір засобом керування

Будь-яка система автоматичного керування включає регулятор та об'єкт керування, при цьому динамічні властивості останнього значною мірою впливають на вибір ефективного алгоритму керування. Встановлено, що одним із

ключових критеріїв є співвідношення часу запізнення до сталої часу об'єкта, тобто:

$$\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}}.$$

Саме для цього передатна функція статичного об'єкта повинна має бути представлена у вигляді (3.9).

При $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} < 0,2$ вибирають регулятор позиційної дії, при $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} > 1$ - регулятор імпульсного типу, а якщо $0,2 \leq \frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} \leq 1$ - регулятор неперервної дії.

Крім того, для обґрунтування алгоритму керування та вибору відповідного регулятора необхідно враховувати не лише характеристики об'єкта й вимоги технологічного процесу, але й саме конструктивні особливості регуляторів. Промислові регулятори реалізують закладені алгоритми керування з певною похибкою, що обов'язково слід враховувати під час підбору технічних засобів автоматизації.

У даному випадку передатна функція танка-охолоджувача молока має вигляд: ТОМ-2А $W_{oy}(s) = \frac{0,33}{1420 \cdot s + 1} \cdot e^{-180s}$, для відношення $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} = \frac{180}{1420} = 0,13$, тому необхідно застосувати алгоритм керування позиційної дії.

3.4. Аргументація вибору чутливого елемента САК температури для молока в танку-охолоджувачі.

До сенсорних елементів, що застосовуються в автоматизованих системах, висуваються підвищені вимоги щодо точності вимірювань, швидкодії, стабільності роботи, чутливості та надійності в умовах експлуатації. При цьому час реакції датчика має бути значно меншим за динамічні характеристики об'єкта керування. Для вимірювання температури молока в системі використовується сенсор ТС1047А, який відзначається лінійною залежністю вихідного сигналу від температури та компактними габаритними розмірами.

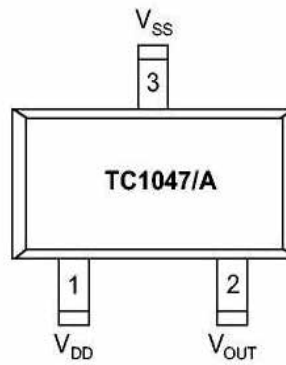


Рис. 3.4. Візуальний вигляд датчика лінійної напруги TC1047A

Характеристики технічні TC1047A:

Напруга живлення	2,5 – 5,5 В
Струм споживання	35 μ А
Діапазон температур	– 40...+125°C
Абсолютна похибка	$\pm 0,1^\circ\text{C}$
Інерційність датчика	$T_{CE} = 7 \text{ с.}$

Передатна функція якого має вигляд $W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1}$.

Коефіцієнт чутливості k_{CE} визначається за формулою:

$$k = \frac{\Delta U}{\Delta T} = \frac{0,9 - 0,5}{40 - 0} = 0,01 \frac{\text{В}}{^\circ\text{C}}, \quad (3.11)$$

де ΔT – різниця значень температур в робочому діапазоні, $^\circ\text{C}$;

ΔU – різниця напруги, що відповідає значенням температур в робочому діапазоні, В.

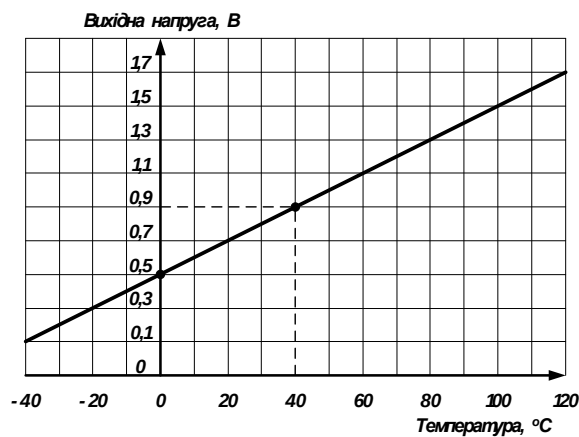


Рис. 3.5. Статична характеристика датчика температури TC1047A

Тоді, беручи до уваги, що інерційність сприймаючого елемента складає

$$T_{CE} = 7 \text{ с}, \text{ передатна функція датчика буде } W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1} = \frac{0,01}{7 \cdot s + 1}.$$

Графік залежності точності датчика ТС1047А від напруги живлення зображено на рис. 3.6. У робочому температурному діапазоні похибка вимірювання становить менше 0,5 °С. Максимальну точність зафіксовано за температури +0...+40 °С та напруги 5,5 В.

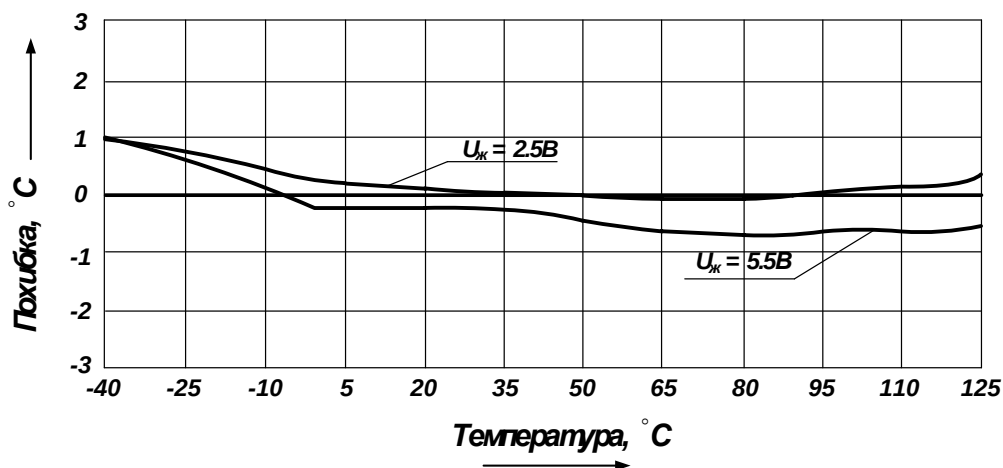


Рис. 3.6. Залежність точності вимірювання датчика ТС1047А від напруги живлення

3.6 Обрання промислового регулятора

Так як в системі автоматичного регулювання температури молока в танку-охолоджувачі використовується позиційний закон керування (див. п. 3.3), для формування керуючого впливу обрано промисловий двопозиційний регулятор ОВЕН 2ТРМ1-13Р (рис. 3.7).



Терморегулятори серії ОВЕН 2ТРМ1 використовуються для вимірювання, контролю та регулювання температури, а також інших фізичних параметрів у різноманітних технологічних установках, зокрема в холодильному обладнанні, сушильних камерах, печах тощо.

Основні технічні характеристики наведені в таблиці 3.2, а схема підключення — у додатку Б.

Регулятор ОВЕН 2ТРМ1-13Р забезпечує:

- Два універсальні входи для підключення датчиків температури, тиску, вологості, витрати, рівня тощо
- Два канали регулювання або реєстрації вимірюваних величин
- Підтримка різних законів керування:
 - двопозиційне регулювання;
 - аналогове П-регулювання;
 - реєстрація сигналу (зокрема 4–20 мА)
- Можливість керування виконавчими механізмами (реле, аналогові виходи тощо)
- Обробка сигналів: фільтрація, корекція та масштабування
- Робота як з однією величиною, так і з різницею між двома входами

Режим роботи кожного ЛП визначається типом відповідного йому вихідного пристрою (ВП).

