

Міністерство освіти і науки України  
Шосткинський інститут сумського державного університету  
Центр заочної та дистанційної форми навчання  
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій  
Спеціальність 6.151 «автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему:

" Система управління технологічної лінії  
виробництва хлібопекарських дріжджів "

Керівник роботи

викладач

\_\_\_\_\_

П.С. Пата

Дипломник:

студент групи СУ-91ш-0

\_\_\_\_\_

М.Г. Пономарьов

## РЕФЕРАТ

Пономарьов Максим Геннадійович. Система управління технологічної лінії виробництва хлібопекарських дріжджів. Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2023 рік.

Бакалаврська робота містить 70 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 41 рисуноків, 6 таблиць; 1 креслення.

В даній роботі описана розробка системи управління технологічною лінією з виробництва хлібопекарських дріжджів. Автоматизація зменшує втручання людини в технологічний процес і робить процес більш адаптивним до збурень, які можуть виникати під час роботи обладнання. Розробка систем керування цим технологічним процесом гарантує керування великими, потужними агрегатами, а зусилля людини зводяться до налаштування та регулювання автоматичних пристроїв контролю та регулювання.

Ключові слова: технологічні процеси, системи керування, регулюючі мікропроцесорні контролери, алгоритми керування, регульовані параметри.

## SUMMARY

Maksym Gennadiyovych Ponomarev. Management system of the technological line production of baker's yeast. Bachelor work. Shostkin Institute of Sumy State University. Shostka, 2023.

The bachelor thesis contains 70 sheets of explanatory note, including 41 figures, 6 tables; 1 drawing.

This work describes the development of a management system for the production line of baker's yeast. Automation reduces human intervention in the technological process and makes the process more adaptive to disturbances that may occur during the operation of the equipment. The development of control systems for this technological process guarantees the management of large, powerful units, and human efforts are reduced to setting and adjusting automatic control and regulation devices.

Keywords: technological processes, control systems, regulating microprocessor controllers, control algorithms, adjustable parameters.

## ЗМІСТ

Список скорочень та умовних позначень

Вступ

1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта автоматизації

2 Вибір параметрів технологічного процесу

3 Вибір каналів контролю та управління

4 Вибір засобів автоматизації

5 Розрахункова частина

6 Розробка АСУ ТП та структурної схеми системи управління

Висновок

Список використаних джерел

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце  
АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом  
АЦП – аналого-цифровий перетворювач  
ВО – виконуючий орган  
ВМ – виконуючий механізм  
КВП і А – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика  
МУ – мета управління  
ОУ – об'єкт управління  
П-регулятор – пропорційний регулятор  
ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор  
ПІД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор  
ПЗ – програмне забезпечення  
ПЗО – пристрій зв'язку з об'єктом  
ПЛК – програмований логічний контролер  
ПК – персональний комп'ютер  
ППП – пристрій плавного пуску  
ПТК – програмно-технічний комплекс  
ПЧ – перетворювач частоти  
ПУ – пристрій управління  
РКІ – рідкокристалічний індикатор  
РО – робочий орган  
САПР – система автоматизованого проектування  
САР – система автоматичного регулювання  
САУ – система автоматичного управління  
ТО – термoperетворювач опору  
ТП – технологічний процес  
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач  
ЦД – цифровий дисплей  
ЦП – центральний процесор  
ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

## ВСТУП

Автоматизація в науково-технічному прогресі є важливим напрямом, який використовує саморегулюючі технічні засоби, економіко-математичні методи і системи управління для зменшення участі людини в процесах отримання, перетворення, передачі і використання матеріалів або інформації. Це досягається застосуванням датчиків, пристроїв введення, керуючих пристроїв, виконавчих пристроїв і пристроїв виводу, які використовують електронну техніку і методи обчислень.

Автоматизація може охоплювати різні сфери, такі як виробничі процеси, проектування, організація, планування, управління, наукові дослідження і бізнес-процеси. Метою автоматизації є підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, оптимізація управління, зменшення трудомісткості та небезпеки для здоров'я, покращення надійності і точності виробництва, збільшення конвертованості і скорочення часу обробки даних.

Автоматизація вимагає комплексного підходу і системного розв'язання завдань. Це можуть бути системи автоматичного управління (САУ), системи автоматизації проектних робіт (САПР), автоматизовані системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) та інші.

Переваги автоматизації включають заміну людини важкою фізичною або монотонною роботою, виконання завдань в небезпечних умовах, розв'язання завдань, непосильних для людини за вагою, швидкістю або витривалістю.

На сьогоднішній день в технологічний процес часто впроваджується мікропроцесорна техніка. Мікропроцесорні засоби порівняно компактні, оснащені програмним управлінням та відрізняються високою і швидкою дією, надійністю. Введення мікропроцесорів у склад окремих засобів автоматики та контролю дозволило підвищити можливість цих засобів по обробці даних.

Впровадження спеціальних автоматичних пристроїв має численні переваги. Одна з них полягає в забезпеченні безаварійної роботи устаткування. Автоматичні системи можуть детектувати неполадки та несправності і приймати відповідні заходи, щоб запобігти виникненню аварійних ситуацій.

Застосування автоматичних пристроїв також допомагає уникнути травматичних ситуацій. Людина звільняється від виконання роботи у небезпечних умовах, оскільки ці

функції можуть бути автоматизовані. Це допомагає зменшити ризик травм та покращити безпеку працівників.

Крім того, автоматизація виробничих процесів дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Автоматичні системи контролюють та оптимізують використання ресурсів, що допомагає зменшити споживання сировини та енергії. Також це допомагає уникнути забруднення атмосферного повітря та водойм промисловими відходами, оскільки процеси можуть бути керовані з максимальною ефективністю та мінімізувати негативний вплив на довкілля.

Застосування нових технологій та автоматизація дозволяють виробникам зменшити витрати. Це стосується економії на сировині, електроенергії, праці та організації виробничого процесу.

Для автоматизації процесу виробництва хлібопекарних дріжджів, я використав сучасну мікропроцесорну техніку. Розроблена система автоматизації дозволить покращити основні технологічні показники, покращить умови праці, вивести обслуговуючий персонал із небезпечної зони і вести технологічний процес в безаварійному режимі.

Технологічні процеси в харчовій промисловості мають свої особливості, які ускладнюють їх контроль та управління. Деякі з цих особливостей включають:

1. Фізико-хімічні реакції: Харчові процеси часто пов'язані з складними фізико-хімічними перетвореннями, такими як ферментація, окиснення, емульгування тощо. Контроль за цими реакціями вимагає точного регулювання технологічних параметрів.
2. Великі швидкості протікання: У харчовій промисловості процеси часто відбуваються з великою швидкістю, наприклад, у виробництві напоїв або кондитерських виробів. Це вимагає швидкої реакції та точного контролю для забезпечення якісного виробництва.
3. Високі вимоги до кількісних показників: У харчовій промисловості важливо дотримуватись певних стандартів та вимог щодо якості, ваги, розмірів тощо. Автоматизація дозволяє забезпечити точність і повторюваність вимірювань та регулювання.
4. Чутливість до зміни технологічних параметрів: Харчові процеси можуть бути дуже чутливими до навіть незначних змін у технологічних параметрах, таких як температура, вологість, рН тощо. Автоматизація дозволяє швидко реагувати на зміни та підтримувати стабільність процесу.

5. Високі вимоги з точки зору санітарії та гігієни: У харчовій промисловості особливу увагу приділяють забезпеченню високих стандартів санітарії та гігієни. Автоматизовані системи допомагають уникнути контакту з продуктами, забезпечують гігієнічне виробництво та контроль за процесами.

Використання автоматизованих систем управління в харчовій промисловості дозволяє покращити якість технологічних процесів, знизити кількість браку, підвищити продуктивність, зменшити собівартість виробництва та покращити екологічні показники. Технічні засоби автоматизації мають високу точність та надійність, а також забезпечують зручність у використанні.

# 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Характеристика продукції, сировини та напівфабрикатів: Дріжджі - це одноклітинні мікроорганізми, що відносяться до класу грибів цукроміцетів. Вони містять близько 67% води та 33% сухої речовини. Суха речовина дріжджової клітини складається з 37-50% білків, 35-40% вуглеводів, 1,2-2,5% сирого жиру та 6-10% зольних речовин.

Якість хлібопекарських дріжджів визначається вимогами технології хліба. Вони повинні мати щільну консистенцію, легко ламатися, мати сірий з жовтуватим відтінком кольори і характерний дріжджовий запах, прісний смак. Вміст вологи в дріжджах не повинен перевищувати 75%, кислотність (у перерахунку на оцтову кислоту) - не більше 120 мг на 100 г дріжджів на день вироблення та 360 мг через 12 днів. Дріжджі, вироблені на дріжджових заводах, повинні бути стійкими при температурі 35 °С протягом щонайменше 60 годин, а спиртові дріжджі - протягом 48 годин. Підйомна сила (підйом тіста до 70 мм) повинна складати трохи більше 70 хвилин.

