

Міністерство освіти і науки України
Шосткинський інститут Сумського державного університету
Факультет заочної форми навчання
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Худолей Г.М.

«__» _____ 2021р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Система управління технологічною лінією виробництва пастеризованого
питного молока та вершків.

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

Худолей Г. М.

Дипломник:
студент групи СУз-71ш

Ковтун В. Е.

Шостка – 2021.

ВСТУП

В харчовій промисловості технологічні процеси мають ряд ускладнюючих особливостей:

- складність з точки зору фізико-хімічних реакцій;
- великі швидкості протікання;
- високі вимоги до кількісних показників;
- чутливість до зміни технологічних параметрів;
- високі вимоги з точки зору санітарії та гігієни.

Людина, в силу обмежених можливостей організму (вдома, швидкість реакції, велика кількість інформації), не в змозі підтримувати перебіг технологічних процесів на стабільно високому рівні.

Тому в цій галузі промисловості комплексній автоматизації та механізації приділяється велика увага.

Технічні засоби автоматизації мають велику точність вимірювання та/або регулювання, великий час безвідмовної роботи, широкий діапазон вхідних/вихідних величин тощо. Вони універсальні, гнучкі, надійні та зручні.

При цьому звільняється час, який людина вкладає в аналіз роботи автоматизованої системи управління. Таким чином вдосконалюється робота АСУ і підвищуються основні техніко-економічні показники технологічного процесу.

Автоматизовані системи управління підвищують якість перебігу технологічних процесів (а відтак і якість самої продукції), знижують кількість браку, знижують собівартість виробництва, запобігають виникненню аварійних ситуацій, покращують екологію планети тощо.

Сучасна харчова промисловість, з переліком всіх основних завдань, які перед нею стоять, не можлива без використання автоматизованих систем управління, регулювання, контролю захисту та/або блокувань.

1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Молоко, як біологічна рідина, має низку корисних та важливих властивостей: висока харчова цінність, імуно стимулюючі компоненти, бактерії, які покращують травлення тощо. фізико-хімічний склад наступний: вода - 83 .. .89%, сухі речовини (жири, білки, молочний цукор, мінеральні солі та інші ферменти) 11 ... 17%.

Оскільки молоко широко використовується в харчовій промисловості, до нього висувається ряд вимог: санітарно-гігієнічних, санітарно-біологічних, фізико-хімічних, органолептичних.

З точки зору санітарно-гігієнічних вимог молоко має бути:

- натуральним;
- чистим;
- отримано від здорових корів;
- мати солодкуватий запах та смак;
- мати світлий колір (від білого до світло-кремового) без відтінків або плям;
- мати однорідну консистенцію;
- мати щільність від 1030 кг / м³;

Санітарно-гігієнічні вимоги не допускають:

- наявності в молоці осаду;
- різко виражених присмаків кормів;
- запахів хімії або нафтопродуктів;
- сторонніх присмаків;
- тягучої консистенції.

На етапі санітарно-біологічної експертизи відбираються проби на механічну забрудненість, та кількість бактерій. Відповідно до результатів цієї

експертизи, молоко відносять до одного з трьох сортів. Кожен з цих сортів переробляється окремо.

Тільки після успішного проходження всіх вищезгаданих експертиз молоко поступає до першого обов'язкового етапу – пастеризації.

В залежності від подальшого циклу, процес пастеризації молока має багато опцій:

- різні температурні режими обробки;
- з внесенням або без внесення наповнювачів;
- виготовлення незбираного пастеризованого молока;
- виготовлення пастеризованого молока підвищеної жирності;
- виготовлення топленого пастеризованого молока;
- виготовлення знежиреного пастеризованого молока;
- внесення в склад пастеризованого молока вітамінів.

В більшості випадків виготовляється незбиране пастеризоване молоко з масовою часткою жиру не менше 3,2%.

Після процесу пастеризації молоко вдруге підлягає ряду експертиз.

В цілому пастеризоване молоко повинно:

- мати такі самі запах і смак, що і свіже молоко;
- мати однорідну консистенцію, без осаду та білкових згустків;
- мати кислотність не більше 22 °Т;
- мати ступінь чистоти не нижче I групи і температуру не вище 8 °С.

З точки зору технологічного процесу, виробництво пастеризованого молока складається з семи основних стадій:

- прийом молока та оцінка його якості;
- очистка та охолодження сировини;
- нормалізація вміста жиру в молоці;
- підігрів сировини та його гомогенізація;

- пастеризація молока;
- охолодження пастеризованого молока;
- фасування та складування готової продукції.

Технологічна схема виробництва пастеризованого молока наведена на рисунку нижче:

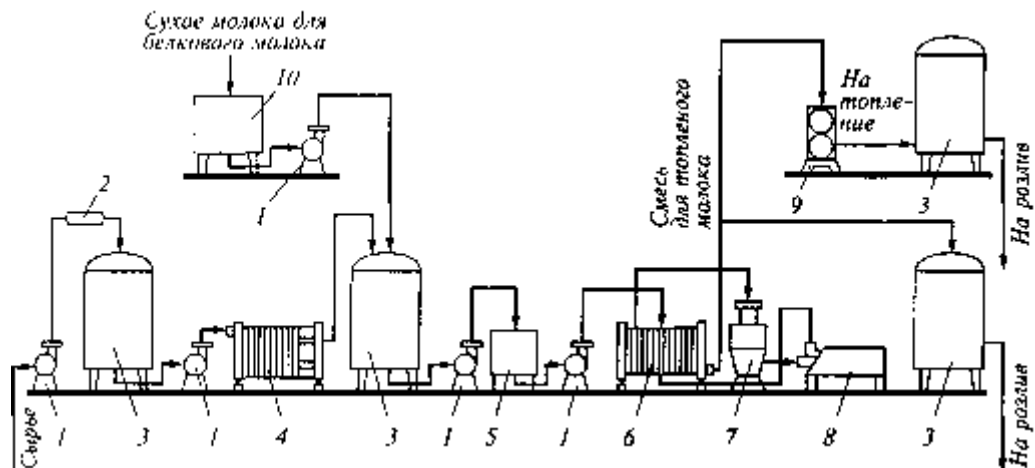


Рисунок 1 – Технологічна схема лінії виробництва пастеризованого молока

Цистерна з молоком під'їжджає до пункту прийому. З неї молоко викачується відцентровим насосом 1 до металевої приймальної ємності 3. Вже час цього етапу відбувається процес фільтрації від механічних домішок та/або бруду. Кількість молока визначається лічильником/витратоміром 2.

Наступним кроком молоко охолоджується до температури 4...6 °С в пластинчатому охолоджувачі 4 і перекачується в наступну приймальну ємність 3. В цій же ємності відбувається процес нормалізації молока.

Якщо привезене молоко має температуру не вище 10 °С, його не охолоджують, а відразу перекачують в наступну приймальну ємність 3.

Процес нормалізації молока може проводитися двома різними способами:

- нормалізація молока шляхом змішування;

- нормалізація молока в потоці.

Нормалізація молока змішуванням характерне для підприємств невеликої потужності або за невеликих обсягів вхідної сировини. В такому випадку цільне молоко знаходиться в приймальній ємності, ретельно перемішується з паралельним додаванням сухого молока (з ємності 10) або вершків.

Для нормалізації молока шляхом змішування його подають в сепаратор-нормалізатор (6 та 7), де відбувається нагрів до температури 40...45 °С та очистка.

Наступний етап – гомогенізація – відбувається в апараті 8 при температурах 45...63 °С і тиску 12.5...15 МПа.

Далі безпосередня пастеризація при 76 °С (± 2 °С) з витримкою 15...20 с і подальшим охолодженням до 4...6 °С.

Якщо є необхідність виготовлення топленого молока, його подають до пастеризатора 9. Там процес здійснюється при температурах 95...99 °С з витримкою 3...4 години. Після чого молоко охолоджують до температури 4...6 °С.

Готовий продукт надходить в проміжні ємності 3. Тут він проходить ряд перевірок якості і розподіляється на фасування.

Зберігати пастеризоване молоко можна при температурах 0...8 °С протягом 36 годин з моменту закінчення технологічного процесу.

2. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Ретельно проаналізувавши перебіг технологічного процесу пастеризації молока, було виділено ряд параметрів, які мають на нього ключовий вплив.

Для зручності інформацію структуровано у табличний вигляд:

Таблиця 1 – Перелік параметрів технологічного процесу

Параметр	Позиція технологічної схеми	функція	Відхилення	Значення	
				Min	Max
Витрати	Сировина, яка поступає до приймальної ємності	Контроль, управління	5%	3 м ³	5 м ³
Рівень	Приймальна ємність	Контроль, сигналізація	5%	0,2 м	2,0 м
Температура	Пластинчастий охолоджувач	Контроль, управління	5%	4 °C	6 °C
Рівень	Ємність зберігання	Контроль, сигналізація	5%	0,2 м	2,0 м
Температура	Зрівняльний бачок	Контроль	5%	8 °C	10 °C
Температура	Пастеризаційно-охолоджуюча установка	Контроль, управління	5%	74 °C	78 °C
Температура	Пастеризаційно-охолоджуюча установка	Контроль, управління	5%	4 °C	6 °C
Температура	Гомогенізатор	Контроль, управління	5%	45 °C	63 °C

Продовження таблиці 1

Температура	Трубчастий пастеризатор	Контроль, управління	5%	95 °С	99 °С
Рівень	Ємність зберігання	Контроль, сигналізація	5%	0,2 м	2,0 м
Рівень	Ємність зберігання	Контроль, сигналізація	5%	0,2 м	2,0 м

3. ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

Взявши до уваги інформацію, наведену в двох попередніх пунктах, зробимо вибір каналів регулювання, контролю та управління.

3.1 Канали контролю і управління

3.1.1 Витрати сировини, що поступає до приймальної ємності

З метою запобігання переповнення приймальної ємності, необхідно контролювати та регулювати витрату сировини. Для цього в приймальній ємності встановлено датчик витрати. Керування відбувається за допомогою вмикання насосу №1.

3.1.2 Рівень у приймальній ємності

З метою запобігання переповнення приймальної ємності, також необхідно контролювати та сигналізувати рівень сировини в ємності. Для цього встановлено датчик рівня.

3.1.3 Температура у пластинчастому охолоджувачі

З метою нормального протікання процесу охолодження молока, необхідно підтримувати відповідну температуру у пластинчастому охолоджувачі. Для підтримки необхідної температури встановлено датчик температури, а на трубопроводі подачі хладагенту встановлено регулюючий клапан.

3.1.4 Рівень у ємності зберігання

З метою запобігання переповнення ємності зберігання, необхідно контролювати та сигналізувати рівень сировини в ній. Для цього встановлено датчик рівня.

3.1.5 Температура у зрівняльному бачку

З метою нормального протікання процесу, необхідно контролювати температуру у зрівняльному бачку. Для контролю за температурою встановлено датчик температури.

3.1.6 Температура у пастеризаційно-охолоджуючій установці

З метою нормального протікання процесу пастеризації, необхідно регулювати температури нагрівання та послідуєчого охолодження молока. Для цього встановлено два датчики температури. Регулювання нагрівом відбувається за допомогою керуванням ТЕНОм. Регулювання охолодженням відбувається за допомогою керуванням клапаном подачі хладагенту.

3.1.7 Температура у гомогенізаторі

З метою нормального протікання процесу гомогенізації молока, необхідно підтримувати відповідну температуру у гомогенізаторі. Для цього встановлений датчик температури. Регулювання нагрівом відбувається за допомогою керуванням ТЕНОм.

3.1.8 Температура у трубчастому пастеризаторі

З метою нормального протікання процесу отримання топленого молока, необхідно підтримувати відповідну температуру у трубчастому пастеризаторі. Для цього встановлений датчик температури. Регулювання нагрівом відбувається за допомогою керуванням ТЕНОм.

3.1.9 Рівень у ємності зберігання

З метою запобігання переповнення ємності зберігання, необхідно контролювати та сигналізувати рівень сировини у ній. Для цього встановлений датчик рівня.