Для роботи ЛП в режимі компаратора потрібен вихідний пристрій дискретного типу (реле, транзисторний ключ, оптосимістор, вихід для керування зовнішнім реле твердотільного).

Для роботи в режимах П-регулятора та реєстратора потрібен цифроаналоговий перетворювач з вихідним сигналом 4...20 мА або 0...10 В

Таблиця 3.2.

Технічні характеристики ОВЕН 2ТРМ1-13Р

Споживана потужність	не більше 7ВА
Кількість універсальних входів	2
Час опитування входу: - для термоперетворювачів опору - для інших датчиків	не більше 0,8 с не більше 0,4 с
Границя основної приведенної похибки вимірювання: - для термоелектричних перетворювачів - для інших датчиків	$\pm 0,5\%$ $\pm 0,25\%$
Кількість вихідних пристроїв	2
Тип вихідних пристроїв (для модифікації Р)	електромагнітне реле
Макс. струм контактів електромагнітного реле при 220В 50Гц	8А
Габаритні розміри та ступінь захисту корпусу	ІЩ1 96х96х65, IP54
Тип датчика (для модифікації ІЗ)	напруга 0...1 В
Діапазон вимірювань	0...100%
Вимірювальна здатність	0,1%
Температура навколишнього середовища	-20...+50°C
Відносна вологість повітря	30...80%

3.7. Розробка електричної принципової схеми для системи керування танком-охолоджувачем молока ТОМ-2А

Схема електрична принципова системи керування танком-охолоджувачем молока ТОМ-2А наведена на листі 9 графічної частини проекту.

При вмиканні автоматичного вимикача QF подається живлення на силові кола пускачів КМ1–КМ4 і коло керування, при цьому вмикаються сигнальні лампи НЛ1 і НЛ2.

Система передбачає три режими роботи: РУЧНИЙ, АВТОМАТИЧНИЙ та МИЙКА.

У режимі «РУЧНИЙ» електроприводи керуються тумблерами S1–S4, зокрема S1 забезпечує попереднє наморозування льоду на випарнику.

У режимі «АВТОМАТИЧНИЙ» керування здійснюється блоком логічного керування Е1 залежно від сигналу регулятора температури А1 (ОВЕН 2ТРМ1-13Р), який формує команду при температурі +4 °С і вище. БЛК Е1 формує часові сигнали та керує виконавчими реле К2 і К3.

Сигнал про необхідність охолодження, що надходить у блок Е1, викликає спрацювання реле К2 і К3. Контакт К2 забезпечує роботу мішалки через пускач КМ1, а контакт К3 вмикає водяний насос системи охолодження (КМ2).

При зниженні температури молока нижче $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ контакт регулятора А1 розмикається, реле К3 вимикається, що призводить до зупинки водяного насоса. Після вимкнення охолодження мішалка працює ще 3 ± 1 хв., після чого блок Е1 вмикає реле К2 і мішалку.

У режимі зберігання блок Е1 періодично вмикає мішалку на 3 хв кожні 30 хв.

При зменшенні кількості льоду на випарнику підвищується температура фреону, що через реле SK вмикає компресор і вентилятор конденсатора.

Контроль системи змащування компресора здійснюється реле РКС: при запуску компресора його контакт має замкнутися протягом 20 с. У разі справної роботи система блокує відключення, а при відсутності сигналу формується аварійне вимкнення всього електрообладнання ТОМ-2А через реле KV1.

При неприпустимому підвищенні тиску, що контролюється датчиком-реле SP, або спрацюванні теплових реле КК1–КК4 при перевантаженні двигунів М1–М4, розмикання їх контактів призводить до активації реле KV1 і аварійного вимкнення обладнання ТОМ-2А. При цьому вмикається сигнальна лампа HL2 «Аварія».

Більшість таких машин і апаратів, за винятком пакувальних автоматів, окремих типів пресів, брикетувальних установок і дозаторів, належать до обладнання безперервної дії. У процесі їх автоматизації основними завданнями є регулювання продуктивності, координація роботи суміжних технологічних ліній, а також контроль і підтримання необхідного рівня продукту в робочих ємностях.

Особливе значення для автоматизованих систем керування має узгодження продуктивності всіх ділянок виробничого потоку сипких матеріалів. Відсутність належної системи автоматизації може призвести до нерівномірної роботи окремих вузлів, виникнення режимів перевантаження або недовантаження обладнання, що негативно впливає на стабільність технологічного

процесу, знижує ефективність виробництва та спричиняє додаткові втрати готової продукції і сировини.

З частотою $f = 0,005 \text{ Гц}$, а на виході лічильника DD3 – імпульси з частотою $f = 0,0005 \text{ Гц}$.

Для виділення саме повного періоду (Т) частоти $f = 0,005 \text{ Гц}$, що відповідає саме десятковому значенню 3 хв. (вихід 4 елемента DD3) та $f = 0,0005 \text{ Гц}$ (час паузи 30 хв.), передбачені такі саме елементи DD4.1 (И-103) та DD5.1 (И-405).

При недетектувальних властивостях каскаду, тобто коли збурення поширюються як за ходом технологічного потоку, так і проти його ходу, регулювання рівня тільки дією на виток із збірника не дає демпфірування збурень, що поширюються проти потоку.

Під час охолодження робота лічильників DD2 і DD3 блокується сигналом логічного нуля від замкнутого контуру що буде входити в цілу систему контакту А1, який встановлює їх у нульовий стан і забороняє роботу генератора DD1. При досягненні температури $+4^{\circ}\text{C}$ контакт А1 розмикається, подається логічна одиниця, і лічильники переходять у робочий режим.

У ректифікаційних апаратах здійснюють регулювання складу дистиляту або кубового залишку, температури та витрати живильної суміші, а також підтримання необхідного тиску, рівня та інших параметрів у колоні і флегмовій частині.

Контроль тиску в системі змащування компресора виконується елементом DD9 із витримкою часу 20 с.

Живлення блоку Е1 забезпечується стабілізованою напругою через трансформатор TV1, випрямляч VD1–VD4 та стабілізатор D8.2.

Якість регулювання характеризує ступінь виконання технологічних вимог до системи: величину відхилень регульованих параметрів від заданих значень, їх характер, здатність до усунення неузгодженостей, а також тривалість перехідних процесів під час компенсації відхилень.

3.8. Визначення показників якості системи автоматичного керування дослідження на стійкість її роботи

Досліджувана автоматична система керування належить до нелінійних систем. Для оцінювання її стійкості та якісних показників використовується метод Гольдфарба, який ґрунтується на застосуванні критерію стійкості Найквіста. Амплітудно-фазова частотна характеристика розімкненої нелінійної системи має вигляд:

$$W_{PO3}(j \cdot \omega) = W_{НЛ}(j \cdot \omega) \cdot W_{ЛЧ}(j \cdot \omega). \quad (3.23)$$

За критерієми Найквіста умова стійкості знаходження гармонічно лінеаризованої системи на границі стійкості, в плані умова існування автоколивань, має вигляд

$$W_{НЛ}(j \cdot \omega) \cdot W_{ЛЧ}(j \cdot \omega) = -1. \quad (3.24)$$

Звідси маємо

$$W_{ЛЧ}(j \cdot \omega) = -\frac{1}{W_{НЛ}(j \cdot \omega)}. \quad (3.25)$$

Відомо, АФЧХ нелінійної ланки $W_{НЛ}(j \cdot \omega)$ залежить лише від амплітуди сигналу і не залежить від частоти ω . Натомість АФЧХ лінійної частини $W_{ЛЧ}(j \cdot \omega)$ системи залежить від частоти ω , але не залежить від амплітуди a . Тому розв'язок рівняння (4.25) визначаємо графічно як точку перетину двох кривих на комплексній площині: однієї, що відповідає зміні частоти $W_{ЛЧ}(j \cdot \omega)$ $0 < \omega < \infty$, та іншої — зміні амплітуди $-\frac{1}{W_{НЛ}(j \cdot \omega)}$ $0 < a < \infty$.