Планується випуск сушених хлібопекарських дріжджів вищого та 1 сортів у вигляді гранул, вермішелі, круп або порошку, які матимуть світло-жовтуватий до світло-коричневий колір. Вміст вологи в дріжджах вищого сорту складатиме 8%, а в дріжджах 1 сорту - 10%. Підйом тесту до 70 мм для дріжджів вищого сорту повинен займати 70 хвилин, а для дріжджів 1 сорту - 90 хвилин. Термін зберігання від дня виробництва складатиме не менше 12 місяців для дріжджів вищого сорту і 5 місяців для дріжджів 1 сорту.

Показники якості дріжджів та дріжджової суспензії включають концентрацію дріжджів не менше 450 г/л у перерахунку на вологість 75%, підйомну силу не більше 75 хвилин, кислотність не більше 120 мг на 100 г дріжджів на день вироблення і не більше після 72 годин.

Виробництво хлібопекарських дріжджів на дріжджових заводах передбачає декілька стадій технологічного процесу:

1. Підготовка живильного середовища: Заводи приготують живильні середовища, які містять мелясу та воду. Меляса містить цукор, який є джерелом енергії для дріжджів.
2. Вирощування дріжджів: Дріжджі культивуються в спеціальних апаратах, де проводять активну аерацію. Під час аерації дріжджі окислюють цукор у живильному середовищі до води та діоксиду вуглецю. Теплова енергія, яка виникає під час цього процесу, використовується для синтезу клітинної речовини та обмінних процесів.



3. Виділення дріжджів з бражки: Після вирощування дріжджів проводять процес виділення дріжджів з культурального середовища, наприклад, за допомогою сепараторів, фільтр-пресів та барабанних вакуум-фільтрів.
4. Формування та пакування дріжджів: Отримані дріжджі піддаються обробці, формуються у вигляді брикетів або гранул та упаковуються для подальшого використання.
5. Сушіння дріжджів (при необхідності): Якщо необхідно, дріжджі можуть пройти процес сушіння для зберігання та підвищення тривалості їхньої придатності.

На мелясково-спиртових заводах процес отримання дріжджів із спиртової бражки включає такі стадії:

1. Виділення дріжджів із зрілої бражки сепаруванням: Дріжджі відокремлюються від спиртової бражки за допомогою сепараторів.

Промивання та концентрування дріжджової суспензії: Отримані дріжджі промивають та концентрують.

2. Дозрівання дріжджів: Дріжджі проходять процес дозрівання для поліпшення їхніх властивостей.
3. Остаточне промивання та концентрування дріжджів: Додатково проводиться промивання та концентрування дріжджів.
4. Пресування, формування та упаковка дріжджів: Отримані дріжджі пресуються, формуються у вигляді брикетів та упаковуються.
5. Зберігання: Готові дріжджі зберігаються відповідно до вимог щодо зберігання.

Комплекси устаткування на дріжджових заводах включають різні типи обладнання для виконання різних функцій:

- Апарати для приготування живильних середовищ і сепаратори-кларифікатори для меляси.
- Пароконтактні установки для стерилізації.
- Дріжджоростільні апарати, оснащені аераційною системою для насичення суспензії киснем.
- Повітродувні машини для забезпечення потрібного рівня повітряного тиску та подачі повітря до дріжджів.
- Дріжджові сепаратори, фільтр-преси та барабанні вакуум-фільтри для виділення дріжджів з культурального середовища.

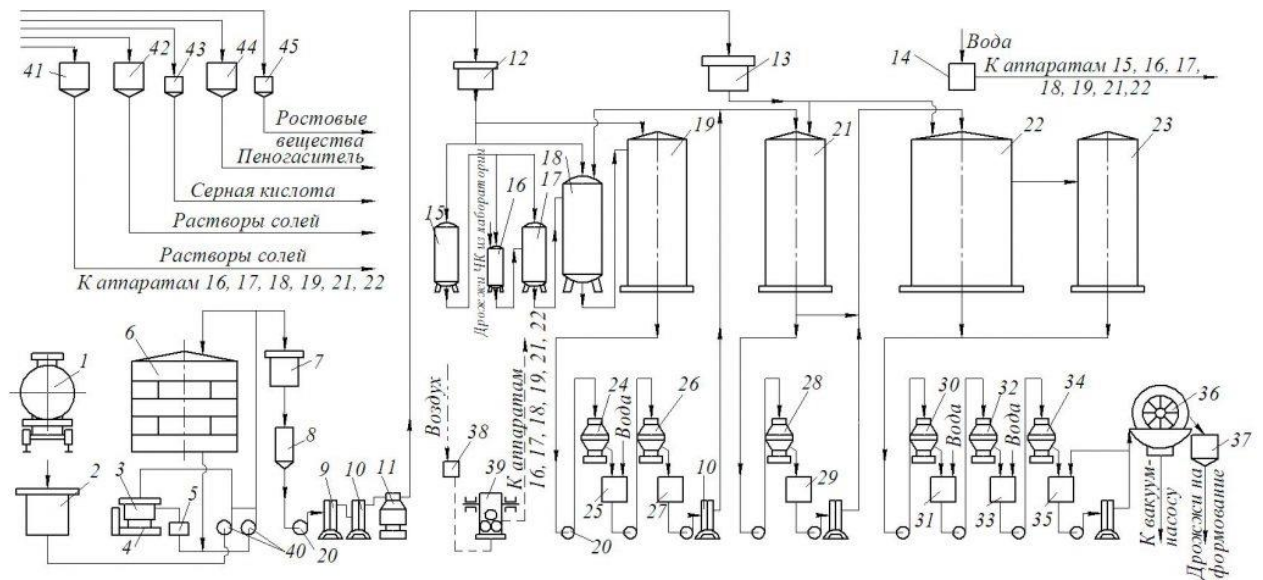
- Різноманітні сушильні установки, такі як конвеєрні стрічкові сушарки, віброкиплячі шарові установки, вакуумні та сублимаційні сушарки, для процесу сушіння дріжджів (якщо це необхідно).
- Машини для формування та загортання брикетів дріжджів.

Ці комплекси обладнання використовуються для забезпечення ефективного виробництва та обробки дріжджів на дріжджових заводах. Кожний комплекс має свою специфічну роль у виробничому процесі та сприяє отриманню якісної та готової продукції.

**Пристрій і принцип дії лінії.** Меляса поступає на заводи в залізничних цистернах 1. Її зливають в проміжну збірку 2 і перекачують шестерінчастим насосом 40 у збірку 3, встановлений на вагах 4. Меляса через проміжну збірку 5 перетікає в меласосховище 6. Через проміжну збірку 7 меляса поступає в змішувач 8, де її розбавляють водою, підкисляють і далі насосом 20 перекачують в стерилізатор 9. Далі меласа поступає на охолодження в теплообмінник 10 і на очищення в кларифікатор 11. Очищена розбавлена меляса розділяється на два потоки, одні з яких поступає в припливний апарат 12 поживного середовища для отримання дріжджів ЧК і ЕЧК, а інший - в апарат 13 для отримання двох стадій товарних дріжджів.

Зі збірки 14 вода, згідно, технологічному регламенту направляється в різні апарати (15...19, 21, 22 та ін.). У цеху чистих культур дріжджів живильне середовище стерилізується в стерилізаторі 15, після чого надходить в інокулятори чистих культур: 16 малий і великий 17.

Чисті культури дріжджів вирощують послідовно на двох стадіях в дріжджорослинних апаратах. Дріжджі чистих культур ЧК-1 і ЕЧК-1 направляють в дріжджоростильний апарат 18, а дріжджі чиста культура ЧК-2 та ЄЧК-2 – в апарат 19. Природно-чиста культура 1 дріжджовим насосом подається на концентрування сепаратор 24 і далі в проміжний 25. На другій стадії концентрування цих дріжджів використовують сепаратор 26, збірник концентрату 27.



1. Рисунок 1. Технологічна схема лінії виробництва хлібопекарських дріжджів.

Після охолодження в теплообміннику 10 дріжджове молоко надходить у дріжджорослинний апарат 21 на першу стадію вирощування товарних дріжджів. З цього апарату дріжджова маса зі значно більшою концентрацією мікроорганізмів через сепаратор 28, збірник концентрату товарних дріжджів 29 насосом подається в теплообмінник-охолоджувач і далі дріжджоростильний апарат 22 на другу стадію отримання товарних дріжджів. З апарату 22 дріжджі надходять у відбірний апарат 23. Згущення товарних дріжджів йде послідовно на трьох стадіях в сепараторах 30, 32 і 34. На перших двох стадіях дріжджову масу промивають водою і направляють послідовно в збірники 31 і 33. насосом перекачується на вакуум-фільтр 36. Далі пресовані дріжджі зі збірки 37 надходять на автоматизовані лінії для формування та фасування. Повітря є важливим технологічним фактором у виробництві хлібопекарських дріжджів. Очищений на фільтрі 38 повітря за допомогою повітродувної машини 39 повертається назад у технологічний цикл (16...19, 21, 22). Відпрацьоване повітря, що містить CO<sub>2</sub> та інші домішки, виводиться з апаратів в атмосферу. Станції поживних речовин, піногасників, розчинів антисептиків обладнані спеціальними збірниками-мірниками 41...45. З цих мірників розчини зазначених речовин направляють до апаратів 16...22.