3.1.10 Рівень у ємності зберігання

З метою запобігання переповнення ємності зберігання, необхідно контролювати та сигналізувати рівень у ній. Для цього встановлений датчик рівня.

3.2 Контури управління

Зрозумівши перебіг технологічного процесу, його ключові етапи, та фізичні процеси, розробимо контури контролю, регулювання та управління.

3.2.1 Контур управління температурою

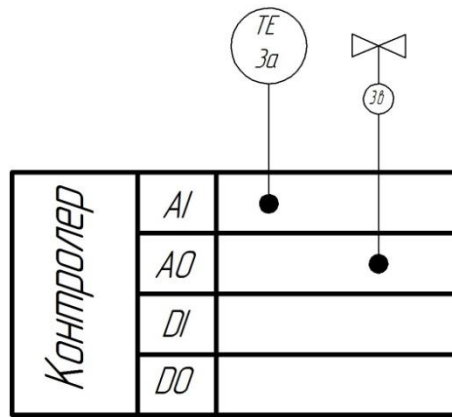


Рисунок 2 – Контур управління температурою

В цьому контурі використовуємо мідний термоперетворювач опору ТС(М)-1187-3 градуїровки 100М та електропривід для клапану Belimo NVF24-MFT-E потужністю 3,5 ВА.

3.2.2 Контур управління насосами

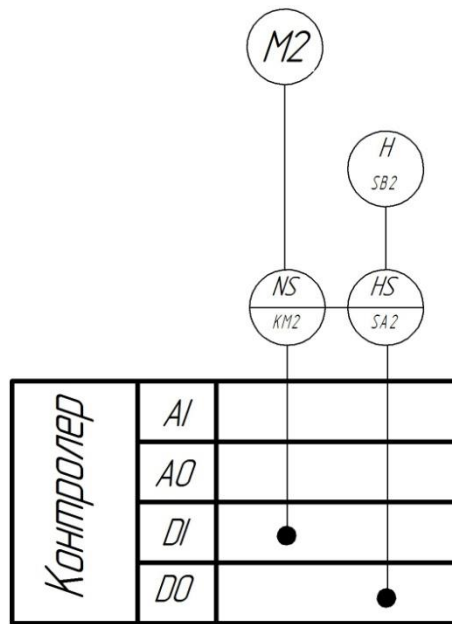


Рисунок 3 – Контур управління насосами

Традиційно в контурах керування насосами використовуються універсальні перемикачі (типу УП-5311), магнітні пускачі, та кнопки. Кількість комутаційних засобів залежить від кількості насосів.

3.2.3 Контур контролю рівня

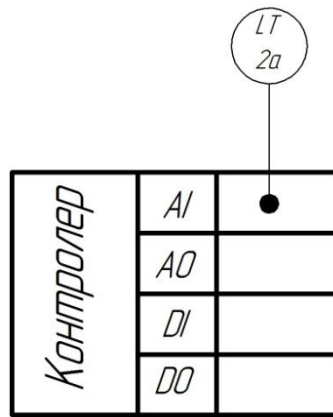


Рисунок 4 – Контур контролю рівня

В цьому контурі використовуємо ємнісний рівнемір Liquicor M FMI 151 з погрузною частиною 1,8 метри.

3.2.4 Контур регулювання витрати

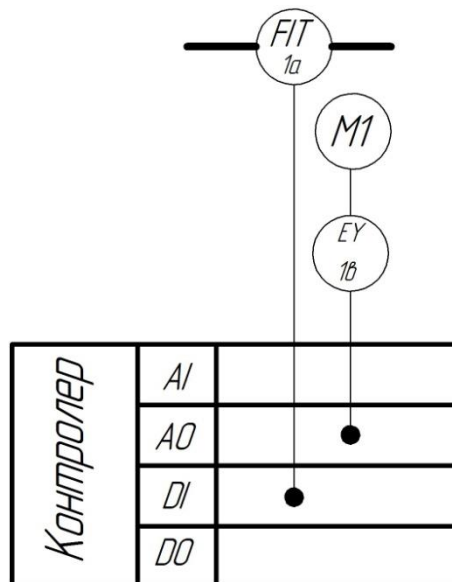


Рисунок 5 – Контур контролю витрати

В цьому контурі використовуємо електромагнітний витратомір ПРОФІ-8022МО з токових виходом 4...20 мА та частотний перетворювач Danfoss VLT AutomationDrive FC 302.

Відповідно до структурної схеми технологічного процесу виготовлення пастеризованого молока та розглянутих контурів контролю та керування,

розроблено функціональну схему автоматизації системи управління процесу виготовлення пастеризованого молока (СУЗ-71Ш.6.015101.03.А2).

4. ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Під час автоматизації процесу виготовлення пастеризованого молока найбільш зручно буде використовувати централізовану систему контролю та управління. Виходячи з цього ми обрали технічні засоби автоматизації, прилади контролю, індикації та реєстрації.

Основними критеріями відбору технічних засобів автоматизації є надійність та уніфікованість

Розрахунок робиться на те, що мінімальна кількість технічних засобів забезпечить нормальний, безаварійний режим роботи обладнання.

4.1 Вибір датчиків

Відповідно до розглянутих контурів регулювання, контролю та сигналізації для їх реалізації знадобляться датчики витрати, рівня та температури.

4.1.1 Вибір датчиків витрати

За фізичними принципами витратоміри базуються на механічній дії, хвильових явищах, мітках, законах електромагнітної індукції.

Практика експлуатації САУ об'єктів харчової промисловості показує стабільно якісні результати використання електромагнітних витратомірів. Тому розглядатимемо витратоміри саме такого типу.

Датчик витрати

Датчик витрати РЕ-0,63 призначений для вимірювання витрати чистих або малозабруднених рідин.

Межі вимірювання 0 – 63 м³/с. Вихідний сигнал 0..10 мГн. Температура вимірюваного середовища -40...+70 °С. Робочий тиск до 64 кгс/см².

Градування ротаметра індивідуальне і робиться на заводі за температури 20 °С ± 5 °С.

- збільшена потужність виходів (в пасивному режимі допускається живлення від зовнішнього джерела напругою постійного струму від 5 В до 26 В, допустиме значення комутованого струму навантаження до 150 мА);

- частота на універсальних виходах - максимально робоча 500Гц, аварійна 700Гц;

- зручна система індикації;

- контроль заповнення трубопроводу;

- розширена самодіагностика приладу.

Виведення інформації:

- на рідкокристалічний символний індикатор;

- у вигляді імпульсів з нормованим вагою або логічних;

- по послідовному інтерфейсу RS-485, HART (на замовлення);

- у вигляді нормованого токового сигналу (на замовлення).



Рисунок 7 – Витратомір електромагнітний ПРОФИ

Беручи до уваги надійність, точність та уніфікованість витратоміра ПРОФИ-8022 МО, обираємо його для використання в нашій САУ.

4.1.2 Вибір датчиків рівня

Аналогічно до температури, існує багато датчиків вимірювання рівня:

- поплавкові;
- ємнісні;
- гідростатичні;
- буйкові;
- звукові;
- електромагнітні.

Безконтактні методи вимірювання використовуються у крайніх випадках і для вирішення наших завдань не підходять.

Розглянемо два найбільш розповсюджені типи датчиків рівня.

Сигналізатор рівня ємнісний РОС101



Рисунок 8 - Сигналізатор рівня ємнісний РОС101

Датчик-реле рівня РОС 101 021І призначений для контролю рівня рідких, твердих (сипких) середовищ в різних технологічних резервуарах і сховищах в стаціонарних. Параметри контролюваного середовища: температура від мінус 100 °С до плюс 100 °С, робочий тиск 2,5 МПа, конструктивне виконання стрижневе ізольоване.

У датчиках-реле за допомогою регулюючих елементів в передавальному перетворювачі забезпечується установка рівня і диференціала спрацьовування в межах робочої зони чутливого елемента, за допомогою зміни положення перемички забезпечується зміна виду сигналізації «наявності» або

«відсутність» контрольованого середовища, за допомогою елементів світлової індикації забезпечується контроль функціонування і індикація досягнення встановленого рівня.

Датчик-реле складається з первинного перетворювача (ПП) з чутливим елементом і передавального перетворювача (ППР).

Таблиця 2 - Основні технічні характеристики датчика-реле рівня РОС-101

Условное обозначение датчика-реле	Конструктивное исполнение чувствительного элемента	Длина погружаемой части чувствительного элемента, L, м	Параметры контролируемой среды					
			Физическое состояние, электрические свойства	Температура, °С	Рабочее избыточное Давление, P _{раб} , МПа, ДФ	Относительная диэлектрическая проницаемость	Динамическая вязкость, Па·с, не более	Размеры гранулы (куска), мм, не более
1	2	3	4	5	6	7	8	9
РОС-101-021 РОС-101-021И РОС-102-121 РОС-102-121И	Стержневой изолированный	0,1; 0,25; 0,6; 1,0; 1,6; 2,0	Жидкая, сыпучая, электропроводная	От -100 до +200	2,5	2,0÷4,0	1,5 (для жидких сред)	5

Ємнісний рівнемір Liquicap M FMI 51

Безперервно вимірює рівень рідких продуктів. Навіть за наявності прошарку емульсії.

Діапазон вимірювання до 6 м. Стрижньові зонди, виконання з неактивною зоною і заземлюючою трубою.

Вихідні сигнали: струмовий 4...20 мА з HART, ЧИМ (FPM). Вибухозахищені виконання Ex ia, Ex d (ia).

Застосовуються також в складі систем оперативного і комерційного обліку для вимірювання рівня підтоварної води.

Застосування в контурах протиаварійного захисту з вимогами до функціональної безпеки по SIL2 відповідно до IEC61508 / IEC61511-1, ГОСТ 61508-х-2007. Сертифікат WHG.



Рисунок 9 – Ємнісний рівнемір **Liquicap M FMI 51**

За рахунок більшої точності, надійності та уніфікації ємнісний датчик рівня **Liquicap M FMI 51** більш підходить для наших вимог.

Переваги Liquicap M FMI 51:

- Вбудований двоступеневий захист від перенапруги і електростатичних розрядів;
- Прилад поставляється з заводу відкаліброваним. Дані калібрування дійсні для будь-яких провідних рідин незалежно від місця установки, форми резервуара, хімічного складу води;
- Перебудова діапазону (шкали) без перекалібрування;
- Стабільні вимірювання при будь-якому шарі емульсії;
- Висока швидкодія;
- Місцеве та/або віддалене налаштування;
- Зонд з нержавіючої сталі повністю покритий фторопластом, що забезпечує високу хімічну стійкість і скорочення відкладення на зонді завдяки низькій адгезії фторопласта;

- Самодіагностика справності блоку електроніки і цілісності покриття зонда.

Беручи до уваги надійність, точність та уніфікованість рівнеміра **Liquidar M FMI 51**, обираємо його для використання в нашій САУ.

4.1.3 Вибір датчиків температури

Засобів вимірювання температури існує багато. Ось деякі з них:

- термометри розширення;
- термометри опору;
- термоелектричні термометри;
- пірометри;
- манометричні термометри.

Термометри розширення та манометричні термометри мають невеликі межі вимірювання. До того ж складно передавати сигнал від місця вимірювання до щита оператора.

Пірометри можуть контролювати температуру, але не дають змоги її регулювати. До того ж пірометри зазвичай застосовуються для вимірювання високих температур.

Тому в якості датчиків температури розглядатимемо термоперетворювачі опору.

Термоперетворювач ТСПУ - 0289

Термоперетворювач опору ТСПУ – 0289 має уніфікований вихідний сигнал, вибухозахищений. Призначений для вимірювання температури шляхом перетворення її в уніфікований вихідний сигнал постійного струму.

Вимірює температуру газоподібних, рідких, твердих і сипучих речовин. Діапазон робочих температур лежить в межах від 0 °С до 200 °С, вихідний сигнал 4-20 мА.

