

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 636.5252/58:62 503.51

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики, автомати-
ки і енергозбереження
(назва ННІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

_____ В.В. Каплун
(підпис) (ПІБ)

_____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

«__» _____ 2024 р.

«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.2268"С".2023.12.14.007.ПЗ

на тему «**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ
РЕЖИМОМ ПАСТЕРИЗАТОРА МОЛОКА**»

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(назва)

Гарант освітньої програми

_____ (підпис)

І.М. Болбот, д.т.н., професор

(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконав

_____ (підпис)

К.О. Жигун

(П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи

_____ (підпис)

В.О. Грищенко, к.т.н., доцент

(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка
О.О. Опришко
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Жигуну Кірілу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 174– «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма: Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема магістерської роботи **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ ПАСТЕРИЗАТОРА МОЛОКА»**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від 14.12.2023 року №2268«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 15.11.2024 року

Вихідні дані кваліфікаційної магістерської роботи: завдання кафедри на виконання магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з тематики кваліфікаційної магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Технологія і промислове обладнання теплової обробки молока.
2. Розробка та дослідження математичної моделі теплових процесів пастеризаційно-охолоджувальної установки.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
4. Розробка цифрової системи керування.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Техніко-економічне обґрунтування.

Дата видачі завдання «15» грудня 2023 року

Керівник магістерської роботи

_____ (Підпис)

Грищенко В.О.
(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (Підпис)

Жигун К.О.
(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ	4
РОЗДІЛ 1. Технологія і промислове обладнання теплової обробки молока	8
1.1. Технологічні властивості молока	8
1.2. Первинна обробка молока	10
1.3. Види пастеризації молока. Класифікація пастеризаторів	12
1.4. Пастеризаційно-охолоджувальна установка ОП2-У5	17
1.5. Розробка функціональної схеми автоматизації системи керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою	21
РОЗДІЛ 2. Розробка та дослідження математичної моделі теплових процесів пастеризаційно-охолоджувальної установки	23
2.1. Розробка математичної моделі пластинчастої пастеризаційно- охолоджувальної установки	23
2.2. Побудова імітаційної моделі пастеризаційно-охолоджувальної установки у середовищі Matlab Simulink	31
РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань	35
3.1. Обґрунтування вибору алгоритму керування	35
3.2. Реалізація алгоритму керування	36
3.2.1. Вибір програмованого логічного контролера	36
3.2.2. Вибір датчиків температури та нормуючих перетворювачів	41
3.2.3. Вибір модуля аналогового вводу із швидкими входами та перетворювача інтерфейсів Ethernet-RS-232/RS-485	45
3.2.4. Вибір регулюючого органу, виконавчого механізму та визначення їх передатної функції	49
РОЗДІЛ 4. Розробка цифрової системи керування	55
4.1. Визначення часу квантування сигналів ЦСК	55
4.2. Визначення показників якості роботи цифрової системи	57
РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації	61
5.1. Розробка схем електричних принципової, з'єднань та підключень системи керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою	61
5.2. Вибір апаратури захисту та керування	66
5.2.1. Вибір автоматичних вимикачів та електромагнітних пускачів кола керування електродвигунами М1 та М2	66
5.2.2. Вибір електротехнічного обладнання кола керування	70
5.3. Вибір проводів та кабелів	73
5.4. Вибір щита керування	75
5.5. Розробка засобів візуалізації технологічного процесу	76
РОЗДІЛ 6. Техніко-економічне обґрунтування	81
Висновки	86
Література	87
Додатки	90

ВСТУП

Актуальність теми. Молоко і різноманітні молочні продукти (кисломолочні продукти, сири, вершкове масло, молочні консерви та ін.) відзначаються високою засвоюваністю і калорійністю. Вони містять більшість необхідних для зростання, розвитку та життя людини поживних речовин (жири, білки, вуглеводи, вітаміни та мінеральні солі), і належать до дієтичних і повноцінних продуктів харчування. Завдяки вмісту названих поживних речовин у легкодоступній для засвоєння формі молоко є незамінною їжею для новонароджених, а також необхідним продуктом харчування для людини будь-якого віку.

Сучасна промислова переробка молока являє собою складний комплекс фізико-хімічних, біохімічних, мікробіологічних, теплофізичних, специфічних трудомістких технологічних процесів, які тісно взаємопов'язані між собою. Виробництво питного молока і кисломолочних продуктів характеризується повною переробкою усіх компонентів молока, а виготовлення вершків і вершкового масла, сметани, сирів ґрунтується на використанні окремих молочних складових. Виробництво молочних консервів базується на збереженні необхідних сухих речовин молока після видалення вологи з нього.

Молоко, що надходить на молокозаводи (на рівні близько 6,5 млрд. л до лютого 2022 р.), перероблюється на вершкове масло, казеїн і сухе молоко – 63%; тверді та плавлені сири – 19%; кисломолочні продукти – 11%; цільне молоко – 4%, морозиво – 3%. Ринок готової молокопродукції у зв'язку з різними нормами витрат на сировину має інший дольовий розподіл (рис. В1) [18].

Пастеризація є одним з найбільш поширених методів консервації і обробки харчових продуктів. Вона являє собою обробку нагріванням протягом певного часу температурою, що менша за 100°C (65...85°C, інколи 93...95°C). Така процедура або руйнує, або дезактивує мікроорганізми і ферменти, які сприяють псуванню продуктів і ризику низки захворювань, що передаються із

їжею. Пастеризація використовується головним чином для збереження від псування харчових продуктів, які не витримують нагрівання до більш високих температур, що є особливо актуальним для молочних продуктів, соків, томатної пасти, м'ясних і рибних консервів і багато інших.



Рис. В1. Розподіл ринку молочних продуктів за товарними групами:

1 – кисломолочна продукція (30%); 2 – цільне молоко (29%); 3 – вершкове масло (17%); 4 – сири (11%); 5 – морозиво (11%); 6 – вершки, сухі суміші (2%)

Процес пастеризації названий на честь французького мікробіолога Луї Пастера, чії дослідження у 1860-х роках продемонстрували, що термічна обробка дезактивує небажані мікроорганізми у вині.

Пастеризація є більш щадним методом обробки харчових продуктів у порівнянні із кип'ятінням, оскільки дозволяє зберегти більшу частину поживних речовин і смакових якостей продукту. Вона використовується для покращення текстури та консистенції їжі, а також для підготовки продуктів до подальшої переробки (ферментація, пакування та ін.). Класичний варіант обробки протягом 30 хв. при температурі 65°C у сучасному виробництві практично не використовується; перевага надається швидкій пастеризації, тобто нагріванню до 82-85°C протягом 5-10 с. Такий варіант також допомагає зберегти молочнокислі бактерії, тому пастеризоване молоко підходить для виготовлення м'яких і твердих сирів, йогуртів і кефіру.

У промислових масштабах продукти після пастеризації необхідно охолоджувати і зберігати при низьких температурах, щоб уникнути проростання

бактеріальних спор. Після пастеризації продукти не є придатними для тривалого зберігання, оскільки вегетативні форми мікробів гинуть, але їх спори залишаються життєздатними. Наприклад, питне пастеризоване молоко слід зберігати у холодильнику не більше 7-10 діб. Ультрапастеризоване і стерилізоване молоко зберігається довше.

Дослідження якісного складу пастеризованого молока [20,21] показали, що промислова пастеризація по-різному впливає на водо- та жиророзчинні вітаміни, збільшуючи або зменшуючи їх вміст, але в цілому не призводить до зниження поживних якостей молока.

Таким чином, пастеризація відіграє важливу роль у підтримці безпеки і якості харчових продуктів, забезпечуючи їх доступність та збереженість для споживачів. Якісне пастеризоване і охолоджене молоко є сировиною для виробництва великого спектру молочної продукції.

Тому питання підвищення ефективності роботи пастеризаційно-охолоджувальних установок для молока шляхом впровадження нових технологій, конструктивного удосконалення обладнання та впровадження енергозберігаючих режимів його роботи із використанням сучасних засобів автоматичного керування є актуальними і своєчасними.

Об'єктом дослідження є процес переробки молока у пастеризаційно-охолоджувальній установці із пластинчастими теплообмінниками.

Предметом дослідження взаємозв'язки і закономірності температурних режимів пастеризації і охолодження молока у пастеризаційно-охолоджувальних установках та їх вплив на якість кінцевого продукту.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є вдосконалення системи автоматичного керування температурним режимом пастеризації молока в пастеризаційно-охолоджувальній установці, яка забезпечить підвищення якості продукції та ефективності роботи обладнання установки.

Задачі магістерської кваліфікаційної роботи:

- виконання параметричного аналізу технологічного процесу пастеризації молока у пастеризаційно-охолоджувальній установці як об'єкті регулювання;

- розробка функціональної схеми автоматизації пастеризаційно-охолоджувальної установки;
- розробка математичної моделі температурного режиму молока в пастеризаційно-охолоджувальній установці ОП2-У5 та визначення передатної функції установки для каналу регулювання температури пастеризації;
- обґрунтування вибору алгоритму регулювання та технічних засобів для реалізації САК;
- дослідження показників якості роботи САК;
- розробка електричних схем системи керування та створення операторського інтерфейсу системи контролю та керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою для молока;
- техніко-економічне обґрунтування прийнятих інженерних рішень.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЯ І ПРОМИСЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ

ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ МОЛОКА

1.1. Технологічні властивості молока

Молоко – це рідкий секрет молочних залоз ссавців, що забезпечує зростаючий організм комплексом необхідних мінеральних, біологічно активних і поживних речовин, і є одним із основних харчових продуктів людини, а також сировиною для виготовлення різноманітних молочних продуктів.

Молоко – біологічна рідина, до складу якої входить близько 250 хімічних компонентів: 20 амінокислот, 147 жирних кислот, 30 макро- та мікроелементів, 23 вітаміни, 20 гліцеридів, 4 цукри, гормони, пігменти та ін. Вміст основних компонентів молока корів наведений у додатку А1. Складові частини молока через різну дисперсність займають наближено такий об'єм: вода – 87,9%, жир – 4,3%, казеїн – 2,3%, альбумін – 0,3%, глобулін – 0,1%, молочний цукор – 3,0%, солі – 0,3% [17].

Крім великої групи бактерицидних і біологічно активних речовин, до складу молока входить оротикова кислота, що відіграє значну роль у лактаційній діяльності, ферментативній рівновазі в людському і тваринному організмах, у процесах подовження життя. Загальна енергетична цінність 1 кг молока становить 672 ккал (2750 кДж). Висока харчова цінність молока зумовлена не тільки оптимальним вмістом у ньому названих речовин, але і раціональним їх співвідношенням, при якому ці речовини засвоюються майже повністю [9].

З точки зору фізичної хімії молоко – це полідисперсна система складної структури, де дисперсним середовищем є вода. У цій складній системі мінеральні солі і лактоза перебувають в іонно-молекулярному, білки в колоїдному, а жир в емульсійному станах. У фізичному та хімічному відношенні

окремі фази зв'язані між собою таким чином, що зміна стану одного компонента призводить до значних змін інших.

Полідисперсність молока зумовлена тим, що одні речовини розчинені у воді, яка для них є дисперсним середовищем, а їх розчини, в свою чергу, є дисперсним середовищем для інших речовин. Так, дисперсним середовищем для молочного цукру і солей є вода, де вони розчинені, для білків – розчин солей, який підтримує їх в колоїдному стані, а для жиру – вся плазма молока, з якою він утворює емульсію або суспензію [17].

Технологічні властивості молока – це фізико-хімічні показники, оптимальні параметри яких за сучасних технологій дозволяють виробляти якісні молочні продукти з максимальним економічним ефектом. До них відносять наступні показники: органолептичні властивості молока; біохімічний склад та фізико-хімічні властивості молока; санітарно-гігієнічна якість молока; термостійкість молока; наявність сторонніх домішок; параметри сичужного зсідання молока.

Серед названих властивостей *термостійкість молока* є важливим технологічним показником, який характеризує придатність його до високотемпературної обробки при виробництві пастеризованих і стерилізованих молочних продуктів, консервів та продуктів дитячого харчування. Ця властивість молока зумовлена в основному його кислотністю та сольовим балансом. Термостійкість знижується при підвищенні кислотності молока. При нагромадженні в молоці молочної кислоти від'ємний заряд міцел казеїну зменшується, і від казеїнаткальційфосфатного комплексу від'єднується фосфат кальцію, внаслідок чого міцели казеїну втрачають властивості зберігати колоїдний стан. Якщо демінералізація помірна, то коагуляція білків холодного молока не відбувається, але нагрівання може викликати цей процес, і він посилюється із підвищенням температури та збільшенням тривалості нагрівання.

Крім того, термостійкість молока залежить від рівноваги між катіонами (кальцій, магній та ін.) та аніонами (цитрати, фосфати та ін.). Надлишок одних

або інших порушує сольову рівновагу системи, що може спричинити коагуляцію білків.

Склад та технологічні властивості молока залежать від багатьох факторів, які можна об'єднати в такі групи:

- *фізіологічні*: порода, період лактації, тривалість сухостійного періоду, вік, стан здоров'я та вгодованість тварини, індивідуальні особливості;
- *умови одержання молока*: проміжок між доїннями, швидкість та повнота видоювання, масаж вим'я, рівень механізації процесу доїння, кваліфікація оператора та ін.;
- *фактори зовнішнього середовища*: рівень та повноцінність годівлі корів, умови отримання тварин, дотримання розпорядку дня, сезон року, моціон.

Якість та технологічні властивості молока змінюються протягом лактації. Молозиво має гіркувато-солоний присмак, під дією сичужного ферменту зсідається погано, тому непридатне для виробництва молочних продуктів. При використанні молока з домішками молозива для виготовлення сирів порушуються біохімічні процеси його дозрівання. Отже, для переробки використовують молоко, одержане не раніше 7 діб після отелення корови.

Мікробіологічні показники молока, які встановлені стандартами Європейського союзу (ЄС) для забезпечення безпеки здоров'я людей при виробництві питного молока, наведені в додатку А2.

1.2. Первинна обробка молока

Усе молоко, що надходить на молокопереробні підприємства, проходить декілька стадій переробки (рис. 1.1). У першу чергу здійснюється його очищення від домішок, що потрапляють у молоко в період доїння. Для цього використовуються методи *механічної або хімічної фільтрації*. Перед фільтрацією молоко рекомендується підігріти до температури 35-45°C у підігрівнику або у секції регенерації пастеризаційно-охолоджувальної установки.

Це необхідно, по-перше, тому, що холодне молоко має підвищену в'язкість і повільніше піддається фільтрації. По-друге, жирові кульки в такому молоці тверднуть, утворюючи купки і погано проходять через фільтр, швидше його забиваючи.

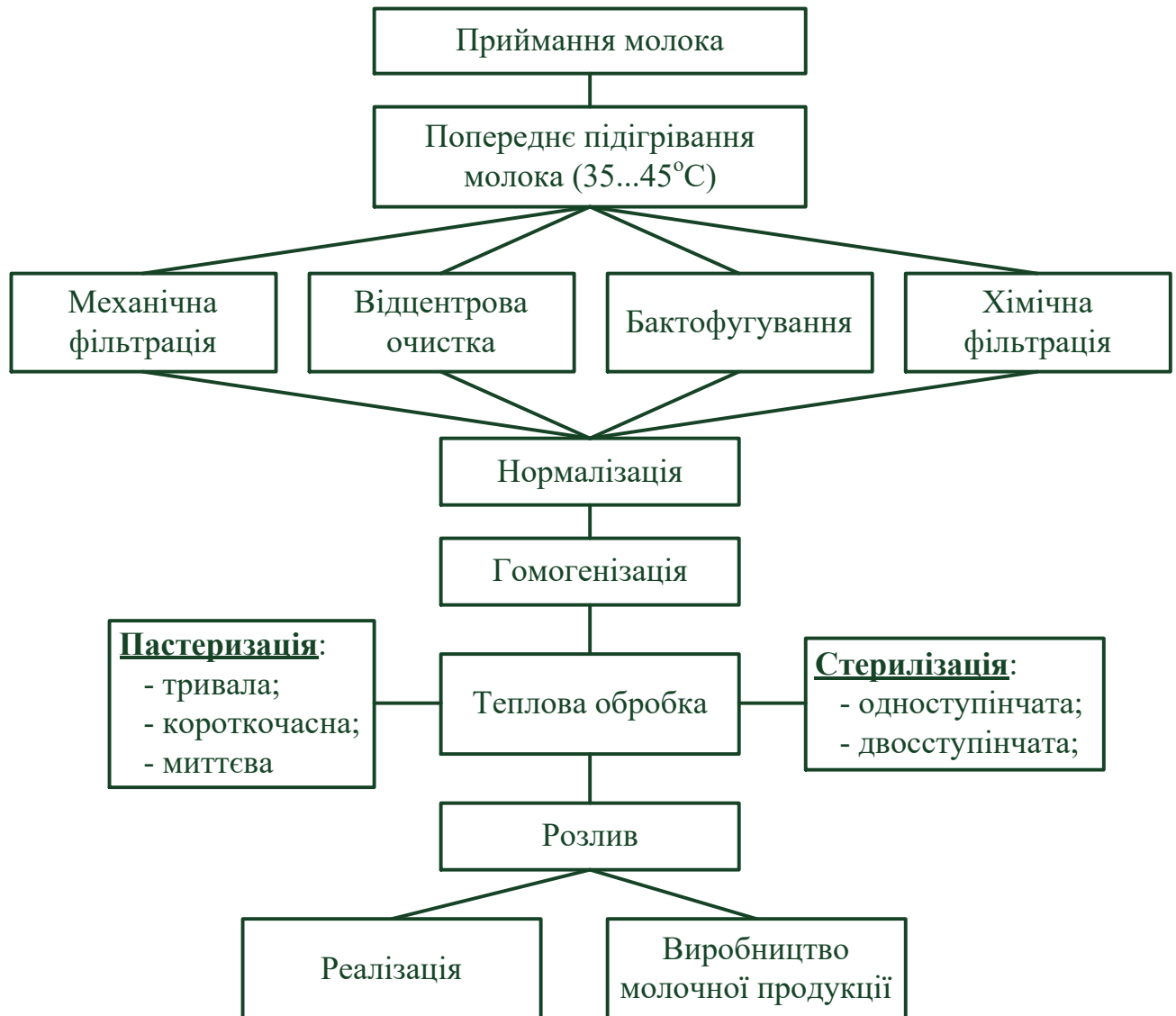


Рис. 1.1. Технологічні операції первинної обробки молока

Наступна стадія обробки – *нормалізація молока* – призначена для одержання молока необхідної концентрації за жирністю. Сутність процесу полягає у додаванні до первинного молока розрахованої кількості або більш жирного молока (вершків), або навпаки, менш жирного молока в залежності від жирності первинного молока. Нормалізація молока, зазвичай, здійснюється в потоці в сепараторах-нормалізаторах.

Метою наступної стадії – *гомогенізації молока* – є стабілізація жирової консистенції молока шляхом механічного подрібнення жирових кульок до розміру 1-2 мкм, усунувши відстоювання жиру в молоці і молочних продуктах при зберіганні і сквашуванні.

Теплова обробка молока – обов'язкова операція у виробництві різних молочних продуктів, що іноді є основною (наприклад, при виробництві пастеризованого питного молока).

Розглянемо процес теплової обробки молока більш детально.

1.3. Види пастеризації молока. Класифікація пастеризаторів

Пастеризація молока – це тепла дія високими температурами на молочну сировину з метою знешкодження патогенних бактерій із одночасним збереженням корисної молочної мікрофлори і основних якостей напою – його консистенції, смаку і запаху.

На сучасних молокозаводах використовуються переважно три способи пастеризації, які відрізняються створюваними умовами і технологічним процесом.

1. Тривала пастеризація, яка забезпечує максимальне видалення шкідливих бактерій із складу сировини – гине близько 99% небезпечних мікроорганізмів. Корисна мікрофлора при цьому зберігається. Внаслідок складності відтворення оптимальних умов пастеризації та загальної енерговитратності використовується відносно рідко. Справа у тому, що для правильної реалізації процесу вимагається наявність спеціальних ванн із подвійними стінками, де підтримується фіксована температура у межах +63...65°C протягом 30 хв.

2. Короткочасна пастеризація. Оскільки відсутня потреба у кип'ятінні молока, цей метод передбачає використання звичайної гарячої води. При цьому час температурного впливу на сировину скорочується до 15...20 с. Разом із

скороченням тривалості обробки, температурний режим підвищується до +72...75°C. Ефективність такого методу лише трохи нижча – він дозволяє відсторонити до 98% шкідливих бактерій. Однак при використанні він є набагато зручнішим і вигідним, тому на даний момент використовується на більшості молокозаводів.

3. Високотемпературна пастеризація. Здійснюється за рахунок моментального нагрівання молока за допомогою гарячої води і пари, як мінімум, до +85...90°C. Головна відмінність – відсутність подальшої часової витримки – молоко практично одразу відправляється на розлив. При такому режимі гине до 99,5% шкідливої мікрофлори, однак відсторонюється і частина корисних бактерій, внаслідок чого молоко втрачає частину смакових якостей і користі. Такий метод пастеризації застосовується переважно не для молока, а для вершків при їх підготовці до виробництва вершкового масла.

4. Ультрапастеризація – різновид теплової обробки молока, що допомагає у разі збільшити строк його придатності. Для цього, за допомогою спеціального закритого обладнання, молоко доводять до температури 133...143°C на 2-3 с і охолоджують до 4°C. Це призводить до загибелі практично усіх шкідливих бактерій. Ультрапастеризовані продукти не скисають і не втрачають свої корисні властивості і зберігаються у герметичній світлонепроникній тарі протягом 2 місяців при температурі у приміщенні до +25°C. Після відкриття тари строк придатності такого молока складає до 5 діб, після чого воно отримує гіркуватий присмак.

Існує також такий метод теплової обробки молока і молочних продуктів, як *стерилізація*. При стерилізації відбувається знищення не тільки вегетативних, але й спорових форм мікроорганізмів, що дозволяє значно збільшити строк зберігання молока і молокопродуктів. Температура стерилізації знаходиться у межах 115...145°C із експозицією 1200...1800 с.

Обладнання, що використовується у молочній промисловості для теплової обробки молока, являють собою окремий вид апаратів – пастеризаційно-охолоджувальні або стерилізаційні установки.

Обладнання для пастеризації і стерилізації молока в залежності від принципу дії поділяють на апарати *неперервної* і *періодичної* дії.

За видом джерела прикладеної енергії розрізняють *парові (водяні)*, *електричні* та *комбіновані* апарати.

Обладнання класифікують за такими ознаками:

- за видом взаємодії продукту і оточуючого середовища – відкриті і закриті;
- за формою робочих органів – плоскі і круглі;
- за профілем поверхні робочих органів – трубчасті і пластинчасті;
- за конструктивним виконанням – однорядні і пакетні (багаторядні);
- за кількістю секцій – односекційні та багатосекційні;
- за напрямком руху продукту і теплоносія при нагріванні або охолодженні – прямоточні та протиточні.

Для нагрівання молока використовують підігрівачі ємнісного, пластинчастого або трубчастого типів. Для охолодження молока найбільшого поширення набули охолоджувачі відкритого (ємнісні та зрошувальні) і закритого (трубчасті та пластинчасті) типів.

Розглянемо типовий хід технологічного процесу на лінії з виробництва питного молока (рис. 1.2). Молоко надходить в установку через зрівнювальний резервуар (1) і подається насосом у пластинчастий теплообмінник (16), де попередньо нагрівається перед потраплянням у сепаратор (5), у якому розділяється на знежирене молоко і вершки.

Нормалізація питного молока здійснюється в потоці залежно від типу системи. Вміст жиру у вершках після сепаратора встановлюють на заданому рівні, із наступним утриманням на цьому рівні, незалежно від середніх коливань вмісту жиру та інтенсивності потоку молока, що подається на переробку. Вміст жиру у вершках зазвичай встановлюють на рівні 35% (для збитих вершків 40%). Встановлена один раз, жирність вершків утримується постійною за допомогою системи регулювання, що складається з датчиків витрати (8) та щільності (7), регулюючих клапанів (9) та системи керування нормалізацією.

Після проходження через пристрій нормалізації, потік вершків розділяється на дві частини. Одна, згідно з погодинним об'ємним виходом для отримання питного молока із питомою жирністю, потрапляє в гомогенізатор, а інша, збиткова частина, спрямовується в установку для переробки вершків. Оскільки жирність вершків, що підлягають гомогенізації, повинна складати не більше 18%, звичайні вершки (із жирністю 40%), перед гомогенізацією повинні бути "розбавлені" знежиреним молоком. Продуктивність гомогенізатора ретельно розраховується та фіксується на визначеному рівні витрат. При використанні часткової гомогенізації гомогенізатор також приєднується до лінії знежиреного молока, тому у ньому завжди наявна достатня кількість продукту для належного функціонування. Таким чином, відносно низький потік вершків компенсується знежиреним молоком до номінальної продуктивності. По ходу гомогенізації вершки із жирністю 18%, у підсумку, змішуються всередині виробничої лінії з додатковою кількістю знежиреного молока для досягнення масової частки жиру 3% перед пастеризацією.