У разі перетину кривих у системі виникає періодичний режим роботи — автоколивання з певними амплітудою та частотою. Після визначення періодичного розв'язку необхідно оцінити його стійкість.

Статична характеристика двопозиційного регулятора із зворотним гістерезисом («охолоджувач») наведена на рис. 3.8.

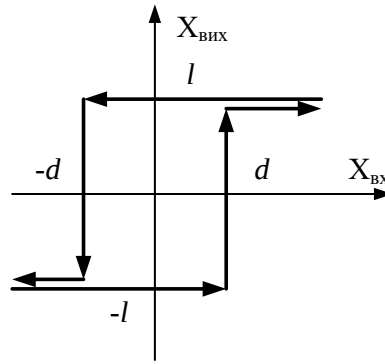


Рис. 3.8. Статична характеристика двопозиційного регулятора із зворотнім гістерезисом ("охолоджувач")

Для подальших розрахунків приймаємо, що струм через обмотку реле $i(t)$ пропорційний відхиленню температури Θ , приймемо параметри статичної характеристики релейного елемента $l = \frac{U_{\text{ж}}}{2} = 110 \text{ В}$, $d = 1^\circ \text{C}$.

Передатна функція лінійної частини системи виглядає:

$$W_{\text{ЛЧ}}(j \cdot \omega) = W_{\text{СЕ}}(j \cdot \omega) \cdot W_{\text{БМ}}(j \cdot \omega) \cdot W_{\text{ОВ}}(j \cdot \omega). \quad (3.26)$$

$$W_{\text{ЛЧ}}(j \cdot \omega) = \frac{0,01}{7 \cdot j \cdot \omega + 1} \cdot \frac{0,83}{0,005 \cdot j \cdot \omega + 1} \cdot \frac{0,33}{1420 \cdot j \cdot \omega + 1} \cdot e^{-180 \cdot j \cdot \omega}.$$

Передатна функція нелінійної ланки при гармонічній лінеаризації для двопозиційного регулятора має вигляд:

$$W_{\text{ЛЧ}}(j \cdot \omega) = q + \frac{q_1}{\omega} \cdot j \cdot \omega. \quad (3.27)$$

Коефіцієнти гармонічної лінеаризації у цьому випадку визначаються як:

$$q = \frac{4 \cdot l}{\pi \cdot a} \cdot \sqrt{1 - \frac{d^2}{a^2}}. \quad (3.28)$$

$$q_1 = -\frac{4 \cdot l \cdot d}{\pi \cdot a^2}. \quad (3.29)$$

За допомогою математичного пакету Mathcad будуємо залежності дійсних і уявних частин функції $W_{\text{ЛЧ}}(j \cdot \omega)$ від частоти ω і функції $-\frac{1}{W_{\text{НЧ}}(j \cdot \omega)}$ від амплітуди a (додаток В, рис. 4.9).

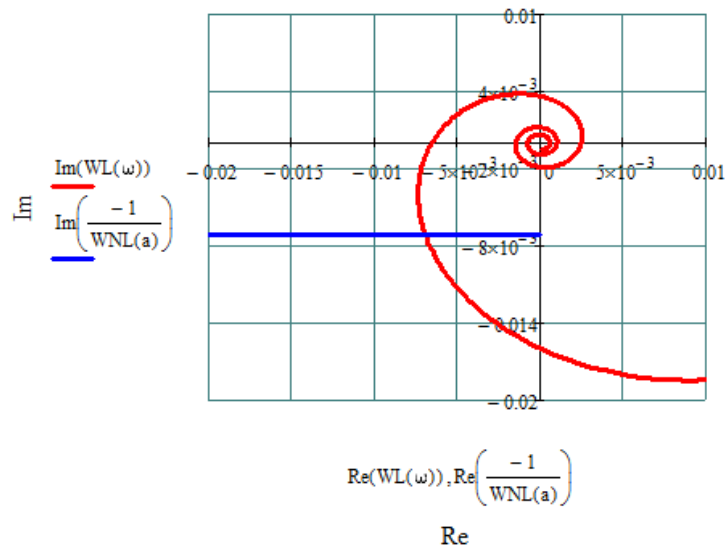


Рис. 3.9. АФЧХ нелінійної та лінійної компонентів системи автоматичного керування

Уявна частина характеристики $-\frac{1}{W_{HЧ}(j \cdot \omega)}$ є незалежною від частоти, тому графік має вигляд прямої, паралельної осі абсцис. Перетин відбувається при амплітуді $a = 0,7^\circ C$.

Частоту автоколивань визначають за амплітудно-частотною характеристикою лінійної частини системи (рис. 3.10).

За рис. 3.9 АФЧХ лінійної частини системи перетинається з $-\frac{1}{W_{HЧ}(j \cdot \omega)}$ у точці з координатами $\text{Re}(W_{ЛЧ}(j\omega)) = -0,0069$, $\text{Im}(W_{ЛЧ}(j\omega)) = -0,0071$.

Амплітудно-частотна характеристика лінійної частини

$$A_{ЛЧ}(\omega) = \sqrt{(\text{Re}(W_{ЛЧ}(j\omega))^2 + (\text{Im}(W_{ЛЧ}(j\omega)))^2}$$

$$A_{ЛЧ}(\omega) = \sqrt{(-0,0069)^2 + (-0,0071)^2} = 0,0198.$$

Частота, що відповідає амплітуді $A_{ЛЧ}(\omega) = 0,0198$, дорівнює $\omega = 0,007 \frac{1}{c}$ (рис. 4.10).

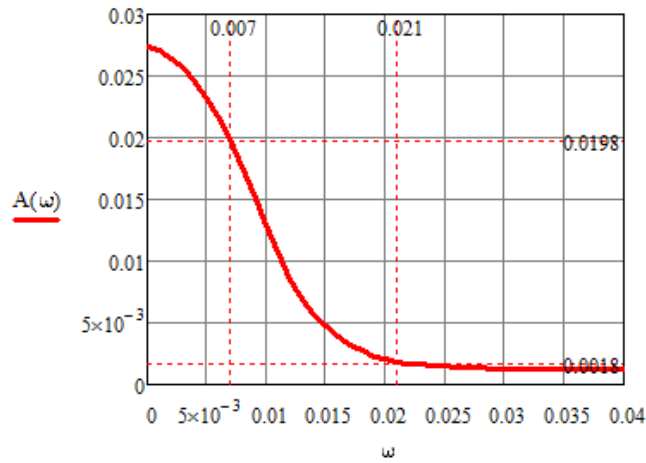


Рис. 3.10. АЧХ лінійної частини системи автоматичного керування

Отже, бачимо що у даній автоматичній системі спостерігаються автоколивання температури з частотою $\omega = 0,007 \frac{1}{c}$ і амплітудою $a = 0,7^\circ C$. Дані автоколивання є стійкими, бо збільшення амплітуди a впродовж нелінійної ланки $-\frac{1}{W_{НЧ}(j \cdot \omega)}$ у точці її перетину з $W_{ЛЧ}(j \cdot \omega)$ відбувається із середини $W_{ЛЧ}(j \cdot \omega)$ назовні.