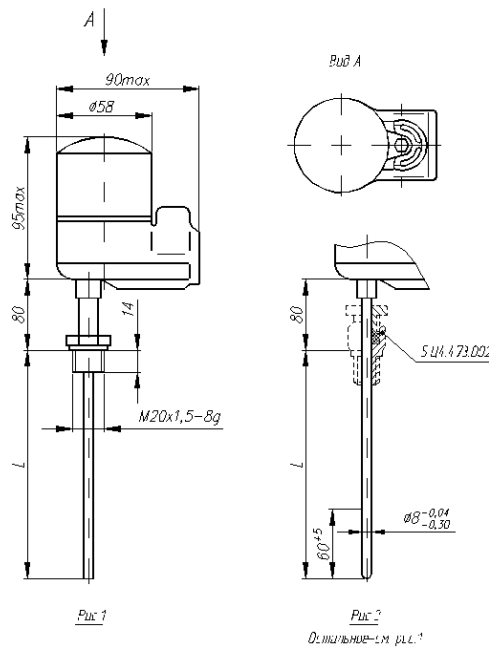


Рисунок 10 – Зовнішній вигляд та основні розміри датчика ТСПУ – 0289
Термоперетворювач опору мідний ТС(М)-1187-3

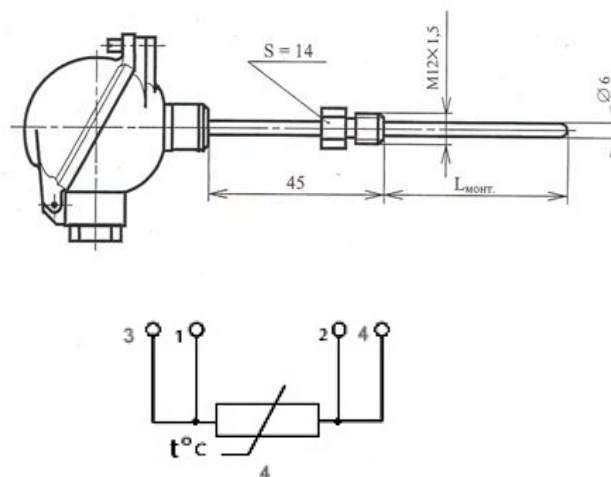


Рисунок 11 – Основні розміри термоперетворювача ТС(М)-1187-3 і
схема з'єднання чутливого елемента

Основні технічні характеристики ТС(М)-1187-3 занесені до таблиці 2:

Таблиця 3 - Основні технічні характеристики ТС(М)-1187-3

Критичний параметр	Значення
Діапазон вимірюваних температур, ° С	0 ... + 200
Номінальна статична характеристика перетворення	50М, 100М

Продовження таблиці 3

Ставлення опору при 100 °С до опору при 0 °С (W100)	1,391; 1,385
Межа основної абсолютної похибки, °С для класу А для класу В	± [0.15 + 0.002 (t)] ± [0.30 + 0.005 (t)]
Група виброустойчивости по ГОСТ 12997	N2
Робочий тиск вимірюваного середовища, МПа модель 1, 2 / модель3 з гільзою	6,3 / 2,0
Вимірювальний струм не більше, мА для 100П, Pt100 / Pt500	3,0 / 1,0
Вид кліматичного виконання по ГОСТ 15150	У3
Ступінь захищеності від зовнішніх впливів	IP54
Міжповірочний інтервал, років	2
Матеріал захисної гільзи	12X18Н10Т

Оскільки ТС(М)-1187-3 більше відповідає параметрам нашого технологічного процесу, будемо використовувати саме його.

4.2 Вибір контролера

Цифрові контролери мають суттєві переваги у порівнянні з аналоговими регуляторами. По-перше, простіше реалізувати алгоритм керування об'єктом управління. По-друге, цифрові контролери можна пристосовувати до характеристик об'єкта управління без зміни конструкції.

Під час вибору контролера для АСУ приймають до уваги багато факторів. До яких також відноситься розповсюдження та використання ПЛК певного виробника на схожих об'єктах управління.

Проаналізувавши схему автоматизації і наявні пропозиції на ринку виробників, було віддано перевагу відомому у світі виробнику сучасних, надійних, високотехнологічних мікропроцесорних контролерів Siemens.

Всі контролери Siemens забезпечують можливість отримання рентабельних рішень для побудови систем автоматичного управління в різних галузях промислового виробництва.

Siemens має можливість застосування структур локального і розподільного введення/виведення; широкі комунікаційні можливості; дуже багато функцій, які підтримуються на рівні операційної системи; зручний в експлуатації і обслуговуванні.

4.2.1 Контролер SIMATIC S7-300 [6]

Це модульний ПЛК, який призначений для побудови систем автоматизації низького та середнього ступенів складності. Модульна конструкція контролера має на увазі робота за умов природного охолодження.

Ефективному застосуванню контролерів цього сімейства сприяє можливість використання декількох типів центральних процесорів різної продуктивності, наявність широкої гама модулів вводу/виводу дискретних і аналогових сигналів, функціональних модулів і комунікаційних процесорів.

4.2.2 Межі застосування SIMATIC S7-300 / S7-300C

Контролери дозволяють автоматизувати такі об'єкти управління як: машини спеціального призначення; текстильні і пакувальні машини; машинобудівельне обладнання; обладнання для виробництва технічних засобів управління і електротехнічної апаратури; системи автоматизованого регулювання та позиціонування; автоматизовані вимірювальні установки та інші.

Центральні процесори S7-300C обладнані набором вбудованих входів/виходів, а також набором вбудованих функцій, що дозволяє застосовувати ці процесори в якості готових блоків керування.

4.2.3 Конструкція SIMATIC S7-300

Як ми вже зазначили вище, контролери SIMATIC S7-300 мають модульну конструкцію. Вони можуть включати до свого складу наступні модулі:

- Модуль центрального процесора (CPU). Залежно від ступеня складності розв'язуваної задачі в контролерах можуть бути використані різні типи центральних процесорів, які відрізняються продуктивністю та об'ємом пам'яті, наявністю або відсутністю вбудованих входів/виходів і спеціальних функцій, кількістю і видом вбудованих комунікаційних інтерфейсів тощо.

- Модулі блоків живлення (PS), які забезпечують можливість живлення контролера від мережі змінного струму напругою 120/230 В або від джерела постійного струму напругою 24/48/60/110 В.

- Сигнальні модулі (SM), призначені для введення-виведення дискретних і аналогових сигналів з різними постійними чи тимчасовими параметрами.

- Комунікаційні процесори (CP) для підключення до мережі PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface або організації зв'язку через PtP (point to point) інтерфейс.

- функціональні модулі (FM), здатні самостійно вирішувати завдання автоматичного регулювання, позиціонування, обробки сигналів. функціональні модулі забезпечені вбудованим мікропроцесором і здатні виконувати покладені на них функції навіть у разі зупинки центрального процесора програмованого контролера.

- Інтерфейсні модулі (IM), які забезпечують можливість підключення до базового блоку (стійка з CPU) стійок введення/виведення.

В цілому контролери SIMATIC S7-300 дозволяють використовувати у своєму складі до 32 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікаційних процесорів, розподілених по 4 монтажним стійкам.

Всі модулі працюють з природним охолодженням. Конструкція контролера відрізняється високою гнучкістю і зручністю обслуговування:

- Всі модулі легко встановлюються на профільну рейку S7-300 і фіксуються в робочому положенні гвинтом.

- Всі модулі (крім модулів блоків живлення) мають вбудовані ділянки внутрішньої шини контролера. Поєднання цих ділянок виконується шинними з'єднувачами, які змонтовані на тильній стороні корпусу. Шинні з'єднувачі входять в комплект поставки всіх модулів за винятком центральних процесорів і блоків живлення.

- Наявність фронтальних з'єднувачів, що дозволяють провидити заміну модулів без демонтажу зовнішніх з'єднань і спрощують виконання операцій підключення зовнішніх ланцюгів модулів.

- Підключення зовнішніх ланцюгів через фронтальні з'єднувачі з контактами під гвинт або контактами-засувками. Механічне кодування фронтальних з'єднувачів, попереджує можливість виникнення помилок при заміні модулів.

- Застосування модульних і гнучких з'єднувачів SIMATIC TOP Connect, що істотно спрощують монтаж шаф управління.

- Єдина для всіх модулів глибина установки. Всі кабелі розташовуються в монтажних каналах модулів і закриваються захисними дверцятами.

- Довільний порядок розміщення модулів в монтажних стійках. фіксовані місця повинні займати тільки блоки живлення, центральні процесори і інтерфейсні модулі.

- Допускається виконувати горизонтальну (вісь монтажною стійки орієнтована в горизонтальній площині) і вертикальну установку стійок контролера. При вертикальній установці погіршуються умови охолодження модулів, тому верхня межа допустимого діапазону робочих температур знижується.

4.2.4 Модифікація контролера SIMATIC S7-300

- Модульний програмований контролер для вирішення задач автоматизації різного рівня складності.

- Широкий спектр модулів для максимальної адаптації до вирішення будь-якої задачі.
- Можливість використання розподілених структур введення-виведення і просте включення в різні типи промислових мереж.
- Зручна для обслуговування конструкція і робота з природнім охолодженням.
- Вільне нарощування можливостей при модернізації системи.
- Висока потужність, завдяки великій кількості вбудованих функцій.

SIMATIC S7-300C

- Випробувана технологія S7-300.
- Наявність вбудованих входів і виходів, можливість використання в якості готової системи автоматизації.
- Підтримка функцій швидкісного рахунку, ПІД-регулювання та позиціонування на рівні операційної системи центрального процесора.

- Розширення модулями S7-300.

4.2.5 Модифікація контролера SIMATIC S7-300F

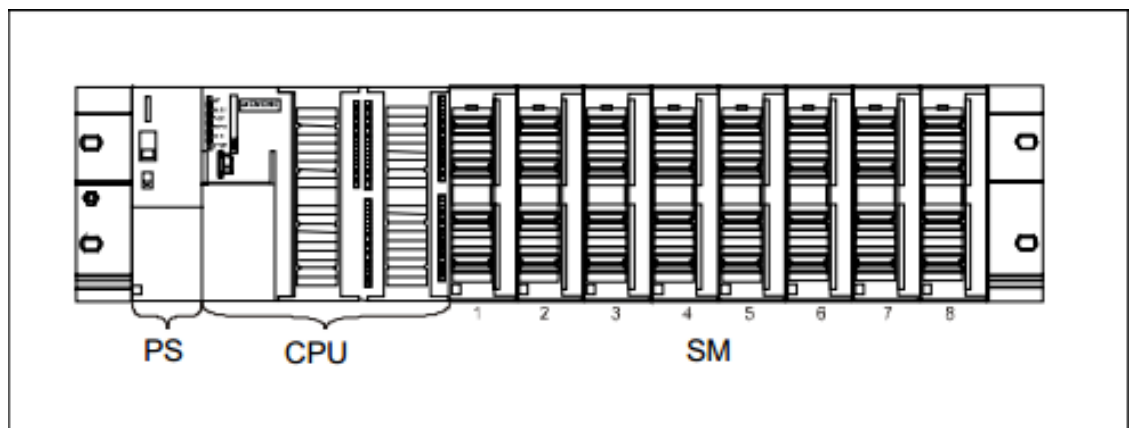
- Програмований контролер для побудови розподілених систем автоматики безпеки.
- CPU 315F-2DP / CPU 317F-2DP з вбудованими функціями автоматики, безпеки і інтерфейсом PROFIBUS DP, підтримуючим профіль PROFI safe.
- Системи розподіленого вводу-виводу на основі станцій ET 200M з F-модулями і станцій ET 200S PROFIsafe.
- Забезпечення рівнів безпеки SIL1 ... SIL2 по IEC / EN 61508, а також категорій 1 ... 4 по EN 954-1.
- Реалізація стандартних функцій управління з функціями автоматики безпеки в одній системі. SIPLUS S7-300
- Програмований контролер для експлуатації у важких промислових умовах.

- Перевірена технологія S7-300.
- Зручна установка, програмування, обслуговування та експлуатації.
- Ідеальне виріб для автомобілебудування, хімічної промисловості, установок для захисту навколишнього середовища, різних виробництв, харчової промисловості.
- Замінює дорогі системи спеціального призначення.
- Допускає тимчасове обмерзання друкованих плат.