## 2. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Ретельно проаналізувавши перебіг технологічного процесу виробництва хлібопекарських дріжджів, 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     | Міласа, яка поступає в змішувач | Контроль, регулювання | 5%         | 15 м <sup>3</sup> | 20 м <sup>3</sup> |
| Рівень      | Стерелізувач                    | Контроль              | 10%        | 1,9 м             | 2,0 м             |
| Температура | На виході теплообмінювача       | Контроль, регулювання | 5%         | 30 °C             | 40 °C             |
| Рівень      | Інокулятор малий                | Контроль              | 10%        | 1,4 м             | 1,5 м             |
| Рівень      | Інокулятор великий              | Контроль              | 10%        | 1,9 м             | 2,0 м             |
| Рівень      | Дріжджівиросчувальний апарат    | Контроль              | 10%        | 2,9 м             | 3,0 м             |
| Рівень      | Дріжджівиросчувальний апарат    | Контроль              | 10%        | 2,9 м             | 3,0 м             |
| Рівень      | Дріжджівиросчувальний апарат    | Контроль              | 10%        | 2,9 м             | 3,0 м             |
| Рівень      | Дріжджівиросчувальний апарат    | Контроль              | 5%         | 2,4 м             | 2,5 м             |
| Рівень      | Відбірний апарат                | Контроль,             | 5%         | 2,4 м             | 2,5 м             |
| Рівень      | Ємність води                    | Контроль, регулювання | 5%         | 1,7 м             | 1,8 м             |

### **3. ВИБІР КАНАЛІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ**

Беручи до уваги інформацію з попередніх двох розділів, слід обрати регуляторні, адміністративні та управлінські канали.

#### **3.1 Канали контролю і управління**

##### **3.1.1 Витрати меляси, що поступає до змішувача**

З метою запобігання переповнення приймальної ємності, необхідно контролювати та регулювати витрату сировини. Для цього в трубопроводі подавання меляси, встановлено датчик витрати. Керування відбувається за допомогою частотного перетворювача поз.1б, який змінює частоту обертів двигуна М1 привода насоса подавання меляси.

##### **3.1.2 Рівень у стерелізувачі**

Щоб уникнути переповнення приймальної ємності, потрібно контролювати рівень меляси в ній. З цією метою встановлено спеціальний датчик, який вимірює рівень меляси і надсилає цю інформацію до системи контролю.

##### **3.1.3 Температура на виході теплообмінювача**

Для забезпечення нормального процесу охолодження меляси необхідно підтримувати оптимальну температуру в охолоджувачі. Для досягнення цього було встановлено датчик температури, який контролює температуру меляси. Крім того, на трубопроводі подачі хладогену до охолоджувача встановлено регулюючий клапан.

##### **3.1.4 Рівень у ємності інокулятора малого**

Для запобігання переповнення ємності інокулятора малого розміру важливо контролювати рівень меляси всередині нього. Для цього був встановлений датчик рівня, який служить для вимірювання рівня меляси в ємності.

##### **3.1.5 Рівень у інокулятору великому**

З метою забезпечення нормального протікання процесу у великому інокуляторі важливо контролювати рівень меляси всередині нього. Для цього було встановлено датчик рівня, який вимірює рівень меляси у ємності.

##### **3.1.6 Рівень у дріжджівиросчувальному апараті**

З метою забезпечення нормального протікання процесу в апараті важливо контролювати рівень робочої речовини всередині нього. Для цього встановлено датчик рівня, який служить для вимірювання рівня робочої речовини в апараті.

### **3.1.7 Рівень у дріжджівирощувальному апараті**

З метою забезпечення нормального процесу дріжджівиробництва важливо підтримувати відповідний рівень у апараті. Для цього був встановлений датчик рівня, який вимірює рівень робочої речовини в апараті. Керування відбувається за допомогою вмикання приводу насоса подавання продукту.

### **3.1.8 Рівень у дріжджівирощувальному апараті**

З метою забезпечення нормального процесу дріжджівиробництва важливо підтримувати відповідний рівень у апараті. Для цього був встановлений датчик рівня, який вимірює рівень робочої речовини в апараті. Керування відбувається за допомогою вмикання приводу насоса подавання продукту.

### **3.1.9 Рівень у дріжджівирощувальному апараті**

З метою забезпечення нормального процесу дріжджівиробництва важливо підтримувати відповідний рівень у апараті. Для цього був встановлений датчик рівня, який вимірює рівень робочої речовини в апараті. Керування відбувається за допомогою вмикання приводу насоса подавання продукту.

### **3.1.10 Рівень у відбірному апараті**

З метою запобігання переповненню ємності відбірного апарату важливо контролювати рівень робочої речовини всередині нього. Для цього був встановлений датчик рівня, який служить для вимірювання рівня робочої речовини в ємності відбірного апарату.

### **3.1.11 Рівень у ємності води**

З метою запобігання переповненню ємності з водою важливо контролювати і регулювати рівень рідини всередині неї. Для цього встановлений датчик рівня, який служить для вимірювання рівня води в ємності.

Керування відбувається за допомогою частотного перетворювача поз.11б, який змінює частоту обертів двигуна М6 приводу насоса подавання води.

### 3.2 Контури управління

Після аналізу технологічного процесу, його основних етапів і фізичних процесів, можна розробити контури контролю, регулювання та управління.

#### 3.2.1 Контур регулювання витрат

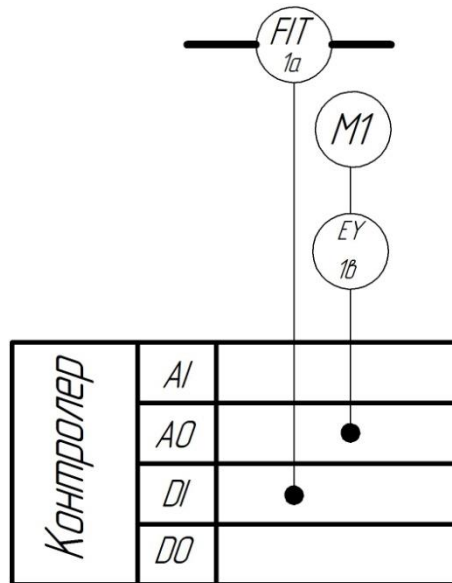


Рисунок 2 – Контур контролю витрати

В даному контурі використовується електромагнітний витратомір ПРОФИ-8022МО для вимірювання об'ємного розходу робочої речовини. Витратомір має токові виходи в діапазоні 4...20 мА, які використовуються для передачі сигналу про виміряний об'ємний розхід до системи контролю та регулювання.

Додатково, у контурі використовується частотний перетворювач Danfoss VLT Automation Drive FC 302 для регулювання швидкості обертання приводу.

### 3.2.3 Контур контролю рівня

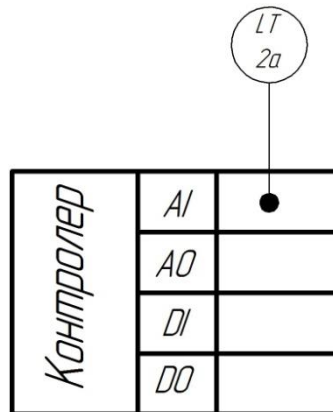


Рисунок 3 – Контур контролю рівня

В даному контурі використовується ємнісний рівнемір Liquicor MFMI 151 для контролю рівня робочої речовини. Цей рівнемір має погрузну частину довжиною 1,8 метри, що дозволяє встановити його всередині ємності, де знаходиться робоча речовина.