Тепер молоко із нормалізованою часткою жиру, подається насосом у секцію нагріву теплообмінника, де воно пастеризується. Необхідний час витримки забезпечується трубчастим витримувачем (14) продукту. Допоміжний насос (13) підвищує тиск продукту до рівня, на якому пастеризований продукт не може бути забрудненим необробленим молоком або хладагентом у разі виникнення течі у пластинчастому теплообміннику. Якщо температура пастеризації знижується, керуючий сигнал від пристрою керування приводить у дію зворотній клапан (15), і молоко перетікає назад у зрівнювальний резервуар. Після пастеризації молоко поступає в охолоджувальну секцію теплообмінника, де воно регенераційно охолоджується необробленим молоком, що тільки подається на переробку, а потім в секцію охолодження, де воно доохолоджується льодяною водою. Після цього холодне молоко подається насосом у буферні танки, а потім у пакувальні машини.

1.4. Пастеризаційно-охолоджувальна установка ОП2-У5

На молокопереробних підприємствах України використовуються пастеризаційно-охолоджувальні установки для молока марок ОП2-У5, ОПУ-3М, ОПУ-10, ОПУ-15, А1-ОКЛ-3, А1-ОКЛ-5, А1-ОКЛ-10, ОП2-У15, а також різноманітне обладнання закордонних виробників.

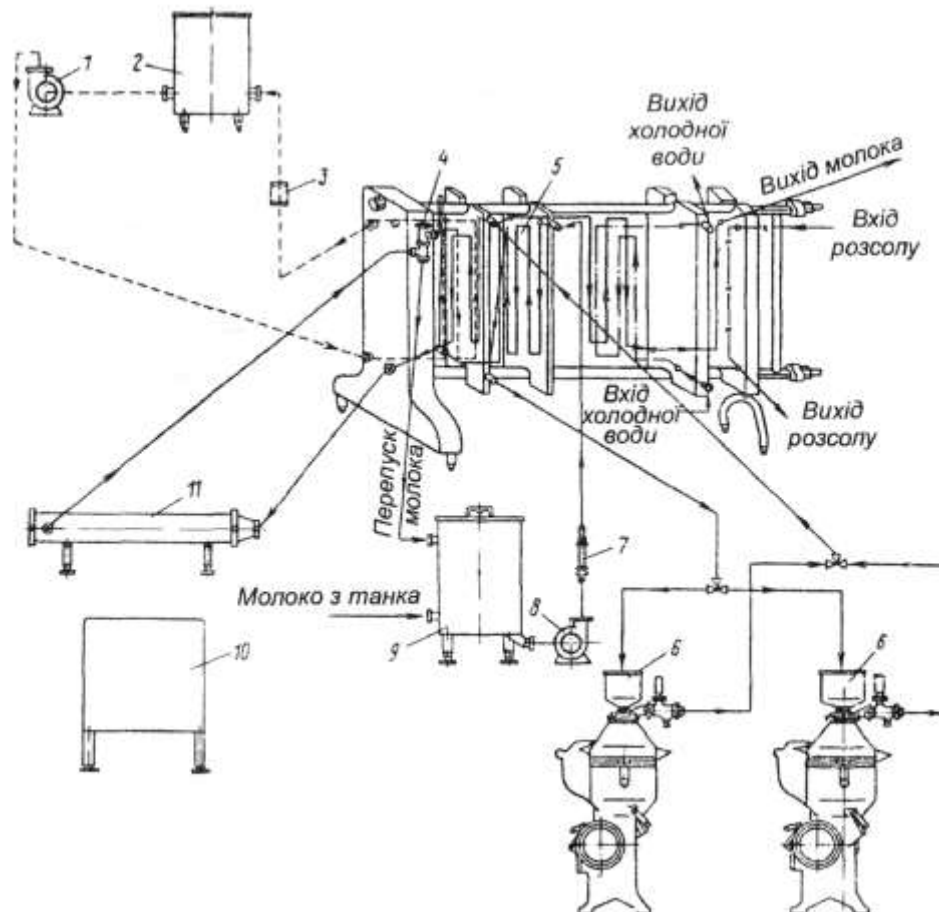


Рис. 1.3. Технологічна схема руху рідин в установці ОП2-У5:

1 – відцентровий насос для води; 2 – бойлер; 3 – інжектор; 4 – перепускний клапан; 5 – теплообмінник; 6 – сепаратори-молокоочищувачі; 7 – регулятор рівномірності потоку; 8 – відцентровий насос для молока; 9 – вирівнювальний бак; 10 – шафа керування; 11 – витримувач

У даній кваліфікаційній магістерській роботі розглядається пастеризаційно-охолоджувальна установка ОП2-У5 продуктивністю 5000 л/год., яка призначена для пастеризації молока при температурі 74...78°C, короткотривалої витримки із наступним охолодженням до температури 4°C.

Схема конструктивного виконання установки наведені у додатку Б2, технологічна схема її роботи зображена на рис. 1.3.

Установка складається із теплообмінника пластинчастого типу (5), витримувача молока (11), відцентрового насоса для подачі теплоносія (гарячої води) (1), відцентрового насоса для подачі молока (8), сепараторів-молокоочищувачів (6) (2 шт.), бойлера (2), вирівнювального бака (9), арматури та з'єднувальних трубопроводів (3), перепускного клапана (4), регулятора рівномірності потоку (7).

Алгоритм роботи установки наступний. Сире молоко надходить у вирівнювальний бак (9), звідки насосом (8) прокачується через регулятор рівномірності потоку (7) у секцію регенерації теплообмінника. Далі, підігріте до 62°C молоко спрямовується в один з двох сепараторів-молокоочищувачів (6), які працюють по черзі. При звичайній забрудненості молока тривалість роботи одного сепаратора не перевищує 3,5 год. Після очищення молоко спрямовується в секцію пастеризації, де нагрівається гарячою водою до температури близько 76°C. Далі, після витримувача (11) пастеризоване молоко надходить через перепускний клапан (4) у секцію регенерації теплообмінника, де воно охолоджується до температури 19°C. Після цього, воно проходить послідовно секції водяного і розсільного охолодження, і в результаті на виході з теплообмінника отримуємо молоко з температурою $4\pm 2^\circ\text{C}$. Якщо температура молока нижча від встановленої температури пастеризації, перепускний клапан скеровує молоко у вирівнювальний бак на повторну пастеризацію.

Секція регенерації відіграє важливу роль – завдяки ній пастеризація здійснюється при невеликій різниці температур між молоком і гарячою водою, що забезпечує повільне утворення пригару.

Основною складовою частиною установки ОП2-У5 є теплообмінник (рис. 1.4), який складається із пластин (додаток Б1), виконаних з нержавіючої сталі марки 12Х18Р10Е.

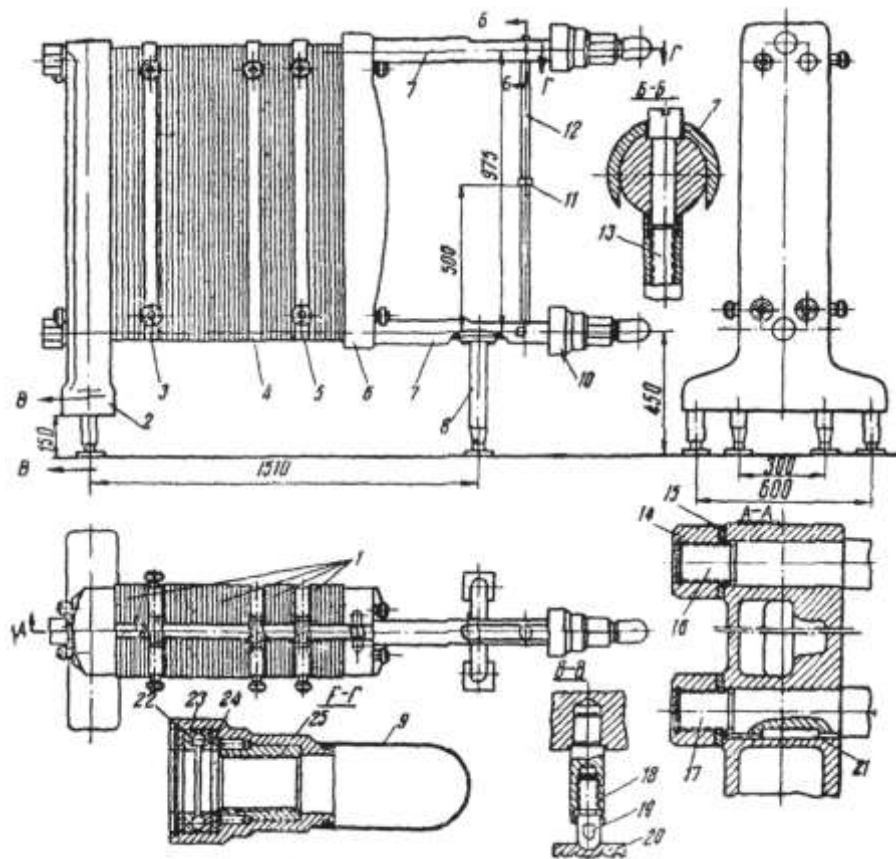


Рис. 1.4. Схема пластинчастого теплообмінника установки ОП2-У5:

1 – секції; 2 – станина; 3,4,5 – секції; 6 – затискна плита; 7 – розпорки; 8 – опора; 9 – ковпак; 10 – муфта; 11 – амортизатор; 12 – стійка; 13 – болт; 14 – гайка; 15 – шайба; 16,17 – штанги; 18 – втулка; 19 – опора; 20 – плита; 21 – шпонка; 22 – корпус; 23 – упорні шарикопідшипники; 24 – упорні кільця; 25 – різьбова втулка

Секція пастеризації складається із 25 пластин, що скомпоновані в 3 пакети по 4 канали для молока і 1 пакета з 12 каналів для гарячої води. Умовне позначення такої схеми компоновки $\frac{4+4+4}{12}$.

Секція регенерації має симетричну компоновку $\frac{4+4+4+4+4+4+4}{4+4+4+4+4+4+4}$.

Секція водяного охолодження складається з 25 пластин, скомпонованих в 3 пакети по 4 канали для молока і 1 пакета з 12 каналів для води, що умовно позначається $\frac{4+4+4}{12}$. Таку саму компоновку має і секція розсільного охолодження.

Технічні характеристики пастеризаційно-охолоджувальної установки ОП2-У5 наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Технічні характеристики установки ОП2-У5

Показник	Значення показника
Продуктивність, л/год.	5000
Температура, °С: - молока, що подається в установку - пастеризації - охолодження	5...10 74...80 2...6
Час витримки молока при температурі пастеризації, с	20
Коефіцієнт регенерації тепла, %	82
Вид теплоносія: - первинний - вторинний	пара гаряча вода
Тиск пари у магістралі, кПа	300
Витрата пари, кг/год.	125
Температура гарячої води, °С	79...85
Температура холодоносія, °С: - холодної води - льодяної води - розсолу	12 1 -5
Витрата холодоносія, м ³ /год.: - холодної води - льодяної води - розсолу	15 10 10
Робочий тиск в апараті, кПа	300
Пластини теплообмінні: - тип - поверхня теплообміну, м ²	П-2 0,2
Кількість пластин у секціях, шт.: - регенерації - пастеризації - охолодження водою - охолодження льодяною водою або розсолем	57 25 25 25
Загальна кількість пластин в апараті, шт.	132
Габаритні розміри апарату, мм - довжина - ширина - висота	2700 700 1530
Маса, кг: - апарата - установки	1160 2830
Площа, яку займає установка, м ²	15

1.5. Розробка функціональної схеми автоматизації системи керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою

Функціональна схема автоматизації системи керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою ОП2-У5 зображена на рис. 1.5, де показані 2 основні контури керування:

1 контур – керування процесом пастеризації молока. В залежності від температури молока (вимірюється датчиком температури ТЕ (1а)) на виході з секції пастеризації автоматичний керуючий пристрій ТІРС (1в) формує сигнал управління (напругу управління) сервоприводом, який за допомогою трьохходового регулюючого клапану збільшує або зменшує витрату гарячої води, що надходить до пластинчастого теплообмінника секції пастеризації.

Крім того, якщо температура пастеризованого молока на виході з секції пастеризації за якихось причин є недостатньою, інший сервопривод за допомогою трьохходового регулюючого клапану відправляє частину молока у вирівнювальний бак з метою повторної пастеризації.

2 контур – управління процесом охолодження молока. В залежності від температури молока (вимірюється датчиком температури ТЕ (2а)) на виході з секції охолодження автоматичний керуючий пристрій ТІС (2в) формує сигнал управління (напругу управління) сервоприводом, який за допомогою трьохходового регулюючого клапану збільшує або зменшує витрату льодяної води, що надходить до пластинчастого теплообмінника секції охолодження.

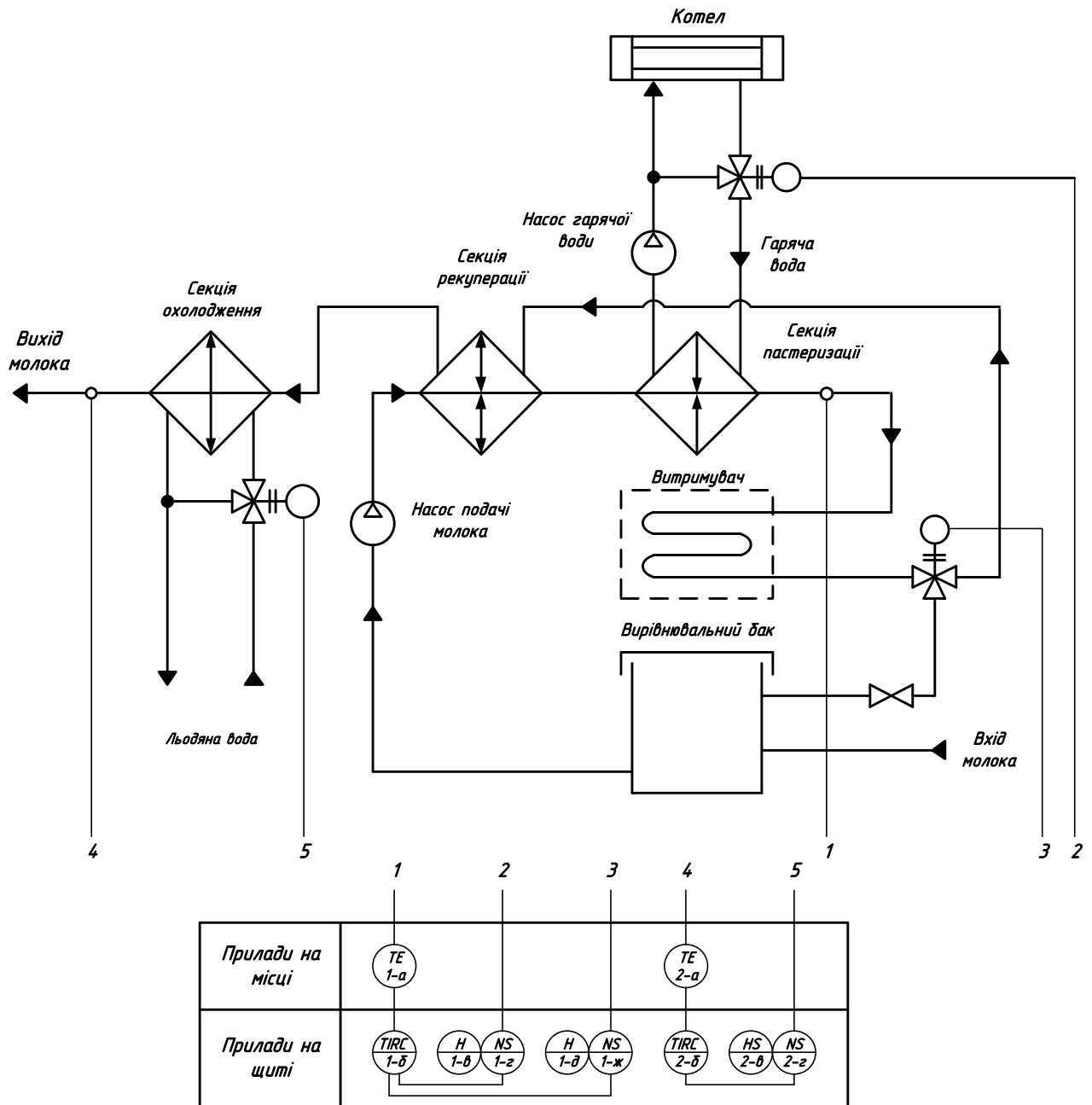


Рис. 1.5. Функціональна схема автоматизації системи керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою ОП2-У5

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПАСТЕРИЗАЦІЙНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

2.1. Розробка математичної моделі пластинчастої пастеризаційно-охолоджувальної установки

Розробку математичної моделі виконаємо на основі технічних характеристик пастеризаційно-охолоджувальної установки для молока ОП2-У5, яка докладно описана у попередньому розділі.

При створенні математичної моделі приймемо припущення, що теплові втрати з поверхні пластин пастеризатора в оточуюче середовище є незначними і не перевищують 5% від теплових потоків від теплоносія до продукту. Статичні характеристики секцій пастеризаційно-охолоджувальної установки можна отримати, склавши системи балансових рівнянь на основі схеми теплових потоків, що зображена на рис. 2.1.

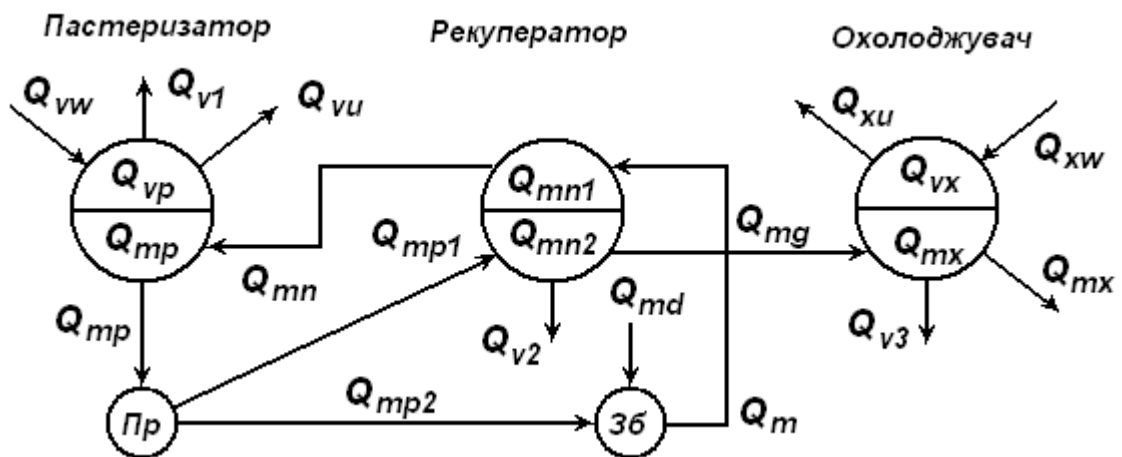


Рис. 2.1. Схема теплових потоків у секціях пастеризаційно-охолоджувальної установки:

ПР – перемикач рециркуляції; ЗБ – збірник молока (зрівнювальний бак)

На схемі прийняті такі позначення теплових потоків:

- Q_{vw} і Q_{vu} – гарячої води на вході і виході секції пастеризації;
- Q_{xw} і Q_{xu} – холодної води на вході і виході секції охолодження молока;
- Q_{v1} , Q_{v2} і Q_{v3} – втрати тепла у секціях пастеризації, рекуперації і охолодження, які складають відповідно: $0,05Q_{p1}$, $0,05Q_{p2}$ і $0,05Q_{p3}$ – потоків тепла, які передаються через стінку теплообмінників від теплоносія до продукту в кожній із секцій;
- Q_{mp} , Q_{mp1} і Q_{mp2} – потоки теплоти пастеризованого молока загального, на секцію рекуперації і на рециркуляцію для підігріву холодного молока на вході в установку.
- Q_{md} , Q_m , Q_{mn} , Q_{mg} , Q_{mx} – це відповідно потоки тепла з молоком на вході збірника, після збірника, підігрітого в рекуператорі, охолодженого в ньому і охолодженого в охолоджувачі молока.

Теплота продукту і теплоносія у секціях представлені відповідно: Q_{vp} , Q_{mpa} , Q_{mn2} , Q_{mn1} , Q_{mx} , Q_{vx} , – гарячої води, пастеризованого молока, гарячого і підігрітого молока в рекуператорі, молока що охолоджується і холодної води в охолоджувачі.

Кількість молока, що надходить на рециркуляцію, залежить від коефіцієнту рециркуляції K_v .

Виходячи з наведеної схеми, складемо балансові статичні рівняння теплових потоків для теплоносія і продукту для секцій:

- пастеризації

$$Q_{vw} - Q_{p1} - Q_{vu} - 0,05Q_{p1} = 0, \quad Q_{mn} + Q_{p1} - Q_{mp} = 0, \quad (2.1)$$

- рекуперації

$$Q_{mp1} - Q_{p2} - Q_{mg} - 0,05Q_{p2} = 0, \quad Q_m + Q_{p2} - Q_{mn} = 0, \quad (2.2)$$

- охолодження

$$Q_{mg} - Q_{p3} - Q_{mx} - 0,05Q_{p3} = 0, \quad Q_{xw} + Q_{p3} - Q_{xu} = 0, \quad (2.3)$$

Тепловий баланс у перемикачі рециркуляції (Пр) визначається із урахуванням коефіцієнту рециркуляції K_v

$$Q_{mp} - Q_{mp1} - Q_{mp2} = 0, \quad (2.4)$$

$$\text{де } Q_{mp2} = K_v Q_{mp}, \quad Q_{mp1} = (1 - K_v) Q_{mp}. \quad (2.5)$$

Тепловий баланс у зрівнювальному баку

$$Q_{mp2} + Q_{md} - Q_m = 0. \quad (2.6)$$

Величини окремих теплових потоків для секції пастеризації складуть

$$\begin{aligned} Q_{vw} &= V_v \cdot r_v \cdot C_v \cdot t_{vw}; \\ Q_{vu} &= V_v \cdot r_v \cdot C_v \cdot t_{vu}; \\ Q_{mn} &= V_m \cdot r_m \cdot C_m \cdot t_{mn}; \\ Q_{mp} &= V_m \cdot r_m \cdot C_m \cdot t_{mp}; \\ Q_{p1} &= k_p \cdot F_p \cdot \Delta t_p; \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\text{де } \Delta t_p = 0.5(t_{vw} + t_{vu} - t_{mn} - t_{mp}). \quad (2.8)$$

Середня різниця температур між водою і молоком для теплообмінника з протитоком розраховується як середньо логарифмічна

$$\Delta t_p = \frac{\Delta t_{pb} - \Delta t_{pm}}{\ln \frac{\Delta t_{pb}}{\Delta t_{pm}}}, \quad (2.9)$$

де більша Δt_{pb} і менша Δt_{pm} різниці температур секції пастеризації визначаються на виході і вході теплоносія (гарячої води):

$$\Delta t_{pb} = t_{vu} - t_{mp}, \quad \Delta t_{pm} = t_{vw} - t_{mn}. \quad (2.10)$$

Значення теплових потоків для секції рекуперації

$$\begin{aligned} Q_m &= V_{md} \cdot r_m \cdot C_m \cdot t_{md} + K_v \cdot Q_{mp}; \\ Q_{mg} &= (1 - K_v) \cdot V_m \cdot r_m \cdot C_m \cdot t_{mg}; \\ Q_{p2} &= k_n \cdot F_n \cdot \Delta t_n; \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\text{де } \Delta t_n = 0.5(t_{mp} + t_{mg} - t_{mn} - t_m) \quad (2.12)$$

Значення теплових потоків для секції охолодження

$$\begin{aligned} Q_{xw} &= V_x \cdot r_v \cdot C_v \cdot t_{xw}; \\ Q_{xu} &= V_x \cdot r_v \cdot C_v \cdot t_{xu}; \\ Q_{mx} &= (1 - K_v) \cdot V_m \cdot r_m \cdot C_m \cdot t_{mx}; \\ Q_{p3} &= k_x \cdot F_x \cdot \Delta t_x; \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\text{де } \Delta t_x = 0.5(t_{mg} + t_{mx} - t_{xw} - t_{xu}). \quad (2.14)$$

Із урахуванням того, що значення $G = V \cdot r$, для збірника холодного молока складемо баланс по масі молока

$$G_m = G_{mp1} + G_{md} = K_v G_m + G_{md}, \quad (2.15)$$

звідки

$$G_m = \frac{G_{md}}{1 - K_v}, \quad (2.16)$$

і тепловий баланс буде наступним

$$G_m \cdot C_m \cdot t_m = G_{mp1} \cdot C_m \cdot t_{mp} + G_{md} \cdot C_m \cdot t_{md}. \quad (2.17)$$