Частота автоколивань $\omega = 0,007 \frac{1}{c}$ відповідає періоду автоколивань

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = \frac{2 \cdot 3,14}{0,007} = 900 \text{ c} . \quad (3.30)$$

Перевіримо, чи наближені автоколивання до синусоїдальних, тобто чи виконується умова, що лінійна частина системи є фільтром вищих гармонік. Оскільки характеристика нелінійної ланки є непарною, друга гармоніка з частотою $\omega_2 = 2 \cdot 0,007 = 0,014 \frac{1}{c}$ на виході нелінійної ланки не буде. Визначимо відношення амплітуди основної гармоніки до першої з основної (третьої з частотою $\omega_3 = 3 \cdot 0,007 = 0,021 \frac{1}{c}$) гармоніки, викорис. побудованою АЧХ (рис. 4.10).

$$\frac{A|_{\omega=0,007}}{A|_{\omega=0,021}} = \frac{0,0198}{0,0018} = 11.$$

Таким чином, амплітуда основної гармоніки приблизно у 11 разів перевищує амплітуду найближчої вищої гармоніки, що дозволяє вважати

автоколивання на вході нелінійної ланки близькими до синусоїдальної форми. Це підтверджує доцільність та ефективність застосування методу гармонічної лінеаризації для подальшого аналізу системи.

Графік автоколивань збудовано за допомогою пакета імітаційного моделювання Simulink середовища MATLAB (рис. 3.11, 3.12).

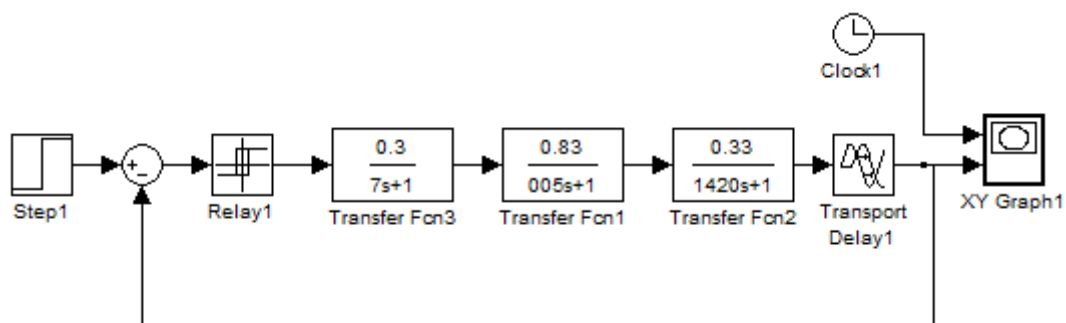


Рис. 3.11. Структурна схема автоматичного керування в пакеті Simulink середовища MATLAB

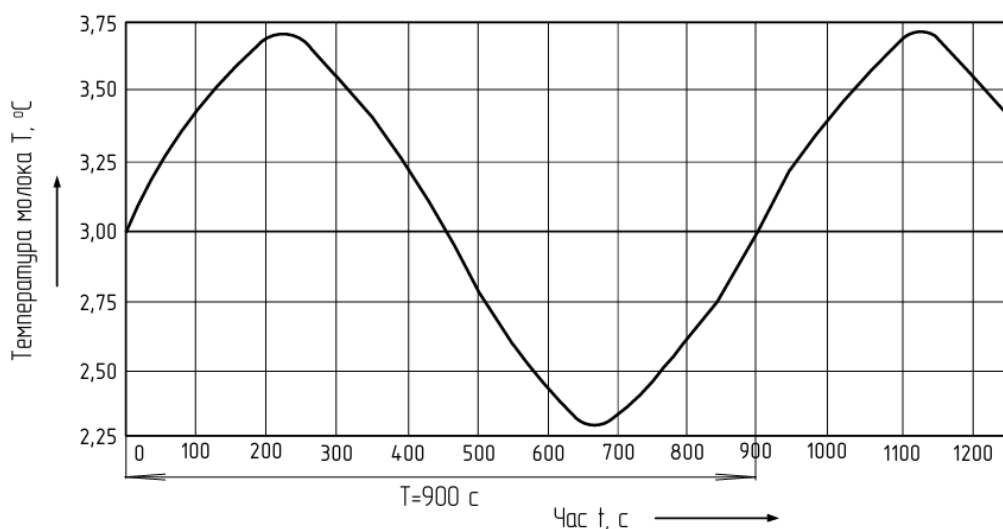


Рис. 3.12. Перехідний процес в системі автоматичного керування температурою молока в танку-охолоджувачі

В результаті проведених розрахунків встановлено, що в системі автоматичного керування температурою молока в танку-охолоджувачі існують стійкі автоколивання з амплітудою $a = 0,7^{\circ}\text{C}$ та періодом $T = 900 \text{ c}$.