### 3.2.2 Контур управління температурою

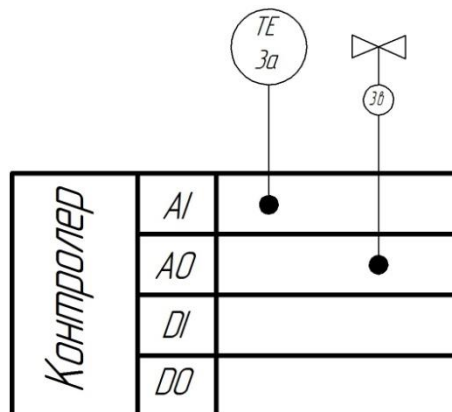


Рисунок 4 – Контур управління температурою

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

### 3.2.3 Контур управління насосами



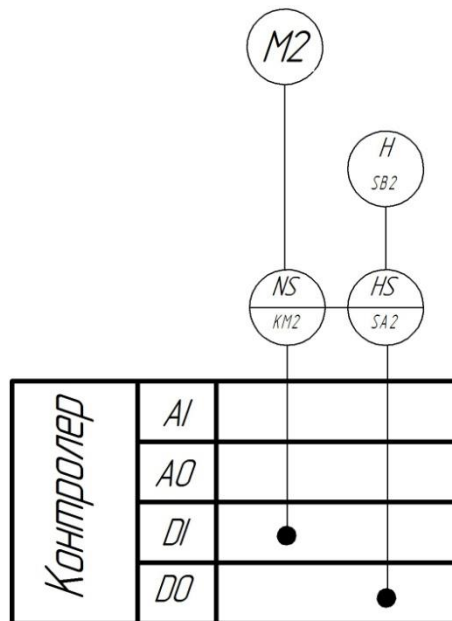


Рисунок 5 – Контур управління насосами

У контурах керування насосами для процесу виробництва хлібопекарських дріжджів можуть бути використані універсальні перемикачі, магнітні пускачі та кнопки. Кількість комутаційних засобів залежить від кількості насосів, що використовуються.

На основі структурної схеми технологічного процесу та розглянутих контурів контролю та керування може бути розроблена функціональна схема автоматизації системи управління процесом виробництва хлібопекарських дріжджів. Ця функціональна схема, позначена як СУ-91-ШО.151.04. А2, включає в себе необхідні елементи та засоби керування, контролю та регулювання для забезпечення ефективності технологічного процесу виробництва хлібопекарських дріжджів.

## 4. ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Під час автоматизації процесу виробництва хлібопекарських дріжджів, централізована система контролю та управління є найбільш зручним рішенням. З цією метою, ми вибрали сучасні технічні засоби автоматизації, прилади контролю, індикації та реєстрації. При виборі цих засобів, основними критеріями були надійність та уніфікованість.

Наш розрахунок базується на тому, що мінімальна кількість технічних засобів забезпечить нормальний та безаварійний режим роботи обладнання. Це дозволяє зменшити складність системи та забезпечити ефективну автоматизацію процесу виробництва хлібопекарських дріжджів.

### 4.1 Вибір датчиків

Для впровадження контурів регулювання, контролю та керування, які були розглянуті, необхідно використовувати датчики, які вимірюють витрату, рівень та температуру.

#### 4.1.1 Вибір датчиків витрати

Фізичні принципи витратомірів базуються на різних принципах, таких як маханічна дія, хвильові явища, мітки та закони електромагнітної індукції. Використання електромагнітних витратомірів у практиці експлуатації систем автоматичного керування об'єктами харчової промисловості продемонструвало стабільно якісні результати. Тому розглядатимемо саме цей тип витратомірів.

**Витратомір ПРОФИ-8022 МО** є універсальним приладом для вимірювання рідин з різним вмістом абразивних та/або агресивних домішок.

Він має численні особливості, які роблять його вигідним в контексті автоматизації процесу виробництва хлібопекарських дріжджів:

- Можливість використання в різних комплексах, вимірювальних системах та системах автоматичного керування.
- Повнопрохідність без втрат тиску на вимірювальній ділянці.
- Можливість вимірювання витрати та об'єму реверсивного потоку (за замовленням).
- Функція дозування та контроль спустошення трубопроводу.
- Можливість виготовлення фланців і захисних кілець з нержавіючої сталі (за замовленням).

- Використання різних матеріалів для електродів і футерування.

Особливості включають стабільні та відтворювані вимірювання в агресивних середовищах та важких умовах, зручний монтаж, гальванічно розв'язані виходи, розширену самодіагностику та зручну систему індикації. Виведення інформації може бути здійснене на рідкокристалічний символний індикатор, у вигляді імпульсів з нормованим вагою або логічних сигналів, а також через послідовний інтерфейс RS-485, HART або нормований токовий сигнал (за замовленням).



Рисунок 6–Витратомір електромагнітний ПРОФИ

З урахуванням надійності, точності та уніфікованості витратоміра ПРОФИ-8022 МО, ми обираємо його для використання в системі автоматичного керування нашого процесу виробництва хлібопекарських дріжджів.

#### 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 поширені типи датчиків рівня.

Ємнісний рівнемір Liquicap MFMI 51 Безперервно вимірює рівень рідких продуктів, навіть за наявності прошарку емульсії. Діапазон вимірювання до 6м. Стрижневі зонди, виконання з неактивною зоною і заземлюючою трубкою. Вихідні сигнали: струмовий 4...20 мА з HART, ЧИМ (FPM). Вибухозахищене виконання Exia, 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 SIL2 відповідно до IEC61508 / IEC61511-1, ГОСТ 61508-х-2007. Сертифікат WHG.



Рисунок 7 – Ємнісний рівнемір Liquicap MFMI 51

Заради більшої точності, надійності та уніфікації, ємнісний датчик рівня Liquicap MFMI 51 більш підходить для наших вимог.

#### **Переваги Liquicap MFMI 51:**

- Вбудований двоступінчастий захист від перенапруги і електростатичних розрядів;

- Прилад постачається з заводу відкаліброваним. Дані калібрування дійсні для будь-яких провідних рідин залежно від місця установки, форми резервуара, хімічного складу води;
- Перебудова діапазону (шкали) без перекалібрування;
- Стабільні вимірювання при будь-якому шарі емульсії;
- Висока швидкодія;
- Місцеве/або віддалене налаштування;
- Зонд з нержавіючої сталі повністю покритий фторопластом, що забезпечує високу хімічну стійкість і скорочення відкладень на зонді, а завдяки низькій адгезії фторопласта;
- Самодіагностика справності блоку електроніки і цілісності покриття зонда.

Беручи до уваги надійність, точність та уніфікованість рівнеміра Liquicap MFMI 51, обираємо його для використання в нашій САУ.

### **Датчик-реле рівня ємнісний РОС101**



Рисунок 8 – Датчик-реле рівня ємнісний РОС101

Датчик-реле рівня РОС101, також відомий як РОС 101 021П, розроблений для моніторингу рівня рідин, твердих або сипких матеріалів у різних технологічних резервуарах і сховищах у стаціонарних умовах. Він призначений для вимірювання параметрів контрольованого середовища, таких як температура від мінус 100°C до плюс 100°C та робочий тиск до 2,5 МПа. Конструктивно датчик-реле має стрижневе ізольоване виконання.

У релейних датчиках рівень і диференціальний відгук в межах робочої зони датчика можна регулювати за допомогою регулювального елемента в передавальному перетворювачі. Зміна положення перемички дозволяє змінювати вид сигналізації, що вказує на "наявність" або "відсутність" контрольованого середовища. Також використовуються елементи світлової індикації для контролю функціонування датчика та відображення досягнення встановленого рівня.

Структурно, 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 <sub>раб</sub> , МПа, до | 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<br>РОС-101-021И<br>РОС-102-121<br>РОС-102-121И | Стержневой изолированный                           | 0,1; 0,25; 0,6;<br>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                                     |

#### 4.1.3 Вибір датчиків температури

Вибір датчиків температури включає такі засоби вимірювання:

- Термометри розширення;
- Термометри опору;
- Термоелектричні термометри;
- Пірометри;
- Манометричні термометри.

Термометри розширення та манометричні термометри мають обмежені межі вимірювання, а також складно передавати сигнал від місця вимірювання до контрольного пристрою.

Пірометри зазвичай використовуються для вимірювання високих температур, а пірометри не дозволяють регулювати температуру.

Тому як датчики температури розглянемо термоперетворювачі опору.

#### Термоперетворювач ТСПУ - 0289

Термоперетворювач опору ТСПУ-0289 є стандартизованим, захищеним виходом. Його призначенням є вимірювання температури шляхом перетворення її в стандартизований вихідний постійний струм.

Цей датчик вимірює температуру газоподібних, рідких, твердих і сипких речовин.

Робочий діапазон температур становить від 0°C до 200°C, а вихідний сигнал складає 4-20 мА.