Для спрощення розрахунків прийемо, що теплоємність молока є величиною незмінною, і отримаємо

$$t_m = (1 - K_v)t_{md} + K_v \cdot t_{mp}. \quad (2.18)$$

Кількість теплоти в окремих секціях пастеризаційно-охолоджувальної установки дорівнюватиме:

$$\text{- гарячої води у пастеризаторі } Q_{vp} = V_{vp} \cdot r_v \cdot C_v \cdot 0.5(t_{vw} + t_{vu}); \quad (2.19)$$

$$\text{- молока в пастеризаторі } Q_{mpa} = V_{mp} \cdot r_m \cdot C_m \cdot 0.5(t_{mn} + t_{mp}); \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} \text{- молока на підігрів в рекуператорі} \\ Q_{mn2} = V_{n2} \cdot r_m \cdot C_m \cdot 0.5(t_{mp} + t_{mg}); \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} \text{- молока на охолодження в рекуператорі} \\ Q_{mn1} = V_{n1} \cdot r_m \cdot C_m \cdot 0.5(t_m + t_{mn}); \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$\text{- холодної води в охолоджувачі } Q_{vx} = V_{vx} \cdot r_v \cdot C_v \cdot 0.5(t_{xw} + t_{xu}); \quad (2.23)$$

$$\text{- молока в охолоджувачі } Q_{mx} = V_{mx} \cdot r_m \cdot C_m \cdot 0.5(t_{mg} + t_{mx}). \quad (2.24)$$

Для отримання диференціальних рівнянь, що описують динаміку теплообмінних процесів пастеризаційно-охолоджувальної установки, підставимо рівняння окремих теплових потоків у балансові рівняння, і продиференціюємо їх по вихідних температурах теплоносія і продукту кожної секції установки:

- для секції пастеризації

$$0.5V_{vp} r_v C_v \frac{dt_{vu}}{d\tau} = G_v C_v (t_{vw} - t_{vu}) - \left(\frac{1.05}{2} \right) k_p F_p (t_{vw} + t_{vu} - t_{mn} - t_{mp});$$

$$0.5V_{mp} r_m C_m \frac{dt_{mp}}{d\tau} = G_m C_m (t_{mn} - t_{mp}) + 0.5k_p F_p (t_{vw} + t_{vu} - t_{mn} - t_{mp});$$
(2.25)

- для секції рекуперації

$$0.5V_{n2} r_m C_m \frac{dt_{mg}}{d\tau} = (1 - K_v) G_m C_m (t_{mp} - t_{mg}) - \left(\frac{1.05}{2} \right) k_n F_n (t_{mp} + t_{mg} - t_m - t_{mn});$$

$$0.5V_{n1} r_m C_m \frac{dt_{mn}}{d\tau} = C_m (K_v G_m t_{mp} + G_{md} t_{md} - G_m t_{mn}) + 0.5k_n F_n (t_{mp} + t_{mg} - t_m - t_{mn});$$
(2.26)

- для секції охолодження

$$0.5V_{mx} r_m C_m \frac{dt_{mx}}{d\tau} = (1 - K_v) G_m C_m (t_{mg} - t_{mx}) - \left(\frac{1.05}{2} \right) k_x F_x (t_{mg} + t_{mx} - t_{xv} - t_{xu});$$

$$0.5V_{vx} r_v C_v \frac{dt_{xu}}{d\tau} = G_x C_v (t_{xw} - t_{xu}) + 0.5k_x F_x (t_{mg} + t_{mx} - t_{xw} - t_{xu}).$$
(2.27)

Для визначення статичної характеристики секції пастеризації молока, і, відповідно, коефіцієнта передачі передатної функції установки по каналу «витрати гарячої води – температура пастеризованого молока», використаємо друге рівняння із системи рівнянь по зміні температури пастеризованого молока в часі t_{mp} , перетворивши його до виду

$$\frac{0.5V_{mp} r_m C_m}{G_m C_m + 0.5k_p F_p} \frac{dt_{mp}}{d\tau} + t_{mp} = \frac{G_m C_m t_{mn} + 0.5k_p F_p (t_{vw} + t_{vu} - t_{mn})}{G_m C_m + 0.5k_p F_p}.$$
(2.28)

Коефіцієнт передачі передатної функції для каналу керування визначимо на основі теплового балансу в статичному режимі, не враховуючи при цьому теплових втрат секції пастеризації у навколишнє середовище

$$G_m \cdot C_m \cdot (1 - \varepsilon)(t_{mp} - t_{mn}) = G_v \cdot C_v \cdot (t_{vw} - t_{vu}).$$
(2.29)

де ε – коефіцієнт регенерації тепла для секції пастеризації.

Перетворимо вираз до вигляду статичної характеристики нагрівальної частини установки

$$t_{mp} = t_{mn} + \frac{C_v \cdot (t_{vw} - t_{vu})}{G_m \cdot C_m \cdot (1 - \varepsilon)} \cdot G_v. \quad (2.30)$$

або

$$t_{mp} = t_{mn} + k_{OY} \cdot G_v, \quad (2.31)$$

$$k_{OY} = \frac{C_v \cdot (t_{vw} - t_{vu})}{G_m \cdot C_m \cdot (1 - \varepsilon)}. \quad (2.32)$$

Час транспортного запізнення τ_{OY} , с, пастеризаційно-охолоджувальної установки визначаємо як час проходження гарячої води від регулюючого органу до секції пастеризації

$$\tau_{OY} = \frac{V_{tr}}{2 \cdot V_v}. \quad (2.33)$$

де V_{tr} – об'єм труби, м³.

Для розрахунку коефіцієнтів математичної моделі необхідно визначити декілька додаткових параметрів.

Значення коефіцієнта теплопередачі секції пастеризації визначається за виразом

$$k_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad (2.34)$$

де δ_c – товщина стінки (металевої пластини) секції пастеризації, м;

λ_c – теплопровідність металу пластини, Вт/(м·°C);

α_1 і α_2 – відповідно коефіцієнти тепловіддачі від теплоносія до пластини та від пластини до молока, Вт/(м²·°C).

Значення коефіцієнтів α_1 і α_2 розраховуємо, використовуючи критеріальні рівняння Нуссельта і Прандтля

$$\alpha_1 = \frac{Nu_v \lambda_v}{d_e}, \quad Nu_v = 0,1 Re_v^{0,7} \cdot Pr_v^{0,43} \left(\frac{Pr_1}{Pr_2} \right)^{0,25}; \quad (2.35)$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu_m \lambda_m}{d_e}, \quad Nu_m = 0,021 Re_m^{0,8} \cdot Pr_m^{0,43}; \quad (2.36)$$

де еквівалентний діаметр розраховується за наявними розмірами з паспортних даних установки (b, d, h – відповідно ширини та висоти секції, а також відстані між стінками теплообмінника, м)

$$d_e = \frac{2b \cdot h}{d + h}. \quad (2.37)$$

Значення інших технологічних показників для секцій беруться з таблиці 2.1. Коефіцієнти для моделей інших секцій пастеризаційно-охолоджувальної установки розраховуються аналогічним чином.

Таблиця 2.1.

Технологічні показники секцій установки ОП2-У5

Назва секції	t, °C рідини, що гріє	t, °C продукту	Площа поверхні теплообміну, м ²	Швидкість	Витрати
Пастеризації	Гаряча вода, 90...95	Молоко, 74...78	2,24	Гарячої води, 0,44 м/с	Гарячої води, 1,5 м ³ /год.
Рекуперації I	Молоко, 65...70	Молоко, 27...30	2,38	Молока, 0,35 м/с	Молока, 1 м ³ /год.
Рекуперації II	Молоко, 45...50	Молоко, 37...40	1,54	Молока, 0,35 м/с	Молока, 1 м ³ /год.
Охолодж. I	Молоко, 30...35	Холодна вода, 10...12	1,26	Холодної води, 0,5 м/с	Холодної води, 3 м ³ /год.
Охолодж. II	Молоко, 5...8	Льодяна вода, 2...4	1,26	Льодяної води, 0,52 м/с	Льодяної води, 3 м ³ /год.

Для розрахунку масових витрат молока у відповідних секціях установки скористаємось даними, які отримали дослідники [15], які показують залежність густини молока від його температури (таблиця 2.2, рис. 2.2). Рівняння, яке описує цю залежність із похибкою $\delta_{\text{tm}} = 0,17 \text{ кг/м}^3$, має такий вигляд

$$\rho_m = 1034.83 - 0.24004 \cdot t - 2.4935 \cdot 10^{-3} \cdot t^2. \quad (2.37)$$

Таблиця 2.2

Залежність густини молока від температури

Температура молока, °С	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Густина молока, кг/м ³	1033	1032	1031	1029	1025	1021	1016.6	1011	1006	999.6

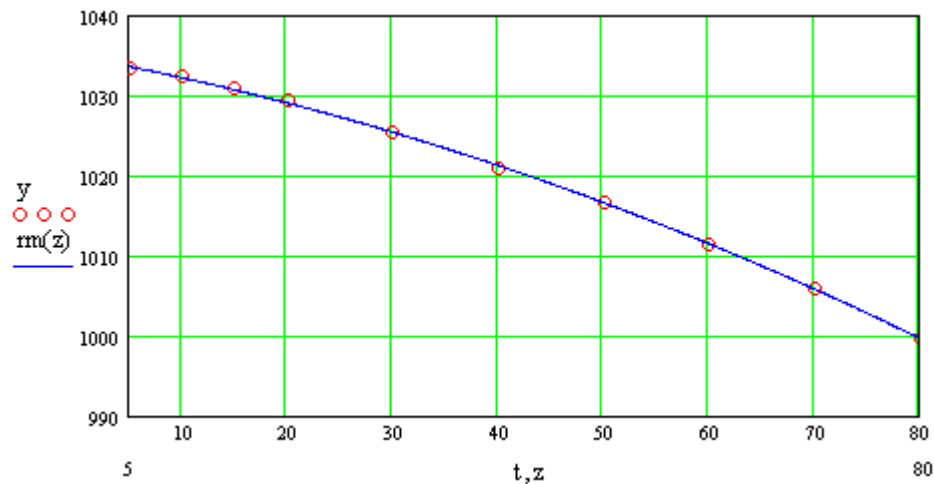


Рис. 2.2. Залежність густини молока від його температури

Розрахунок коефіцієнтів математичної моделі пастеризаційно-охолоджувальної установки ОП2-У5 в математичному пакеті MathCAD наведений в додатку В1.

Отримуємо коефіцієнт передачі k_{ou} і час транспортного запізнення τ_{ou} установки по каналу "витрати гарячої води – температура пастеризованого молока"

$$k_{ou} = 374,8 \text{ } ^\circ\text{C}/(\text{кг}/\text{с});$$

$$\tau_{ou} = 9 \text{ с};$$

а значення постійної часу установки T_{ou} для секції пастеризації визначимо графічним способом за розгінною характеристикою, отриманою за допомогою імітаційної моделі у середовищі Matlab Simulink.

2.2. Побудова імітаційної моделі пастеризаційно-охолоджувальної установки у середовищі Matlab Simulink

Пакет розширення Simulink системи MATLAB є ядром інтерактивного програмного комплексу, який призначений для математичного моделювання лінійних і нелінійних динамічних систем і пристроїв, які представлені своєю функціональною блок-схемою, що називається S-моделлю. Для побудови функціональних блок-схем пристроїв, що моделюємо, Simulink має велику бібліотеку блочних компонентів і зручний редактор блок-схем. Використовуючи потрібні набори блоків користувач за допомогою миші може перетягувати потрібні блоки на робочий стіл пакету Simulink і з'єднувати лініями входи і виходи блоків. Таким чином створюється S-модель системи або пристрою.

Імітаційна модель пастеризаційно-охолоджувальної установки складається з моделей трьох зон: секції пастеризації, рекуперації та охолодження. Схема імітаційної моделі зображена на рис. 2.3.

Підпрограми моделі SubTMp, SubQPp, SubTVu (для секції пастеризації), SubTMgn, SubQPn, SubTmxn, SubZB (для секції рекуперації), SubTMx, SubQPx, SubTVx (для секції охолодження) містять розрахунок частин диференціальних рівнянь теплових процесів у відповідних секціях установки. Вони створені для наочного спрощення, запобігання нагромадження елементів і ліній зв'язку моделі в цілому.

На імітаційній моделі проведені дослідження установки по каналах керування температурними режимами пастеризації і охолодження молока. Так, температура теплоносія (гарячої води) в секції пастеризації молока встановлена на рівні 90°C, температура льодяної води в секції охолодження – на рівні 3°C. Температура молока, яке спрямовується в установку для обробки (початкова температура) встановлена на рівні 25°C. Для підтримання температури пастеризації молока на рівні 76°C витрати гарячої води складають 0,236 м³/с.

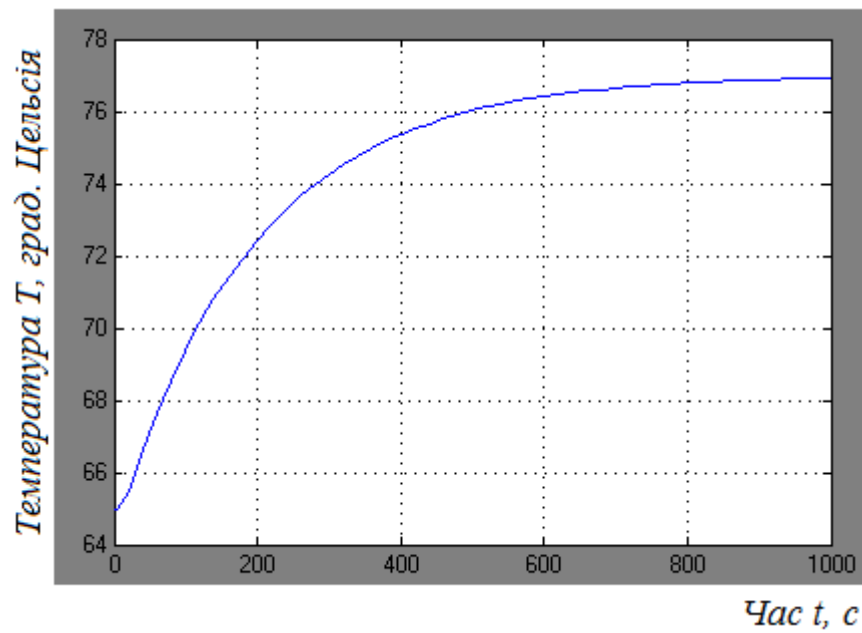


Рис. 2.4. Розгінна характеристика секції пастеризації для каналу керування "витрати гарячої води – температура пастеризованого молока"

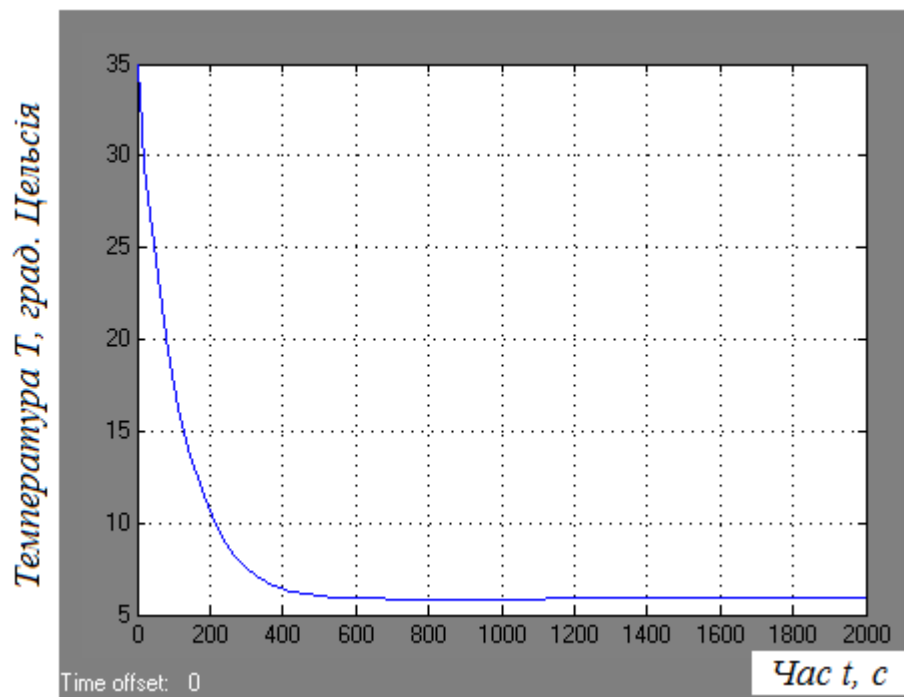


Рис. 2.5. Розгінна характеристики секція охолодження молока

За допомогою інструменту "таймер" отримуємо чисельні значення розгінної характеристики, і за виразом (2.38) отримуємо дані для побудови нормованої розгінної характеристики (додаток В2), що зображена на рис. 2.6.

$$h(t_i) = \frac{T_{II}(t_i) - T_{II}(t_0)}{T_{II}(t_{MAX}) - T_{II}(t_0)}, \quad (2.38)$$

де $T_{II}(t_i)$ – поточне значення температури і i -й момент часу, °С; $T_{II}(t_0)$ – початкове значення температури при $t = 0$ с, °С; $T_{II}(t_{MAX})$ – кінцеве значення температури в усталеному режимі, °С.

$$h(t_i) = \frac{T_{II}(t_i) - 65}{77 - 65}, \quad (2.39)$$

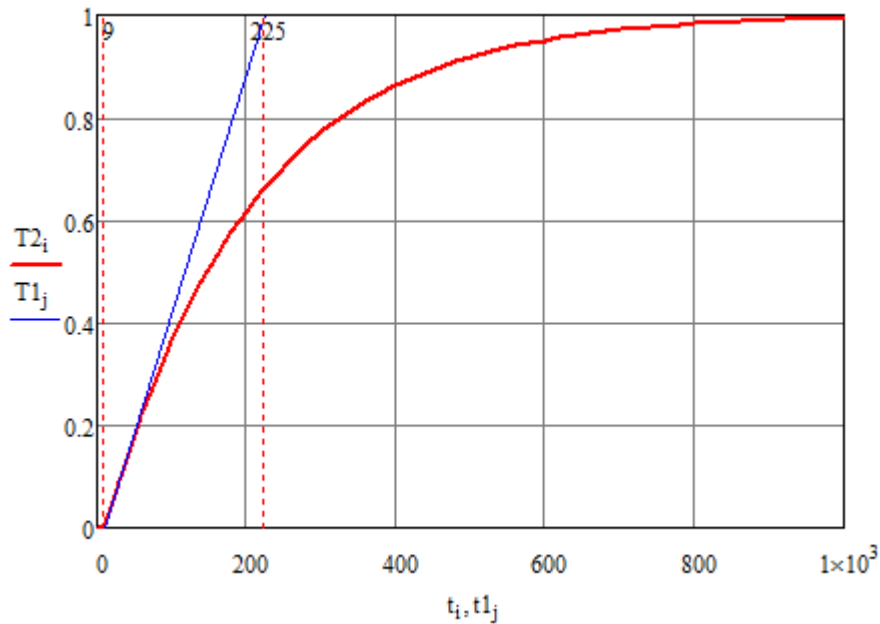


Рис. 2.6. Визначення постійної часу секції пастеризації молока за розгінною характеристикою графічним методом

Враховуючи отримані раніше значення коефіцієнту передачі k_{OY} та часу запізнення τ_{OY} , передатна функція секції пастеризації для каналу керування виглядає як

$$W(s) = \frac{k_{OY} \cdot e^{-\tau_{OY} \cdot s}}{T_{OY} \cdot s + 1} = \frac{374,8 \cdot e^{-9 \cdot s}}{216 \cdot s + 1}. \quad (2.40)$$

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

3.1. Обґрунтування вибору алгоритму керування

Використовуючи дані про об'єкт автоматизації – статичні і динамічні характеристики, відомості про збурення, технологічні вимоги до якості регулювання, – можна у кожному конкретному випадку на основі вироблених практикою критеріїв визначити алгоритм керування і вибрати тип регулятора. Вибір цей є попереднім, а кінцевий висновок про стійкість системи об'єкт – регулятор і точність регулювання роблять на основі подальших розрахунків.

При виборі типу регулятора рекомендується [14] орієнтуватися на величину відношення запізнення до постійної часу об'єкта $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$.

- Якщо $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 0,2$, перевагу віддають позиційному (релейному)

алгоритму керування, але можливе використання і неперервного алгоритму. Рішення приймається в залежності від технологічних вимог до процесу управління.

- Якщо $0,2 < \frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 1,0$, перевагу віддають неперервному або цифровому

алгоритму керування (П-, ПІ- або ПІД-закон управління)

Якщо $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} > 1,0$, вибирають спеціальний цифровий регулятор з

екстраполятором, який компенсує запізнювання в контурі управління.

У попередньому розділі визначена передатна функція секції пастеризації для каналу керування, з якої

$$\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} = \frac{9}{216} = 0,042.$$

Як бачимо, за наведеними вище умовами, відношення (τ_{0y}/T_{0y}) секції пастеризації менша 0,2. Тому для регулювання температури нагрівання молока принципово можливо використати регулятор позиційної або неперервної дії.

Якщо для регулювання температури нагріву (пастеризації) обрати регулятор неперервної дії із П-алгоритмом (пропорційним), то виникає необхідність забезпечення стабілізації тиску гріючої пари із похибкою не більше $\pm 0,01$ МПа. Для регулювання температури нагрівання у пластинчастих пастеризаціо-охолоджувальних установках найбільшого поширення отримали ПІ-регулятори як такі, що забезпечують більш високу точність керування температурним режимом [15]. При їх використанні відпадає необхідність додаткової стабілізації тиску гріючої пари. Розрахунки і результати досліджень показують, що при використанні ПІ-регулятора величина максимального динамічного відхилення температури нагріву не перевищує $\pm 2^\circ\text{C}$ [10].

Отже, враховуючи наведені міркування, для керування температурним режимом пастеризації молока обраний неперервний ПІ-алгоритм керування.

3.2. Реалізація алгоритму керування

Для реалізації системи керування було прийнято рішення використати технічні засоби фірми ОВЕН.

3.2.1. Вибір програмованого логічного контролера

Для технічної реалізації системи автоматичного керування температурою пастеризації молока використовується програмно-логічний контролер **ОВЕН ПЛК160** (рис. 3.1).

ОВЕН ПЛК160 – лінійка програмованих лінійних моноблокових контролерів із дискретними та аналоговими входами/виходами на борту для автоматизації систем середнього рівня та розподілених систем керування.



Рис. 3.1. Програмно-логічний контролер ОВЕН ПЛК160

Рекомендується для використання у системах керування кліматичним обладнанням, у системах HVAC, у сфері ЖКГ (ІТП, ЦТП), в АСК водоканалів (водопідготовка, насосні станції), для керування харчопереробними та пакувальними апаратами, а також у сфері виробництва будівельних матеріалів.

Відмінними особливостями лінійки контролерів ПЛК160 є:

- потужні обчислювальні ресурси та великий об'єм пам'яті;
- наявність дискретних та аналогових входів/виходів на борту контролера;
- наявність послідовних портів (RS-232, RS 485) на борту контролера;
- наявність порту Ethernet для увімкнення у локальні або глобальні мережі верхнього рівня;
- підтримання протоколів обміну Modbus (RTU, ASCII), ОВЕН, DCON;
- можливість роботи безпосередньо з портами контролера, що дозволяє підмикати зовнішні пристрої з нестандартними протоколами.

Крім того, контролер має вбудований годинник, що дозволяє створювати системи керування з урахуванням реального часу, а також вбудований акумулятор, який дозволяє організувати низку додаткових сервісних функцій

(можливість короткочасного перечікування зникнення живлення, переведення вихідних елементів у безпечний стан).

Технічні характеристики програмно-логічного контролера ОВЕН ПЛК160 наведені в додатках Г1, Г2.

Розробка програми реалізації алгоритму керування температурного режиму пастеризації молока

Програмна реалізація виконується за допомогою програмного середовища CoDeSys v.2.3, яке розроблене для програмування лінійки контролерів ОВЕН.

Першим кроком при створенні програми було необхідно обрати технічні засоби в блоці Hardware Config (рис. 3.2).