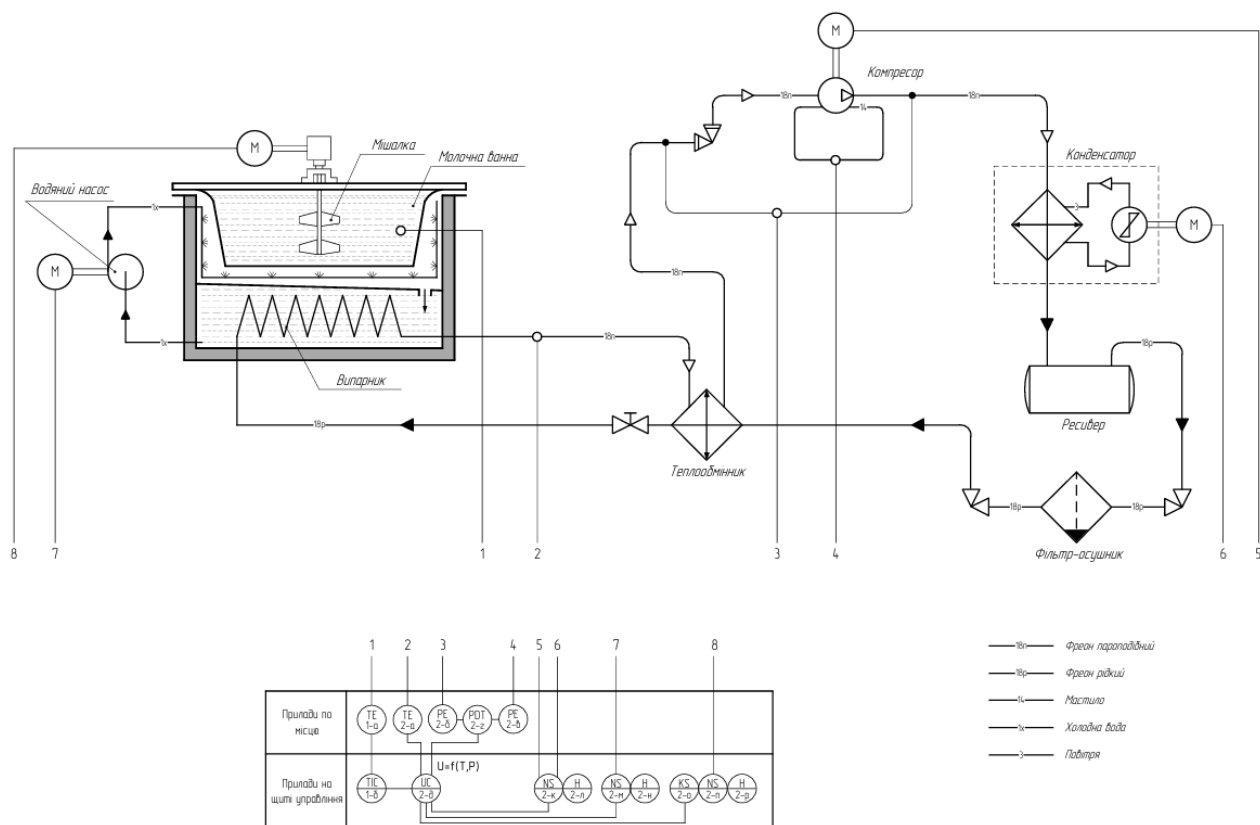


Рис. 3.13. Структурна алгоритмічна схема САК

На схемі зображено автоматизовану систему охолодження молока у молочній ванні з використанням холодильного агрегату. Охолодження здійснюється за допомогою випарника, розташованого в нижній частині ванни, через який циркулює холодоагент. Для рівномірного розподілу температури молоко перемішується мішалкою з електроприводом.

Робота системи забезпечується компресором, конденсатором, ресивером, теплообмінником і фільтром-осушувачем, що входять до складу холодильного контуру. Циркуляція води виконується водяним насосом. Контроль та регулювання технологічних параметрів здійснюються за допомогою датчиків температури, тиску та рівня, сигнали від яких надходять до щита керування. Система забезпечує підтримання необхідної температури молока та надійну роботу обладнання.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Автоматизація технологічних процесів спрямована на підвищення ефективності виробництва, продуктивності праці, а також на зниження енергоємності, собівартості продукції та строку окупності капітальних витрат.

Узагальнюючим показником ефективності капітальних вкладень є зведені розрахункові витрати, що враховують річні експлуатаційні витрати та річну частку капітальних інвестицій.

Зведені витрати розраховують за формулою:

$$B_{зв} = C + E_H \cdot K, \quad (4.1)$$

де: $B_{зв}$ – зведені витрати, грн./рік;

C – річні експлуатаційні витрати, грн./рік;

K – капітальні витрати, грн.;

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, позначають $E_H = 0,15$.

Експлуатаційні витрати включають:

- витрати за оплату праці персоналу (C_3);
- підтримка основних засобів виробництва (C_v);
- плата за електроенергії (C_E);
- також інші прямі видатки (C_I).

Витрати на оплату праці персоналу з експлуатації систем автоматизації визначають, виходячи з витрат праці і годинних ставок з урахуванням різних додаткових нарахувань та доплат. Ці витрати складають $C_3 = 22,5$ грн./год.

Як здавна відомо витрати на утримання основних засобів виробництва включають і амортизаційні $C_A = 14,2\%$, потім відрахування (визначаються у % від балансової вартості обладнання, приладів і засобів автоматизації) та саме головне це є витрати на поточний ремонт (також і обчислюються як % від балансової і вартості заперечно, приладів та засобів автоматизацій $C_{пр} = 18\%$).

При розробці автоматизованих систем або модернізації виробничих процесів враховуються витрати на придбання обладнання, його монтаж, налаштування, а також витрати на експлуатацію, обслуговування та енергоспоживання. Окремо аналізуються витрати на навчання персоналу та можливі витрати, пов'язані з простоєм виробництва під час впровадження нової системи.

Витрати на електроенергію визначаються саме на основі споживаної потужності обладнання і необхідних тарифів на електроенергію для виробничих потреб (приймається $2,93 \frac{\text{грн.}}{\text{кВт} \cdot \text{год.}}$):

$$C_E = P_{СП} \cdot \Gamma \cdot 2,93, \quad (4.2)$$

де $P_{СП}$ – потужність споживачів електроенергії;

Γ – кількість годин роботи споживачів на рік.

Далі йдуть інші прямі витрати на рівні 1% від загальної суми експлуатаційних витрат:

$$C_I = 0,01 \cdot (C_3 + C_A + C_{ПП} + C_E). \quad (4.3)$$

При визначенні капітальних вкладень враховують:

- вартість технічних засобів автоматизації (K_3);
- витрати на електропроводки ($K_{ПП}$);
- витрати на монтаж тех. засобів (K_M);
- торгівельно-транспортні та складські витрати ($K_{ТТ}$);
- інші капітальні витрати, пов'язані зі здійсненням автоматизації (K_I).

Торгівельно-транспортні та складські витрати в середньому завжди становлять близько 11% від вартості технічних засобів.

$$K_{ТТ} = 0,11 \cdot K_3. \quad (4.4)$$

Коли йде визначення витрат на монтажні роботи приблизно вважають, що це становить 15...20% від вартості технічних засобів. Для розрахунку візьмемо значення 17%:

$$K_M = 0,17 \cdot K_3. \quad (4.5)$$

Витрати на електропроводку будуть включати вартість кабелів (проводів) та їх прямий монтаж. У практичних розрахунках беруть за увагу, що вартість прокладання 1.5 м кабелю (проводу) відкритим способом буде становити 26 – 54 грн., в трубі - 150 грн.

Оцінка ефективності інвестицій може здійснюватися за допомогою таких показників, як термін окупності капітальних вкладень, чистий дисконтований дохід та під кінець рентабельність проєкту. Чим менший термін окупності та вищі показники рентабельності, тим більш економічно обґрунтованим є впровадження запропонованого рішення.

Інші капітальні витрати, пов'язані з автоматизацією, будуть братись до уваги на рівні 2% від вартості технічних засобів автоматизації:

$$K_I = 0,02 \cdot K_3. \quad (4.6)$$

Вартість загальних технічних засобів автоматизації буде складати:

$$K_3 = K_{TZA} + K_{II}, \quad (4.7)$$

K_{TZA} – вартість технічних засобів автоматики що є у складі САК, грн.;

K_{II} – вартість плат та провідників, грн

Вартість технічних засобів автоматизації визначається із цін на яку були придбані засоби для системи.

Вартість технічних засобів автоматики у складі САК складає $K_{TZA} = 14620,28$ грн. що була прорахована в таблиці 4.1.

Економічне обґрунтування є важливою складовою будь-якого технічного або інноваційного проєкту, оскільки дозволяє визначити доцільність його впровадження з точки зору витрат і очікуваного економічного ефекту. Основною метою економічного обґрунтування є оцінка співвідношення між капітальними вкладеннями та результатами, які будуть отримані в процесі експлуатації системи або обладнання.

Вартість плат та провідників $K_{\Pi} = 2550,00$ грн.