4.2.6 функції контролера SIMATIC S7-300

Велика кількість модулів програмованого контролера S7-300 забезпечено набором вбудованих інтелектуальних функцій, що істотно спрощують експлуатацію системи управління:

- Моніторинг збору сигналів (діагностика).
- Моніторинг сигналів апаратних переривань.



PS – Порти зв'язку; CPU – Блок процесора; SM – модулі розширення.

Рисунок 12 – Зображення розташування модулів.

Діагностика використовується для визначення працездатності модулів вводу-виводу дискретних і аналогових сигналів. Для передачі діагностичної інформації застосовуються шифровані і не шифровані повідомлення:

- Шифровані діагностичні повідомлення можуть Пересилатися тільки в тому випадку, якщо це дозволено відповідним параметром налаштування.
- Чи не шифровані діагностичні повідомлення, пересилання яких проводиться незалежно від відповідних параметрів настройки.

4.2.7 Діагностика контролера SIMATIC S7-300

Якщо діагностичне повідомлення готове до передачі (наприклад, повідомлення про відсутність напруги живлення датчика), то модуль генерує діагностичне переривання (для шифрованих повідомлень тільки в разі визначення параметрів

дозволу передачі). Центральний процесор перериває виконання програми користувача або завдань з нижчим пріоритетом і викликає відповідний організаційний блок. Залежно від типу модуля діагностичні повідомлення можуть носити різний характер.

4.2.8 Центральні процесори контролера SIMATIC S7-300

Центральні процесори S7-300 представлені таким модельним рядом:

- CPU 312: центральний процесор для побудови невеликих систем управління, що включають в свій склад до 8 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікацію процесорів.

- CPU 312C: компактний центральний процесор з 10 дискретними входами і 6 дискретними виходами, а також вбудованими функціями швидкісного рахунку (2x10кГц) і вимірювання частоти (2x10кГц) або тривалості періоду. Можливе використовуватися в якості автономного блоку керування.

- CPU 313C: компактний центральний процесор з 24 дискретними входами, 16 дискретними виходами, 4 аналоговими входами для вимірювання уніфікованих сигналів сили струму або напруги, одним аналоговим входом для підключення датчика температури Pt100 і 2 аналоговими виходами. Набір вбудованих функцій включає в свій склад швидкісний рахунок, вимір частоти або тривалості періоду, ПД-регулювання. Може використовуватися в якості автономного блоку керування

- CPU 313C-2 PtP і CPU 313C-2 DP: компактні центральні процесори з 16 дискретними входами, 16 дискретними виходами і вбудованим

інтерфейсом MPI. Можуть використовуватися як автономні блоки керування.

Обидва процесора мають додатковий комунікаційний інтерфейс:

- CPU 313C-2 PtP - послідовний інтерфейс RS 422 /RS 485 для організації PtP

- CPU 313C-2 DP - інтерфейс ведучого / веденого пристрою PROFIBUS DP.

- CPU 314: центральний процесор для побудови систем керування, в яких потрібно швидкісна обробка інформації та підтримка систем локального введення-виведення, включають в свій склад до 32 модулів.

- CPU 314C-2 PtP і CPU 314C-2 DP: компактні центральні процесори з 24 дискретними входами, 16 дискретними виходами, 4 аналоговими входами для вимірювання уніфікованих сигналів сили струму або напруги, одним аналоговим

входом для підключення датчика температури Pt100, 2 аналоговими виходами і вбудованим інтерфейсом MPI. Набір вбудованих функцій включає до свого складу швидкісний рахунок, вимір частоти або тривалості періоду, ПД-регулювання, позиціонування по одній осі. Можуть використовуватися в якості автономних блоків управління. Обидва процесора мають додатковий ком-

мунікаційних інтерфейс:

- CPU 314C-2 PtP - послідовний інтерфейс RS 422 /RS 485 для організації PtP;

- CPU 314C-2 DP - вбудований інтерфейс ведучого /веденого пристрою PROFIBUS DP.

- CPU 315-2 DP: центральний процесор з вбудованими інтерфейсом MPI і ведучого / веденого пристрою PROFIBUS DP для побудови високопродуктивних

систем автоматизації з розвиненою системою локального і розподіленого вводу-виводу.

- CPU 315F-2 DP: центральний процесор для побудови розподілених систем автоматики безпеки. Вбудований інтерфейси MPI і PROFIBUS DP з підтримкою профіля PROFI safe. Операційна система центрального процесора доповнена функціями автоматики безпеки.

- CPU 315-2 PN / DP: центральний процесор з вбудованими інтерфейсами MPI / DP і PROFINET, призначений для використання в модульних системах Component Based Automation і системах розподіленого вводу-виводу на основі Industrial Ethernet.

- CPU 315T-2 DP: центральний процесор з набором вбудованих в операційну систему технологічних функцій, орієнтований на побудову розподілених систем

позиціонування. Вбудовані інтерфейси MPI / DP і PROFIBUS DP з підтримкою профілю PROFIdrive.

- CPU 317-2 DP: центральний процесор з вбудованими інтерфейсу MPI / DP і PROFIBUS DP, великим обсягом пам'яті програм і даних, високою продуктивністю. Призначений для побудови високопродуктивних систем автоматизації з розвиненою системою локального і розподіленого вводу-виводу.

- CPU 317F-2 DP: центральний процесор для побудови розподілених систем автоматики безпеки. Вбудовані інтерфейси MPI / DP і PROFIBUS DP з підтримкою профілю PROFI safe. Операційна система центрального процесора доповнена функціями автоматики безпеки.

- CPU 317-2 PN / DP: центральний процесор з вбудованими інтерфейсами MPI / DP і PROFINET, призначений для використання в модульних системах Component Based Automation і системах розподіленого вводу-виводу на основі Industrial Ethernet.

- CPU 317T-2 DP: центральний процесор з набором вбудованих в операційну систему технологічних функцій, орієнтований на побудову розподілених систем

позиціонування. Вбудовані інтерфейси MPI / DP і PROFIBUS DP з підтримкою профілю PROFIdrive.

- CPU 318-2 DP: потужний центральний процесор з вбудованими інтерфейсами MPI і PROFIBUS DP, призначений для швидкісного виконання програм великого об'єму та обслуговування розвинених систем локального і розподіленого введення-виведення.

- CPU 319-3 PN / DP: потужний центральний процесор з вбудованими інтерфейсами MPI / DP, PROFIBUS DP і PROFINET, призначений для швидкісного виконання програм великого об'єму і обслуговування розвинених систем локального і розподіленого вводу-виводу.

Базуючись на вищенаведеній інформації я вибрав контролер на основі процесора: CPU 314C-2 PtP з послідовним інтерфейсом RS 422 /RS 485 для організації PtP зв'язку, що необхідна для створення робочої мережі.

Прилад має вбудований PtP (Point to Point) зв'язок, що дозволяє створити внутрішню мережу, наприклад: Контролер – панель контролера – Пк – принтер –модем, що забезпечить швидке реагування на зміни в процесі і забезпечить по мірі необхідності ручне керування процесом через процесор.

5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Впровадження системи управління процесу виготовлення пастеризованого молока потребує її попереднього дослідження. З цією метою створюють математичний опис (модель) САУ.

Математична модель являє собою сукупність математичних співвідношень, які однозначно описують розвиток технологічного процесу у часі.

Математичний опис, який описує вхідні та вихідні параметри САУ, називається математичною моделлю «вхід/вихід».

Об'єкт, якому ми знаходимо або створюємо модель, називається об'єктом моделювання.

Математичне моделювання полягає у дослідженні характерних властивостей об'єкта управління. Відповідно сам процес дослідження може бути організований двома способами.

Експериментальний метод дослідження полягає в отриманні перехідних процесів та необхідних даних безпосередньо з реального об'єкта.

Аналітичний метод має на увазі аналіз фізичних законів, за якими протікають технологічні процеси, та використання їхніх математичних описів.

Оскільки у нас не має фізичної можливості доступу до об'єкта управління, будемо використовувати аналітичний метод. А експериментальний метод залишимо для перевірки (в перспективі) правильності та адекватності моделі, яку ми отримали аналітичним шляхом.

5.1 Аналітичний метод отримання математичної моделі об'єкта управління [1]

Технологічний процес пастеризації вторинної молочної сировини зумовлений необхідністю знищити розвиток шкідливої мікрофлори. Окрім того, під час пастеризації так званої підсирної сироватки деактивуються

залишки сичужного ферменту. Тому що наявність сичужного фрагменту небажано в більшості випадків подальшої переробки молочної сироватки.

Пастеризація сироватки проводиться в рекомендованому низькотемпературному режимі (за температур 63 °С ... 66 °С) з витримкою 30 хв [2].

Звичайно, зручно здійснювати пастеризацію в сучасних технологічних установках з автоматичним підтриманням температури нагріву.

Об'єктом моделювання виступає пастеризаційно-охолоджувальна установка, в якій, згідно технологічної карти, відбувається нагрів та охолодження молочної суміші. Значення температур нагріву та охолодження значною мірою впливають на якість отриманої продукції.

Наведемо і розглянемо структурну схему типової пастеризаційно-охолоджувальної установки:

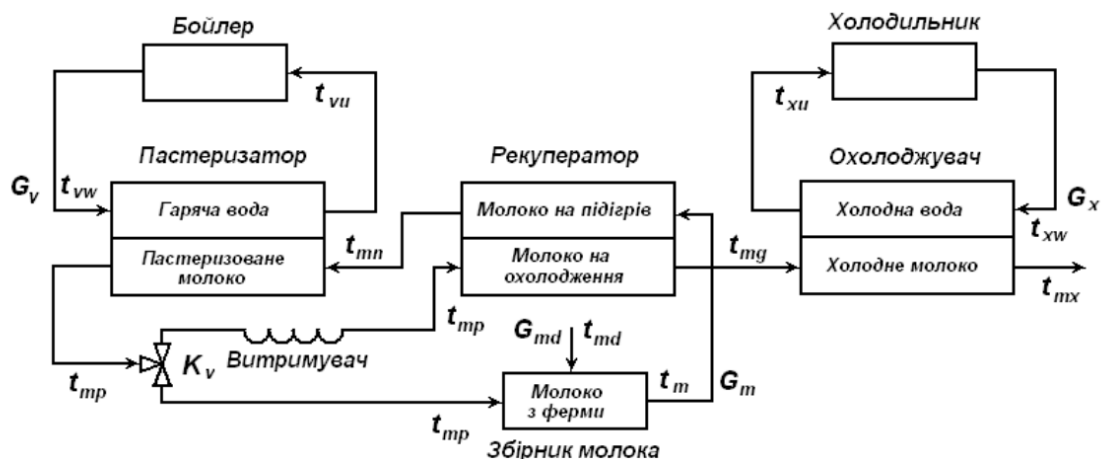


Рисунок 12 – Структурна схема пастеризаційно-охолоджувальної установки

де t_m , t_{mn} , t_{mg} , t_{mx} , t_{mp} – температури молока на входах та виходах відповідного технологічного устаткування, одиниці вимірювання °С;

t_{xw} , t_{xu} – температури холодної води, одиниці вимірювання °С;

t_{vw} , t_{vu} – температури гарячої води, одиниці вимірювання °С;

t_{md} – температура молока з ферми, , одиниці вимірювання °С;

V_{md} , V_m , V_v , V_x – об'ємні витрати молока, одиниці вимірювання м³/с;

V_v , V_x – об'ємні витрати гарячої води, одиниці вимірювання м³/с;

G_{md} , G_m , G_v , G_x – масові витрати молока, одиниці вимірювання кг/с;

G_{md} , G_m , G_v , G_x – масові витрати води, одиниці вимірювання кг/с;
 r_m , r_v – середні значення густини молока і води, кг/м³;
 C_m , C_v – теплоємності молока і води, одиниці вимірювання Дж/(кг °С);
 F_p , F_n , F_x – поверхні теплообміну в пастеризаторі, в рекуператорі і в охолоджувачі, одиниці вимірювання м²;
 V_{vp} , V_{mp} – об'єми води і молока в пастеризаторі, одиниці вимірювання м³;
 V_{n1} , V_{n2} – об'єми холодного і гарячого молока в рекуператорі, одиниці вимірювання м³;
 V_{vx} , V_{mx} – об'єми холодної води і молока в охолоджувачі, одиниці вимірювання м³.