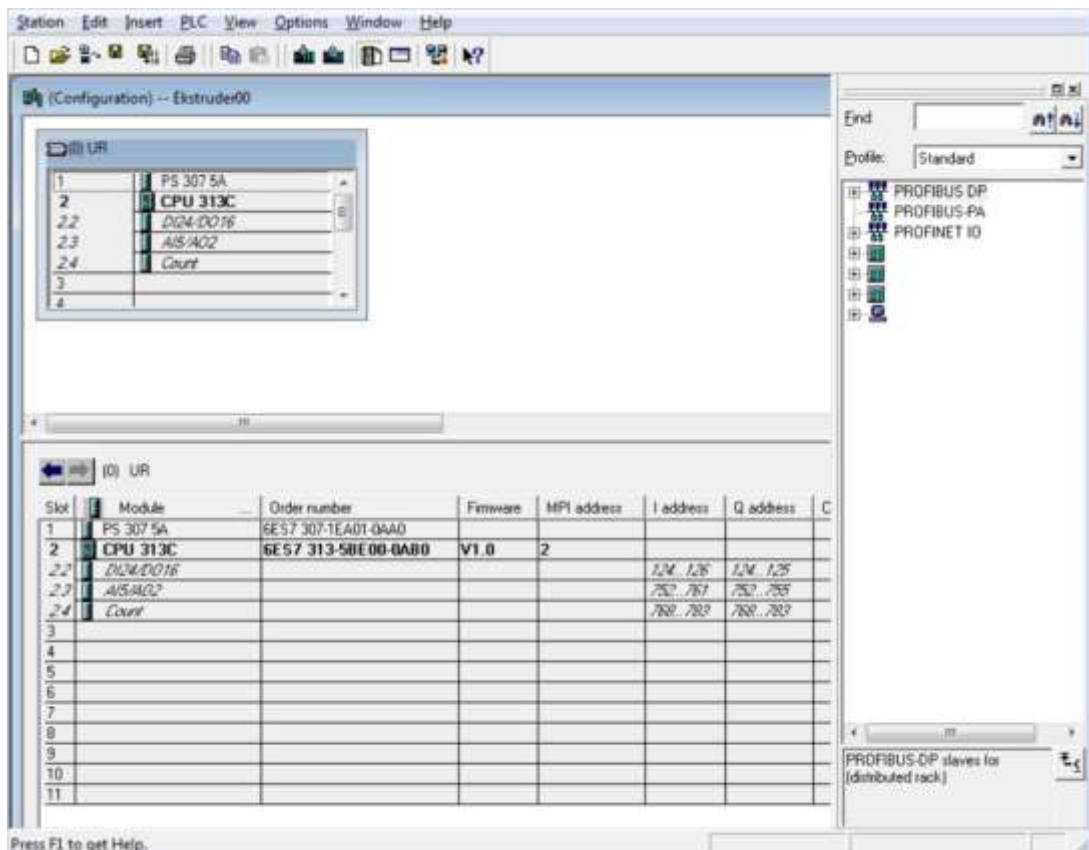


Рис. 3.2. Загальний вигляд вікна CoDeSys v.2.3 Hardware Config

Наступним кроком оголошуються змінні та їх адреси, які будуть використовуватись при розробці програми (рис. 3.3).

Основний текст блоку програми написано на мові LAD (рис. 3.4).

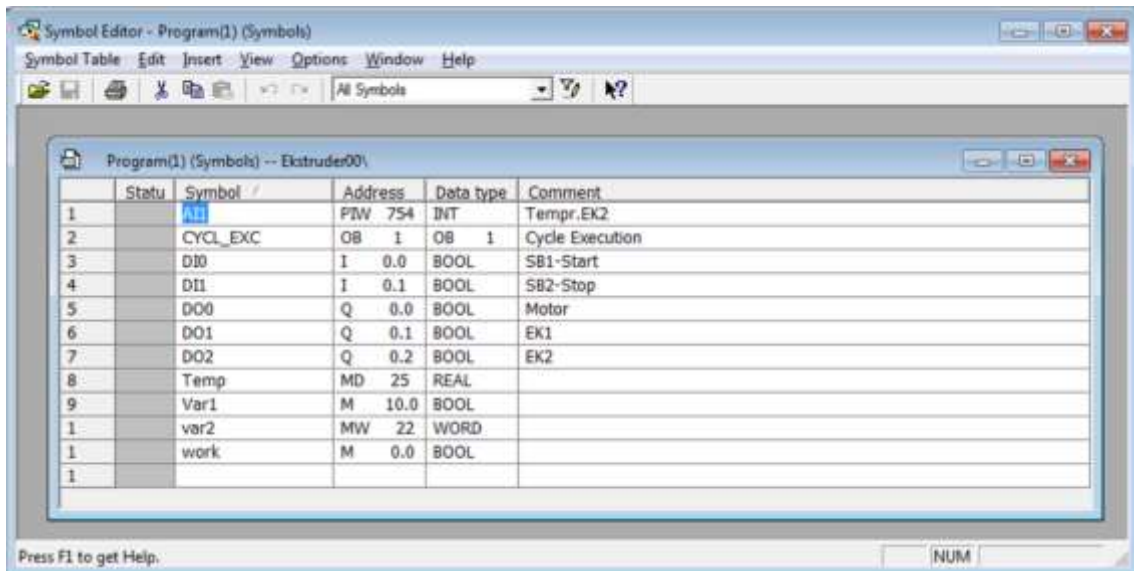


Рис. 3.3. Загальний вид вікна CoDeSys v.2.3 Symbol Editor

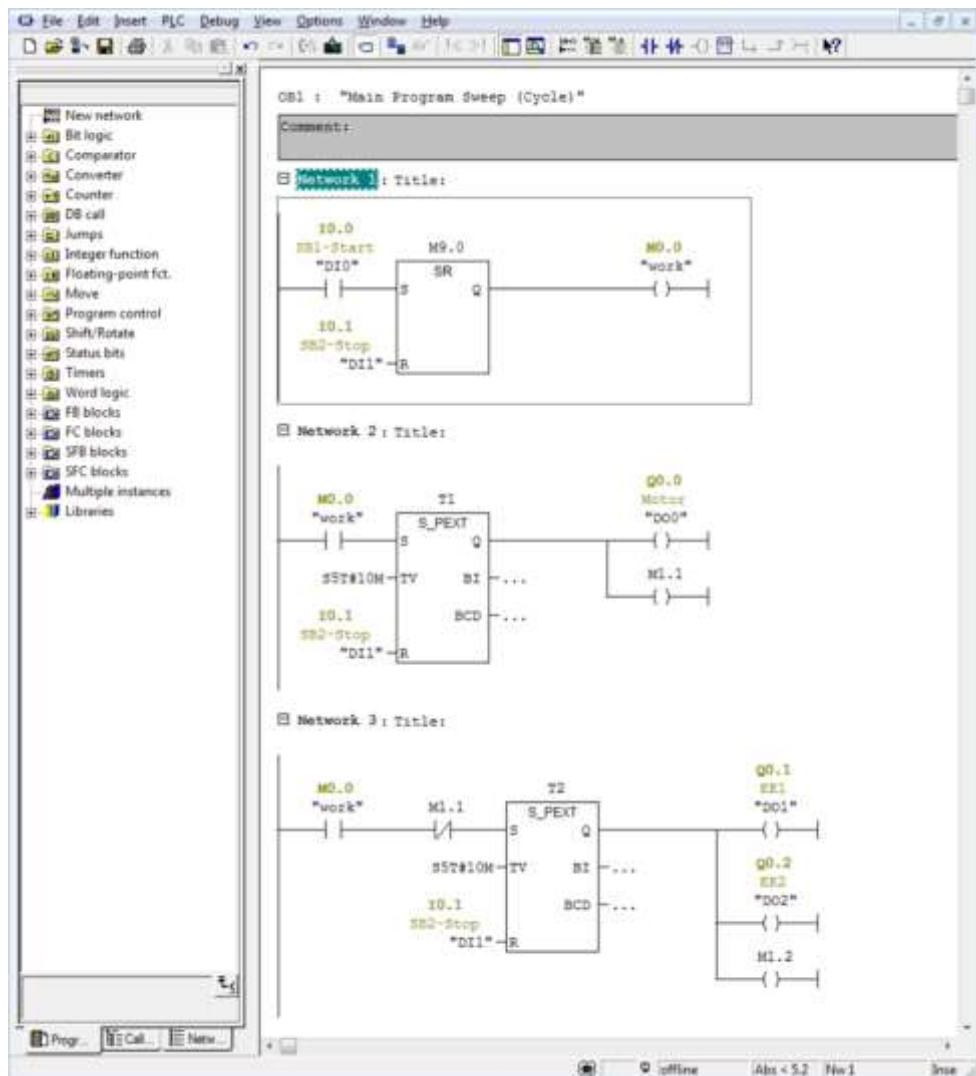


Рис. 3.4. Програма керування температурою пастеризації молока у середовищі CoDeSys v.2.3 (початок)

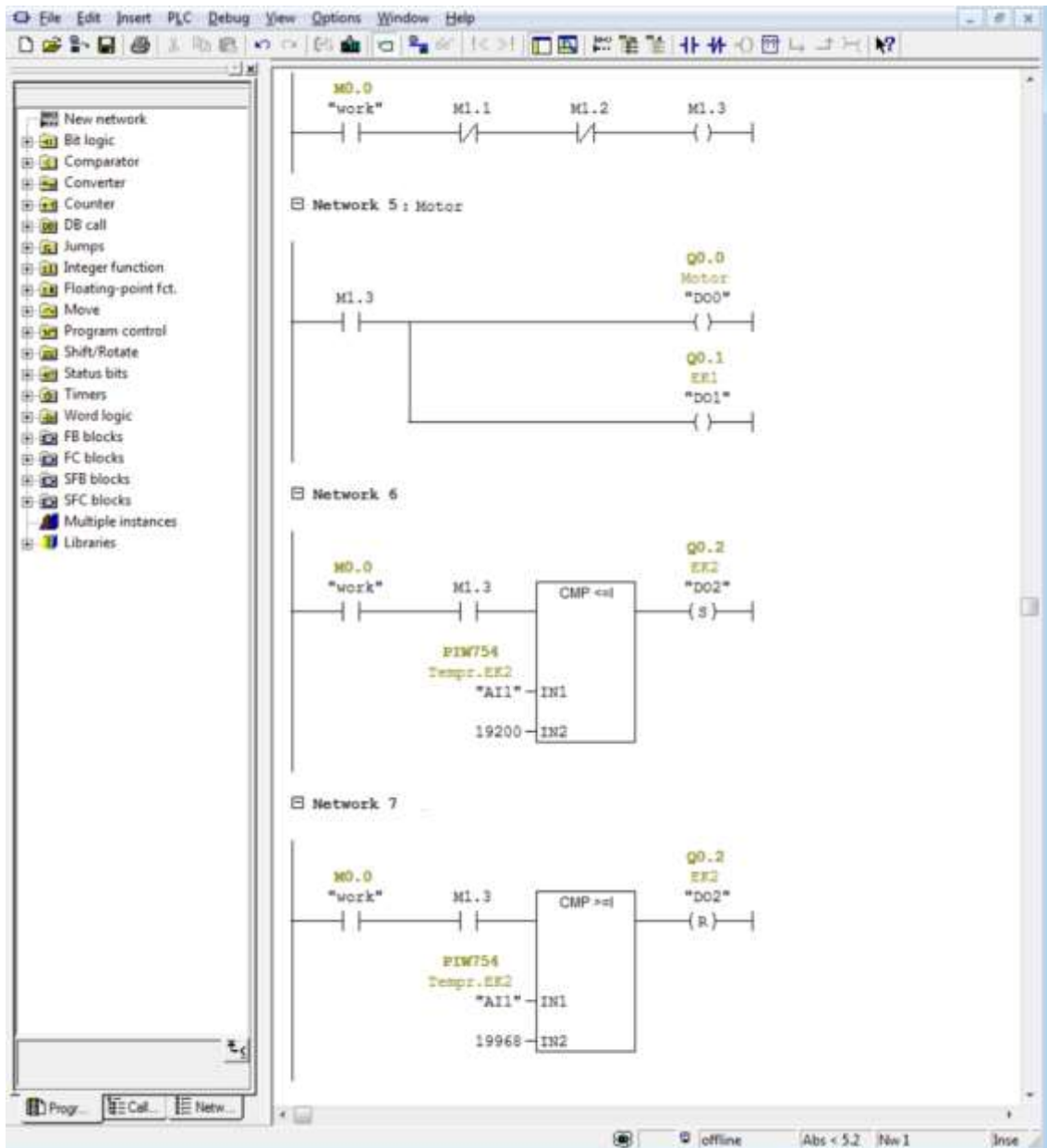


Рис. 3.5. Програма керування температурою пастеризації молока у середовищі CoDeSys v.2.3 (закінчення)

Для перевірки працездатності системи регулювання використовувалась симуляція логічного контролера ОВЕН ПЛК160 із завантаженою програмою (рис. 3.6).

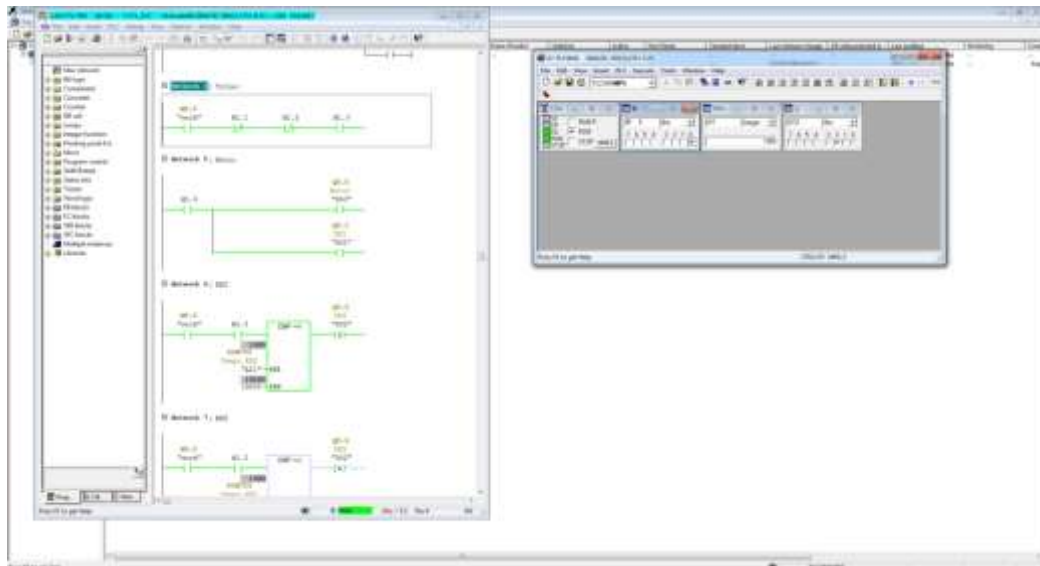


Рис. 3.6. Вікно CoDeSys v.2.3: симуляція логічного контролера ПЛК160 із завантаженою програмою

Симуляція виконання розробленої програми керування температурним режимом пастеризації молока підтвердила свою працездатність та може бути використана при програмуванні на виробництві.

3.2.2. Вибір датчиків температури та нормуючих перетворювачів

Умови вибору датчиків (первинних вимірювальних перетворювачів).

При виборі датчиків під час проектування систем автоматики основну увагу необхідно акцентувати на наступних параметрах:

1. Робочий діапазон та граничні значення вимірюваної величини.
2. Швидкодія (інерційність) датчика. Визначається динамічними властивостями вимірюваного середовища.
3. Спосіб встановлення датчика – занурення у вимірюване середовище або зовнішній монтаж – визначає його конструктивні особливості (виконання чутливого елемента, наявність фланців і т.п.).
4. Параметри вихідного сигналу датчика – аналоговий або цифровий. Визначальний показник для спряження датчика з пристроєм керування

(промисловим регулятором або програмованим логічним контролером напряму або через модуль аналогового вводу).

5. Допустима похибка вимірювань, алгоритм спрацювання, напруга живлення датчика.

6. Ступінь захисту від вологи, агресивних рідких або газоподібних середовищ, забруднень, механічних впливів і вібрацій.

7. Гарантований робочий ресурс (через який строк необхідне калібрування датчика або його повна заміна).

При вимірюванні температури робочий діапазон та граничні значення визначають принцип дії датчика – найчастіше використовуються або термометри опору або термопари.

Постійна часу об'єкту $T_{ov} = 216$ с. З огляду на сказане, постійна часу датчика повинна бути не більше $(216/10) = 21$ с.

Враховуючи вимоги за діапазоном вимірювання та інерційністю, а також особливості підключення датчиків температури до програмно-логічних контролерів ПЛК160 ОВЕН, для вимірювання температури повітря в різних технологічних зонах теплиці обраний термоперетворювач опору загальнопромислового виконання **ОВЕН ДТС125Л**, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.1.

Термоперетворювачі ОВЕН ДТС125Л (ДСТУ 2858-94) (рис. 3.7) призначені для роботи із контролерами ПЛК ОВЕН різних серій, з пристроями ОВЕН ТРМ133, ТРМ148, ТРМ151, МВА8, а також сумісні із контролерами інших вітчизняних та закордонних виробників.



Рис. 3.2. Термоперетворювач опору ОВЕН ДТС125Л

Термоперетворювачі типу ОВЕН ДТС125Л призначені для неперервного вимірювання температури повітря в автоматизованих системах вентиляції, опалення та кондиціонування повітря.

Вимірюваний параметр – температура – лінійно перетворюється термочутливим елементом у пропорційну зміну омичного опору. За умови використання нормуючого перетворювача, омичний опір, в свою чергу, перетворюється вимірювальним перетворювачем у струмовий вихідний сигнал 4...20 мА.

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики термоперетворювача опору ОВЕН ДТС125Л

Характеристика	Значення	
	ДТС125	ДТС125Л
Діапазон вимірюваних температур, °С	-50...+100	-40...+85
Показник теплової інерції, с	10...30	8
Клас допуску за ДСТУ 6651	В	А,В,С
Номінальна статична характеристика (НСХ)	50М, 100М 100П, Pt100	
Клас точності	0,5%, 1,0% (50М, 100М) 0,25%, 0,5% (100П, Pt100)	
Кількість чутливих елементів, шт.	1	
Схема внутрішніх з'єднань провідників	двохпровідна	двохпровідна, трьохпровідна, чотирьох- провідна
Матеріал захисної арматури	сталь 12х1810Т	
Ступінь захисту за ГОСТ14254	IP54, IP65, IP67	
Середнє напрацювання на відмову при номінальній температурі експлуатації, годин, не менше	32000	
Середній строк служби, років, не менше	8	

ОВЕН НТП – серія універсальних перетворювачів сигналів термометрів опору і термопар в уніфіковані сигнали струму і напруги 4...20 мА, 0...20 мА, 0...5 мА, 0...10 В, 0...5 В, 2...10 В (технічні характеристики наведені в додатку ГЗ).

Універсальні нормуючі перетворювачі сигналів ОВЕН НТП випускаються в конструктивних виконаннях із кріпленням на DIN-рейку і у

голівки датчиків європейського типу у загальнопромисловому та іскрозахищеному виконанні. Використання нормованих сигналів знижує вплив електромагнітних перешкод у колі вимірювання температури, спрощує підключення датчиків до контролерів, дозволяє знизити витрати за рахунок використання звичайних мідних проводів замість спеціалізованих кабелів із термокомпенсацією, а також у декілька разів збільшити довжину лінії зв'язку від датчика до вимірювального приладу.

Для перетворення вихідного сигналу термоопорів ДТС-125Л обраний універсальний нормуючий перетворювач **ОВЕН НТП-1К** (рис. 3.8).

Функціональні можливості ОВЕН НТП-1К:

- сумісні з термометрами опору та термопарами;
- налагодження типу датчика і діапазону перетворення температури через USB-порт;
- вихідний нормований сигнал – 4...20 мА, 0...20 мА, 0...5 мА, 0...10 В, 0...5 В, 2...10 В (універсальний);
- вихідний сигнал є активним, не потребує зовнішнього джерела живлення;
- перетворювач стійкий до електромагнітного впливу за ДСТУ МЕК 61326-2014 (клас А, критерій А);
- інтервал між повітками приладів складає 2 роки.



Рис. 3.8. Універсальний нормуючий перетворювач ОВЕН НТП-1К

За динамічними властивостями датчик є інерційною ланкою, передатна функція якого має вигляд $W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1}$.

Коефіцієнт передачі k_{CE} (чутливість), визначається за формулою

$$k_{CE} = \frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{20 - 4}{85 - (-40)} = 0,128 \text{ mA}/^{\circ}\text{C} = 0,00013 \text{ A}/^{\circ}\text{C} \quad (3.1)$$

де ΔT – різниця значень вимірюваних датчиком температур, $^{\circ}\text{C}$ (таблиця 3.1);

ΔI – різниця струмів, що відповідає значенням температур в робочому діапазоні, мА;

Враховуючи, що показник теплової інерції сприймаючого елемента складає 8 с (таблиця 3.1), передатна функція датчика ОВЕН ДТС125Л із універсальним нормуючим перетворювачем ОВЕН НТП-1К визначається виразом

$$W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1} = \frac{0,00013}{8 \cdot s + 1}$$

3.2.3. Вибір модуля аналогового вводу із швидкими входами та перетворювача інтерфейсів Ethernet-RS-232/RS-485

Модуль аналогового вводу із швидкими входами разом із перетворювачем інтерфейсів використовуються для підключення програмованого логічного контролера ПЛК160 до комп'ютера, тобто для створення SCADA-системи.

Модулі серії MB110-хАС (рис. 3.9) призначені для вимірювання уніфікованих аналогових сигналів вбудованими аналоговими входами, перетворення виміряних величин у значення фізичної величини та наступної передачі цього значення по мережі RS-485.

Комунікаційні можливості модулів серії MB110-хАС

Інтерфейс	RS-485
Протоколи, що підтримуються	Modbus RTU Modbus ASCII ОВЕН DCON
Швидкість обміну по RS-485	2400...115200 біт/с



Рис. 3.9. Модуль аналогового вводу із швидкими входами серії MB110-хАС

Для даного випадку вибраний модуль MB110-24.8АС, технічні характеристики наведені в додатку Г4.

Особливості

- Індивідуальна конфігурація для кожного входу.
- Діагностика стану підключених аналогових датчиків або пристроїв.
- Автоматичне визначення протоколу.
- Універсальне живлення (24 V DC або 220 V 50 Hz).
- Оновлення вбудованого програмного забезпечення по RS-485.
- Підтримка хмарного сервісу OwenCloud (за умови використання мережевого шлюзу ПМ210).

Конфігурування модулів MB110-24.8АС здійснюється на ПК через адаптер інтерфейсу RS-485/RS-232 або RS-485/USB (наприклад, ОВЕН ЕКОН

134, ОВЕН АС3-М або ОВЕН АС4) за допомогою програмного забезпечення "Конфігуратор М110".

Перетворювач ЕКОН134 (рис. 3.10) призначений для підключення пристроїв із послідовним інтерфейсом (RS-232, RS-485) до мережі Ethernet. Він може використовуватись у системах диспетчеризації, автоматизованих системах обліку енерго- та теплоенергоресурсів як комерційних, так і технологічних.



Рис. 3.10. Перетворювачем інтерфейсів ОВЕН ЕКОН134

Функціональні можливості перетворювача ОВЕН ЕКОН134:

- робота в одному з двох режимів передачі даних Ethernet – RS-232/RS-485 "Запит-Відповідь", "Без запиту";
- одночасне звернення декількох пристроїв із мережі Ethernet до одного порту (RS-232, RS-485);
- зв'язок двох пристроїв із послідовними інтерфейсами (RS-232, RS-485) по мережі Ethernet;
- індикація обміну через послідовні порти.

У режимі "Запит-Відповідь" здійснюється приймання запиту по мережі Ethernet, передача його на вказаний порт пристрою, на який здійснюється запит, отримання і передача відповіді у мережу Ethernet пристрою, що відправив запит.

У режимі "Без запиту" забезпечує приймання даних від пристрою на послідовний порт, передачу цих даних в мережу Ethernet вказаному пристрою, приймання даних по мережі Ethernet і передачу їх на вказаний послідовний порт.

Характерні особливості приладу:

- 4 послідовних порти для віддаленої роботи по мережі Ethernet (Internet) із одним або декількома пристроями, які оснащені інтерфейсом RS-232/RS-485;
- 2 універсальних послідовних інтерфейсу RS-232/RS-485, режим роботи визначається за допомогою вбудованих DIP – перемикачів;
- прилад має можливість конфігурування параметрів роботи і заміни внутрішнього програмного забезпечення (ПО) через WEB – інтерфейс або через програму "Конфігуратор Віртуальних Портів" (рис. 3.6);
- висока швидкість передачі даних по послідовним портам, до 321600 бот за допомогою мережевого протоколу UDP;
- один повномодемний послідовний порт RS-232;
- широкий діапазон температур: від -25 до +70°C.

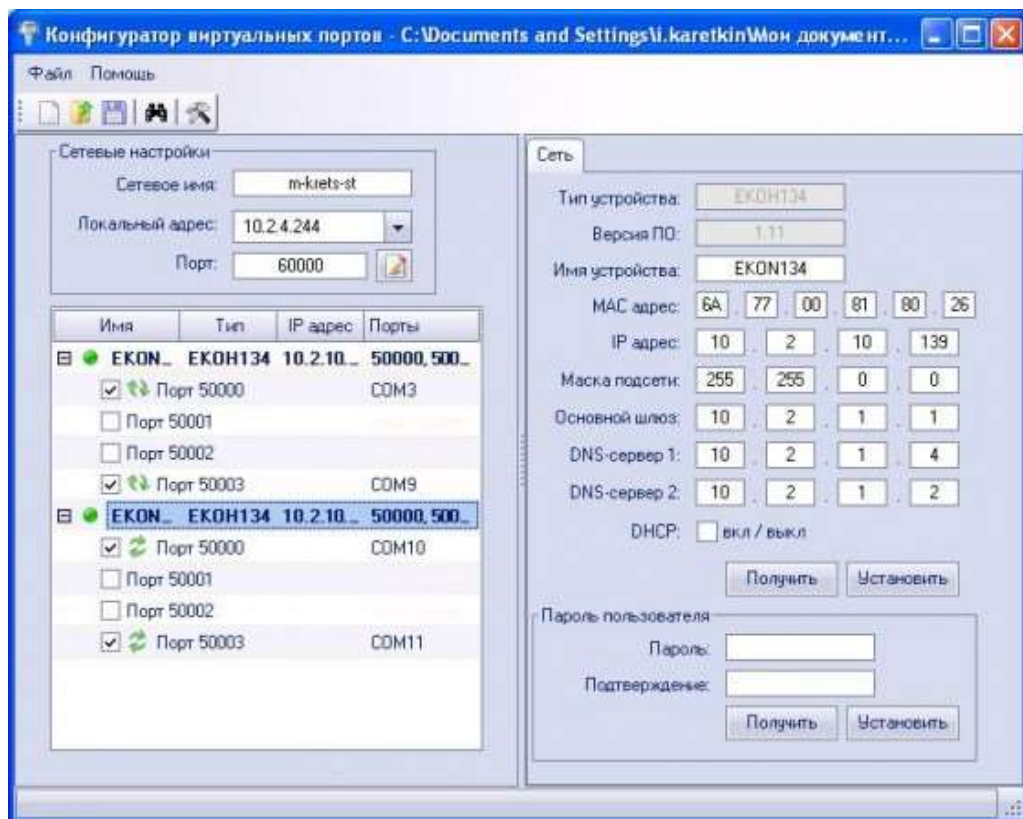


Рис. 3.6. Вікно програми "Конфігуратор Віртуальних Портів" для конфігурування приладу ОВЕН ЕКОН134

3.2.4. Вибір регулюючого органу, виконавчого механізму та визначення їх передатної функції

Вибір регулюючого органу та визначення його передаточної функції.