Загальна вартість технічних засобів автоматизації складає

$$K_3 = K_{ТЗА} + K_{\Pi} = 14620,00 + 2550,00 = 17170,28 \text{ грн.}$$

Складські та торгівельно-транспортні витрати

$$K_{\Pi\Gamma} = 0,11 \cdot K_3 = 0,11 \cdot 17170,28 = 1889 \text{ грн.}$$

Витрати на роботи з монтажу

$$K_M = 0,17 \cdot K_3 = 0,17 \cdot 17170,28 = 2919,4 \text{ грн.}$$

Витрати, капітальні, пов'язані зі здійсненням автоматизації

$$K_I = 0,02 \cdot K_3 = 0,02 \cdot 17170,28 = 343,5 \text{ грн.}$$

Вкладення що є капітальні складають

$$K = K_3 + K_{\Pi\Gamma} + K_M + K_I = 24000 \text{ грн.}$$

Після визначення обсягу капітальних вкладень можна розрахувати:

- відрахування за амортизацію

$$C_A = 0,142 \cdot K = 0,142 \cdot 22322,18 = 3170,01 \text{ грн.};$$

- відрахування за поточний ремонт

$$C_{\Pi\Gamma} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot 2232,47 = 4017,99 \text{ грн.};$$

- утримка основних засобів виробництва

$$C_y = C_A + C_{\Pi\Gamma} = 3170,01 + 4017,99 = 7188 \text{ грн.};$$

- трата на електроенергію

$$C_E = P_{\text{СП}} \cdot \Gamma_{\text{ТО}} \cdot 2,93.$$

Потужність споживачів електроенергії на охолодження молока складає

$P_{\text{СП}} = 19 \text{ кВт}$, кількість робочих годин технічного обладнання на рік буде становити $\Gamma_{\text{ТО}} = 300 \cdot 4 = 1200 \text{ год.}$, витрати на електроенергію

$$C_E = 19 \cdot 1200 \cdot 2,93 = 66804 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці персоналу, який обслуговує систему автоматизації (у даному випадку одного оператора-налагоджувальника), є:

$$C_3 = 1 \cdot 22,5 \cdot 300 \cdot 8 = 54000 \text{ грн.},$$

де саме 1 – це кількість операторів-наладчиків; 22,5 грн./год. – ставка оператора за 1 год. роботи; $K_{PO} = 300$ – кількість робочих днів за рік; 8 - кількість робочих годин на добу.

Інші прямі витрати

$$C_I = 0,01 \cdot (C_3 + C_A + C_{\text{пп}} + C_E) = 0,01 \cdot (54000 + 3170,01 + 4017,99 + 66804) = 1279,91 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати становитимуть

$$C = C_3 + C_A + C_{\text{пп}} + C_E + C_I = 129272 \text{ грн.}$$

Зведені витрати складають

$$B_{3B} = C + E_H \cdot K = 129272 + 0,15 \cdot 22322,18 = 132620 \text{ грн.}$$

Чистий прибуток, років, визначаємо за формулою

$$\text{Ч} = \Delta C_3 + \Delta C_E, \quad (4.8)$$

де ΔC_3 – прибуток за рахунок економії з.п., грн.;

ΔC_E – прибуток на економії електричної енергії, грн.

$$\Delta C_3 = C_3 - (22,5 \cdot K_{PO} \cdot n_{\text{роб}} \cdot 8) = 54000 - (22,5 \cdot 250 \cdot 1 \cdot 8) = 9000 \text{ грн.}$$

$$\Delta C_E = C_E - (P \cdot \Gamma_{TO} \cdot 0,293 \cdot \Delta \Pi) = 66804 - (19 \cdot 1200 \cdot 2,93 \cdot 0,85) = 10000 \text{ грн.}$$

$$\text{Тоді } \text{Ч} = \Delta C_3 + \Delta C_E = 9000 + 10000 = 19000 \text{ грн.}$$

Термін окупності даної установки складатиме лише:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K}{\text{Ч}} = \frac{24000}{19000} = 1,3 \text{ року.}$$

Підсумувавши, коефіцієнт ефективності капітальних залучень є:

$$E = \frac{1}{T_{\text{окуп}}} = 0,77.$$

Економічний ефект від впровадження технічних рішень визначається за рахунок зниження собівартості продукції, підвищення продуктивності праці, зменшення витрат енергоресурсів та скорочення втрат сировини. Також важливим показником є підвищення якості продукції та стабільності технологічного процесу на виробництві.

Після проведених розрахунків встановлено, що термін окупності впровадження розробленої системи автоматичного керування температурним режимом у танку-охолоджувачі молока ТОМ-2А становить 1,4 року, що підтверджує доцільність її впровадження у виробництво.

Таблиця 4.1.

Перелік засобів

№	Назва	Тип	Кількість	Ціна/шт.
1	Регулятор	ОВЕН 2ТРМ1-13Р	1	3490,00
2	Датчик температури	ТС1047А	1	48,42
3	Сигнальна лампа	AD-22DS	2	55,08
4	Реле	РП-21	1	250,00
5	Тумблер	Т1021	1	30,08
6	Пакетний перемикач	ПМО	1	1284,00
7	Реле струму	АЛ-1	1	2600,00
8	Плавкий запобіжник	НТООС	1	119,60
9	Теплове реле	РТЛ	1	420,00
10	Насос	КМ50-32-125А	1	5988,00
11	Автоматичний вимикач	ВА47-29 3Р 25А 4,5кА	1	318,48
	Всього			14620,28

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті відповідно до завдання було створено систему автоматичного керування температурою молока в танку-охолоджувачі ТОМ-2А.

У підсумку виконання проєкту було отримано такі основні результати:

1. На основі аналізу технологічного процесу розроблено функціонально-технологічну схему автоматизації танка-охолоджувача молока.

2. За рівняннями теплового балансу з використанням Mathcad визначено параметри математичної моделі температурного режиму. У середовищі MATLAB Simulink побудовано імітаційну модель та отримано розгінну характеристику танка-охолоджувача.

3. За розгінною характеристикою графічним способом отримана передаточна функція танка-охолоджувача молока а саме: коефіцієнт передачі дорівнює $k_{oy} = 0,33 \frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{ подачі насоса.}}$, постійна часу - $T_{oy} = 1420 \text{ с}$, час чистого запізнення - $\tau_{oy} = 180 \text{ с}$.

4. Було обґрунтовано вибір сучасних комплексів технічних засобів автоматизації для створення системи керування охолодженням молока з використанням датчика температури ТС1047А та серійного промислового регулятора ОВЕН 2ТРМ1-13Р, який реалізує позиційний закон керування.

5. Дослідження САК на стійкість, виконане за критерієм Гольдфарба, та аналіз показників якості роботи показали наявність стійких автоколивань з певними амплітудою $a = 0,7^{\circ}\text{C}$ та періодом $T = 900 \text{ с}$.

6. Було проведено обґрунтований вибір електротехнічного обладнання, проводів і кабелів відповідно до ціна якість.