Коливання температури пастеризації t_{mp} молока можуть відбуватися через наступні причини:

- зміна масової витрати молока G_{md} на вході;
- зміна температури молока t_{md} на вході;
- зміна витрат гарячої води t_{vw} з бойлера;
- зміни коефіцієнтів теплопередачі k_p , k_n , k_x через забруднення білком молока поверхонь секцій теплопередачі.

Враховуючи особливості конструкції пастеризатора, приймаємо наступне: $V_{vp} = V_{mp}$, $V_{n1} = V_{n2}$, $V_{vx} = V_{mx}$.

З метою стабілізації значень температури пастеризованого молока t_{mp} , в якості керуючої дії приймаємо витрати енергоресурсів на підігрів гарячої води. Зміни витрат вищезгаданих енергоресурсів призводить до зміни температури води на виході з бойлера t_{vw} та витрати гарячої води G_v .

Процес рекуперації молока полягає в підігріві холодного молока гарячим молоком, з одночасним охолодженням пастеризованого молока і стабілізацією температури молока на виході рекуператора t_{mn} , яке переходить в пастеризатор.

Тут керуючою дією буде зміна коефіцієнту рециркуляції молока K_v , а в якості збурень виступають температура поступаючого з ферми молока t_{md} і витрата молока на пастеризацію G_{md} .

Головним джерелом коливань температури молока на виході з охолоджувача t_{mx} є зміни температури холодної води t_{xw} та її витрат G_x . На це має вплив тиск холодоагенту в холодильнику для води, витрати молока, яке поступає на охолодження. Керуючою дією в цьому контурі стабілізації температури холодного молока візьмемо витрату холодної води на охолодження молока G_x .

Аналізуючи структурну схему пастеризаційно-охолоджувальної установки, розробимо схему інформаційно-матеріальних:

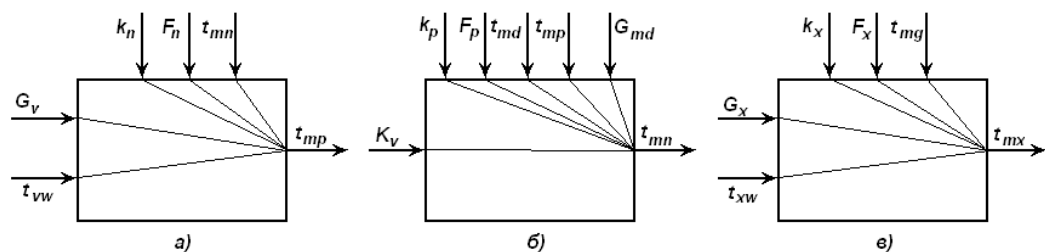


Рисунок 13 – схема руху матеріально інформаційних потоків в пастеризаторі (а), рекуператорі (б) та охолоджувачі (в)

Зліва вказуємо керуючий та/або керуючі параметри, зверху – вхідні параметри і збурення, з правого боку – параметри управління.

Під час створення математичної моделі пастеризатора зробимо та приймемо допущення, що втрати тепла з поверхні об'єкта управління в навколишнє середовище незначні і складають всього 5% у порівнянні з тепловими потоками, які переходять від теплоносія до продукту.

З метою отримання системи балансових рівнянь теплових потоків, побудуємо схему їхнього руху:

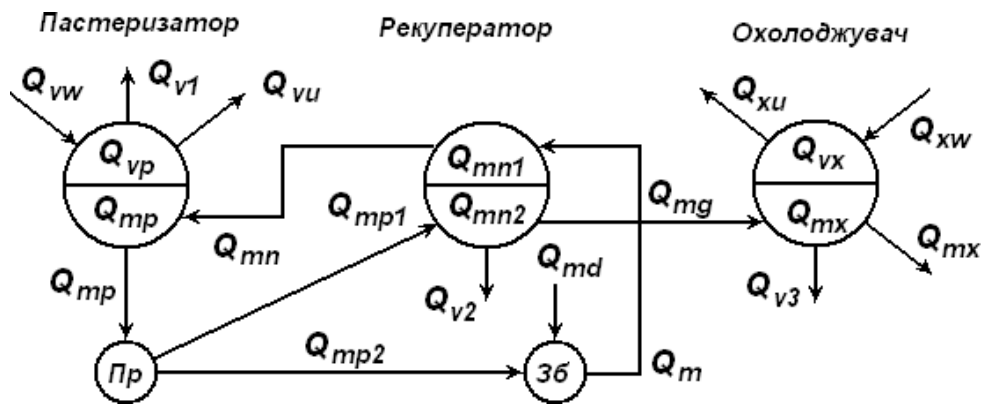


Рисунок 14 – схема руху теплових потоків пастеризаційно-охолоджувальної установки

Q_{vw} і Q_{vu} – теплові потоки гарячої води відділу пастеризації;

Q_{xw} і Q_{xu} – теплові потоки холодної води відділу охолодження молока;

Q_{v1} , Q_{v2} і Q_{v3} – теплові потоки втрат тепла у відділах пастеризації, рекуперації і охолодження. Ці теплові втрати рівні $0,05Q_{p1}$, $0,05Q_{p2}$ і $0,05Q_{p3}$ відповідно. Де Q_{p1} , Q_{p2} , Q_{p3} – це теплові потоки кожного відділу, які передаються через стінки теплообмінників від теплоносія до продукту;

Q_{mp} , Q_{mp1} і Q_{mp2} – теплові потоки пастеризованого молока (загальна частка), на відділ рекуперації і на відділ рециркуляції (для організації процесу підігріву холодного молока);

Q_{md} , Q_m , Q_{mn} , Q_{mg} , Q_{mx} – теплові потоки молока на відділі збірника, рекуператора і охолоджувача.

Схема руху теплових потоків також враховує кількість теплоти гарячої води, пастеризованого молока, гарячого і підігрітого молока в рекуператорі, охолодженого молока і холодної води (Q_{vp} , Q_{mpa} , Q_{mn2} , Q_{mn1} , Q_{mx} , Q_{vx}).

Тепловий потік молока, яке поступає на рециркуляцію, залежить від коефіцієнта рециркуляції K_v .

Використовуючи схему руху теплових потоків та балансові рівняння, запишемо статичні балансові рівняння теплових потоків:

- для секції пастеризації:

$$Q_{vw} - Q_{p1} - Q_{vu} - 0,05Q_{p1} = 0, \quad Q_{mn} + Q_{p1} - Q_{mp} = 0; \quad (1)$$

- для секції рекуперації:

$$Q_{mp1} - Q_{p2} - Q_{mg} - 0,05Q_{p2} = 0, \quad Q_m + Q_{p2} - Q_{mn} = 0; \quad (2)$$

- для секції охолодження:

$$Q_{mg} - Q_{p3} - Q_{mx} - 0,05Q_{p3} = 0, \quad Q_{xw} + Q_{p3} - Q_{xn} = 0. \quad (3)$$

Нагадаємо, що баланс тепла у відділі рециркуляції розраховується з урахуванням коефіцієнту рециркуляції K_v :

$$Q_{mp} - Q_{mp1} - Q_{mp2} = 0 \quad \text{де} \quad Q_{mp2} = K_v Q_{mp}, \quad Q_{mp1} = (1 - K_v) Q_{mp}, \quad (4)$$

Баланс теплових потоків в збірнику молока має наступний вигляд:

$$Q_{mp2} + Q_{md} - Q_m = 0$$

Значення потоків тепла для відділів пастеризації Q_{vw} , Q_{vu} , Q_{mn} , Q_{mp} представимо у вигляді добутку об'ємної витрати, густини, теплоємності і температури:

$$Q_{p1} = k_p \cdot F_p \cdot \Delta t_p, \quad \text{де} \quad \Delta t_p = 0.5 t_{vw} + t_{vu} - t_{mn} - t_{mp}. \quad (5)$$

В теплообміннику з протилежним рухом потоків середня різниця температур між водою і молоком буде розраховуватися як середньо-логіфімічна. Тут велика і мала різниці температур в пастеризаторі t_{pb} і t_{pm} розраховуються на вході та виході теплоносія (в нашому випадку гарячої води):

$$\Delta t_{pb} = t_{vu} - t_{mp}, \quad \Delta t_{pm} = t_{vw} - t_{mn}. \quad (6)$$

Для відділу рекуперації:

$$Q_m = V_{md} \cdot r_m \cdot C_m \cdot t_{md} + K_v \cdot Q_{mp}; \quad Q_{mg} = 1 - K_v \cdot V_m \cdot r_m \cdot C_m \cdot t_{mg}; \quad (7)$$

$$Q_{p2} = k_n \cdot F_n \cdot \Delta t_n, \quad \text{де} \quad \Delta t_n = 0.5 t_{mp} + t_{mg} - t_{mn} - t_m. \quad (8)$$

Для відділу охолодження:

$$Q_{xw} = V_x \cdot r_v \cdot C_v \cdot t_{xw}; \quad Q_{xu} = V_x \cdot r_v \cdot C_v \cdot t_{xu}; \quad (9)$$

$$Q_{mx} = 1 - K_v \cdot V_m \cdot r_m \cdot C_m \cdot t_{mx}; \quad (10)$$

$$Q_{p3} = k_x \cdot F_x \cdot \Delta t_x, \quad \text{де} \quad \Delta t_x = 0.5 t_{mg} + t_{mx} - t_{xw} - t_{xu} \quad (11)$$

Запишемо баланс мас збірника холодного молока, взявши до уваги, що $G = V \cdot r$:

$$G_m = G_{mpl} + G_{md} = K_v G_m + G_{md} \quad \text{звідки} \quad G_m = \frac{G_{md}}{1 - K_v}. \quad (12)$$

Баланс за теплом буде таким:

$$G_m \cdot C_m \cdot t_m = G_{mpl} \cdot C_m \cdot t_{mp} + G_{md} \cdot C_m \cdot t_{md}. \quad (13)$$

Вважаючи теплоємність молока незмінною величиною, отримаємо наступне:

$$t_m = (1 - K_v) t_{md} + K_v \cdot t_{mp}. \quad (14)$$

Кількість тепла окремих зон відділу пастеризатора Q_{vp} , Q_{mpa} , Q_{mn2} , Q_{mn1} , Q_{vk} , Q_{mk} розраховуються як добуток обсягу секції, густини речовини, теплоємності і середнього арифметичного значень температури між потоками речовини.

Підставимо рівняння окремих теплових потоків в балансові рівняння. Далі диференціюємо отримані рівняння за вихідними температурами речовин кожного відділу пастеризатора.