Вихідними даними для вибору регулюючого органу (РО) є:

$\gamma = 1 \text{ г/см}^3$ – об'ємна маса води;

$\nu = 0,2$ – в'язкість води;

$Q_{\max} = 100 \text{ м}^3/\text{год.}$, $Q_{\min} = 20 \text{ м}^3/\text{год.}$ – максимальна та мінімальна об'ємна витрати гарячої води, призначеної для пастеризації;

$P_1 = 15 \text{ кг/см}^2$ – абсолютний тиск в системі постачання гарячої води до РО;

$\Delta P_c = 10 \text{ кг/см}^2$ – перепад тиску в системі;

$\Delta P_{L \max} = 4 \text{ кг/см}^2$ – максимальний перепад тиску в лінії.

Під час вибору регулюючих органів є певна послідовність розрахунків:

1. Обчислюють максимальну пропускну здатність регулюючого органу та його умовний діаметр.
2. Визначають робочий відрізок витратної характеристики.
3. Знаходять теоретичну витратну характеристику (для клапанів).
4. Визначають для рідини робочу ділянку кривої зміни перепаду тиску (для газу та пари знаходять максимальний та мінімальний перепади тиску).

Обчислюємо максимальну пропускну здатність РО:

$$K_{\gamma \max} = Q_{\max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\min}}} = Q_{\max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_c - \Delta P_{L \max}}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{10 - 4}} = 41 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3.2)$$

Регулювальний орган вибирають за умови, що

$$K_{\gamma} \succ 1,2 \cdot K_{\gamma \max}. \quad (3.3)$$

Тоді $K_{\gamma} \geq 1,2 \cdot K_{\gamma \max} = 1,2 \cdot 41 = 49,2 \text{ м}^3/\text{год.}$

За довідниковими даними [14] вибираємо трьохходовий регулювальний клапан з умовним діаметром $D_y = 50 \text{ мм}$ і пропускну здатністю $K_{\gamma \text{ РО}} = 50 \text{ м}^3/\text{год.}$

Для контуру керування температурним режимом пастеризації молока згідно функціонально-технологічною схемою використовується трьохходовий змішувальний клапан.

У трубопроводах трьохходовий клапан встановлюється таким чином, що він не здійснює зміну потоку води – її тиск завжди залишається постійним, змінюється лише співвідношення проходження гарячої та відпрацьованої води. Трьохходовий клапан має досить просту конструкцію: він являє собою корпус, що має два вхідних і один вихідний отвір.

Таблиця 3.3.

Формули для розрахунку пропускної здатності [14]

Вид гідрравлічного опору	Перепад тиску	Витрата		
		рідини Q , м ³ /год.	газу G , кг/год.	пари G , кг/год.
ВП	$\Delta P < P_1/2$	$K_\gamma = Q \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P}}$	$K_\gamma = \frac{G}{514} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{\Delta P \cdot P_2 \cdot \gamma_n}}$	$K_\gamma = \frac{G}{31,6} \cdot \sqrt{\frac{V_2}{\Delta P}}$
	$\Delta P \geq P_1/2$		$K_\gamma = \frac{G}{257 \cdot P_1} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{\gamma_n}}$	$K_\gamma = \frac{G}{22,4} \cdot \sqrt{\frac{V}{\Delta P}}$
Лінія	$\Delta P_{\text{л}} < P_2/2$	$K_{\gamma\text{л}} = Q \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{л}}}}$	$K_{\gamma\text{л}} = \frac{G}{514} \cdot \sqrt{\frac{T_2}{\Delta P_{\text{л}} \cdot P_3 \cdot \gamma_n}}$	$K_{\gamma\text{л}} = \frac{G}{31,6} \cdot \sqrt{\frac{V_3}{\Delta P_{\text{л}}}}$
	$\Delta P_{\text{л}} \geq P_2/2$		$K_\gamma = \frac{G}{257 \cdot P_2} \cdot \sqrt{\frac{T_2}{\gamma_n}}$	$K_{\gamma\text{л}} = \frac{G}{2,4} \cdot \sqrt{\frac{V_1}{P_2}}$

В якості регулюючого елемента в клапані, зазвичай, застосовується або шток спеціальної конструкції, який може рухатися у вертикальному напрямку, або куля, яка може повертатися навколо осі. При цьому регулюючий елемент не здійснює повне перекриття клапана, а перерозподіляє потоки рідин, тим самим виробляючи їх змішування.

Поправки на в'язкість не вводимо, оскільки індекс в'язкості:

$$z = 420 \cdot \frac{Q_{\max}}{\nu \cdot \sqrt{K_{\gamma\max}}} = 420 \cdot \frac{100}{0,2 \cdot \sqrt{41}} = 32813 > 1000. \quad (3.4)$$

Знаходимо робочу ділянку витратної характеристики вибраного регулюючого органу. Для цього скористуємось виразом з таблиці 3.3:

$$K_{\gamma_{л}} = Q_{\max} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{л \max}}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{4}} = 50 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.5)$$

Визначаємо відношення перепаду тиску на РО при максимальній витраті до перепаду тиску в лінії:

$$n = \frac{K_{\gamma_{ро}}}{K_{\gamma_{л}}} = \frac{50}{50} = 1. \quad (3.6)$$

Уточнюємо перепад тиску на виконавчому пристрої:

$$\Delta P_{ВП} = \frac{\Delta P_C}{1+n^2} = \frac{10}{1+1^2} = 5 \text{ кгс/см}^2. \quad (3.7)$$

Визначаємо витрату рідини через виконавчий пристрій в разі перепаду тиску на ньому:

$$Q_{ВП} = K_{\gamma_{ро}} \sqrt{\frac{\Delta P_{ВП}}{\gamma}} = 50 \cdot \sqrt{\frac{5}{1}} = 112 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.8)$$

Знаходимо відносну максимальну та мінімальну витрату рідини:

$$\mu_{\max} = \frac{Q_{\max}}{Q_{ВП}} = \frac{100}{112} = 0,89; \quad \mu_{\min} = \frac{Q_{\min}}{Q_{ВП}} = \frac{20}{158} = 0,18. \quad (3.9)$$

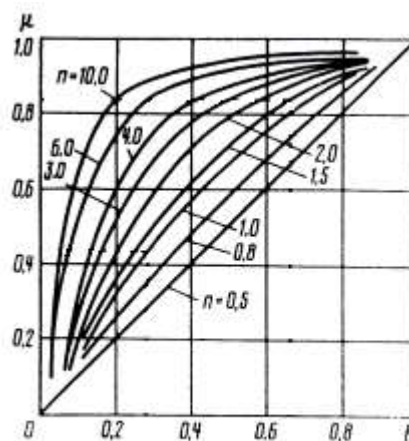


Рис. 3.7. Робочі витратні характеристики для регулювальних клапанів

За графіком (рис. 3.7) вибираємо витратну характеристику ВМ, згідно якої відносний хід затвора регулювального органа (плунжера):

$$l_{\min}=0,12; l_{\max}=0,8.$$

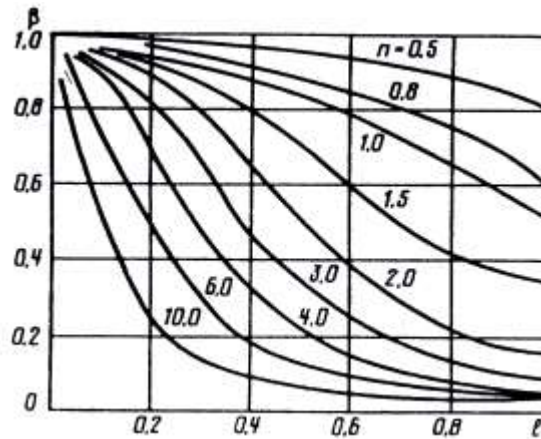


Рис. 3.8. Зміни перепадів тисків на ВМ для регулювальних клапанів

При цьому відношення перепаду тиску на РО до перепаду тиску в системі змінюється від $\beta_{\max}=0,95$ до $\beta_{\min}=0,68$ (рис. 3.8), що відповідає наступним перепадам:

$$\beta_{\max} = \frac{\Delta P_{\max}}{\Delta P_c}; \beta_{\min} = \frac{\Delta P_{\min}}{\Delta P_c}. \quad (3.10)$$

Потім розраховуємо значення:

$$\Delta P_{\max} = \beta_{\max} \cdot \Delta P_c = 0,95 \cdot 10 = 9,5 \text{ кг/см}^2; \quad (3.11)$$

$$\Delta P_{\min} = \beta_{\min} \cdot \Delta P_c = 0,68 \cdot 10 = 6,8 \text{ кг/см}^2. \quad (3.12)$$

Таким чином, після розрахунку необхідного регулюючого органу, отримуємо дані для вибору виконавчого механізму.

Вибір виконавчого механізму САК температурним режимом пастеризації молока. Виконавчим механізмом (ВМ) називається пристрій автоматики, який діє безпосередньо або через погоджуючі елементи на регулюючий орган об'єкта управління. ВМ, як частина системи автоматичного управління, призначений для відпрацювання управляючого сигналу, який формується управляючими елементами автоматики таким чином, щоб відхилення регулюючої величини від заданого значення становило якнайменше значення. Виконавчі механізми, які з'єднані безпосередньо з регулюючими органами, переміщують їх відповідно до сигналу, що надходить від пристрою, який формує закон регулювання.

До ВМ пред'являють ряд вимог:

- здатність розвивати необхідне переставне зусилля або момент, достатні для перестановки регулюючого органу об'єкта,
- забезпечити перестановку регулюючого органу на потрібну величину,
- забезпечити потрібну швидкість і прискорення переміщення регулюючого органу,
- мати високі техніко-економічні показники (надійність, ціна та ін.).

ВМ обираються залежно від величини обертового моменту необхідного для переміщення регулюючого органу [14]:

$$M_z = k \cdot (M_p + M_m), \quad (3.13)$$

де M_p – реактивний момент:

$$M_p = 0.07 \cdot \Delta P_{\max} \cdot D_y^3 = 0.07 \cdot 9.5 \cdot 10^4 \cdot (50 \cdot 10^{-3})^3 \approx 0.83 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_m = 0.785 \cdot \Delta P_{\max} \cdot D_y^2 \cdot r_m \cdot \lambda = 0.785 \cdot 9.5 \cdot 10^4 \cdot (50 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 0.15 \approx 0.28 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_z = 2 \cdot (0.83 + 0.28) = 2.22 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент обертання валу обраного виконавчого механізму повинен бути більшим за момент, необхідний для обертання заслінки: $M_H > M_z$.

В якості електроприводу, яким комплектується трьохходовий клапан, виступає сервопривод, побудований на електродвигуні невеликої потужності і системі передач.

Для приводу клапана обраний сервопривод BELIMO LM230ASR-TP (рис. 3.9), що за технічними характеристиками задовольняє умову (3.13).



Рис. 3.9. Виконавчий механізм BELIMO LM230ASR-TP

Таблиця 3.4.

Технічні характеристики сервоприводу BELIMO LM230ASR-TP

Тип	Максимальний момент навантаження, Н·м	Час повного ходу, сек/90°	Температура навколишнього середовища, °С	Ступінь захисту	Маса, кг
LM230	10	58	0...+60	IP65	3,5

Напруга живлення 220 В, 50 Гц.

Механічне приєднання – фланцеве згідно з ISO 5211.

Передатна функція виконавчого механізму (сервоприводу) є інтегруючою ланкою

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{s}, \quad (3.14)$$

де k_{BM} - коефіцієнт передачі виконавчого механізму, град./с.;

$$k_{BM} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \quad (3.15)$$

Δt - проміжок часу, с;

$\Delta\varphi_{OB}$ - кут повороту вихідного валу за проміжок часу Δt , град.

$$k_{BM} = \frac{90}{58} = 1,56 \frac{\text{град}}{\text{сек}}.$$

$$W_{BM}(s) = \frac{1,56}{s}.$$

Оскільки конструкційно у сервоприводі реалізований зворотний зв'язок за положенням (реостатний датчик положення), то остаточна передатна функція виконавчого механізму визначається як

$$W_{BM}(s) = \frac{W_{CEEP}(s)}{1 + W_{CEEP}(s)} = \frac{\frac{1,56}{s}}{1 + \frac{1,56}{s}} = \frac{1,56}{s + 1,56} = \frac{1}{\frac{1}{1,56} \cdot s + 1} = \frac{1}{0,64 \cdot s + 1}.$$

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Цифрові системи керування – це системи, в яких безперервні сигнали перетворюються в цифрові коди і керування здійснюється з використанням алгоритмів обробки цифрової інформації.

Цифрові системи керування передбачають перетворення безперервних сигналів у цифрові коди та зворотне перетворення цифрових кодів у безперервні сигнали. Такі перетворення здійснюють аналогово-цифрові (АЦП) і цифро-аналогові (ЦАП) перетворювачі. У таких перетворювачах здійснюється квантування як за часом так і за рівнем.

4.1. Визначення часу квантування сигналів ЦСК

Дискретизація (квантування) – заміна неперервного сигналу тими чи іншими дискретними значеннями.

Види дискретизації:

- за часом
- за рівнем
- одночасна дискретизація за рівнем і за часом

Задача вибору раціонального часу квантування T_k є однією з основних проблем реалізації ЦСК. При зменшенні часу керування точність керування цифровою системою збільшується, але при цьому зростає завантаження мікроЕОМ масивами інформації. При збільшенні часу квантування втрачається важлива інформація про сигнал, що може призвести до неможливості відтворення вихідного сигналу за дискретними вибірками. Тому виникає проблема пошуку раціонального часу квантування T_k , який задовольнив би такі суперечливі вимоги.

Згідно з теоремою Котельникова, для можливості безпомилкового відтворення сигналу, як показує аналіз амплітудних спектрів імпульсної системи, найменша частота квантування повинна дорівнювати $2\omega_c$, де ω_c – найвища частота вихідного сигналу, яка має місце в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи.

Теорема стверджує: якщо сигнал не містить в собі частот вище, ніж ω_c рад/с, він повністю описується своїми значеннями, виміряними у дискретні моменти часу за інтервалом $T_k = \pi / \omega_c$.

У подальших розрахунках нехтуємо передатною функцією виконавчого механізму (сервоприводу) внаслідок дуже малої постійної часу (0,64 с).

Визначення передатної функції неперервної частини розімкнутої системи

$$W_{PO3}^{HQ}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1} \cdot \frac{k_{OY}}{T_{OY} \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau \cdot s} = \frac{k_{CE} \cdot k_{OY} \cdot e^{-\tau \cdot s}}{T_{CE} \cdot T_{OY} \cdot s^2 + (T_{CE} + T_{OY}) \cdot s + 1} \quad (4.1)$$

$$W_{PO3}^{HQ}(s) = \frac{0,181 \cdot e^{-9 \cdot s}}{1728 \cdot s^2 + 224 \cdot s + 1} \cdot$$

Передатна функція замкненої неперервної частини

$$W_{3AM}^{HQ}(s) = \frac{W_{PO3}^{HQ}(s)}{1 + W_{PO3}^{HQ}(s)} \quad (4.2)$$

$$W_{PO3}^{HQ}(s) = \frac{0,181 \cdot e^{-9 \cdot s}}{(1728 \cdot s^2 + 224 \cdot s + 1) + 0,181 \cdot e^{-9 \cdot s}} \cdot$$

У результаті розв'язання рівняння

$$A(\omega) = \frac{k_{CE} \cdot k_{OY}}{\sqrt{(-T_{CE} \cdot T_{OY} \cdot \omega^2 + 1 + k_{CE} k_{OY})^2 + (T_{CE} \cdot T_{OY})^2 \cdot \omega^2}} = 0,01. \quad (4.3)$$

Скориставшись математичним пакетом Mathcad, отримаємо значення частоти (рис. 4.1) та періоду квантування.

$$\omega_c = 0,133.$$

Час квантування

$$T_k = \frac{\pi}{\omega_c} = 23,6 \text{ с}. \quad (4.5)$$

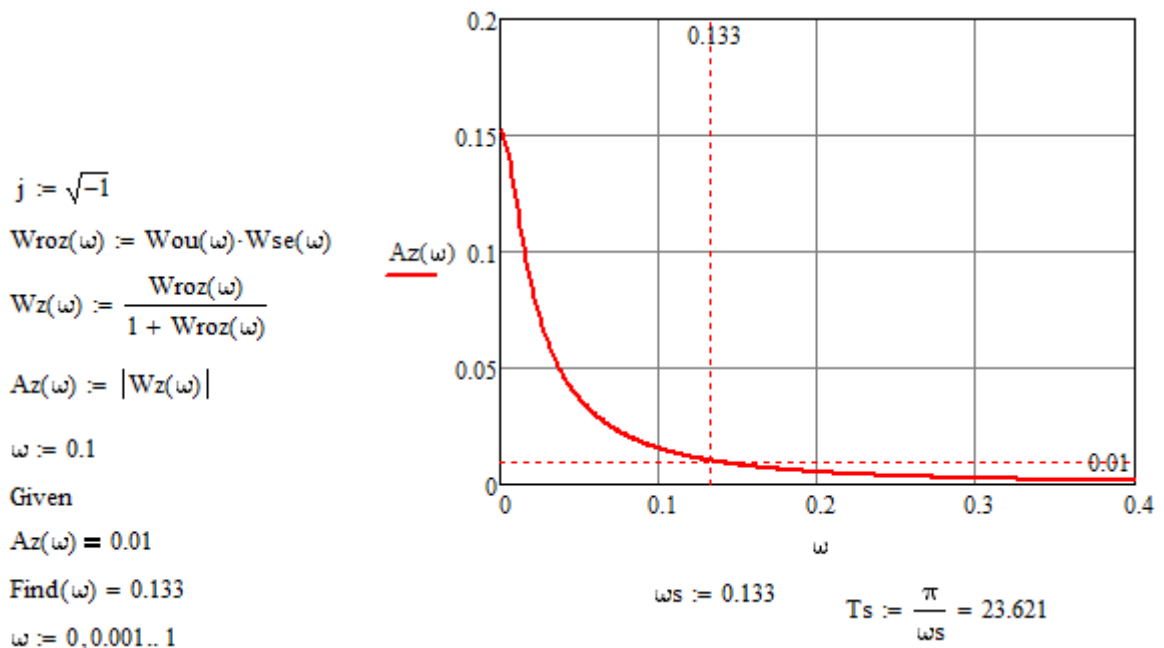


Рис. 4.1. Визначення періоду квантування ЦСК у пакеті Mathcad

4.2. Визначення показників якості роботи цифрової системи керування

Аналогічно з неперервними системами, в цифрових системах можна реалізувати ПІ-алгоритм керування (рис 4.2).

Синтез ПІ-регулятора полягає у знаходженні параметрів K_p, K_i .

Параметр інтегральної складової регулятора, який залежить від добротності за швидкістю K_v неперервної частини, визначається за виразом

$$K_i = \frac{K_v}{\lim_{z \rightarrow 1} W_{н.ч.}(z)} \quad (4.6)$$

Добротність за швидкістю визначається залежно від постійної часу об'єкта (табл. 4.1).

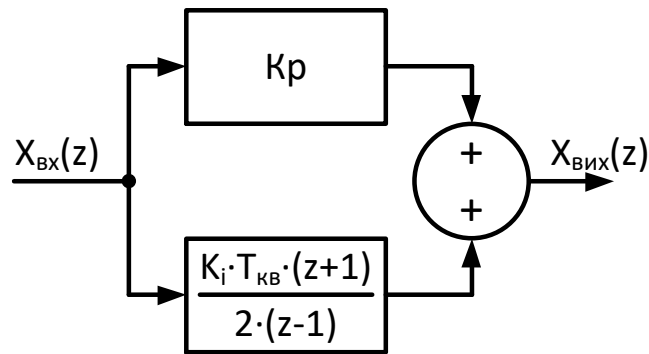


Рис. 4.2. Структурно-алгоритмічна схема цифрового ПІ-регулятора:
 K_p , K_i – параметри відповідно пропорційної та інтегральної складових ПІ-регулятора, $T_{кв}$ – час квантування

Таблиця 4.1.

Визначення добротності за швидкістю

T_o, c	K_v
~1	3...10
~10	0,3...1
~100	0,01...0,04
~1000	0,004...0,012

Згідно з таблицею $K_v = 0,025$, оскільки $T_{oy} = 216$ с.

Для визначення передатної функції $W_{н.ч.}(z)$ застосовуємо пакет імітаційного моделювання MATLAB (лістинг 4.1), використовуючи операції завдання передатної функції неперервної системи $w = tf([K_o], [T_b \cdot T_o \quad T_b + T_o \quad 1])$ та Z-перетворення неперервної передаточної функції на дискретну $wz = c2d(w, T_k)$, де w – змінна, що отримала вираз неперервної передатної функції, T_k – період квантування.

```
>> Wz=c2d(W,23.6)

Transfer function:
0.0002933 z^2 + 0.03046 z + 0.008044
-----
z^3 - 0.8239 z^2 + 0.04038 z

Sampling time: 23.6
```

Лістинг 4.1. Z-перетворення неперервної частини розімкненої САК у MATLAB

При синтезі ІІІ-регулятора пам'ятаємо, що ІІІ-регулятор компенсує лише один полюс Z-перетворення неперервної частини.

Тоді

$$K_i := \frac{0.025}{\left(\frac{0.0002933 \cdot 1^2 + 0.03046 \cdot 1 + 0.008044}{1^3 - 0.8239 \cdot 1^2 + 0.04038 \cdot 1} \right)} = 0.179$$

Після знаходження K_i параметр K_p визначаємо таким чином, щоб компенсувати полюс Z-перетворення неперервної частини системи.

Передаточна функція ІІІ-регулятора має вигляд:

$$\begin{aligned} W_{\text{ІІІ}}(z) &= \frac{K_i \times T z + 1}{2} \frac{1}{z - 1} = \frac{2 \times K_p \times z - 2 \times K_p + K_i \times T \times z + K_i \times T}{2z - 2} = \\ &= \frac{(2 \times K_p + K_i \times T)z + (K_i \times T - 2 \times K_p)}{2(z - 1)} = \\ &= \frac{(2 \times K_p + K_i \times T) \left[z + \frac{K_i \times T - 2 \times K_p}{2 \times K_p + K_i \times T} \right]}{2(z - 1)} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Для компенсації полюсу необхідно знайти такий K_p , який би задовольняв рівняння:

$$K_p := 1$$

Given

$$\frac{K_i \cdot T_s - 2 \cdot K_p}{K_i \cdot T_s + 2 \cdot K_p} = -0.7716$$

$$\text{Find}(K_p) = 16.357$$

Лістинг 4.3. Знаходження параметра K_p цифрового ІІІ-регулятора у пакеті Mathcad

Для дослідження показників якості роботи цифрової системи використана модель у пакеті імітаційного моделювання MATLAB/Simulink (рис. 4.3) та отримуємо перехідний процес цифрової системи з ІІІ-регулятором (рис. 4.4).

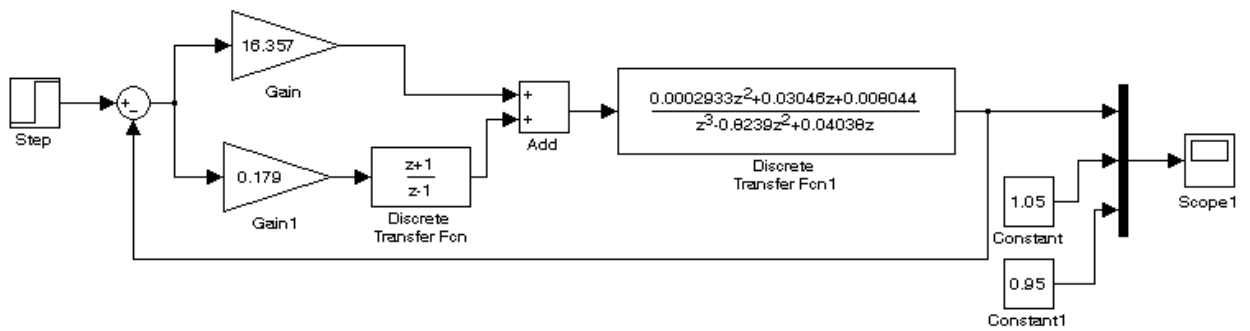


Рис. 4.3. Структурно-алгоритмічна схема цифрової системи керування температурою пастеризації молока у пакеті імітаційного моделювання MATLAB/Simulink

За характером перехідного процесу видно, що система є стійкою із наступними показниками якості роботи:

Час регулювання $t_p = 180$ с; перерегулювання $\sigma = 22\%$; коливальність $n=1$; відсутня статична похибка. Ці показники задовольняють технологічні вимоги процесу пастеризації молока у пастеризаторах із пластинчастими теплообмінниками.