7. Економічними розрахунками підтверджено доцільність прийнятих технічних рішень, при цьому термін окупності розробленої системи автоматичного керування температурою молока в танку-охолоджувачі становить 1,4 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сухенко Ю. Г., Сарана В. В., Сухенко В. Ю. Технологічне обладнання та ліній молокопереробних підприємств: навчальний. посіб. для підгот. студентів у ВНЗ; за ред. д-ра техн. наук, проф. Ю. Г. Сухенка ; Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ : Компрінт, 2013. 657 с.
2. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченков, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл. ISBN 966-95995-2-0.
3. Машини для тваринництва та птахівництва: Підручник / За ред. Кравчука В.І., Мельник Ю.Ф. – Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – 2009. – 208 с.
4. ДСТУ Б А.2.4-3-95(ГОСТ21.40893). Правила для виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
5. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови для електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (ДНАОП 0.00-1.32-01).
6. ДСТУ Б А.2.4-3-95. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів. Вид. офіц. Київ, 2001. 14 с.
7. ДБН Д.2.4-17-2000. Електромонтажні роботи. [Чинний від 2000-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2000. 32 с.
8. ДСТУ EN 61140:2015. Захист про ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання. Вид. офіц. Київ, 2015

ДОДАТКИ

Додаток А

Параметри рівнянь математичної моделі танка-охолоджувача молока ТОМ-2А були розраховані за допомогою математичного пакета Mathcad.

Продуктивність при охолодженні молока, (л/добу, 7200), м ³ /с	$G_m := 8.333 \times 10^{-5}$
Місткість ванни для молока, робоча, м ³	$V_m := 1.800$
Температура молока, яке поступає, °C	$t_{mp} := 36$
Температура води для охолодження, °C	$t_{bp} := 2$
Продуктивність насоса холодної води, (м ³ /год, 8.6), м ³ /с	$G_b := 2.444 \times 10^{-3}$
Товщина плівки води, м	$\Gamma_b := 0.004$
Поверхня теплопередачі, м ²	$S := 8$
Поверхня дна резервуара, м ²	$S_d := 3.2$
Висота резервуара, м	$h := 0.62$
Кінематичний коефіцієнт в'язкості води при t=1°C, м ² /с	$\nu_b := 1.69 \cdot 10^{-6}$
Критерій Прандтля води при t=1°C, м ² /с	$Pr_b := 12.8$
Теплоємність води, Дж/ кг град	$C_b := 4100$
Густина води, кг/м ³	$\rho_b := 990$
Коефіцієнт теплопровідності води при t=1°C, Вт/м град	$\lambda_b := 0.555$
Поправочний коефіцієнт при нагріванні	$k_{pn} := 1.05$
Поправочний коефіцієнт при охолодженні	$k_{po} := 0.95$
Коефіцієнт теплопровідності молока при t=1°C, Вт/м град	$\lambda_m := 0.4$
Кінематичний коефіцієнт в'язкості молока при t=1°C, м ² /с	$\nu_m := 2.4 \cdot 10^{-6}$
Динамічний коефіцієнт в'язкості молока при t=1°C, м ² /с	$\mu_m := 2.96 \cdot 10^{-3}$
Теплоємність молока, Дж/ кг град	$C_m := 6000$
Густина молока кг/м ³	$\rho_m := 1031$
Радіус лопаті мішалки, м	$r_l := 0.25$
Число обертів двигуна мішалки, хв ⁻¹	$N_{mi} := 1400$
Товщина стінки ємності, м	$\delta_c := 0.003$
Коефіцієнт теплопровідності алюмінію, Вт/м град	$\lambda_c := 203.5$
Об'єм плівки води на поверхні ємності, м ³	
$V_p := S \cdot \Gamma_b$	$V_p = 0.032$

Час стікання плівки з резервуара, с

$$ts := \frac{Vp}{Gb} \quad ts = 13.093$$

Швидкість стікання плівки, м/с

$$vs := \frac{h}{ts} \quad vs = 0.047$$

Критерій Рейнольдса для води

$$Reb := \frac{vs \cdot h}{vb} \quad Reb = 1.737 \times 10^4$$

Режим руху води ламінарний, $Re < 5 \cdot 10^5$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки ємкості до води, Вт/м² град
(літ.Ковалев Ю.Н. Молочное оборудование животноводческих ферм и комплексов
Справочник. М.: Россельхозиздат, 1987 г. 367 с. стр. 262)

$$\alpha_2 := 0.027 \cdot \frac{\lambda_b}{4 \cdot lb} \cdot Reb^{0.77} \cdot Prb^{0.4} \cdot k_{pn} \quad \alpha_2 = 5015.254$$

Знаходження еквівалентного діаметру резервуара, м

$$dek := \sqrt{\frac{4 \cdot Sd}{3.14}} \quad dek = 2.019$$

Швидкість кінця лопаті мішалки, м/с

$$wm := 3.14 \cdot 2 \cdot rl \cdot \frac{Nmi}{60} \quad wm = 36.633$$

Середній критерій Рейнольдса для молока

$$Rem := \frac{\frac{wm}{40} \cdot dek}{vm} \quad Rem = 7.705 \times 10^5$$

Критерій Прандтля для молока

$$Prm := \frac{Cm \cdot \mu_m}{\lambda_m} \quad Prm = 44.4$$

Коефіцієнт тепловіддачі від молока до стінки ємкості, Вт/м² град

$$\alpha_1 := 0.56 \cdot \frac{\lambda_m}{dek} \cdot Rem^{0.66} \cdot Prm^{0.33} \cdot k_{po} \quad \alpha_1 = 2829.566$$

$$Gm \cdot \rho_m \cdot Cm = 515.479$$

Коефіцієнт теплопередачі молоко - вода, Вт/м² град

$$Gb \cdot \rho_b \cdot Cb = 9.92 \times 10^3$$

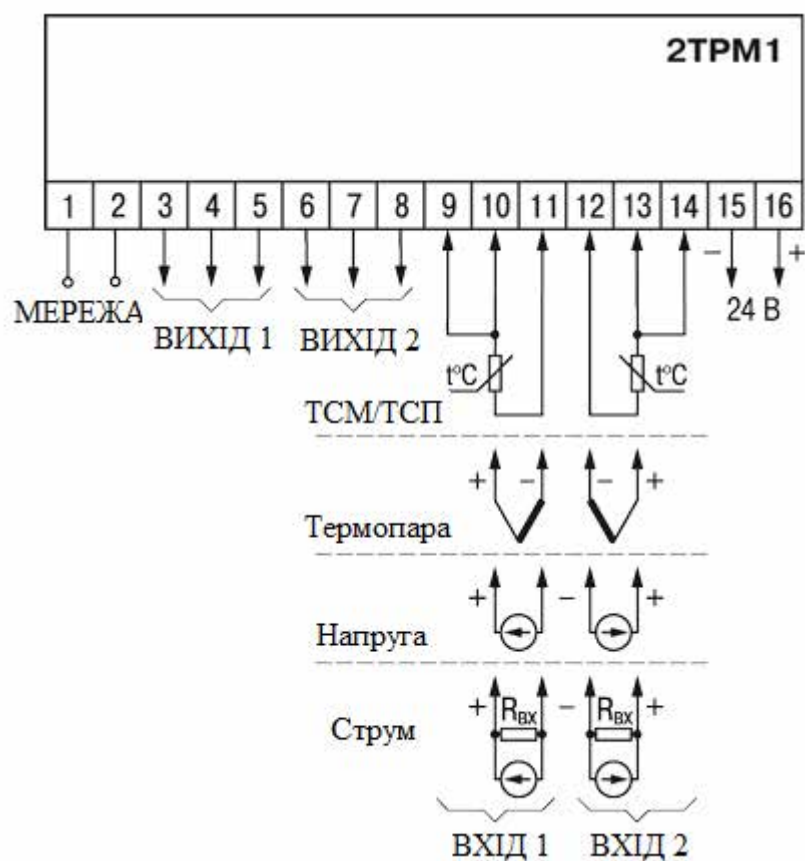
$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad k = 1761.975$$

$$Vm \cdot \rho_m \cdot Cm = 1.113 \times 10^7$$

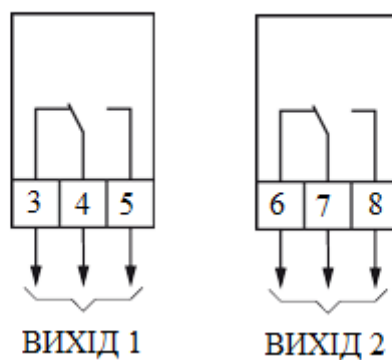
$$Vp \cdot \rho_b \cdot Cb = 1.299 \times 10^5$$