Таким чином ми отримаємо систему диференціальних рівнянь (шести рівнянь, якщо бути точним), які повною мірою описують динаміку теплообміну:

- у відділі пастеризації

$$0.5 V_{vp} r_v C_v \frac{dt_{vu}}{d\tau} = G_v C_v (t_{vw} - t_{vu}) - (1.05/2) k_p F_p (t_{vw} + t_{vu} - t_{mn} - t_{mp}); \quad (15)$$

$$0.5 V_{mp} r_m C_m \frac{dt_{mp}}{d\tau} = G_m C_m (t_{mn} - t_{mp}) + 0.5 k_p F_p (t_{vw} + t_{vu} - t_{mn} - t_{mp}); \quad (16)$$

- у відділі рекуперації

$$0.5V_{n2}r_m C_m \frac{dt_{mg}}{d\tau} = 1 - K_v \bar{G}_m C_m \bar{t}_{mp} - t_{mg} - (1.05/2)k_n F_n \bar{t}_{mp} + t_{mg} - t_m - t_{mn}; \quad (17)$$

$$0.5V_{n1}r_m C_m \frac{dt_{mn}}{d\tau} = C_m K_v \bar{G}_m \bar{t}_{mp} + G_{md} \bar{t}_{md} - G_m \bar{t}_{mn} + 0.5k_n F_n \bar{t}_{mp} + t_{mg} - t_m - t_{mn}; \quad (18)$$

- у відділі охолодження

$$0.5V_{mx}r_m C_m \frac{dt_{mx}}{d\tau} = 1 - K_v \bar{G}_m C_m \bar{t}_{mg} - t_{mx} - (1.05/2)k_x F_x \bar{t}_{mg} + t_{mx} - t_{xv} - t_{xu}; \quad (19)$$

$$0.5V_{vx}r_v C_v \frac{dt_{xu}}{d\tau} = G_x C_v \bar{t}_{xw} - t_{xu} + 0.5k_x F_x \bar{t}_{mg} + t_{mx} - t_{xw} - t_{xu}. \quad (20)$$

Результатом проведення експериментальних та теоретичних досліджень є висновок, що динамічну характеристику відділу пастеризації за каналом «витрата гарячої води – температура пастеризованого молока» можна виразити передаточною функцією:

$$W(p) = \frac{K_n}{T \cdot p + 1} e^{-p\tau_3}, \quad (21)$$

де K_n – коефіцієнт передачі об'єкта, °C/(кг/с);

T – постійна часу об'єкта, с;

τ_3 – час запізнення, с.

Для того, щоб знайти параметри передаточної функції, скористаємося другим рівнянням із системи рівнянь (рівняння, яке стосується зміни температури пастеризованого молока в часі t_{mp} .)

Перетворимо вищезгадане рівняння у вигляді:

$$\frac{0.5V_{mp}r_m C_m}{G_m C_m + 0.5k_p F_p} \frac{dt_{mp}}{d\tau} + t_{mp} = \frac{G_m C_m \bar{t}_{mn} + 0.5k_p F_p \bar{t}_{vw} + t_{vu} - t_{mn}}{G_m C_m + 0.5k_p F_p}. \quad (22)$$

З цього рівняння виведемо постійну часу об'єкту управління за каналом температури пастеризованого молока:

$$T = \frac{0.5V_{mp}r_m C_m}{G_m C_m + 0.5k_p F_p}. \quad (23)$$

Температура пастеризованого молока стабілізується після внесення збурення на наступному значенні:

$$t_{cm} = \frac{G_m C_m t_{mn} + 0.5k_p F_p t_{vw} + t_{vu} - t_{mn}}{G_m C_m + 0.5k_p F_p}. \quad (24)$$

Використаємо баланс тепла в статичному режимі (тобто не враховуючи втрати тепла відділу пастеризації в навколишнє середовище) і розрахуємо коефіцієнт передачі об'єкту:

$$G_m \cdot C_m \cdot (1 - \varepsilon) \cdot (t_{mp} - t_{mn}) = G_v \cdot C_v \cdot (t_{vw} - t_{vu}), \quad (25)$$

Взявши за приклад вигляд статичної характеристики нагрівальної частини пристрою, перетворимо рівняння:

$$t_{mp} = t_{mn} + \frac{C_v \cdot (t_{vw} - t_{vu})}{G_m \cdot C_m \cdot (1 - \varepsilon)} \cdot G_v. \quad (26)$$

Отже коефіцієнт передачі об'єкту управління дорівнює:

$$K_n = \frac{C_v \cdot (t_{vw} - t_{vu})}{G_m \cdot C_m \cdot (1 - \varepsilon)}. \quad (27)$$

Транспортне запізнення розраховується, як час, необхідний для проходження гарячої води від регулюючого органу до відділу пастеризації:

$$\tau_z = \frac{V_{tr}}{2 \cdot V_v}, \quad (28)$$

де V_{tr} – об'єм труби, с;

Коефіцієнт теплопередачі відділу пастеризації розраховується за формулою:

$$k_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (29)$$

де δ_c – товщина стінки пастеризатора, м;

λ_c – теплопровідність металу стінки пастеризатора, Вт/м град;

$\alpha_1 \alpha_2$ – коефіцієнти тепловіддачі від гарячої води до стінки і від стінки до молока, Вт/м² град.

Знаходження масових витрат потоків молока по відділам пастеризатора вимагає значень густини молока. Яка, в свою чергу, залежить від температури.

Необхідні дані густини молока виписуємо з довідників [1, 2].

Таблиця 4 - Залежність густини молока від температури

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

Для проведення розрахунків будемо використовувати програмне середовище MathCad.

Використавши метод найменших квадратів, отримали (похибка δ_{rm} склала 0.177 кг/м³) рівняння залежності густини молока від його температури:

$$\rho_m = 1034.83 - 0.24004 \cdot t - 2.4935 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

Наступним кроком розрахуємо коефіцієнти передаточної функції пастеризатора. Для цього будемо використовувати програмне середовище MathCad і відповідні рівняння математичної моделі. Результати розрахунків для зручності представлення наведемо в таблиці:

Таблиця 5 - Результати розрахунків математичної моделі

Витрати молока, м ³ /год	1	м ³ /ГОД
Витрати гарячої води, м ³ /год	3	м ³ /ГОД
Ширина проточної частини пластин, м	0,45	м
Довжина проточної частини пластин, м	0,45	м
Відстань між пластинами, м	0,004	м
Еквівалентний діаметр каналу, м ³	0,00793	м ³
Об'єм молока і води в пастеризаторі, м ³	0,15	м ³
Поверхня теплопередачі в пастеризаторі, м ²	2,24	м ²
Товщина пластин, м	0,001	м

Продовження таблиці 5

Температура молока на вході пастеризатора	60	°C
Температура молока на виході пастеризатора	76	°C
Температура води на вході пастеризатора	95	°C
Температура води на виході пастеризатора	80	°C
Критерій Прандля	3,86	
Критерій Рейнольдса для води	10640,788	
Критерій Рейнольдса для молока	2224,8	
Критерій Нуссельта для води	94,8	
Критерій Нуссельта для молока	17,87	
Коефіцієнт теплопровідності	1067,16	

Повертаючись до передатної функції пастеризатора за каналом регулювання температури молока, запишемо її:

$$W(p) = \frac{374.8}{159 \cdot p + 1} \cdot e^{-6.8p} \quad (30)$$

Використаємо програмний математичний пакет MatLab і проведемо моделювання отриманої передатної функції:

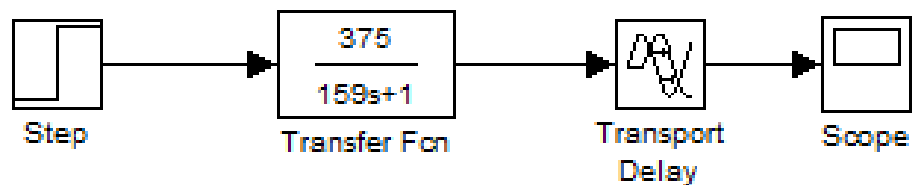


Рисунок 15 – Модель об'єкта керування

Це, у свою чергу, дозволяє нам отримати часову характеристику нашого об'єкта управління:

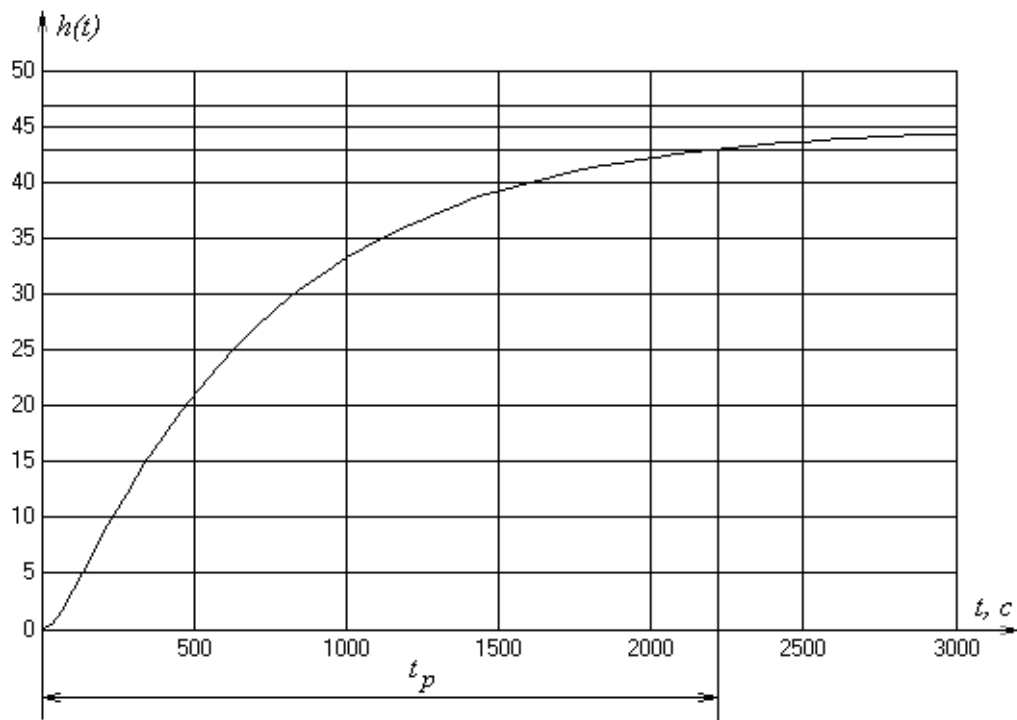


Рисунок 16 – Перехідна характеристика об'єкта управління

З отриманої характеристики бачимо, що час перехідного процесу $t_p = 2220 \text{ c} = 37 \text{ хв}$.

5.2 Вибір і розрахунок параметрів регулятора [6]

На роль регулятора, який буде використовуватися в САУ, претендує три варіанти: П, ПІ та ПІД регулятори.

Технологічний процес пастеризації молока характеризується великою кількістю завад. До яких ПІД регулятор більш чутливий, ніж регулятори П та ПІ типів. І він складніший в реалізації. Тому було прийнято рішення відмовитися від його використання.

Натомість розрахуємо параметри П та ПІ регуляторів.

5.2.1 Розрахунок налаштувань П регулятора

Передавальна функція П регулятора має вигляд $W_n(p) = k_n$. k_n – це коефіцієнт підсилення регулятора. Він же є його основним параметром налаштування.

Розрахунок П регулятора будемо проводити методом Ротача В. Я.. Він передбачає визначення оптимальних параметрів регулятора в залежності від показника коливальності.

Замкнена система керування матиме запас стійкості в межі зони не нижче заданого показника коливальності $M \leq M_3$.

Прийнято вважати, що САР має необхідний запас стійкості, якщо її показник коливальності знаходиться в діапазоні $M = 1.3 \dots 2.3$. Це, в свою чергу, відповідає ступеню згасання $\psi = 0.95 \dots 0.75$.

Враховуючи вищесказане, обираємо ступінь коливальності $M = 1.55$.

Частотна передаточна функція об'єкта керування П регулятора матиме вигляд:

$$W_{об}(\omega) = \frac{1}{3.97 \cdot 10^4 \cdot (j \cdot \omega)^2 + 761 \cdot j \cdot \omega + 1}$$

Використаємо програмний математичний пакет Mathcad і побудуємо амплітудно-фазово-частотну характеристику розімкненої системи $W(\omega) = W_n(\omega) \cdot W_{об}(\omega)$.

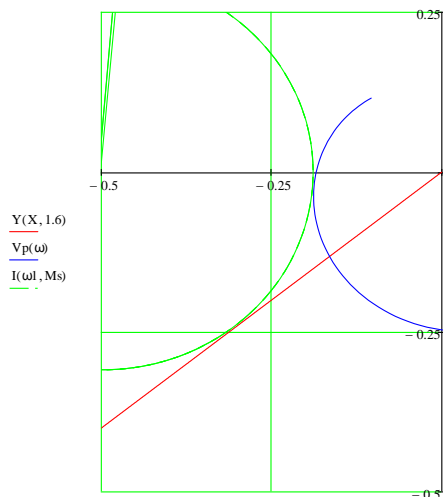


Рисунок 17 – АфЧХ розімкненої системи управління і заборонена область

В процесі побудови АФЧХ знаходимо такий коефіцієнт підсилення k_p , за якого ця характеристика торкатиметься окружності (для заданого значення коливальності).