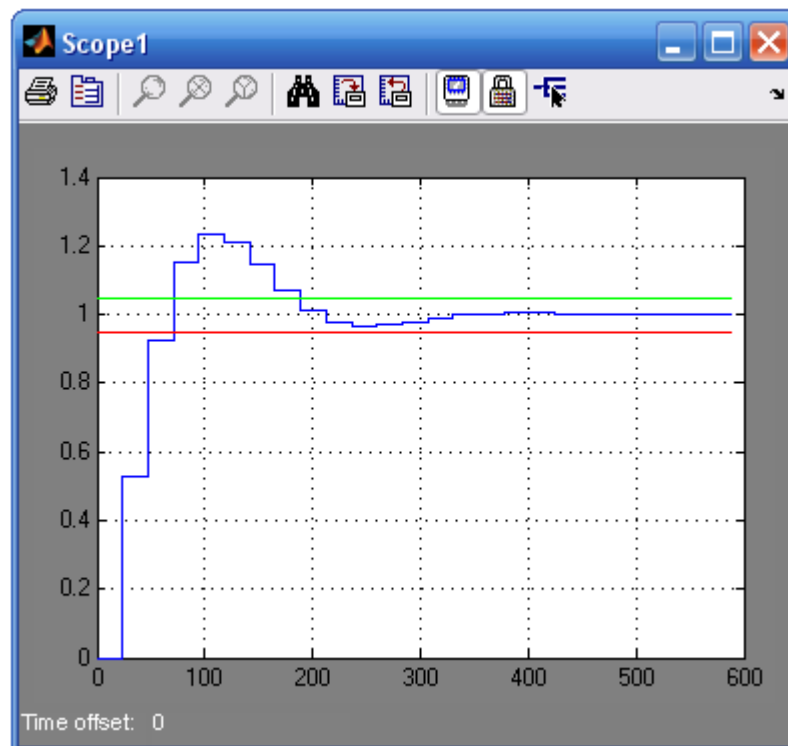


Рис. 4.4. Перехідний процес цифрової САК температурою пастеризації молока у пластинчастому пастеризаторі

РОЗДІЛ 5

СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1. Розробка схем електричних принципової, з'єднань та підключень системи керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою ОП2-У5

Схеми електричні принципова, з'єднань та підключень виконані згідно з ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 "Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT)".

Схема електрична принципова системи керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою (далі ПОУ) ОП2-У5 зображена на рис. 5.1.

У системі керування ПОУ передбачені "Автоматичний" і "Ручний" режими роботи, що забезпечується встановленням перемикачів SA1 та SA2 у відповідне положення.

В автоматичному режимі інформація про хід технологічного процесу надходить до програмованого логічного контролера AA1 від датчиків температури RK1, RK2 та RK3, встановлених у відповідних частинах установки, і формує сигнали керування відповідними виконавчими механізмами. Датчики температури підключаються до ПЛК за допомогою нормуючих перетворювачів AA2, AA3 та AA4 (перетворюють сигнал від термометра опору на уніфікований сигнал 4...10 мА або 0...10 В). Датчик температури RK1 встановлений на виході з секції пастеризації, датчик RK2 – встановлений після витримувача молока, а датчик RK3 – на виході секції охолодження.

Програмований логічний контролер порівнює значення температури молока на виході з секції пастеризації (датчик температури RK1) із заданим значенням. Якщо температура молока не відповідає заданому значенню, ПЛК формує керуючий сигнал для сервоприводу із регулюючим клапаном AA5, який змінює витрату теплоносія (гарячої води), що надходить у пластини секції пастеризації.

Якщо температура молока на виході з витримувача менша заданої (сигнал від датчика температури **RK2**), ПЛК формує сигнал керування для сервоприводу **AA6**, який переміщує свій регулюючий клапан у положення повернення молока у зрівноважувальний бак для повторної пастеризації. Даний режим супроводжується світловим сигналом (**HL10**).

Температура охолодження молока (сигнал від датчика температури **RK3**) встановлюється ПЛК за допомогою зміни витрати холодоносія (льодяної води) сервоприводом із регулюючим клапаном **AA7**.

Рівень молока у зрівноважувальному баці контролюється за допомогою поплавкового датчика рівня із контактом **YA1.1** та електромагнітного клапану **YA1**. Наявність клапано-поплавкового пристрою забезпечує підтримку в баку постійного рівня молока, що подається насосом у ПОУ, і відповідно, постійного гідростатичного напору, необхідного для рівномірної роботи молочного насосу. При перевищенні заданого рівня молока у баку подача молока у нього блокується електромагнітним клапаном **YA1**, про що сигналізує лампа **HL11**.

В ручному режимі керування електродвигунами **M1** приводу молочного насосу та **M2** приводу насоса гарячої води здійснюється кнопковими постами **SB1** та **SB2**.

Схема електрична з'єднань для шафи керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою ОП2-У5, яка показує з'єднання складових частин установки та визначає проводи і кабелі, якими здійснюються ці з'єднання, а також місця їх приєднання і вводу, зображена на рис. 5.2. Схема з'єднань (монтажна) виконана адресним способом. Схема електрична підключень, яка показує зовнішні підключення до клемних збірок шафи керування – на рис. 5.3.

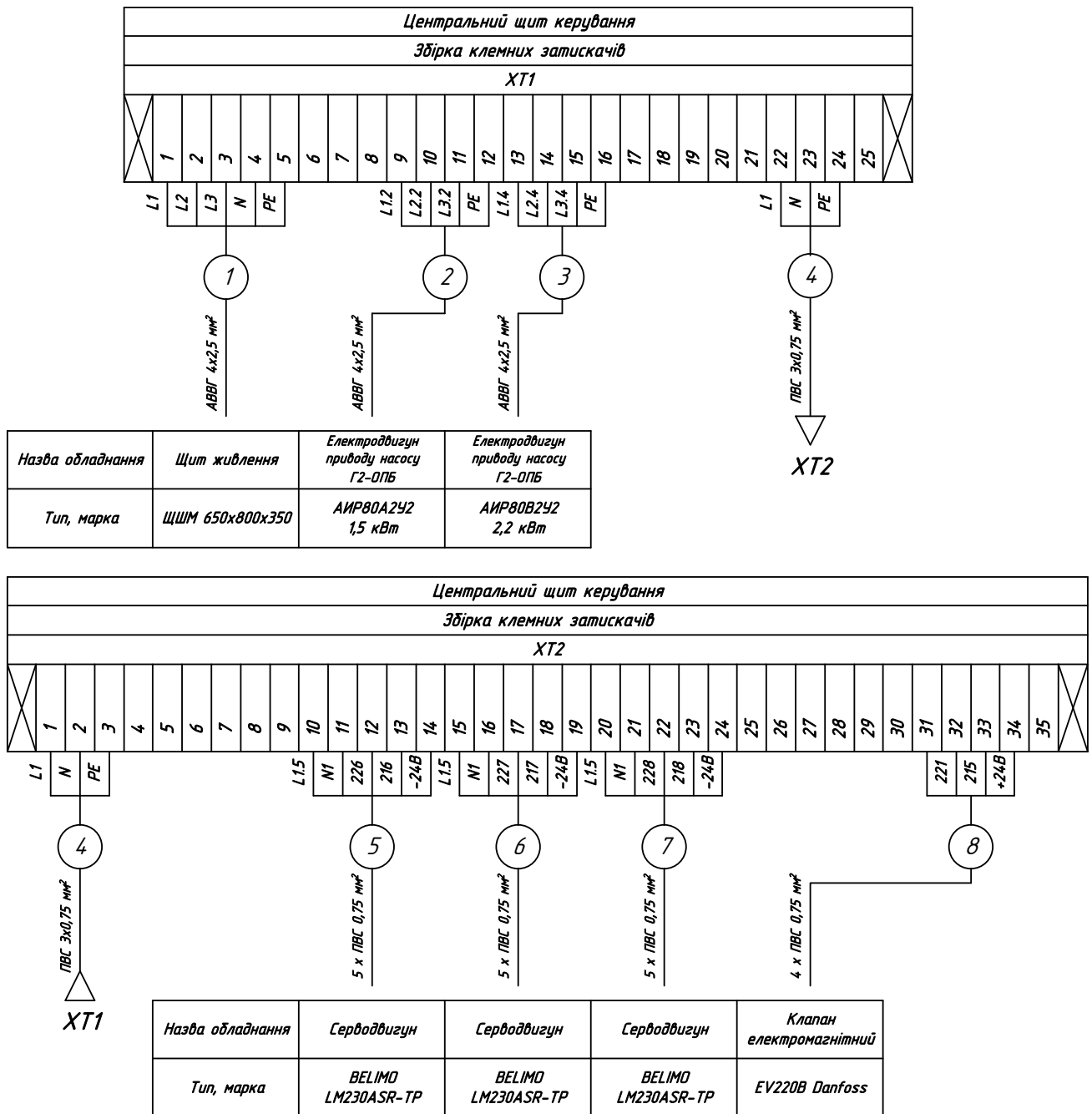


Рис. 5.3. Система керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою.

Схема електрична підключень

5.2. Вибір апаратури захисту та керування

Згідно зі схемою електричною принциповою САК пастеризаційно-охолоджувальною установкою ОП2-У5, для керування та захисту використовується наступне обладнання:

- для подачі живлення, пуску і зупинки, та захисту електродвигунів **М1** (приводу молочного насосу) та **М2** (приводу водяного насосу подачі теплоносія) від струмів к.з. та перевантаження використовується автоматичні вимикачі **QF1**, **QF2** із комбінованим (електромагнітним і тепловим) розчіплювачем та електромагнітні пускачі **KM1** та **KM2**;
- для захисту кола керування, зокрема, програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК160 **AA1** та виконавчих механізмів (сервоприводів Belimo LR230 А, **AA5**, **AA6** та **AA7**), електромагнітного клапану EV220B (Danfoss) **YA1**), від струмів к.з. використовується автоматичний вимикач **QF3**;
- у колі керування встановлені кнопкові пости керування, проміжні реле, лампи світлової сигналізації.

5.2.1. Вибір автоматичних вимикачів та електромагнітних пускачів кола керування електродвигунами **М1** та **М2**

Для вибору автоматичних вимикачів **QF1** та **QF2**, електромагнітних пускачів **KM1** та **KM2** для захисту та керування електродвигунами приводу насосів **М1** (подачі молока Г2-ОПБ) та **М2** (подачі теплоносія в пластини секції пастеризації 2К20/18) (додаток Д1) скористаємося технічними характеристиками цих електродвигунів, які наведені у таблиці 5.1 [22].

Згідно зі схемою електричною принциповою, для захисту електродвигунів **М1** та **М2** використовуються автоматичні вимикачі з комбінованим (електромагнітним і тепловим) розчіплювачами.

Таблиця 5.1.

Технічні характеристики асинхронних трифазних електродвигунів приводу відповідно насосу подачі молока та насосу подачі гарячої води

Характеристика електродвигуна	Марка насоса	
	Г2-ОПБ (36-1Ц10-20)	2К20/18
	Марка електродвигуна	
	АИР80А2У2	АИР80В2У2
Потужність, кВт	1,5	2,2
Напруга живлення, В	3ф,220/380,50Гц	3ф,220/380,50Гц
Номінальний струм, А	3,46	4,85
Частота обертання поля статора, об/хв.	3000	3000
Частота обертання валу, об./хв.	2850	2855
ККД, %	78,6	81,0
Номінальний крутний момент, Нм	4,974	7,346
Відношення моментів $M_{\text{пуск}}/M_{\text{н}}$	2,2	2,2
Відношення моментів $M_{\text{мах}}/M_{\text{н}}$	2,3	2,3
Відношення струмів $I_{\text{пуск}}/I_{\text{н}}$	7,0	7,0
Момент інерції, кг·м ²	0,0011	0,0018
Режим роботи	Тривалий, S1	Тривалий, S1
Термічний клас ізоляції обмоток	F – до 150°C	F – до 150°C
Ступінь захисту від вологи та пилу	IP54	IP54
Вага, кг	17,8	24,8

Відповідно до умов (додаток Д2), вибрані такі автоматичні вимикачі:

QF1 – GV2ME083 (Schneider Electric) – автоматичний вимикач без затримки спрацювання, розроблений для захисту електродвигунів потужністю 1,1/1,5 кВт, обладнаний комбінованим (електромагнітним і тепловим) розчіплювачем, який забезпечує захист двигуна від коротких замикань, перевантаження, асиметрії і обриву фаз).

QF2 – GV2ME10 (Schneider Electric) – автоматичний вимикач, аналогічний попередньому, розроблений для захисту електродвигунів потужністю 2,2 кВт.

Автоматичні вимикачі відповідають стандартам МЕК 60947-2-98 та ІЕС 60947-4-1-2000 [23,24].

Відповідність умовам 1-7 (додаток Д2) відображена у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2.

Відповідність технічних характеристик умовам вибору QF1 та QF2

№ умови	QF1 GV2ME083	QF2 GV2ME10
1.	$U_{Н АВТ} \geq U_{МЕР}$ 400 В > 380 В	$U_{Н АВТ} \geq U_{МЕР}$ 400 В > 380 В
2.	$I_{Н АВТ} \geq I_{ТР}$ 4 А > 3,46 А (табл. 5.1)	$I_{Н АВТ} \geq I_{ТР}$ 6,3 А > 4,85 А (табл. 5.1)
3.	Кількість полюсів - 3	Кількість полюсів - 3
4.	$I_{Т РОЗЧ} \geq \frac{I_{ТР}}{K_N \cdot K_T}$ $4 \text{ А} \geq \frac{3,46}{0,83 \cdot 1,04} = 4 \text{ А}$	$I_{Т РОЗЧ} \geq \frac{I_{ТР}}{K_N \cdot K_T}$ $6,3 \text{ А} \geq \frac{4,85}{0,83 \cdot 1,04} = 5,62 \text{ А}$
5.	Клас С ((5...10) $I_{Н РОЗЧ}$) $I_{ПУСК}/I_{Н} = 7$ (таблиця 5.1)	Клас С ((5...10) $I_{Н РОЗЧ}$) $I_{ПУСК}/I_{Н} = 7$ (таблиця 5.1)
6.	$I_{ЕМ РОЗЧ} \geq (1,5 \div 1,6) \cdot I_{ПУСК}$ 40 А > 1,6·3,46·7 = 38,75 А	$I_{ЕМ РОЗЧ} \geq (1,5 \div 1,6) \cdot I_{ПУСК}$ 60 А > 1,6·4,85·7 = 54,32 А
7.	Ступінь захисту IP20 Робоча температура навкол. серед. -20°C...+60°C	Ступінь захисту IP20 Робоча температура навкол. серед. -20°C...+60°C



Рис. 5.4. Автоматичні вимикачі для захисту електродвигунів М1 та М2 із регулюванням струму теплового розчіплювача

Оскільки для захисту електродвигунів від перевантаження використовуються автоматичні вимикачі із тепловим розчіплювачем, електромагнітні пускачі у схемі керування не комплектуються тепловими реле.

Відповідно до умов (додаток Д3), для пуску і зупинки трифазних асинхронних електродвигунів М1 та М2 вибрані електромагнітні пускачі ПМ 2-25-10 М7 230В (LC1-D2510) (АСКО УкрЕМ) (рис. 5.5). Електромагнітні пускачі відповідають стандарту ДСТУ EN 60947-4-1 [25]. Відповідність умовам 1-8 (додаток Д3) відображена у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3.

Відповідність технічних характеристик умовам вибору КМ1 та КМ2

№ умови	КМ1, КМ2 ПМ 2-25-10 М7 230В (LC1-D2510)
1.	$U_{HEMP} \geq U_{MEP}$, 400 В (50Гц) > 380 В (50 Гц)
2.	Величина електромагнітного пускача 2 ($I_{HEMP} = 25$ А) $I_{HEMP} \geq I_p$, 25 А > 3,46 А, 25 А > 4,85 А Категорія застосування АС-3, АС4
3.	Напруга електромагнітної котушки (напруга кола керування) $U_{KKEP} = 220$ В
4.	Без теплового реле
5.	За наявністю додаткових контактів: 1NO
6.	Без додаткових контактів для реверсування
7.	Ступінь захисту корпусу IP20
8.	Зносостійкість електрична: 2 000 000 циклів Зносостійкість механічна: 20 000 000 циклів Номинальний умовний струм к.з.: 5 кА



Рис. 5.5. Пускач електромагнітний ПМ 2-25-10 М7 230В (LC1-D2510)

5.2.2. Вибір електротехнічного обладнання кола керування

Згідно зі схемою електричною принциповою, у колі керування використовуються два перемикачі режимів роботи (SA1, SA2) із нульовим положенням, два кнопкові пости (SB1, SB2), кнопки керування (SB3, SB4), лампи сигнальні (HL1-HL3, HL8-HL11 з напругою живлення 220 В (50 Гц), HL4-HL7 – з напругою живлення 24 В пост. струму).

Для захисту кола керування використовується двохолюсний автоматичний вимикач QF3.

Відповідно до умов (додаток Д4), вибране таке обладнання для кола керування.

Для перемикання режимів роботи у колі керування вибрані перемикачі пакетні ПКП Е9 32А/3.833 ("1-0-2") (АСКО УкрЕМ) на 3 полюси (рис. 5.6, а).

Для ручного керування електродвигунами М1 та М2 у колі керування вибрані пости кнопкові РВ0-АL73415 (Plastim) "Пуск" (зелений) "Стоп" (червоний) (рис. 5.6, б) без фіксації положення, без підсвічування кнопок, для монтажу на панель, щиток. Технічні характеристики пакетних перемикачів та кнопкових постів наведені у таблиці 5.4 [26,27].

Таблиця 5.4.

Технічні характеристики пакетних перемикачів та кнопкових постів

Прилад	ПКП Е9 32А/3.833 ("1-0-2")	РВ0-АL73415
Номінальна робоча напруга, U_n , В	400	660 В
Номінальний тепловий струм, А	34	10
Категорія застосування	АС3, АС4	АС3
Номінальний струм: АС3 (АС4)	22 (11)	10
Зносостійкість, циклів		
механічна	600 000	20 000 000
електрична	200 000	2 000 000
Температура експлуатації, °С	-20...+45	-20...+45

Для технічної реалізації функцій, покладених на кнопки SB3, SB4 за принциповою схемою, вибрані кнопки керування PB0-AA21 (Plastim) без фіксації, для монтажу на панель, щиток (рис. 5.6, в). Технічні характеристики кнопок керування PB0-AA21 аналогічні характеристикам кнопкових постів PB0-AL73415 [28].

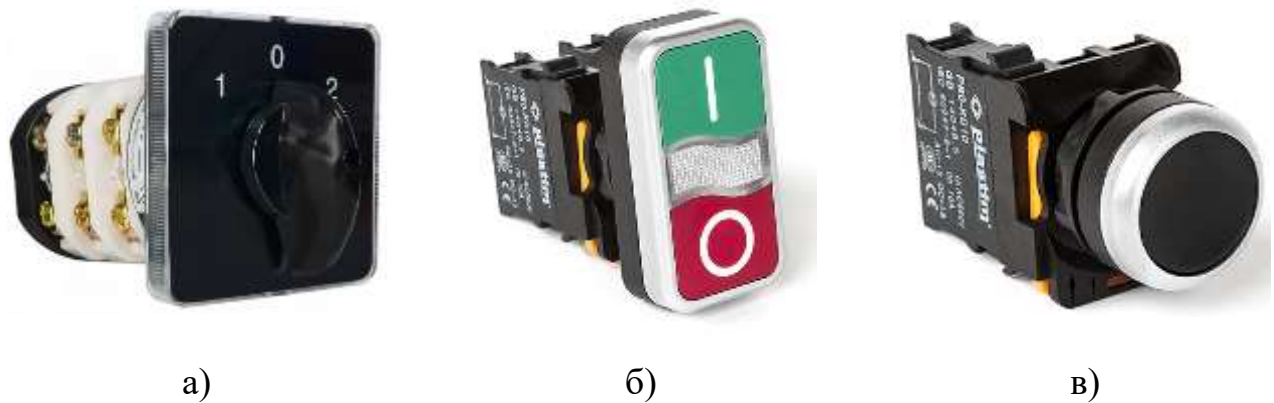


Рис. 5.6. Електротехнічне обладнання кола керування:

а – перемикач пакетний ПКП Е9 32А/3.833 ("1-0-2"); б – пост кнопковий PB0-AL73415; в – кнопка керування PB0-AA21

Для світлової сигналізації у схемі керування вибрана така світлосигнальна апаратура:

- HL1, HL2, HL3: Арматура світлосигнальна AD22-22DS (АСКО УкрЕМ); (червона), світлодіодна матриця, живлення 220В (50 Гц); ступінь захисту IP54, струм споживання 7 мА
- HL8 - HL11: Арматура світлосигнальна AD22-22DS (АСКО УкрЕМ); (зелена), світлодіодна матриця, живлення 220В (50 Гц); ступінь захисту IP54, струм споживання 7 мА
- HL4 – HL7: Арматура світлосигнальна AD22-22DS (АСКО УкрЕМ); (зелена), світлодіодна матриця, живлення 24В пост. стр.; ступінь захисту IP54, струм споживання 30 мА

Для вибору автоматичного вимикача захисту кола керування, необхідно визначити струми споживання усіх елементів принципової схеми (електромагнітних пускачів, сигнальних ламп, виконавчих механізмів, програмованого логічного контролера).

Таблиця 5.5.

Споживачі електроенергії кола керування

Познач. на схемі	Марка, параметри споживання	Кільк.	Заг. тривалий струм спож., А
D1	ПЛК160 ОВЕН $U_{\text{ж}} = 220 \text{ В}$, 50 Гц, $S = 40 \text{ ВА}$, $I_{\text{н}} = 0,19 \text{ А}$	1	0,19
КМ1, КМ2	Котушка електромагнітного пускача ПМ 2-25-10 М7 230В $U_{\text{ж}} = 220 \text{ В}$, 50 Гц, $S = 90 \text{ ВА}$, $I_{\text{н}} = 0,41 \text{ А}$ (включення) $S = 8 \text{ ВА}$, $I_{\text{н}} = 0,036 \text{ А}$ (утримання)	2	0,073
D5, D6, D7	Сервопривод Velimo LR230 А $U_{\text{ж}} = 220 \text{ В}$, 50 Гц, $S = 4 \text{ ВА}$, $I_{\text{н}} = 0,02 \text{ А}$	3	0,06
YA1	Клапан електромагнітний EV220В (Danfoss) $U_{\text{ж}} = 220 \text{ В}$, 50 Гц, $P = 12 \text{ Вт}$, $I_{\text{н}} = 0,055 \text{ А}$	1	0,055
HL1-HL3, HL8-HL11	Лампа сигнальна AD22-22DS $U_{\text{ж}} = 220 \text{ В}$, 50 Гц, $I_{\text{н}} = 0,007 \text{ А}$	7	0,049
HL4-HL7	Лампа сигнальна AD22-22DS $U_{\text{ж}} = 24 \text{ В}$ (пост. стр.), $I_{\text{н}} = 0,03 \text{ А}$	4	0,12
Всього			0,547 А

Визначивши загальний струм споживання кола керування, для захисту кола керування від струмів к.з. згідно із принциповою схемою, був вибраний вимикач автоматичний іС60N 2P 3А В Schneider Electric (A9F73203) (рис. 5.7).



Рис. 5.7. Вимикач автоматичний іС60N 2P 3А В Schneider Electric

Автоматичний вимикач відповідає стандартам МЕК 60947-2-98 та ІЕС 60947-4-1-2000 [29]. Відповідність умовам 1-7 (додаток Д2) відображена у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6.

Відповідність технічних характеристик умовам вибору QF3

№ умови	QF3 iC60N 2P 3A B Schneider Electric
1.	$U_{Н АВТ} \geq U_{МЕР}$ 440 В > 220 В
2.	$I_{Н АВТ} \geq I_{ТР}$ 3А > 0,547 А (табл. 5.5)
3.	Кількість полюсів - 2
4.	$I_{Т РОЗЧ} \geq \frac{I_{ТР}}{K_N \cdot K_T}$ $3 А \geq \frac{3,46}{0,875 \cdot 1,04} = 0,6 А$
5.	Клас В
6.	—
7.	Ступінь захисту IP20 Робоча температура навкол. серед. -20°C...+60°C

5.3. Вибір проводів та кабелів

Площу поперечного перерізу жил проводів і кабелів вибирають, спираючись на умови гранично допустимого нагріву під дією струму навантаження, а також необхідної механічної міцності. Крім того, необхідно враховувати спосіб прокладання (відкрито, в трубі, в коробах, на тросах, і т.д.), умови оточуючого середовища (вологість повітря, агресивність середовища тощо). При розрахунку кількості провідників, що прокладаються в одній трубі або коробі (або при використанні багатожильного кабелю), нульові та заземлюючі проводи не враховують.