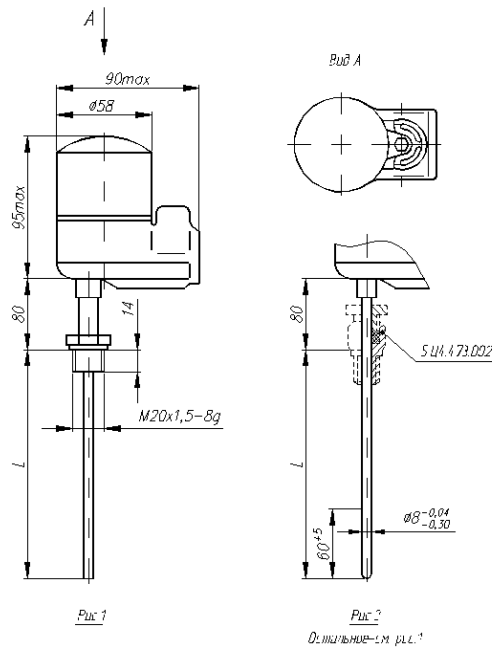


Рисунок 9 – Зовнішній вигляд та основні розміри датчика ТСПУ – 0289

### Термоперетворювач опору мідний ТС(М)-1187-3

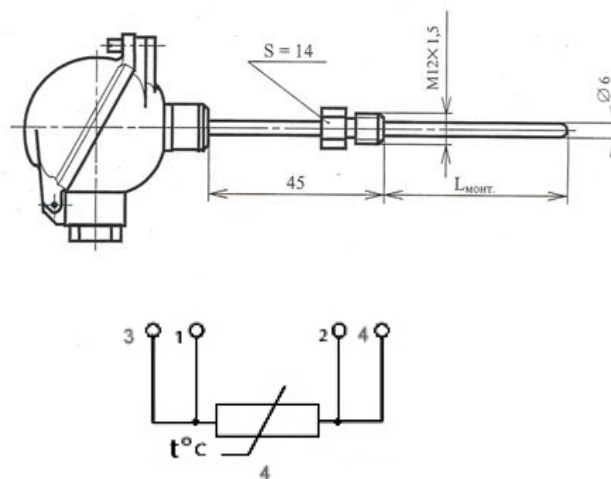


Рисунок 10– Основні розміри термоперетворювача ТС(М)-1187-3 і схема з'єднання чутливого елемента

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                                  |
| Номинальна статична характеристика перетворення                              | 50М, 100М                                    |
| Ставлення опору при 100 °С до опору при 0 °С (W100)                          | 1,391; 1,385                                 |
| Межа основної абсолютної похибки, °С для класу А<br>для класу В              | ± [0.15 + 0.002 (t)]<br>± [0.30 + 0.005 (t)] |
| Група вібронестійкості по ГОСТ 12997   | N2   |
| Робочий тиск вимірюваного середовища, МПа модель<br>1, 2 / модель3 з гільзою | 6,3 / 2,0                                    |
| Вимірювальний струм не більше, мА для 100П, Pt100<br>/ 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   | 12X18H10T                                    |

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

#### 4.2 Вибір контролера

Цифрові контролери мають значні переваги порівняно з аналоговими регуляторами. По-перше, алгоритми керування об'єктом управління можуть бути реалізовані простіше. По-друге, цифрові контролери можуть бути налаштовані під характеристики об'єкта управління без потреби змінювати їх конструкцію.

При виборі контролера для АСУ враховується багато факторів. Одним з них є поширення та використання програмованих логічних контролерів (ПЛК) певного виробника на подібних об'єктах управління.

Після аналізу систем автоматизації та наявних пропозицій на ринку виробників, було віддано перевагу відомому у світі виробнику сучасних, надійних та високотехнологічних мікропроцесорних контролерів Siemens.



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

Siemens володіє можливістю застосування структур локального та розподільного введення/виведення, широкими комунікаційними можливостями, багатофункціональністю, що підтримується на рівні операційної системи, а також є зручними у використанні та обслуговуванні.

#### **4.2.1 Контролер SIMATIC S7-300[6]**

Цей модульний ПЛК розроблений для побудови систем автоматизації низького та середнього рівнів складності. Модульна конструкція контролера дозволяє ефективно працювати в умовах природного охолодження.

Ефективне використання контролерів цього сімейства підтримується можливістю використання різних типів центральних процесорів з різною продуктивністю. Крім того, вони мають широкий спектр модулів введення/виведення для дискретних та аналогових сигналів, функціональні модулі та комунікаційні процесори.

Всі ці особливості роблять цей контролер дуже гнучким та адаптованим до різних вимог і завдань у галузі автоматизації.

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

Контролери дозволяють автоматизувати такі об'єкти управління, як:

- Машини спеціального призначення.
- Текстильні 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 мають вбудований набір входів/виходів, а також набір вбудованих функцій, що дозволяє використовувати ці процесори в якості готових блоків керування.

### 4.2.3 Конструкція SIMATIC S7-300

SIMATIC S7-300 контролери мають модульну конструкцію і можуть включати різні модулі, такі як:

- Модуль центрального процесора (CPU), який може бути різних типів залежно від складності задачі, продуктивності, обсягу пам'яті, наявності вбудованих вхідних/вихідних засобів, спеціальних функцій і комунікаційних інтерфейсів.
- Модулі блоків живлення (PS), які забезпечують живлення контролера від мережі змінного струму або від джерела постійного струму.
- Сигнальні модулі (SM) для введення-виведення дискретних і аналогових сигналів з різними 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), які можуть самостійно вирішувати завдання автоматичного регулювання, позиціонування, обробки сигналів. Функціональний модуль має вбудований мікропроцесор, який дозволяє продовжувати виконання функції, навіть якщо центральний процесор програмованого контролера перестає працювати.
- Інтерфейсні модулі (IM), які дозволяють підключати до базового блоку (стійки з CPU) стійки введення/виведення.

В загальному, контролери SIMATIC S7-300 дозволяють використовувати до 32 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікаційних процесорів, розподілених по 4 монтажних стійках. Всі модулі працюють з природним охолодженням.

Конструкція контролера відрізняється гнучкістю і зручністю обслуговування:

- Модулі легко встановлюються на профільну рейку S7-300 і фіксуються в робочому положенні гвинтом.
- Модулі (крім блоків живлення) мають вбудовані ділянки внутрішньої шини контролера. З'єднання цих ділянок здійснюється шинними з'єднувачами, які монтується на тильній стороні корпусу.
- Наявність фронтальних з'єднувачів спрощує заміну модулів без демонтажу зовнішніх з'єднань.
- Зовнішні ланцюги підключаються через фронтальні з'єднувачі з контактами під гвинт або контактами-засувками. Фронтальні з'єднувачі мають механічне кодування, що запобігає можливість помилок при заміні модулів.

- Використання SIMATIC TOP Connect для заземлення модулів спрощує монтаж шаф управління.
- Модулі і гнучкі з'єднувачі легко встановлюються і закриваються захисними дверцятами.
- Можливість горизонтальної і вертикальної установки стійок контролера, хоча при вертикальній установці гірші умови охолодження модулів, тому верхня межа допустимого діапазону робочої температури знижується.

Основна ідея полягає в тому, що контролери SIMATIC S7-300 мають модульну конструкцію, що дозволяє легко встановлювати, замінювати та розширювати різні модулі в залежності від потреб автоматизованої системи.

#### **4.2.4 Модифікація контролера SIMATIC S7-300**

SIMATIC S7-300C є модульним програмованим контролером, призначеним для вирішення завдань автоматизації на різних рівнях складності. Він пропонує широкий спектр модулів, що дозволяє максимально адаптуватися до будь-яких завдань. Контролер також забезпечує можливість використання розподілених структур введення-виведення і просте підключення до різних типів промислових мереж.

Конструкція контролера є зручною для обслуговування, а його робота базується на природному охолодженні. При модернізації системи передбачена можливість вільного нарощування функціональності. Завдяки великій кількості вбудованих функцій, контролер забезпечує високу потужність.

SIMATIC S7-300C використовує випробувану технологію S7-300 і має вбудовані входи і виходи, що дозволяють використовувати його як готову систему автоматизації. Крім того, контролер підтримує функції швидкісного регулювання, ПІД-регулювання та позиціонування на рівні операційної системи центрального процесора. Для розширення можливостей, контролер може бути доповнений модулями S7-300.

#### **4.2.5 Модифікація контролера SIMATIC S7-300F**

Програмований контролер для побудови розподілених систем автоматики та безпеки:

- CPU 315F-2DP / CPU 317F-2DP з вбудованими функціями автоматики, безпеки і інтерфейсом PROFIBUS DP, що підтримує профіль PROFI safe.

- Системи розподіленого вводу-виводу на основі станцій ET 200M з F-модулями та станцій ET 200S PROFI-safe.
- Забезпечення рівнів безпеки SIL1 ... SIL2 згідно з IEC / EN 61508, а також категорій 1 ... 4 згідно з EN 954-1.
- Реалізація стандартних функцій управління з функціями автоматики безпеки в одній системі.