Визначимо коефіцієнт підсилення П регулятора:

$$k_p = \frac{M}{M^2 - 1} \cdot \frac{1}{r_{окр}}$$

де $r_{окр}$ – радіус кола забороненої області.

$$k_p = 27.585$$

Підставивши оптимальні налаштування регулятора, отримаємо графік перехідної характеристики $h(t)$ замкненої системи:

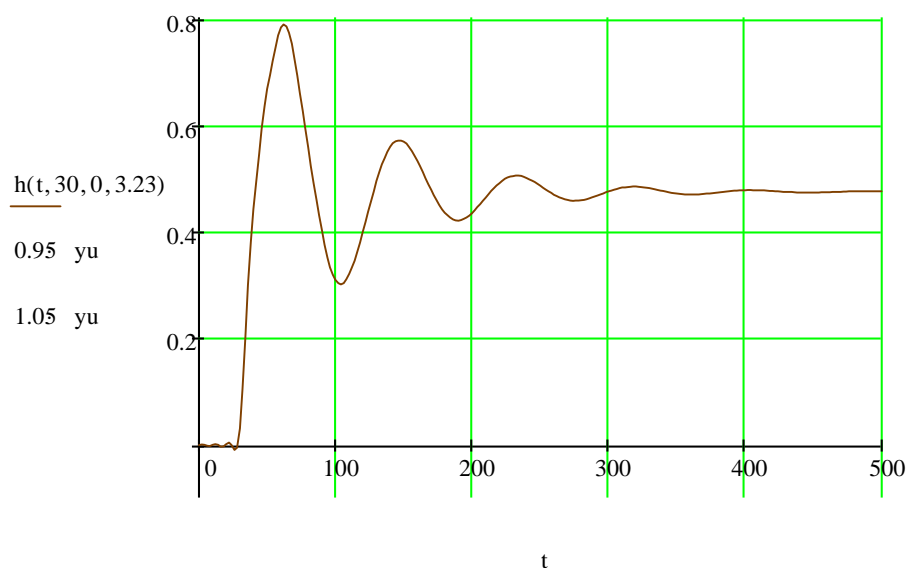


Рисунок 18 – Перехідна характеристика замкненої системи керування

при $k_n = 27.585$

З отриманого графіка визначаємо основні показники якості:

- Перерегулювання – 70%;
- Час перехідного процесу – 244 с;
- Коливальність – 0,67.

5.2.2 Розрахунок налаштувань ПІ регулятора

Передаточна функція ПІ регулятора має наступний вигляд:

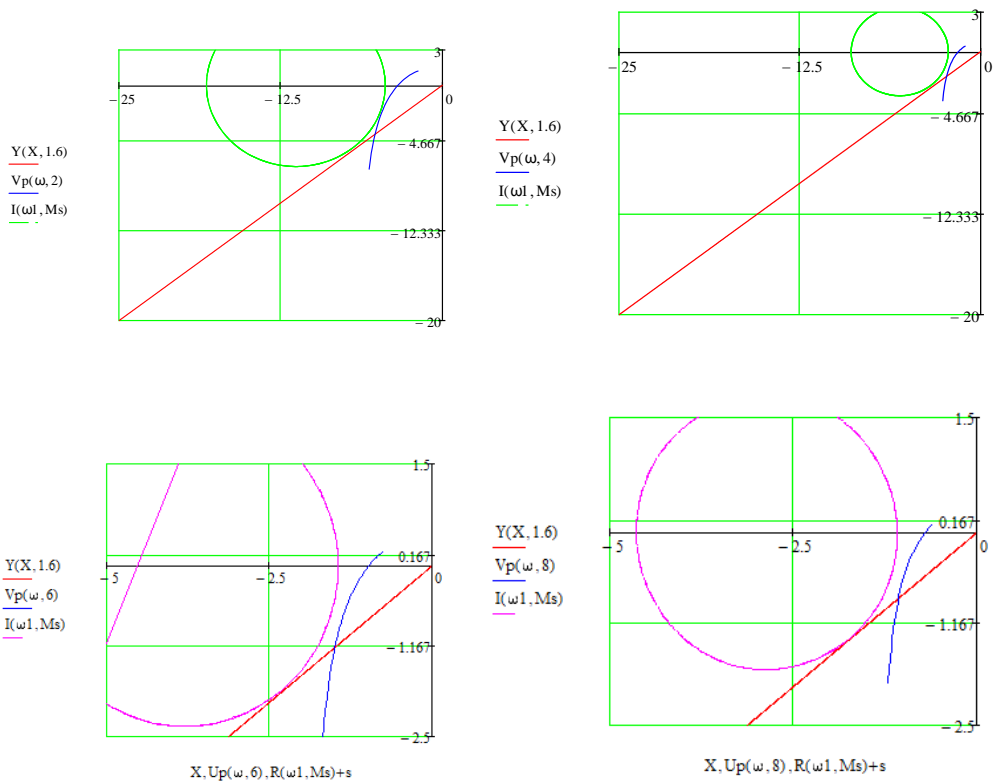
$$W_p(p) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u p} \right)$$

де k_p – коефіцієнт передачі (або підсилення) регулятора, T_u – час іздррома.

Частотна передавальна функція ПІ регулятора виглядає так:

$$W_p(\omega) = k_p + \frac{1}{T_u \cdot j \cdot \omega}$$

Тепер, використовуючи програмний математичний пакет Mathcad, побудуємо сімейство АфЧХ розімкненої системи $W(\omega) = W_p(\omega) \cdot W_{об}(\omega)$ для різних фіксованих значень часу іздррома T_u .



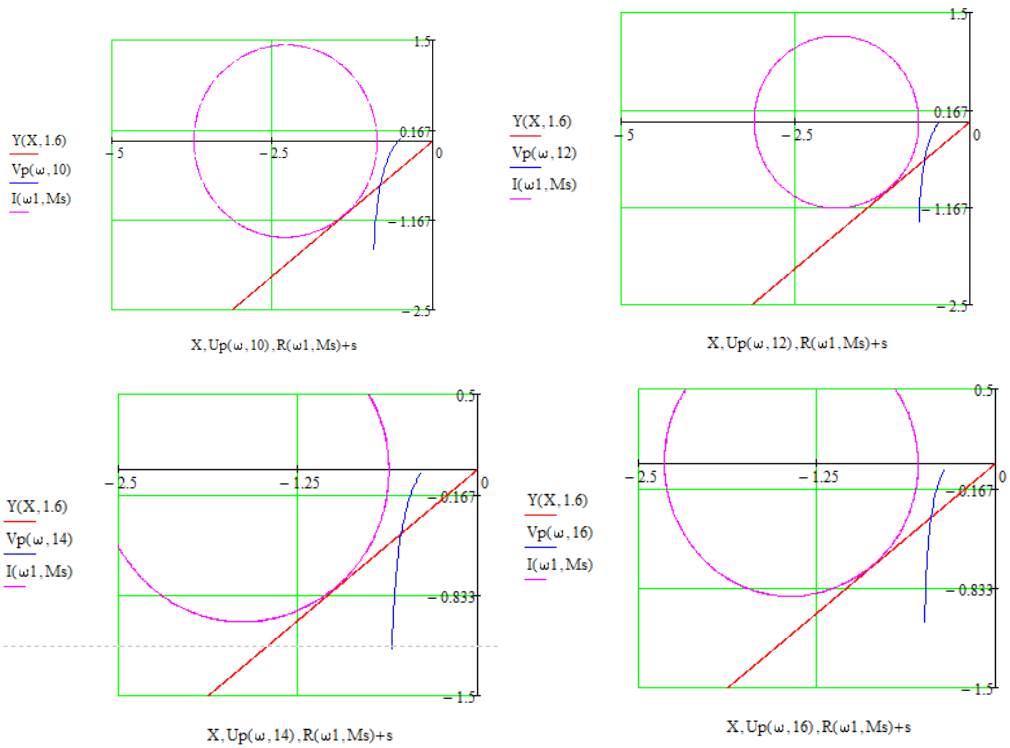


Рисунок 19 – Сімейство АфЧХ розімкнутої системи

Масштабуємо і знаходимо такі значення коефіцієнта підсилення k_p , за яких ці характеристики будуть торкатися кола (для заданого значення коливальності).

Значення коефіцієнта підсилення ПІ регулятора визначається для кожного значення T_u .

Як результат отримані наступні пари налаштувань:

Data :=	2	0.145
	4	0.298
	6	0.425
	8	0.562
	10	0.701
	12	0.848
	14	0.99
	16	1.125
	18	0
	20	0

На основі отриманих результатів побудуємо відповідний графік залежності:

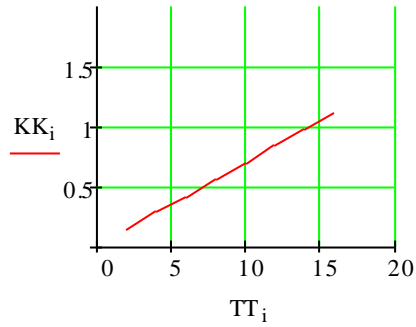


Рисунок 20 – Межа області заданого значення коливальності

Далі, підставляючи отримані пари значень, будемо графіки перехідних характеристик замкненої системи. І таким чином визначаємо, яка пара налаштувань дає найкращі показники якості:

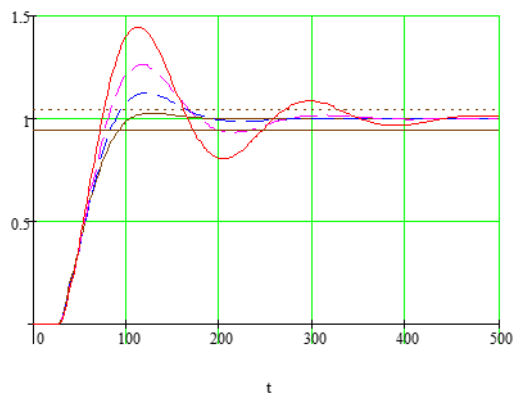


Рисунок 21– Перехідні характеристики САУ для заданої коливальності при різних значеннях часу ізодрома

Найкращі показники якості забезпечила пара налаштувань регулятора $k_p = 7,39$ $T_u = 43$ с .

Графік відповідної перехідної характеристики замкненої системи наведено нижче:

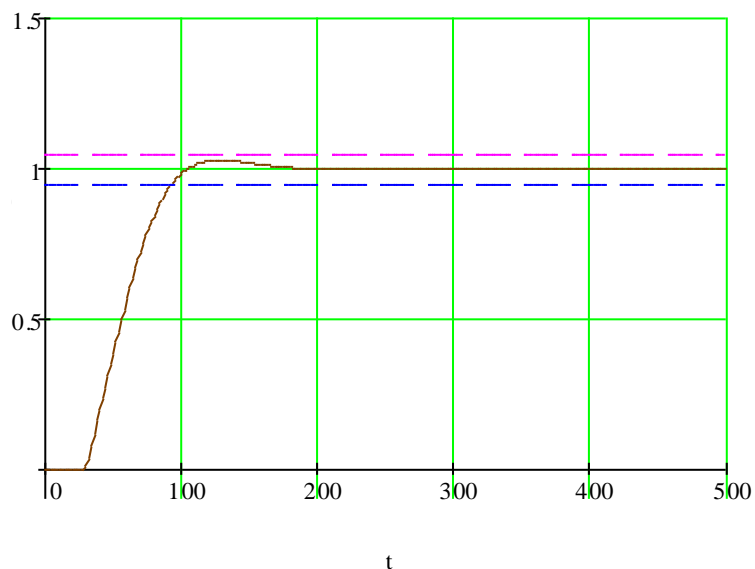


Рисунок 22 – Перехідна характеристика замкненої системи при

$$k_p = 7,39 T_u = 43 \text{ c}$$

Прямі показники якості, відповідно до отриманого графіку, такі:

- Перерегулювання – 5%;
- Час перехідного процесу – 189 с;

Порівняння отриманих результатів показує, що П регулятор дає високі коливальність і перерегулювання. Що, в свою чергу, не задовольняє заданим умовам.