При виборі проводів для підключення датчиків необхідно передбачити наявність сигнальних перешкод і можливого впливу електромагнітних полів (тобто необхідність екранування сигнального проводу).

Умови вибору проводів і кабелів наведені в додатку Д5 на основі [3,8,16]. Згідно із цими умовами, а також значеннями струмів споживання електродвигунів (таблиця 5.1), схеми керування в цілому та її окремих складових (таблиця 5.5), для з'єднання усієї схеми вибрані такі проводи і кабелі.

Для підключення електродвигунів М1 та М2 вибраний кабель чотирьохжильний АВВГ 4х2,5 мм² (L1,L2,L3+PE) [30] – із монолітними алюмінієвими круглими жилами перерізом 2,5 мм², ізолюваними полівінілхлоридним (далі ПВХ) пластиком, із зовнішньою ізоляцією з ПВХ пластикату. Тривалий допустимий струм такого кабелю дорівнює $I_{\text{тр.доп}} = 19 \text{ А}$ [8].

Для підключення кола керування (автоматичного вимикача захисту QF3) вибраний трижильний кабель ПВС 3х0,75 мм² (L+N+PE) [30] – із багатодрововими мідними жилами, ізолюваними ПВХ пластиком, із зовнішньою ізоляцією з ПВХ пластикату. Тривало допустимий струм такого кабелю $I_{\text{тр.доп}} = 15 \text{ А}$ [8].

Для підключення електротехнічного обладнання до ПЛК в колі керування вибраний провід ПВЗ 1х0,5 [30] – із мідною багатодротовою жилою підвищеної гнучкості, ізолюваною ПВХ пластиком. Тривало допустимий струм такого проводу $I_{\text{тр.доп}} = 11 \text{ А}$ [8].

Для підключення датчиків температури до ПЛК вибраний трижильний екранований кабель LiYCY 3х0,25 (SptcialCavi Baldassari) [31] – із мідними багатодротовими жилами перерізом 0,25 мм² п'ятого класу гнучкості. Використовується в якості контрольного, сигнального кабелю для передачі аналогових і цифрових сигналів у вимірювальних, керуючих електронних пристроях і комп'ютерних системах з робочою напругою до 250 В частотою до 3 кГц змінного струму або робочою напругою до 350 В постійного струму. Кабелі стійкі до вібраційних, ударних і лінійним навантаженням, також до акустичних шумів та електромагнітних завад.

Для підключення установки до мережі живлення визначимо сумарний струм споживання за принциповою схемою. Оскільки електродвигуни і коло керування працюють одночасно, значення коефіцієнту одночасності приймається $K_O = 1$. Тоді

$$I_{\text{РОЗР}} = K_O \cdot \sum I_H = 1(3,46 + 4,85 + 0,547) = 8,857 \text{ А.}$$

Отже, для підключення установки до мережі живлення використаємо кабель чотирьохжильний АВВГ 4x2,5 мм² [30] – із монолітними алюмінієвими круглими жилами перерізом 2,5 мм², ізольованими ПВХ пластикатом, із зовнішньою ізоляцією з ПВХ пластикату. Тривалий допустимий струм такого кабелю дорівнює $I_{\text{ТР.ДОП}} = 19 \text{ А}$ [8].

5.4. Вибір щита керування

Згідно з нормативними документами щити і пульти розраховано на розміщення їх у закритих приміщеннях із температурою навколишнього середовища від -30 до +50°C за відносної вологості не більше як 80%. Промисловість випускає також щити та пульти спеціального призначення, які розраховані на більш високі або низькі температури, підвищену вологість, наявність агресивного середовища тощо.

Шафові щити використовують:

- у виробничих приміщеннях, що характеризуються запиленістю, великою вологістю та можливістю механічного пошкодження апаратури й внутрішньощитових проводів;
- для розміщення допоміжної апаратури (реле, джерел живлення) всередині щита;
- для захисту обслуговуючого персоналу від дотиків до відкритих струмоведучих частин апаратури та затискачів.

Враховуючи габаритні розміри пристроїв системи керування, а також ту обставину, що програмований логічний контролер потребує певного повітряного простору для охолодження, вибираємо щит монтажний ЩШМ (650x800x350) (лист №4 графічної частини бакалаврської кваліфікаційної роботи).

5.5. Розробка засобів візуалізації технологічного процесу

Інтерфейс HMI (*англ. Human Machine Interface* – людино-машинний інтерфейс) для нашої системи автоматизації розроблений з використанням програмного забезпечення Zenon Scada від компанії COPA-DATA. Zenon є програмним забезпеченням для візуалізації, управління, збору та аналізу даних. Система Zenon SCADA є основним продуктом австрійської компанії COPA-DATA GmbH. Вперше розроблена в середині 80-х років, це було перше комплексне рішення графічної візуалізації для систем Windows. Завдяки постійній модернізації, вдосконаленню та впровадженню новітніх технологій, Zenon утримує лідерські позиції на ринку систем HMI / SCADA. Zenon повністю вирішує всі можливі завдання, що стоять перед системами HMI / SCADA. Дозволяє здійснювати зручне та візуальне управління, точну взаємодію всіх інженерних комплексів, автоматичну адаптацію, інтелектуалізацію режимів роботи підсистем. Він базується на стандартних зовнішніх технологіях і пропонує величезний набір простих у використанні графічних функцій для побудови систем візуалізації.

Переваги Zenon:

- Можливість децентралізованої розробки;
- Високу швидкодію;
- Велика гнучкість;
- Висока надійність;
- Використовується в сфері автоматизації наступних галузей:
 - Нафтогазовий комплекс;

- Споруди;
- Промислове виробництво;
- Енергетика;
- Транспорт;
- Ефективність і масштабованість;

Багатокористувацька розробка:

Система дозволяє ефективно використовувати розподілену розробку, уникаючи жорстких прив'язок до конкретного робочого місця. Дизайнери, що працюють над проектом, можуть розподілити завдання між собою та зосередитися на своїй конкретній частині проекту. Це дозволяє суттєво збільшити швидкість розробки.

Широкі можливості спілкування:

Завдяки понад 300 розробленим драйверам, Zenon може легко інтегруватися з найпоширенішим обладнанням. Редактор системи підтримує велику кількість інтерфейсів та комунікаційних протоколів. За допомогою спеціальної технології можна передавати виконувані файли по мережі на віддалену цільову станцію.

Відкрита архітектура:

Можливість використання незалежних зовнішніх програм при розробці, створення макросів VBA, збереження даних в Інтернеті та архівування їх у базі даних MS SQL Server, використання технології ActiveX.

Гнучкість:

Використання технології XML дозволяє імпортувати та експортувати окремі частини проекту або весь проект в систему управління. Система може розширюватися без необхідності модифікації або переробки існуючого проекту.

Автоматичний дизайн:

Завдяки великій кількості попередньо визначених шаблонів стандартних зображень (сигналів тривоги, подій, тенденцій тощо) та спеціальних форм-майстрів, дизайн може бути автоматично створений.

Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора.

Нормальний стан системи автоматизації. Всі параметри в межах норми.
Робочий вид для оператора (рис. 5.8).

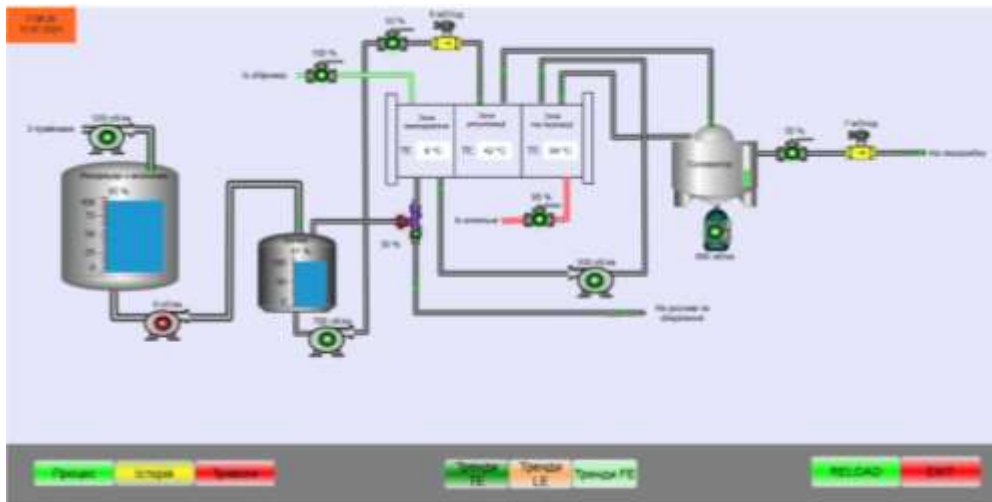


Рис. 5.8. Головний екран оператора. Нормальний стан системи автоматизації

В системі автоматизації виникло відхилення від стандарту, SCADA відображає повідомлення про це в верхній частині екрану оператора, а також вказує, який конкретно параметр вийшов за межі норми (рис. 5.9).

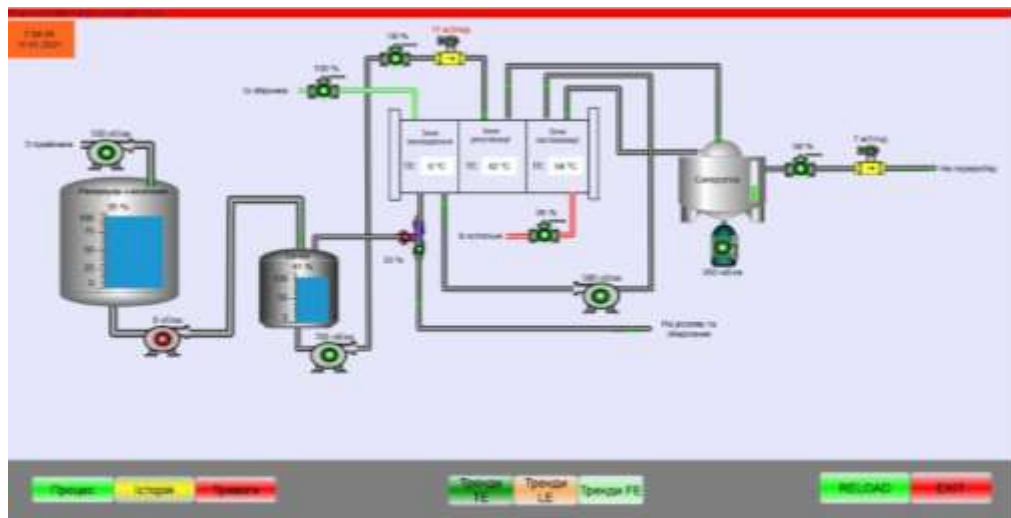


Рис. 5.9. Головний екран оператора. Відхилення параметру від норми

Вікно вкладки "Історія" (рис. 5.10) в системі автоматизації. Тут відображаються всі події в хронологічному порядку, такі як зміни параметрів чи дії оператора.

Time occurred	Type	Variable name	Value	Min.	Max.	Unit	Category name	Comment
11.01.2021 7:02:21	Критично низький						017004	010001
11.01.2021 7:02:20	Критично низький						017004	010001
11.01.2021 7:02:19	Критично низький						017004	010001
11.01.2021 7:02:18	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:18	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:17	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:17	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:16	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:15	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:15	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:14	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:14	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:13	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:13	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:12	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:12	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:11	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:11	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:10	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:10	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:09	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:09	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:08	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:08	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:07	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:07	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:06	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:06	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:05	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:05	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:04	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:04	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:03	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:03	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:02	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:02	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:01	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:01	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:00	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:02:00	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:01:59	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		
11.01.2021 7:01:59	Критично низький (0.7%)	70.7a	0.7	0.7	017004	010001		

Рис. 5.10. Вкладка історії

Вікно вкладки "Тривоги" (рис. 5.11) системи автоматизації (ALARM). Тут відображаються всі тривоги, які виникли, вказуючи на параметр, час їх виникнення та їхній стан (усунуто чи ще дійсні).

Ст.	Приняті повідомлення	Приняті повідомлення	Приняті повідомлення	Міні пороговий	Мак.	Лім.	Тім.	Категорія	Міні повідомл.	Категорія
●	11.01.2021 7:02:21	11.01.2021 7:02:21	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:20	11.01.2021 7:02:20	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:19	11.01.2021 7:02:19	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:18	11.01.2021 7:02:18	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:17	11.01.2021 7:02:17	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:16	11.01.2021 7:02:16	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:15	11.01.2021 7:02:15	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:14	11.01.2021 7:02:14	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:13	11.01.2021 7:02:13	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:12	11.01.2021 7:02:12	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:11	11.01.2021 7:02:11	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:10	11.01.2021 7:02:10	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:09	11.01.2021 7:02:09	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:08	11.01.2021 7:02:08	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:07	11.01.2021 7:02:07	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:06	11.01.2021 7:02:06	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:05	11.01.2021 7:02:05	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:04	11.01.2021 7:02:04	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:03	11.01.2021 7:02:03	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:02	11.01.2021 7:02:02	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:02:01	11.01.2021 7:02:01	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:01:59	11.01.2021 7:01:59	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			
●	11.01.2021 7:01:59	11.01.2021 7:01:59	70.7a	0.7	0.7	017004	010001			

Рис. 5.11. Вкладка тривог

Спрацювання тривоги та її відображення в інформаційному списку визначається індивідуально для кожної змінної в межах, встановлених на вкладці "Ліміти". Коли верхній ліміт досягається для конкретної змінної, спрацьовує сигнал тривоги, який відображається в журналі тривог. Його статус буде "Активний" (червоний коло). Якщо рівень знизиться нижче нижнього ліміту,

статус зміниться на "Неактивний" (зелений коло). Крім того, оператор може підтвердити тривогу, змінивши її статус на "Підтверджено" (синє коло), натискавши відповідну кнопку. Оскільки ми ввімкнули опцію "Видалити", цей запис зникне зі списку тільки в тому разі, коли він видаляється вручну відповідною кнопкою.

Вікна вкладок трендів (рис. 5.12) в системі автоматизації. Тут подані графіки всіх змін контрольних параметрів, включаючи навіть миттєві зміни.



Рис. 5.12. Вкладка трендів температури

РОЗДІЛ 6

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Технічний рівень засобів електрифікації автоматизації виробничих процесів визначає економічну ефективність використання їх в сільськогосподарському виробництві. Автоматизація технологічних процесів має забезпечувати збільшення виробництва продукції, підвищення продуктивності в праці (зменшення втрат праці), зменшення енергомісткості і собівартості продукції, терміну окупності капітальних витрат.

Економічна ефективність автоматизації вимірюється ступенем зменшення сукупної живої і минулої праці, що витрачається на виробництво одиниці продукції. Узагальнюючим показником економічної ефективності з капітальних вкладень є строк окупності капітальних вкладень в систему автоматичного управління. Отже для розрахунку показників економічної ефективності визначимо строк окупності капітальних вкладень в систему автоматизації керування температурним режимом пастеризації за формулою:

$$T = \frac{K}{\Delta E}; \quad (6.1)$$

де K — капітальні вкладення на здійснення автоматизації, грн.;

ΔE — річна економія експлуатаційних витрат, грн./рік.

Капітальні вкладення на удосконалення САК температурним режимом пастеризації молока визначаємо за формулою:

$$K = K_3 + K_{\text{тт}} + K_{\text{м}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{і}}; \quad (6.2)$$

де K_3 — загальна вартість технічних засобів автоматизації, грн.;

$K_{\text{тт}}$ — торгівельно-транспортні втрати, грн.;

$K_{\text{м}}$ — витрати на монтаж технічних засобів, грн.;

$K_{\text{пр}}$ — витрати на прокладення проводок, грн.;

$K_{\text{і}}$ — інші витрати, грн.

Річна економія експлуатаційних витрат визначається як:

$$\Delta = E_{p.2018} - E_p; \quad (6.3)$$

В даному випадку загальна вартість технічних засобів автоматизації становить:

$$K_3 = K_{дт} + K_{дв} + K_{рег} + K_{кл} + K_{пр} + K_{прив}; \quad (6.4)$$

де: $K_{дт}$ — вартість датчика температури 250 грн.;

$K_{рег}$ — вартість регулятора, 6879 грн.;

$K_{кл}$ — вартість клапана, 2200 грн.;

$K_{прив}$ — вартість приводу, 1120 грн.;

$K_{пр}$ — вартість проводки, 8грн/м.

Тоді згідно формули загальна вартість технічних засобів автоматизації будуть складати:

$$K_3 = 250 + 6879 + 2200 + 1120 + 8 = 10459, \text{ грн.}; \quad (6.5)$$

Торгівельно-експортні втрати будуть становити 11% від загальної вартості технічних засобів автоматизації:

$$K_{тт} = 0.11 * K_3 = 10459 * 0.11 = 1150, \text{ грн.}; \quad (6.6)$$

Витрати на монтаж технічних засобів автоматизації становлять 17% від загальної вартості технічних засобів автоматизації:

$$K_m = 0.17 * K_3 = 10459 * 0.17 = 1778, \text{ грн.}; \quad (6.7)$$

Витрати на прокладення проводок:

$$K_{пр} = K_{пр} * l = 15 * 60 = 900, \text{ грн.}; \quad (6.8)$$

$K_{пр}$ — вартість проводки та монтажу, 15грн*м;

l — довжина проводки.

Інші витрати будуть становити 2% від суми технічних засобів автоматизації:

$$K_i = 10459 * 0.02 = 209, \text{ грн.}; \quad (6.9)$$

Отже, згідно (6.2) капітальні вкладення на удосконалення САК температурним режимом пастеризації молока будуть:

$$K = 10459 + 1150 + 1778 + 900 + 209 = 14496, \text{ грн}; \quad (6.10)$$

Далі знайдемо річні експлуатаційні витрати, визначаємо за формулою:

$$E_p = Z_{\text{утр}} + Z_{\text{ел}} + Z_{\text{п}} + Z_{\text{ін}}; \quad (6.11)$$

де: $Z_{\text{п}}$ — річний фонд заробітної плати за обслуговування;

$Z_{\text{утр}}$ — затрати на утримання основних засобів виробництва;

$Z_{\text{ел}}$ — вартість електроенергії;

$Z_{\text{ін}}$ — інші витрати;

$$Z_{\text{п}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}} + Z_{\text{н}}; \quad (6.12)$$

де: $Z_{\text{осн}}$ — основна оплата;

$Z_{\text{дод}}$ — додаткова оплата;

$Z_{\text{н}}$ — нарахування.

Визначимо основну оплату:

$$Z_{\text{осн}} = T_{\text{ст}} + D * t * n; \quad (6.13)$$

де: $T_{\text{ст}}$ — тарифна ставка, 22 грн./год.

D — кількість днів роботи, 140 днів;

T — кількість годин роботи за день, 6 год.;

N — кількість робітників.

$$Z_{\text{осн}} = 22 * 140 * 6 * 1 = 18480, \text{ грн}; \quad (6.14)$$

Визначимо додаткову оплату:

$$Z_{\text{дод}} = \frac{Z_{\text{осн}} * 10\%}{100\%} = \frac{18480 * 10\%}{100\%} = 1848, \text{ грн};$$

Визначимо нарахування:

$$Z_{\text{н}} = \frac{(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}}) * (32\% + 2\% + 1.5\% + 1\%)}{100\%}; \quad (6.15)$$

$$Z_{\text{н}} = \frac{(18480 + 1848) * 36.5\%}{100\%} = 7419, \text{ грн};$$

Отже річний фонд заробітної плати на обслуговування згідно (6.12) буде:

$$З_{\pi} = 18480 + 1848 + 7419 = 27747, \text{ грн.};$$

Затрати на утримання основних засобів:

$$З_{\text{утр}} = A_{\text{м}} + P_{\pi}; \quad (6.16)$$

де: $A_{\text{м}}$ – амортизаційні відрахування;

P_{π} – відрахування на поточний ремонт.

Відрахування на амортизацію будуть становити 20% від капітальних вкладень:

$$A_{\text{м}} = 0.2 * K = 0.2 * 14496 = 2899, \text{ грн.} \quad (6.17)$$

Витрати на поточний ремонт будуть становити 25% від капітальних вкладень:

$$P_{\pi} = 0.25 * K = 0.25 * 14496 = 3624, \text{ грн.} \quad (6.18)$$

$$З_{\text{утр}} = 2899 + 3624 = 6523, \text{ грн}$$

Вартість електроенергії:

$$З_{\text{ел}} = P * \Gamma * D * \text{Ц}; \quad (6.19)$$

де: P – потужність автоматизації, 25 кВт;

Γ – кількість годин роботи, 24 год.;

Ц – ціна електроенергії 2,83 грн./кВт;

D – кількість днів роботи на рік 140 днів.

Отже:

$$З_{\text{ел}} = 25 * 24 * 2,83 * 140 = 157080, \text{ грн.}$$

Інші витрати будуть складати 2% від суми річного фонду заробітної плати, затрати на утримання основних засобів виробництва та вартості електроенергії, тобто:

$$З_{\text{ін}} = (З_{\pi} + З_{\text{утр}} + З_{\text{ел}}) * 0.02 = 3827, \text{ грн.} \quad (7.20)$$

Отже річні експлуатаційні витрати будуть становити:

$$E_{\text{р}} = 18480 + 27747 + 157080 + 3827 = 203307, \text{ грн.} \quad (7.21)$$

По даних господарства річні експлуатаційні витрати на утримання САК температурою пастеризації молока у 2023р склали – 383453, грн.

Знайдемо річну економію експлуатаційних витрат згідно (6.3) вона буде:

$$\Delta E = E_{p.2013} - E_p = 2383453 - 203307 = 180146, \text{ грн.} \quad (6.22)$$

Таким чином, строк окупності капітальних вкладень в систему автоматичного керування складе:

$$T = \frac{K}{\Delta E} = \frac{157080}{180146} = 0,9 \text{ року.}$$

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі згідно із завданням удосконалено систему автоматичного керування температурою пастеризації молока на базі комплексу технічних засобів ОВЕН.

При виконанні кваліфікаційної роботи отримані наступні результати:

1. Проведено аналіз сучасного стану автоматизації технологічних процесів первинної обробки молока, розроблена функціональна схема автоматизації системи керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою ОП2-У5.

2. Для визначення динамічних властивостей пастеризаційно-охолоджувальної установки на основі рівнянь теплового балансу розроблена математична та імітаційна модель у середовищі MATLAB, за допомогою якої визначена передатна функція установки для каналу керування температурою пастеризації молока.

3. Обґрунтований вибір комплексу технічних засобів автоматизації для реалізації САК температурою пастеризації молока із використанням програмованого логічного контролера ПЛК160 ОВЕН.

4. Цифрова САК температурою пастеризації молока забезпечує стійку роботу з наступними показниками якості: коливальність $n = 1$; статична похибка: $\delta = 0 \%$; час регулювання $t_p = 180$ с; перерегулювання 22% .

5. Розроблені електричні схеми (принципова, з'єднань, підключень) системи керування, а також створено операторський інтерфейс системи контролю та керування пастеризаційно-охолоджувальною установкою для молока.

6. Після проведених економічних розрахунків можна зробити висновок, що термін окупності при впровадженні розробленої САК температурним режимом пастеризації молока в установці ОП2-У5 складе близько 1 року, що вказує на доцільність її використання у виробництві.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.П. Лисенко, І.М. Болбот, В.А. Наливайко, К.В. Наконечна, Т.І. Лендел, Д.Є. Жук. Проектування систем автоматизації для АПК: Підручник. – Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2022 – 626 с.
2. Гурін В.В. Автоматичний захист електрообладнання. В2 Частина І. Захист електричних мереж: навчальний посібник / В.В. Гурін. – Харків: НТУ «ХП», 2010. – 360 с.
3. Дипломне проектування енергетичних та електротехнічних систем в агропромисловому комплексі: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / Іноземцев Г.Б., Козирський В.В., Лут М.Т., Радько І.П., Синявський О.Ю. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К., 2014. – 526 с.
4. Довідник сільського електрика / В.С. Олійник, В.М. Гайдук, В.Ф. Гончар та ін.; за ред. В.С. Олійника. – 3-є вид., перероб. і доп. – К.: Урожай, 1989. – 264 с.
5. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.
6. Єресько Г.О., Шинкарик М.М., Ворошук В.Я. Технологічне обладнання молочних виробництв. – Київ: Фірма "Інкос", Центр навчальної літератури, 2007. – 344с.
7. Корчемний М.О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. / М.О. Корчемний М.О. В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
8. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Болбот І.М., Олійник П.В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: підручник. – К.: "Інтас", 2008. – 330 с.
9. Машкін М.І., Париш Н.М. Технологія виробництва молока і молочних продуктів: Навчальне видання. – К. Вища освіта, 2006. – 351 с.: іл.
10. Михайловський Е.А. Статичні і динамічні характеристики пластинчастого теплообмінника пастеризаційно-охолоджувальної установки VTIS / Е.А. Михайловський, В.І. Біляков. Харків: НТУ «ХП», 2005. – 75 с.
11. Ніконенко В.М. Обладнання та технологія молочного виробництва. – К.: Урожай, 2015. – 296 с.
12. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / І.С. Гулій, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов та ін.; за ред. І.С. Гулого. – К.: Нова книга, 2001. – 576 с.
13. Оптимізація процесів переробки сільськогосподарської сировини [Монографія] / В.О. Мірошник, М.А. Гачковська, В.Д. Кишенько, О.В. Грабовська. – К.: ЦП "Компринт", 2019. – 479 с.