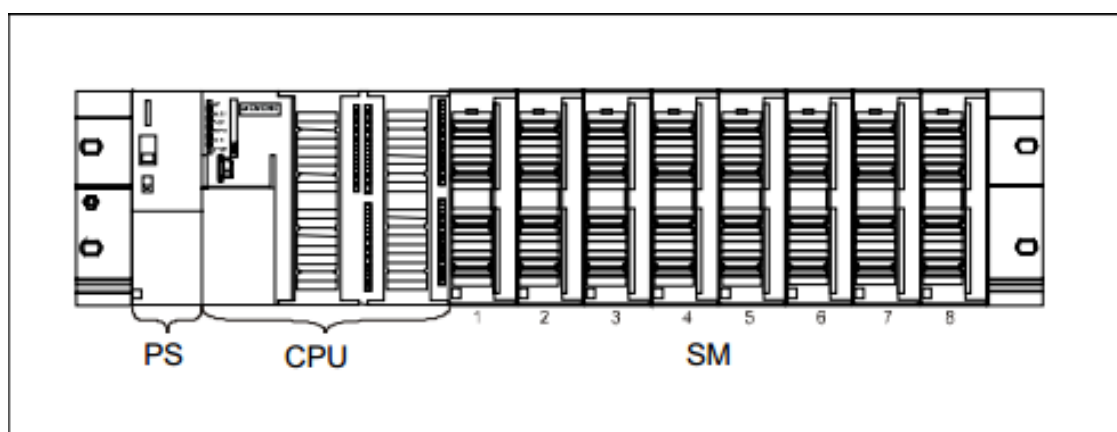
SIPLUS S7-300:

- Програмований контролер для експлуатації важких промислових умов.
- Перевірена технологія S7-300.
- Зручна установка, програмування, обслуговування та експлуатація.
- Ідеальний вибір для будівництва автомобілів, 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 забезпечена набором вбудованих і інтелектуальних функцій, які значно спрощують експлуатацію системи управління:

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



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

Рисунок 11 – Зображення розташування модулів.

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

- Шифровані діагностичні повідомлення можуть передаватися тільки у випадку, якщо це дозволено відповідним параметром налаштування.
- Чи нешифровані діагностичні повідомлення, передача яких здійснюється 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 у 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 мати 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 до 8 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікацію процесорів.
- CPU 312C: компактний центральний процесор з 10 дискретними входами, 6 дискретними виходами, а також вбудованими функціями швидкісного рахунку (2x10кГц) і вимірювання частоти (2x10кГц) або тривалості періоду. Може 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 швидкісний рахунок, вимір частоти або тривалості періоду, ПІД-регулювання. Може використовуватися в якості автономного блоку керування.
- CPU 313C-2 PtPi 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 процесори мають додатковий комунікаційний інтерфейс:

- CPU 313C-2 PtP - послідовний інтерфейс RS422/RS485 для організації PtP
- CPU 313C-2 DP - інтерфейс ведучого/веденого пристрою PROFIBUS DP.
- CPU 314: центральний процесор для побудови систем керування, в яких потрібна швидка обробка інформації та підтримка систем локального введення-виведення, включають в свій склад до 32 модулів.
- CPU 314C-2 PtPi 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 швидкісний рахунок, вимір частоти або тривалості періоду, ПД-регулювання, позиціювання по одній осі. Можуть використовуватися в якості автономних блоків керування. Обидва процесори мають додатковий комунікаційний інтерфейс:
  - CPU 314C-2 PtP - послідовний інтерфейс RS422/RS485 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 розвинутою системою локального введення-виведення.
- CPU 315F-2 DP: центральний процесор для побудови розподілених систем автоматики безпеки. Вбудовані інтерфейси MPI і PROFIBUS DP з підтримкою профілю 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 у 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 інтерфейсами MPI / DP і PROFIBUS DP, великим обсягом пам'яті програм і даних, високою продуктивністю.

Призначений для побудови високопродуктивних систем автоматизації з розвинутою 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 PROFIsafe. 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 система розподіленого вводу-виводу на основі Industrial Ethernet.

- CPU 317T-2 DP: центральний процесор з набором вбудованих у 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 швидкого виконання програм великого обсягу 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 швидкого виконання програм великого обсягу і обслуговування розвинених систем локального і розподіленого вводу-виводу. Базуючись на вищезазначеній 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.

Пристрій має вбудований PtP (Point-to-Point) зв'язок, що дозволяє створити внутрішню мережу, наприклад: Контролер - панель контролера - ПК - принтер - модем. Це забезпечує швидку реакцію на зміни в процесі і дозволяє, при необхідності, ручне керування процесом через процесор.

## 5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 5.1 Ідентифікація об'єкта

Метою ідентифікації є отримання математичного опису об'єкта. Ідентифікація може бути виконана аналітичним або експериментальним методом. Аналітичний метод включає аналіз та застосування фізичних законів під час аналізу процесів, що відбуваються в об'єкті. Експериментальний метод передбачає отримання необхідних даних, наприклад, кривої розгону, безпосередньо з об'єкта. Експериментальний метод використовується для перевірки адекватності аналітично отриманої моделі.

#### 5.1.1 Аналітичне визначення математичної моделі

При виробництві хлібопекарських дріжджів регулювання температури в теплообміннику, де охолоджуються дріжджі, є важливим аспектом. Ось кілька причин, чому це необхідно:

1. Контроль активності дріжджів: Температура має значний вплив на активність дріжджів. Підтримка оптимальної температури під час охолодження дріжджів допомагає забезпечити відповідну реактивність і здатність до ферментації. Неправильна температура може призвести до зниження якості та продуктивності дріжджів.

2. Зупинка процесу росту: Охолодження дріжджів в теплообміннику дозволяє знизити їхню температуру після активного росту та ферментації. Це дозволяє зупинити процеси бродіння та зберегти бажані характеристики дріжджів для подальшого використання в виробництві.

3. Контроль якості продукту: Правильна температура охолодження дріжджів є важливою для забезпечення якості готового продукту. Недостатнє охолодження може призвести до зайвого росту дріжджів під час зберігання, що може вплинути на структуру та смак хлібних виробів.

4. Енергоефективність: Регулювання температури в теплообміннику де охолоджуються дріжджі, також може бути важливим для забезпечення енергоефективності процесу виробництва. Оптимізація температурних режимів дозволяє зменшити витрати енергії та забезпечити ефективну роботу системи охолодження.

Розглянемо теплообмінник, принципова схема якого представлена на рис 12.



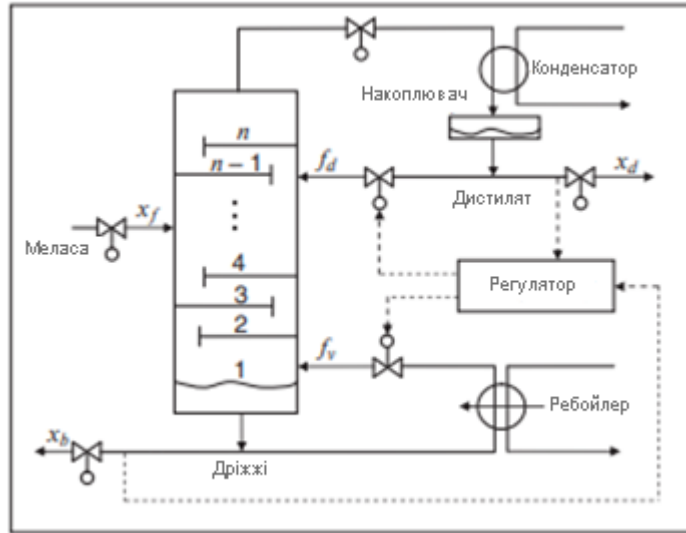


Рисунок 12 - Принципова схема теплообміннику

Нехай динамічні процеси в теплообміннику описуються рівнянням [6]

$$\begin{bmatrix} x_d(t) \\ x_b(t) \end{bmatrix} = G(p)(I + w_I(p)\Delta_I) \begin{bmatrix} f_d(t) \\ f_v(t) \end{bmatrix} + G_d(p)x_f(t), \quad (1)$$

де  $x_d(t)$  - витрата меласи, моль / с;  $x_b(t)$  - витрата дріжджів, моль / с;  $f_d(t)$  - зворотний витрата меласи, моль / с;  $f_v(t)$  - зворотний витрата дріжджів, моль / с;  $x_f(t)$  - потік вихідної сировини, моль / с;  $G(\lambda)$  - номінальна складова передавальної функції математичної моделі об'єкта (1) з відносною ступенем  $\gamma$ ;  $G_d(\lambda)$  - передавальна функція по подачі вихідної сировини;  $I$  - одинична матриця;  $w_I(\lambda)$  - передавальна функція, яка містить структурні невизначеності математичної моделі об'єкта;  $\Delta_I$  - числова матриця, яка містить параметричну невизначеність моделі об'єкта;  $p = d / dt$  - оператор диференціювання;  $\lambda$  - комплексна змінна в перетворенні Лапласа.

LV-формат моделі (1) було обрано тому, що він частіше використовується в промисловій практиці, ніж формати DV і DB, які представляють моделі процесів охолодження. При синтезі закону управління теплообмінником (1) розглядають окремо два типу збурень: параметричні ( $w_I(\lambda) = 1$ ) і структурні ( $w_I(\lambda)$  - довільна передавальна функція). Для кожного типу збурень будується своя передавальна функція регулятора. Пропонується модель класу (1), при цьому передбачається, що сигнал  $x_f(t)$  - зовнішнє неконтрольоване обурення.