ПІ регулятор надає аперіодичний перехідний процес і невелике перерегулювання. Тому з метою управління температурою в пастеризаторі будемо використовувати саме ПІ регулятор.

6. РОЗРОБКА АСУ ТП ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Для системи управління пастеризацією молока характерна надзвичайно нелінійна динамічна поведінка. При цьому вона має багату варіативність, а зв'язок між окремими блоками процесу значно ускладнює цю процедуру.

Все це звичайно впливає на вибір ПЛК.

На середньому рівні АСУ ТП в якості керуючого контролера було обрано контролер Siemens Simatic S7-300.

Під час проектування АСУ ТП було охоплено процеси в нагрівальній та охолоджуючій частині, ланцюг реле та частину контролера. Структурна схема зображена нижче:

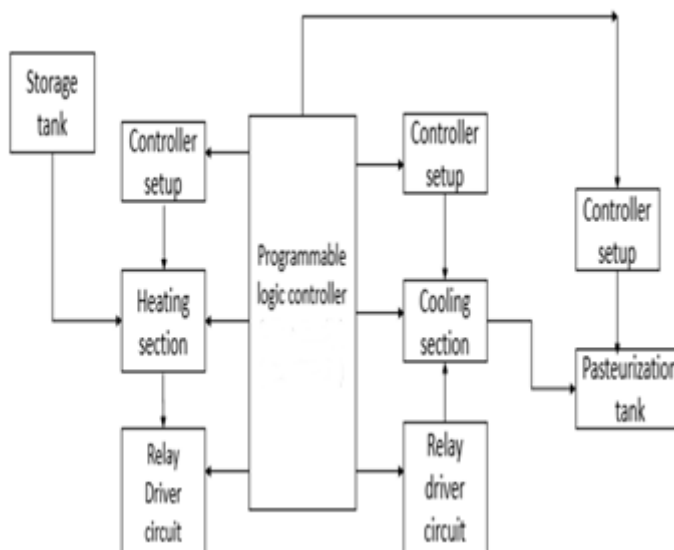


Рисунок 23 - Структурна схема контролера

Верхній рівень АСУ ТП представлено за допомогою SCADA системи SIMATIC TIA Portal STEP 7.

Автоматичний режимі роботи виконує:

- стабілізацію заданої температури пастеризації шляхом пропорційного зменшення та/або збільшення витрати молока (засобами частотно-регульованого електроприводу насоса);

- стабілізацію заданої температури пастеризованого молока шляхом пропорційного збільшення та/або зменшення подачі пари в другий контур теплообмінника (за допомогою керованої засувки);
- реєстрацію даних.

Окрім стандартної програми конфігуратора, в ПК використовується додаткове програмне забезпечення (на базі Labview) реєстрації та візуалізації теплових процесів.

Програма реєстратор опитує необхідні вимірювачі та/або регулятори із заданою частотою. На основі отриманих даних будується графік зміни температури.

На початку процесу реєстрації програма автоматично створює файл, в якому інформація зберігається у вигляді масиву даних (зручний формат Excel).

Окрім того, програма забезпечує основні функції управління:

- запуск та/або зупинка регулювання;
- зміна установок з робочого місця оператора.

Інтерфейс програми зображено на рисунку:



Рисунок 24 – Інтерфейс програми реєстратора

Система автоматичного керування слідкує та враховує велику кількість параметрів та особливостей роботи вищезгаданого контуру.

Тим паче, що два послідовно з'єднаних теплообмінника мають інерційність, яку не можна не враховувати під час регулювання температури молока.

А раз так, то без каскадного регулювання не обійтися. І ця система управління є гарним класичним прикладом такого регулювання.

Контур регулювання температури молока якнайкраще формується зміною подачі пари до теплообмінника, з урахуванням температури води на вході пастеризатора.

Також слід передбачити поступове відкриття (в ідеалі за заданою кривою) відповідних клапанів.

САУ має чітко виконувати всі необхідні дії під час аварійних ситуацій на об'єкті управління. Це може бути втрата та/або пошкодження ліній зв'язку датчиків температур пари та води; перегрів молока та/або води; підвищення заданої швидкості зростання температури води на вході в пастеризатор.

Наведемо мнемосхему розробленої АСУ ТП:

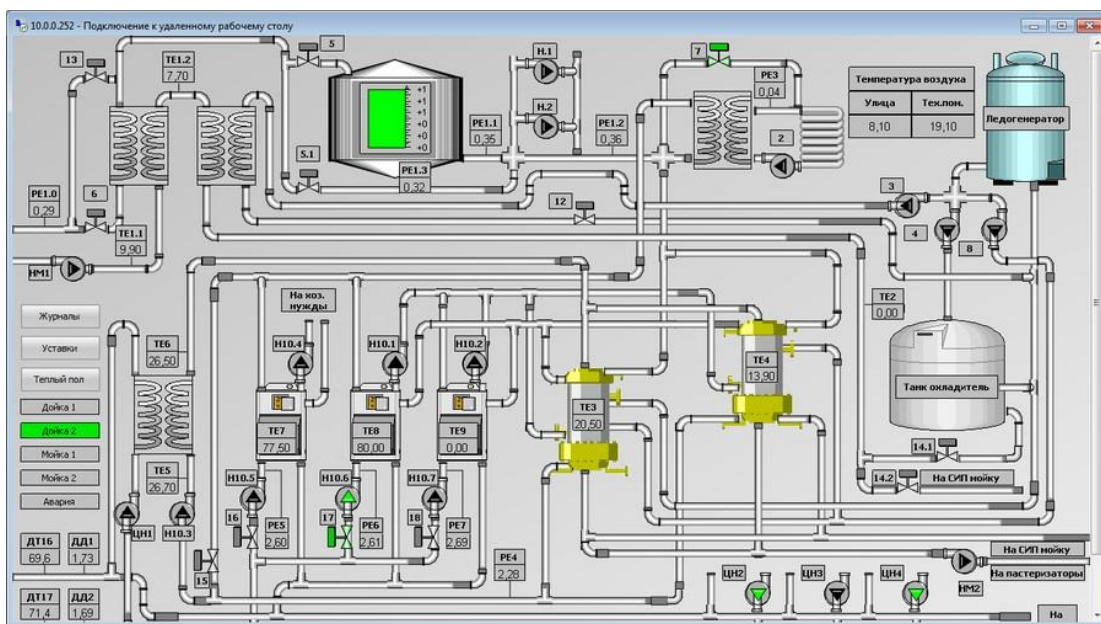


Рисунок 25 – Мнемосхема до процесу пастеризації молока.

Враховавши всі зазначені вище властивості АСУ ТП, складемо алгоритм запуску пастеризатора:

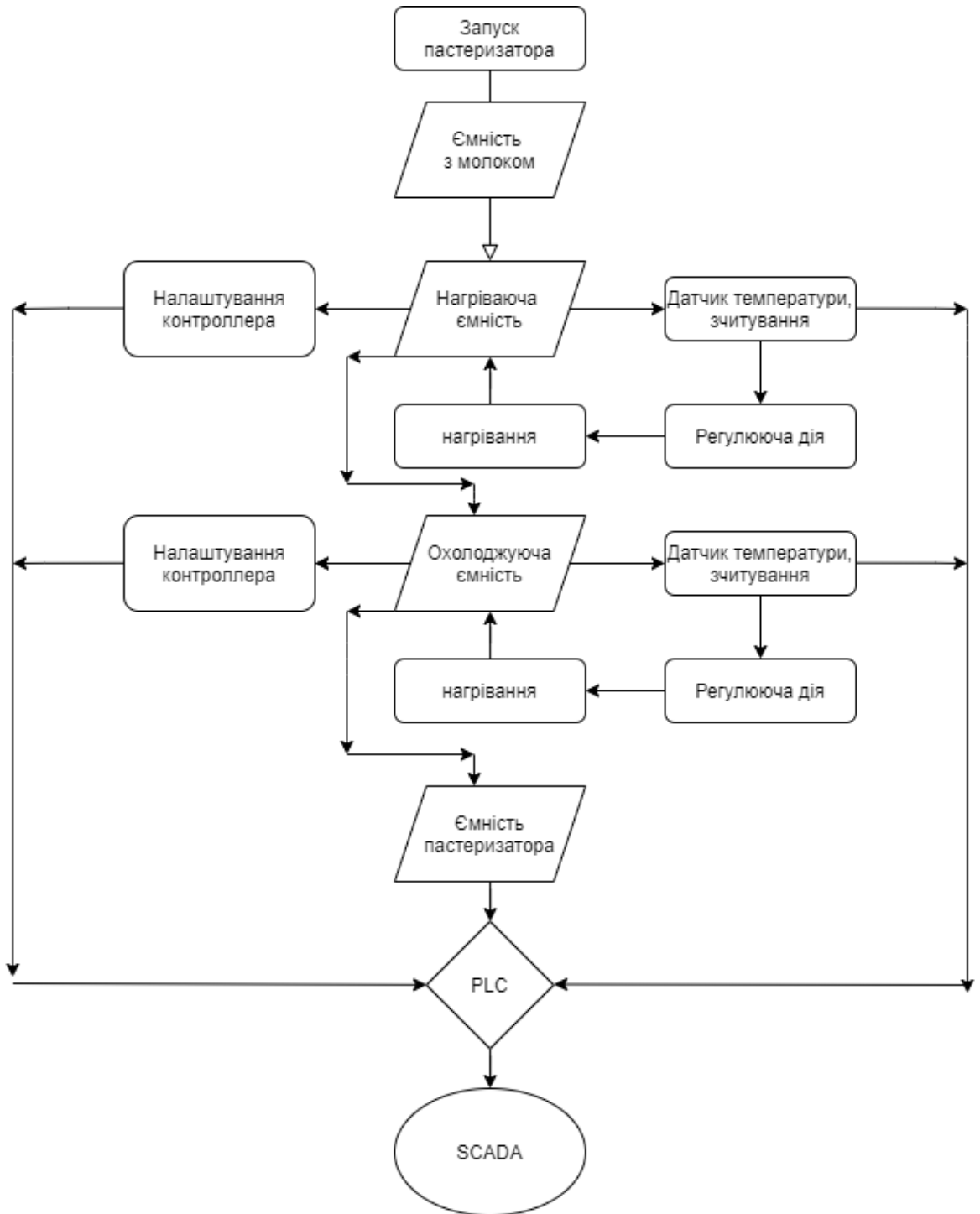


Рисунок 26 – Алгоритм запуску пастеризатора

ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі було розглянуто та вирішено питання, пов'язані з розробкою системи управління процесу виготовлення пастеризованого молока.

Розглянуто структурну схему процесу, роботу основного устаткування. На базі проведеного аналізу виділено ключові параметри перебігу процесу виготовлення пастеризованого молока.

Розроблено креслення функціональної схеми автоматизації, принципової електричної схеми. Зроблено вибір технічних засобів автоматизації, датчиків та давачів, виконавчих механізмів, сигналізації, блокування та захисту. Розраховано параметри регулювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

2. Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів з напрямку підготовки «Системна інженерія» і спеціальності «Комп'ютеризовані системи управління і автоматика», – Суми.: СумДУ, 2013. – 69 с.

1. Брусиловский, Л. П. Автоматизация технологических процессов в молочной промышленности [Текст] / Л. П. Брусиловский, А. Я. Вайнберг. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 344 с
 2. Кук, Г. А. Пастеризация молока [Текст] / Г. А. Кук – М.: Пищепромиздат, 1951. – 240 с.
 3. Промышленная переработка вторичного молочного сырья / А.Г. Храмцов, К.К. Полянский, С.В. Васи́лин, П.Г. Нестеренко. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1986. – 398 с
 4. И.Г. Лернер. Использование отходов молочной промышленности. М., 1964. С.3 - 16.
 5. Регрессионный анализ, – Режим доступа:
<http://sumdu.edu.ua/textbooks//11882/134613/index.html>.
- Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного регулювання. – Підручник. К.: Либідь, 1997. – 544 с.