14. Основні методи і методики підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра / В.П. Лисенко, А.О. Дудник, В.О. Мірошник, А.А. Руденський, Н.А. Заєць. – Київ: "Компринт". 2023. – 303 с. для студентів зі спеціальності 151 – "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" Навчальний посібник.
15. Пастеризатор як об'єкт керування за каналами нагрівання і охолодження молока // В.О. Мірошник, Т.І. Лендел. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка і енергетика АПК. №261. К.: Видавництво НУБіП України. 2017. – С.79-88.
16. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України, Київ, 2017 р.
Електронне видання. Режим доступу:
<https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf>
17. Технологія переробки молока. Навчальний посібник для вищих аграрних навчальних закладів. Маньковський А.Я., Кравців Р.Й., Богданов Г.О., В-во "Сполом": Львів, 2003. – 451 с.
18. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., КАПУСТЕНКО П.О., АРСЕНЬЄВА О.П., ОРЛОВА Є.І. Харчові технології у прикладах і задачах: Підручник. К.: Центр учбової літератури, 2008. – 576 с.
19. Черевко О.І., Сафонова О.М., Богомолів О.В. Переробка сировини тваринного походження: Навчальний посібник / Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування. Х., 2012. – 206 с.
20. A Systematic Review and Meta-Analysis of the Effects of Pasteurization on Milk Vitamins, and Evidence for Raw Milk Consumption and Other Health-Related Outcomes.
Lauren E. Macdonald, James Brett, David Kelton, Shannon E. Majowicz, Kate Snedeker, Jan M. Sargeant.
Journal of Food Protection.
Volume 74, Issue 11, 1 November 2011, Pages 1814-1832
doi: 10.4315/0362-028X.JFP-10-269. Режим доступу:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0362028X22128449>
21. Bovine milk in human nutrition – a review.
Anna Haug, Arne T. Høstmark, Odd M. Harstad.
National Library Of Medicine
Published online 2007 Sep 25.
doi: 10.1186/1476-511X-6-25. Режим доступу:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2039733/>
22. Електродвигун асинхронний АИР80А2У2
Електронний ресурс. Режим доступу:
https://xn--80aqy.com.ua/katalog_elektrodvigatelei_air/air-80a2-1-5-kvt-3000-ob-min/
Електродвигун асинхронний АИР80В2У2
Електронний ресурс. Режим доступу:
https://xn--80aqy.com.ua/katalog_elektrodvigatelei_air/air-80v2-2-2-kvt-3000-ob-min/

23. Вимикач автоматичний GV2ME083.
Електронний ресурс. Режим доступу:
<https://elek.com.ua/uk/catalog/avtomaticheskij-vyklyuchately-zaschity-elektrodivigateley/avtomatichnij-vimikach-z-komb-rozchip-25-4-gv2me083>
24. Вимикач автоматичний GV2ME10.
Електронний ресурс. Режим доступу:
<https://elek.com.ua/uk/catalog/avtomaticheskij-vyklyuchately-zaschity-elektrodivigateley/avtomatichnij-vimikach-4-63-gv2me10>
25. Пускач електромагнітний ПМ 2-25-10 М7 230В.
Електронний ресурс. Режим доступу:
https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/kontaktori_malogabaritni_serii_pm/22570/
26. Перемикач пакетний типу ПКП. Електронний ресурс. Режим доступу:
https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/paketni_peremikachi_serii_pkp_e9/22730/
27. Кнопковий пост РВ0-АL73415. Електронний ресурс. Режим доступу:
https://principal.ua/p507102170-knopka-upravleniya-dlya.html?source=merchant_center&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA0bWvBhBjEiwAtEsoWy_7ewys8DAsBjIHu5rgiXYXJCbypavdu6R2wS43e99d_hnhGEQ8RoCzw0QAvD_BwE
28. Кнопка керування РВ0-АА21. Електронний ресурс. Режим доступу:
<https://principal.ua/p507102148-knopka-upravleniya-dlya.html>
29. Вимикач автоматичний іС60N 2Р 3А В.
Електронний ресурс. Режим доступу:
<https://schneider.kiev.ua/avtomatichnij-vimikach-ic60n-2p-3a-b-schneider-electric-a9f73203>
30. Проводи і кабелі. Електронний ресурс. Режим доступу:
https://elektrika.ua/catalog/kabel_i_provod/
31. Кабель мідний екранований для передачі даних.
Електронний ресурс. Режим доступу:
https://ital-tecno.com.ua/kabely-midnij-dlya-peredachi-danih-v-ekrani-3h025-kv-4024?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=kabelyno-providnikova-produktsiya-ua-no-roas&utm_term=&gclid=EA1aIQobChMIK-WsbnqhAMVeIVoCR1sSgmnEAQYBSABEgluBPD_BwE

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А1

Хімічний склад коров'ячого молока, %

Складові частини	Середнє значення	Min	Max
Вода	87,5	83,7	89,5
Суша речовина	12,5	9,3	17,3
Молочний жир	3,8	2,7	7,0
Білки	3,3	2,0	5,0
у т.ч. казеїн	2,7	1,8	4,5
альбумін	0,4	0,2	0,7
глобулін	0,1	0,05	0,15
інші білки	0,1	0,05	0,2
Небілкові сполуки азоту	0,1	0,02	0,15
Молочний цукор (лактоза)	4,7	4,0	5,3
Мінеральні речовини	0,7	0,5	1,0
у т.ч. кальцій	0,18	0,15	0,21
фосфор	0,20	0,18	0,26
калій	0,17	0,10	0,25
магній	0,02	0,01	0,04
хлор	0,1	0,09	0,12
натрій	0,05	0,04	0,08
залізо, марганець, йод	тисячні частки, мг		
Лимонна кислота	0,15	0,10	0,20
Ліпоїди	0,09	0,05	0,18
Гази	6,5	5,0	8,0

ДОДАТОК А2

Стандарти Європейського Союзу для кількості мікроорганізмів у молоці

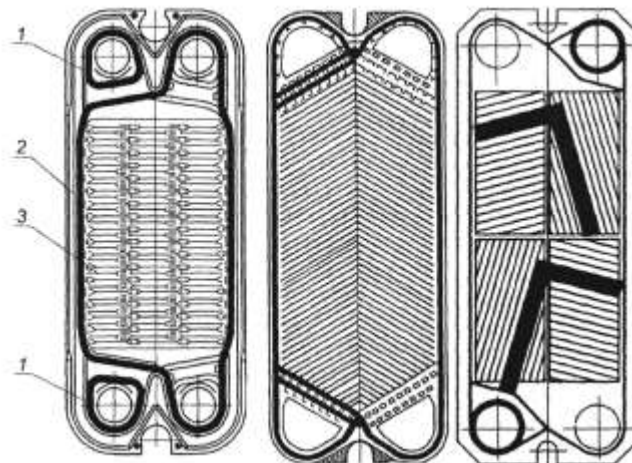
Назва продукту	Допустима кількість мікроорганізмів, КОЕ/мл.*
Сире молоко	100 000
Сире молоко, що зберігається на молокозаводі при температурі < 6°C строком < 36 год.	300 000
Пастеризоване молоко після витримки	50 000
Стерилізоване молоко після охолодження при зберіганні строком 15 діб при 30°C	10

*КОЕ – колонієутворююча одиниця

Іншим кількісним показником якості молока є кількість соматичних клітин, вміст яких допускається у сирому молоці. Кількість соматичних клітин є критерієм встановлення анормального молока. Сире молоко, призначене для поширення у межах ЄС, не повинно містити більш ніж 400000 соматичних клітин на 1 мл., згідно директиві ЄС.

ДОДАТОК Б1

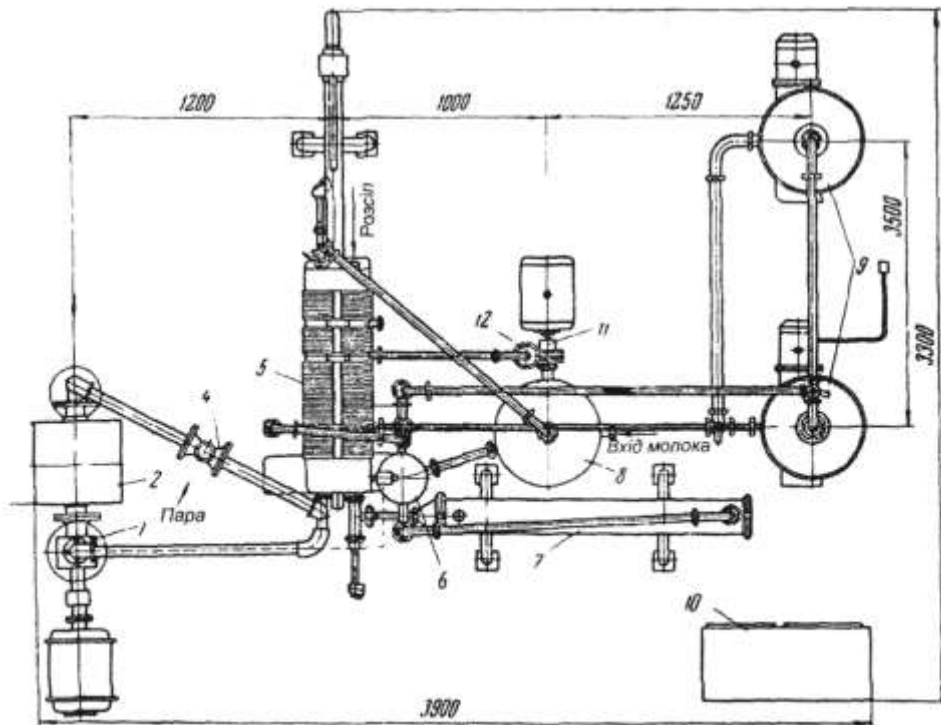
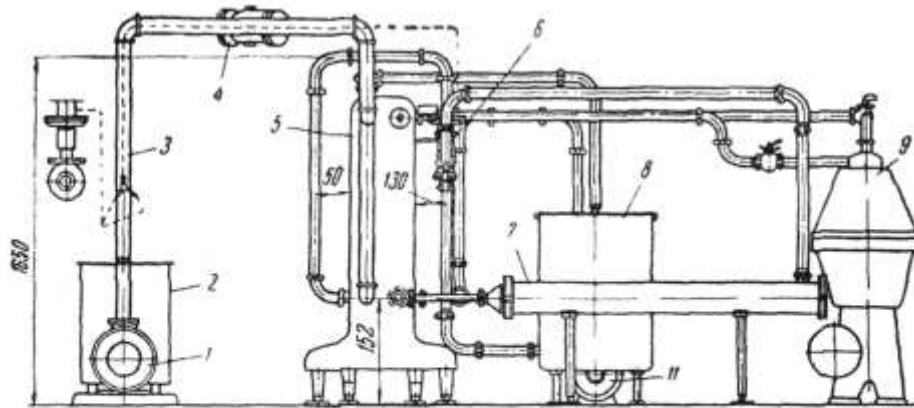
Конструктивне виконання пластин пластинчастих теплообмінників



1 – мала прокладка; 2 – велика прокладка; 3 – пластина

ДОДАТОК Б2

Пластинчаста пастеризаційно-охолоджувальна установка ОП2-У5



1 – відцентровий насос для води; 2 – бойлер; 3 – з'єднувальні трубопроводи; 4 – інжектор; 5 – пластинчастий теплообмінник; 6 – перепускний клапан; 7 – витримувач; 8 – вирівнювальний бачок; 9 – сепаратори-молокоочищувачі; 10 – щит керування; 11 – відцентровий насос для молока; 12 – регулятор рівномірності потоку

Додаток Г1

Технічні характеристики програмно-логічного контролера ОВЕН ПЛК160

Загальні відомості

Габаритні розміри, не більше	(208 × 110 × 73) ± 1 мм
Вага, не більше	0,75 кг
Ступінь захисту корпусу за ГОСТ 14254-96	IP20 зі сторони передньої панелі, IP00 зі сторони клем
Індикація на передній панелі	Світлодіодна
Середнє напрацювання на відмову	100 000 год.
Середній термін служби	10 років

Живлення

Напруга живлення: ПЛК160-24.X-X	з 22 по 28 В постійного струму (номінальна 24 В)
ПЛК160-220.X-X	від 90 до 264 В змінного струму (номінальна 110/220 В) частотою 47-63 Гц (номінальне значення 50 Гц)
Споживана потужність, не більше	40 ВА
Параметри вбудованого джерела живлення	Вихідна напруга 24±3 В, струм споживання не більше 400 мА
Акумулятор резервного живлення	LIR2477 (термін служби залежить від умов експлуатування, але не більше 5 років)

Цифрові (дискретні входи)

Кількість входів	16
із них швидкодіючих	4 (DI1-DI4)
Тип входів за ГОСТ р 52931-2008	1 і 2
Напруга живлення дискретних входів	24 ± 3 В
Максимальний вхідний струм дискретного входу	не більше 7 мА при живленні 24 В, не більше 8,5 мА при живленні 27 В
Сигнал "логічної одиниці", який відповідає стану "Увімкнено", дискретних виходів для постійної напруги (струм у колі)	від 15 до 30 В (струм від 3 до 15 мА)
Сигнал "логічного нуля", який відповідає стану "Вимкнено", дискретних входів для постійної напруги (струм у колі)	від мінус 3-5 В (струм 15 мА)
Мінімальна тривалість імпульсу,	

який сприймається дискретним

входом

– для звичайних входів

1 мс

– для швидкодіючих

0,02 мс

Вхідні пристрої, які підмикаються

– комутаційні пристрої (контакти кнопок, вимикачів, герконів, реле, тощо);

– датчики, які мають на виході транзистор n-p-n або p-n-p– типу з відкритим колектором;

– дискретні сигнали 24 ± 3 В

Гальванічна розв'язка

Групова

Електрична міцність ізоляція між групою дискретних входів та:

– колами живлення

1780 В

– групами кіл дискретних виходів

1780 В

– групами інших кіл

560 В

Дискретні виходи (контакти електромагнітних реле)

Кількість релейних вихідних каналів

12

Гальванічна розв'язка

Індивідуальна (для DO1-DO8),
групова (DO9-DO10),
групова (DO11-DO12)

Електрична міцність ізоляції між групами дискретних виходів

та групами інших кіл

1780 В

Максимальний струм,

який комутований контактами реле, не більше

3 А (для змінної напруги не більше 250 В, частотою 50 Гц та $\cos \varphi > 0,4$ – навантаження для категорії використання АС-15

за ГОСТ р 50030.1-2000)

3 А (для постійної напруги не більше 30 В – навантаження для категорії використання DC-13

за ГОСТ р 50030.1-2000)

Час перемикання контактів реле із стану «лог. 0» у «лог. 1» та назад, не більше

50 мс (виходи DO1-DO12)

Механічний ресурс реле

- не менше 300 000 циклів перемикань при максимальному комутованому навантаженні;

- не менше 500 000 циклів
перемикання при комутації
навантаження менше половини від
максимального

Аналогові входи

Кількість аналогових входів	8
Тип уніфікованих сигналів, що підтримуються	Струм від 0 (4) 20 мА; Струм від 0 до 5 мА; Напруга від 0 до 10 В; 14 біт
АЦП	
Вхідний опір:	
У режимі вимірювання струму	Не більш ніж 170 Ом
У режимі вимірювання напруги	Не менше 200 кОм
Період опитування аналогових входів	10 мс
Межа основної зведеної похибки перетворення	$\pm 0,25\%$
Межа додаткової зведеної похибки перетворення на кожні 10 градусів змінення температури	$\pm 0,05\%$
Гальванічна ізоляція аналогових входів	Групова (8 входів)
Електрична міцність ізоляції між групою аналогових виходів та:	
– колами живлення	1780 В
– групами кіл дискретних виходів	1780 В
– групами інших кіл	560 В

Аналогові виходи

Кількість аналогових виходів	4
Тип вихідного сигналу (залежно від модифікації)	Універсальний, струм від 4 до 20 мА, напруга від 0 до 10 В
Межа основної зведеної похибки	$\pm 0,5\%$
ЦАП	
Розрядність ЦАП	ПЛК160-Х.А – 12 біт ПЛК160-Х.У – 10 біт ПЛК160-Х.И – 10 біт
Мінімальний період оновлення виходів	100 мс
Живлення аналогових виходів	Зовнішнє (24 \pm 3 В)
Гальванічна ізоляція аналогових виходів	Індивідуальна
Електрична міцність ізоляції між групами аналогових виходів	

та групами інших кіл	1780 В
Межа допустимої додаткової зведеної похибки аналогових виходів, яка викликана зміненням температури навколишнього повітря від нормальної на кожні 10°C змінення температури	не більше 0,5 межі допустимої основної зведеної похибки аналогових виходів

Інтерфейси зв'язку

RS-485	
Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Індивідуальна
Електрична міцність ізоляції	1780 В (між інтерфейсом RS-485 та іншими групами кіл)
Ethernet 100 Base-T	
Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Індивідуальна
Електрична міцність ізоляції	1780 В (між інтерфейсом RS-485 та іншими групами кіл)
RS-232 **	
Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Відсутня
RS-232-Debug **	
Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Відсутня
USB-пристрій *	
Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Відсутня

* – точність вказана без застосування програмної корекції.

** – кола зазначених інтерфейсів не мають між собою гальванічної ізоляції.

Електрична міцність ізоляції між групою зазначених кіл:

– колами живлення – 1780 В;

– групами кіл дискретних виходів – 1780 В;

– групами інших кіл – 560 В.

Ресурси та додаткове обладнання

Центральний процесор	RISC-процесор на базі ядра ARM-9, 32 розряду, 180МГц
Об'єм оперативної пам'яті (тип пам'яті)	8 Мб (SDRAM), із них 1 Мб для коду користувальницької програми, 128 кб для змінних користувальницької програми
Об'єм енергонезалежної пам'яті	4 Мб (DataFlash), із них 3 Мб

	доступно для зберігання файлів та архівів
Розмір Retain-пам'яті	не більше 16 кб (за умовчанням встановлено значення 4 кб.)
Час виконання одного циклу програми	– Мінімальний (що не стабілізується) -250 мкс; – встановлений за умовчанням (стабілізований) -1 мс (налаштовується у вікні "Конфігурація ПЛК (PLC Configuration) ПЗ CoDeSys
Додаткове обладнання	– Годинник реального часу з автономним акумуляторним живленням (точність ходу – не більше 3 хв. на добу); – Вбудоване джерело видавання звукового сигналу; – Функціональна кнопка на передній панелі контролера

Додаток Г2

Інтерфейси зв'язку та програмування
контролера ОВЕН ПЛК160

Інтерфейси зв'язку	Протоколи (тип зв'язку та особливості роботи)	Формат передавання даних	Швидкість передавання	Довжина кабелю, м, не більше	Рекомендований тип кабелю
RS-485	Modbus-RTU, ModBus ASCII-DCON, ОВЕН	7 або 8 біт, парність є\немає\не використовується, 1 або 2 стоп біти	2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, 115200 біт/с	1200	КІПЭВ 1×2×0,6 (ТУ 16.К99-008-2001) або аналогічні
RS-232	Modbus-RTU, ModBus ASCII-DCON, ОВЕН	7 або 8 біт, парність є\немає\не використовується, 1 або 2 стоп біти	1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, 115200 біт/с	3	-
RS-232-Debug	ModBus-RTU (тільки slave), ModBus-ASCII, DCON, Gateway (тільки для Debug RS-232), ОВЕН	тільки 8 немає 1	1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, 115200 біт/с	1,8	-
Ethernet 100 Base-T	ModBus-TCP Gateway TCP-IP, UDP-IP, Codesys Network Variables (over UDP)	-	10, 100 Мбіт/с	100	Категорія 5 тип UTP (звиті пари без екрану), STP або FTP (звиті пари в екрані)
USB-Device	CDC	-	115200 біт/с	1,8	Стандартний із з'єднувачами типу А та В

ДОДАТОК ГЗ

Технічні характеристики універсального нормуючого перетворювача НТП-1К

Назва показника	Значення показника
Тип монтажу	Монтаж на DIN-рейку
Номінальна напруга живлення, В	24 В DC
Діапазон допустимих відхилень напруги живлення, В	10...36
Гальванічна розв'язка живлення від входів/виходів, В	2500
Тип підключення живлення	Окремими проводами
Характеристики датчиків і вхідних сигналів	
Тип датчиків, що підключаються	термометр опору, термопара
Схеми підключення термоопорів	2, 3, 4-х провідна
Характеристика вихідних сигналів	
Номінальний діапазон вихідного сигналу перетворювача	4...20, 0...20, 0...5 мА 0...10, 2...10, 0...5 В
Вихідний сигнал при аварії на вході (обрив або к.з. датчика)	(4...20 мА): 21...23 мА (0...20 мА): 21...23 мА (0...5 мА): 5...6 мА (0...10 В): 10...11 В
Функція перетворення вхідних сигналів	Лінійна
Допустимий опір навантаження, Ом	Для мА: не більше 480 Для В: не менше 1000
Час встановлення робочого режиму (попередній прогрів), хв., не більше	15
Час встановлення вихідного сигналу після вимірювання вхідного сигналу, сек., не більше	2
Живлення вихідного сигналу	Від вбудованого джерела
Метрологічні характеристики	
Основна приведена похибка перетворення, не більше: - при роботі з термоопором - при роботі з термопарою	0,25% 0,5%
Додаткова похибка, що викликана зміною температури навколишнього середовища, на кожні 10°C, не більше: - при роботі з термоопором - при роботі з термопарою	0,125% 0,25%
Конструктивні параметри	
Габаритні розміри	(6,1x113x115) ± 1 мм
Ступінь захисту корпусу	IP20
Ступінь захисту клем	IP20
Умови експлуатації	
Діапазон робочих температур, °C	-40...+70
Відносна вологість повітря, %, не більше	95
Атмосферний тиск, кПа	84...106,7
Стійкість до механічного впливу	Група N2 (ГОСТ Р 52931)
Стійкість до електромагнітного впливу	Клас А (ГОСТ Р МЭК 61326-1-2014)

ДОДАТОК Г4

Технічні характеристики модуля аналогового вводу ОВЕН МВ110-24.8А

Параметр	Показник
Живлення	
Напруга живлення: - змінного струму - постійного струму	90...264В (ном. 230В), 47...63Гц 18...30В (ном. 24В)
Споживана потужність, не більше	6 ВА
Інтерфейси	
Інтерфейс зв'язку із Майстром мережі	RS-485
Макс. кількість приладів, одночасно підключених до мережі RS-485	32
Макс. швидкість обміну по інтерфейсу RS-485	115200 біт/с
Протоколи зв'язку для передачі інформації	DCON, Modbus-RTU, Modbus-ASCII, ОВЕН
Входи	
Кількість аналогових каналів вимірювання	8
Тип входу	Універсальний (термоопори, термопари, сигнал постійного струму -50...+50В, уніфіковані сигнали (0...1В, 0...5мА, 0...20мА, 4...20мА), дискретні датчики (сухий контакт)
Розрядність АЦП	16 біт
Час опитування 1 входу, не більше:	
термоопір	0,9
термопара і уніфіковані сигнали постійного струму і напруги	0,6
Основна приведена похибка при вимірюванні:	
термоопір	±0,5%
термопара і уніфіковані сигнали постійного струму і напруги	±0,25%
Загальні параметри	
Габаритні розміри	(63x110x75)±1 мм
Ступінь захисту корпуса:	
з боку передньої панелі	IP20
з боку клемної колодки	IP00
Середнє напрацювання на відмову	60000 год.
Середній строк служби	10 років
Маса, не більше	0,5 кг

ДОДАТОК Д1

Технічні характеристики молочного та водяного насосів пастеризаційно-охолоджувальної установки ОП2-У5

	
<p>Молочний насос Г2-ОПА (36-1Ц6,3-12,5)</p>	<p>Насос подачі теплоносія К 20/18</p>
<p>Насос відцентровий Г2-ОПБ для перекачування харчових рідин із невеликою в'язкістю температурою до 90°C</p>	<p>Насос відцентровий, одноступінчастий, консольного типу, з робочим колесом одностороннього входу, мокрим ротором</p>
<p>Продуктивність (подача) 10 м³/год.; Напір 16 м; Потужність електродвигуна 1,5 кВт; Частота обертання 2900 об/хв.; Маса насосу 31 кг.</p>	<p>Продуктивність (подача) 20 м³/год.; Напір 18 м; Потужність електродвигуна 2,2 кВт; Частота обертання 2900 об/хв.; Маса агрегату 62 кг; Маса насосу 33 кг.</p>