Нижче наведений алгоритм, який дозволяє компенсувати різні види збурень, що впливають на об'єкт управління з незмінною структурою регулятора. При вирішенні цих завдань на об'єкт управління застосовуються такі обмеження:

1. Формулювання завдання: Чітко визначимо постановку завдання та цілі управління. Встановимо обмеження та вимоги, які повинні бути задоволені системою управління.

2. Аналіз збурень: Визначимо різні види збурень, які можуть впливати на об'єкт управління. Це можуть бути зовнішні перешкоди, шуми, зміни параметрів об'єкта або будь-які інші фактори, що впливають на його роботу.

3. Вибір компенсаційного алгоритму: Розглянемо різні методи компенсації збурень, такі як адаптивне управління, компенсація спостереженнями, передбачення та інші техніки. Виберемо алгоритм, який найкраще відповідає потребам та обмеженням.

4. Розробка моделей: Створимо математичні моделі об'єкта управління та збурень. Використаймо ці моделі для аналізу взаємодії між об'єктом та збуреннями, а також для розробки стратегії компенсації.

5. Параметризація регулятора: Налаштуємо параметри регулятора таким чином, щоб врахувати компенсацію збурень. Використаємо методи оптимізації або еволюційні алгоритми для підбору оптимальних значень параметрів.

6. Валідація та налагодження: Проведемо експериментальне тестування системи управління для перевірки

Припущення:

1. Коефіцієнти що є невідомими в передаточній функції  $wI(\Lambda)$  і матриці  $\Delta I$  залежать від деякого вектору невідомих параметрів  $\theta \in \Xi$ , де  $\Xi$  - відоме обмежене безліч.

2. Сигнали, що можуть управлятись:  $x_d(t)$ ,  $x_b(t)$ ,  $f_d(t)$  і  $f_v(t)$ .

Спроекуємо систему стеження у теплообміннику  $y(t) = [X_d(t), x_b(t)] T$  за еталоном  $u_m(t) = [x_d^*(t), x_b^*(t)] T$  в умовах невизначеності параметрів, зовнішніх збурень і динамічного порядку моделі (1), щоб виконувалась умова

$$|y(t) - y_m(t)| < \delta \text{ при } t > T. \quad (2)$$

Тут  $\delta > 0$ ;  $t$  - час, після проходження повинна виконуватись функція (2) для  $\forall \theta \in \Xi$ ;  $u_m(t)$  - гладка обмежена функція.

Метод рішення

Введемо позначення  $u(t) = [f_d(t), f_v(t)]$ . Тоді рівняння (1) можна переписати у вигляді

$$y(t) = G(p)(I + w_I(p)\Delta_I)u(t) + G_d(p)x_f(t).$$

Побудуємо рівняння для визначення помилка стеження  $e(t) = y(t) - u_m(t)$  у вигляді

$$e(t) = G(p)(I + w_I(p)\Delta_I)u(t) + G_d(p)x_f(t) - y_m(t). \quad (3)$$

Введемо допоміжний контур

$$\tilde{e}(t) = \alpha G(p)u(t), \quad (4)$$

де  $\alpha > 0$ . З урахуванням (3) і (4) складемо рівняння неузгодженості  $\zeta(t) = e(t) - \tilde{e}(t)$ :

$$\begin{aligned} \zeta(t) &= G(p)\phi(t), \\ \phi(t) &= [(1 - \alpha)I + w_I(p)\Delta_I]u(t) + \\ &+ G^{-1}(p)G_d(p)x_f(t) + G^{-1}(p)y_m(t). \end{aligned}$$

Тут  $\phi(t)$  - нова функція збурення, що має в параметричні, функціональні і структурні невизначеності, які впливають на об'єкт (1).

Щоб компенсувати невизначеності, що впливають на теплообмінник, задаємо сигнал управління у вигляді

$$u(t) = -\alpha^{-1}G^{-1}(p)\tilde{\zeta}(t), \quad (5)$$

де  $\tilde{\zeta}(t)$  - оцінка сигналу  $\zeta(t)$ , отримана за допомогою спостерігача:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{\zeta}}_i(t) &= G_0 \tilde{\zeta}_i(t) + D_0 (\tilde{\zeta}_i(t) - \zeta_i(t)), \quad \tilde{\zeta}_i(t) = L \xi_i(t). \quad (6) \\ G_0 &= \begin{bmatrix} 0 & I_{\gamma-1} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

тут  $\tilde{\zeta}_i(t)$ ,  $\zeta_i(t)$  -  $i$ -ті компоненти векторів  $\tilde{\zeta}(t)$  і  $\zeta(t)$ ,  $i = 1, 2$ ,  $\xi_i(t) \in R_\gamma$ ;  $G_0$ ,  $I_{\gamma-1}$  - одинична матриця розмірності  $(\gamma-1) \times (\gamma-1)$ ;  $D_0 = -[d_1 \mu^{-1}, \dots, d_\gamma \mu^{-\gamma}]$ ; Коефіцієнти  $d_1, \dots, d_\gamma$  вибираються з матриці Гурвіца  $G = G_0 - DL$ ;  $D = [d_1, \dots, d_\gamma]^T$ ;  $\mu$  - досить мала величина,  $L = [1, 0, \dots, 0]$ .

Для визначення точності вводимо вектор відхилень,

$$\bar{\eta}_i(t) = \Gamma^{-1}(\xi_i(t) - \theta_i(t)),$$

де

$$\begin{aligned} \Gamma &= \text{diag} \{ \mu^{\gamma-1}, \dots, \mu, 1 \} \\ \theta_i(t) &= [\zeta_i(t), \dot{\zeta}_i(t), \dots, \zeta_i^{(\gamma)}(t)]^T. \end{aligned}$$

Після диференціювання  $\eta(t)$  враховуючі рівняння (6) за часом, отримуємо

$$\dot{\bar{\eta}}_i(t) = \mu^{-1} G \bar{\eta}_i(t) + \bar{b} \zeta_i^{(\gamma+1)}(t), \quad \bar{\Delta}_i(t) = \mu^{\gamma-1} L \bar{\eta}_i(t),$$

$$\bar{b} = [0, \dots, 0, 1]^T.$$

Перебудуємо рівняння в еквівалентну щодо виходу  $\Delta(t)$  :

$$\dot{\eta}_i(t) = \mu^{-1} G \eta_i(t) + b \zeta_i(t), \quad \bar{\Delta}_i(t) = \mu^{\gamma-1} L \eta_i(t). \quad (7)$$

Тут  $\eta_{i1}(t) = \bar{\eta}_{i1}(t)$ ,  $b = [1, 0, \dots, 0]^T$ . Останні рівності еквівалентні щодо змінних  $\eta_{i1}(t) = \bar{\eta}_{i1}(t)$  на увазі того, що є різними векторно-матричними формами записи одного рівняння:

$$(p^\gamma + d_1 \mu^{-1} p^{\gamma-1} + \dots + d_\gamma \mu^{-\gamma}) \bar{\eta}_{i1}(t) = p^\gamma \zeta_i(t).$$

Беручи до уваги (5) і (7), рівняння помилки стеження (3) перетворимо до виду

$$e(t) = \mu^{\gamma-1} G(p) [L, L] [\eta_1(t), \eta_2(t)]^T.$$

Якщо виконані умови припущень 1, 2. Тоді існують числа  $t > 0$  і  $\mu_0 > 0$  такі, що при  $\mu \leq \mu_0$  система управління (4) - (6) забезпечує виконання цільового умови (2) для об'єктів класу (1) при  $t \geq t$  для  $\forall \theta \in \Xi$ .

Розглянемо теплообмінник, динамічні процеси в якому описуються рівнянням (1). Бажану поведінку процесу теплообміну досягаються, наприклад, коли  $u_m(t) = [x d^*(t), x b^*(t)]^T$   $T = [0,99,0,01]$   $T$  (моль / с).

Складова номінальна передавальної функції об'єкта (1)

$$W(p) = \frac{1}{450p + 1}$$

### 5.1.2 Получення кривої розгону

Для получения кривої розгону в нормованому стані використовуємо передавальну функцію

$$W(p) = \frac{1}{450p + 1}$$

Значення вихідної змінної наводяться до діапазону 0..1, що відповідає одиничному вхідному стрибку.