Додаток Б

Схема для підключення регулятора ОВЕН 2ТРМ1



Вихід 1, 2 для модифікації Р - електрмагнітне реле



Додаток В

Амплітудно-фазові частотні характеристики були побудовані за допомогою використання математичного пакета Mathcad.

$$j := \sqrt{-1}$$

$$b := 110$$

$$\omega := 0, 0.0001 \dots 0.1$$

$$d := 1$$

$$a := 1, 2 \dots 10$$

$$W1(\omega) := \frac{0.33 \cdot e^{-180 \cdot j \cdot \omega}}{1420 \cdot j \cdot \omega + 1}$$

$$q(a) := \frac{4 \cdot b}{\pi \cdot a} \cdot \sqrt{1 - \frac{d^2}{a^2}}$$

$$W2(\omega) := \frac{0.01}{7 \cdot j \cdot \omega + 1}$$

$$q1(a) := \frac{-4 \cdot b \cdot d}{\pi \cdot a^2}$$

$$W3(\omega) := \frac{0.033}{0.005 \cdot j \cdot \omega + 1}$$

$$WL(\omega) := W1(\omega) \cdot W2(\omega) \cdot W3(\omega)$$

$$\text{WNL}(a) := q(a) + j \cdot q1(a)$$

$$\operatorname{Re}\left(\frac{-1}{\operatorname{WNL}(\mathbf{a})}\right)$$

$$\text{Im}\left(\frac{-1}{\text{WNL}(\mathbf{a})}\right) =$$

0
-0.012
-0.02
-0.028
-0.035
-0.042
-0.049
-0.057
-0.064
-0.071

[illegible]

Додаток Г

Механічні характеристики електродвигуна та робочої машини були розраховані за допомогою математичного пакета Mathcad.

Робоча машина - відцентровий консольний моноблочний насос KM50-32-125A

Подача насоса, м³/год.

$$Q_{nas} := 10$$

Подача насоса, м³/с.

$$Q_{nas1} := \frac{Q_{nas}}{3600} = 2.778 \times 10^{-3}$$

Напір насоса, м

$$H_{nas} := 16$$

Синхронна частота обертання валу насоса, об./хв., рад./с

$$n_0 := 3000 \quad \omega_0 := \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = 314.159$$

ККД насоса

$$\eta_{nas} := 0.56$$

Момент інерції робочої машини (насоса), кг*м²

$$J_{nas} := 0.0003$$

Асинхронний трифазний електродвигун АИР80А2У3

Номінальна напруга живлення, В

$$U_{nom} := 380$$

Номінальна потужність електродвигуна, кВт

$$P_{nom} := 1.5$$

Номінальний споживаний струм електродвигуна, А

$$I_{nom} := 3.2$$

Кратність пускового струму $I_{пуск}/I_n$

$$k_{ipusk} := 6.5$$

Частота обертання валу електродвигуна, об./хв.

$$n_{nom} := 2880$$

ККД електродвигуна

$$\eta_{dv} := 0.82$$

$$M_{пуск}/M_n$$

$$\mu_{pusk} := 2.2$$

$$M_{макс}/M_n$$

$$\mu_{kr} := 2.6$$

Коефіцієнт потужності

$$\cos \phi := 0.85$$

$$M_{мін}/M_n$$

$$\mu_{min} := 1.8$$

Момент інерції електродвигуна, кг*м²

$$J_{dv} := 0.0015$$

Побудова механічної характеристики робочої машини

Момент статичних опорів робочої машини при номінальній швидкості, Н*м

$$M_{cn} := 9550 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 4.974$$

Номінальне значення кутової швидкості вала робочої машини, рад/с

$$\omega_{nom} := \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{nom}}{60} = 301.593$$

Початковий момент тертя (зрушення) робочої машини, який не залежить від зміни швидкості, Н*м

$$M_{c0} := 0.15 \cdot M_{cn} = 0.746$$

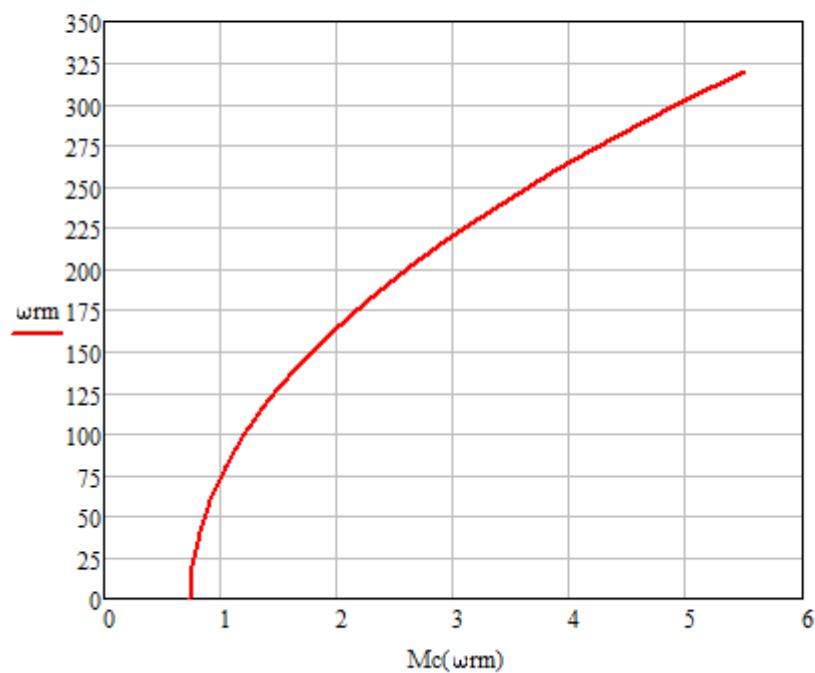
Коефіцієнт, що характеризує ступінь залежності моменту статичних опорів від швидкості

$$X := 2$$

Механічна характеристика робочої машини $M_c = f(\omega_{pm})$

$$\omega_{rm} := 0, 20 \dots 320$$

$$M_c(\omega_{rm}) := M_{c0} + (M_{cn} - M_{c0}) \cdot \left(\frac{\omega_{rm}}{\omega_{nom}} \right)^X$$



$\omega_{rm} =$	$M_c(\omega_{rm}) =$
0	0.746
20	0.765
40	0.82
60	0.913
80	1.044
100	1.211
120	1.415
140	1.657
160	1.936
180	2.252
200	2.605
220	2.996
240	3.423
260	3.888
280	4.39
300	4.929
320	5.506