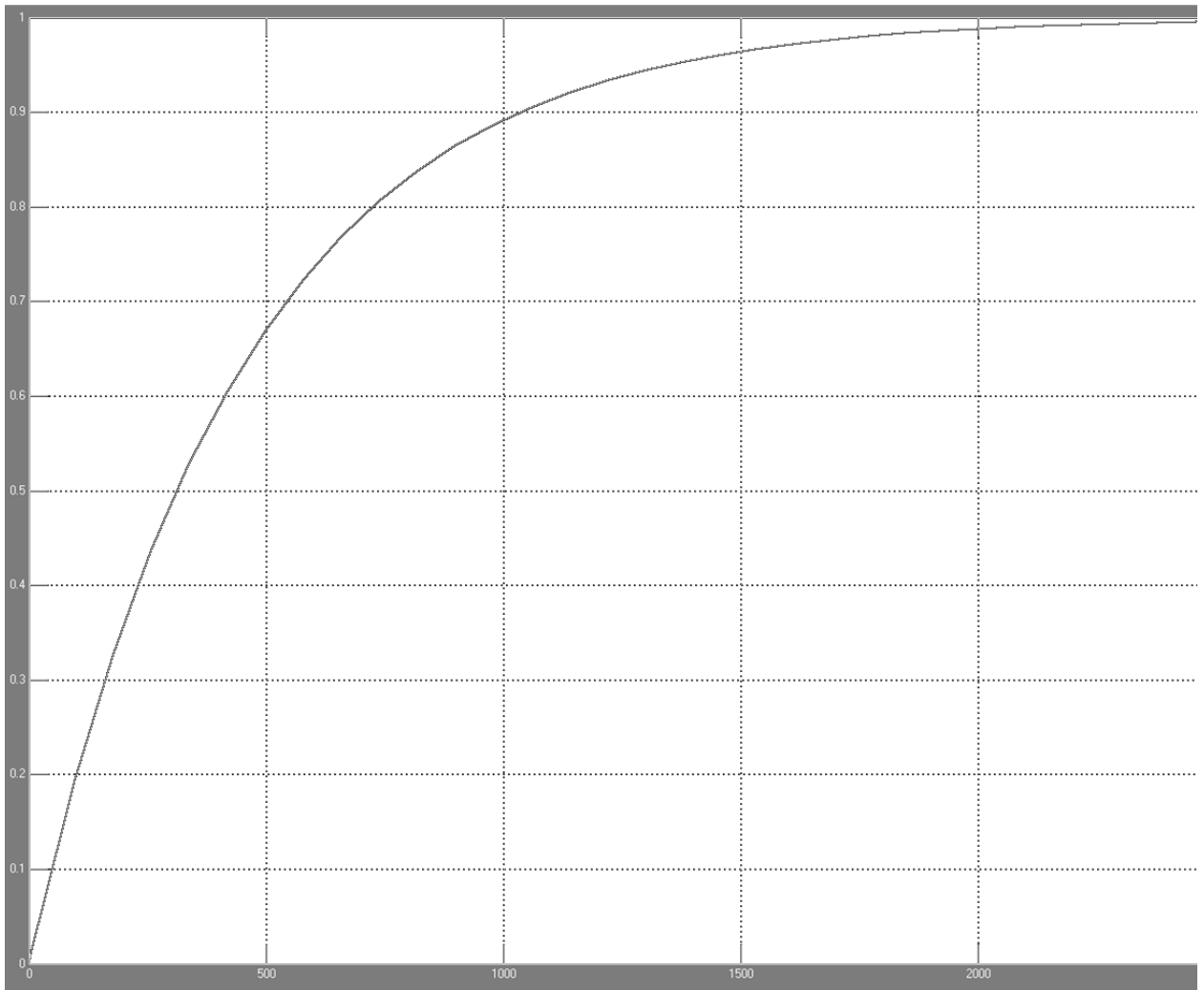


Рисунок 13 – Нормована крива розгону

Візьмемо метод Орманса [7] для визначення передаточної функції.

Цей метод дозволить визначити дві постійні об'єкта управління, що найбільш впливові відповідно до кривої розгону:

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

Алгоритм визначення передаточної функції:

- 1) визначаємо час нормованої кривої розгону, що відповідає значенню  $h = 0,7$  і позначаємо його  $t_7$ . По кривій цей час дорівнює 483 секунди.
- 2) Інтервал ділимо на три частини. Опустимо перпендикуляр до кривої розгону і визначаємо величину  $hN_4$ . Відповідно до кривої  $hN_4 = 0,33$  (рисунок 38).
- 3) Маємо зв'язок між точками кривої розгону і параметрами моделі, а саме  $t_7 = 1,2 (T_1 + T_2)$ .

4) Щоб знайти постійні часу об'єкта управління використовується допоміжна величина  $Z^2$ , з номограми.

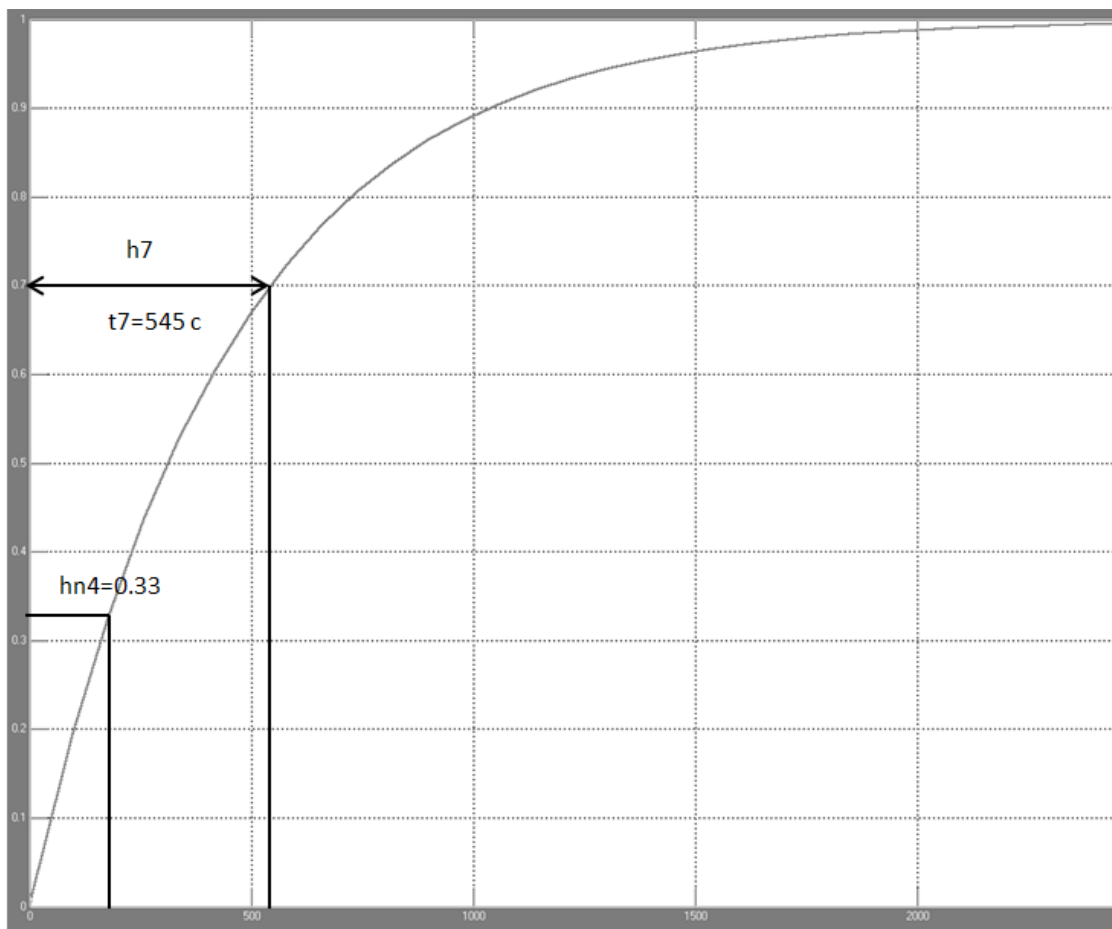


Рисунок 14 – Графік кривої розгону

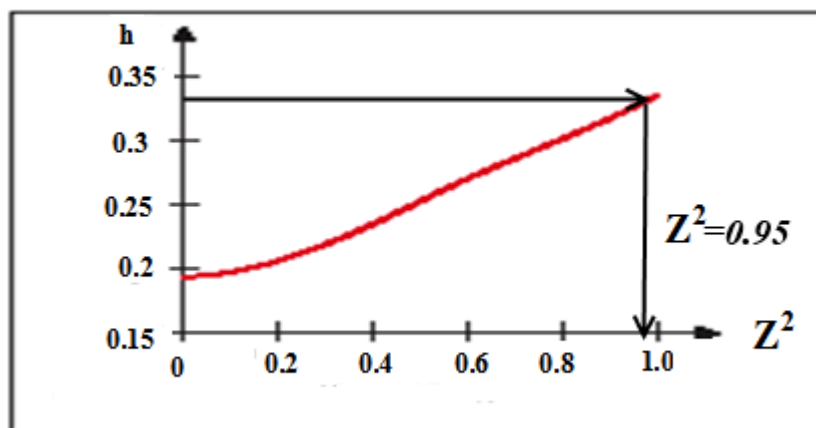


Рисунок 15 - Номограма для отримання величини  $Z^2$

5) Визначаємо постійних часу об'єкта управління  $T_1$  і  $T_2$ :

$$T_1 = \frac{t_7}{2.4}(1+z) \quad T_2 = \frac{t_7}{2.4}(1-z)$$

$$T_1 = \frac{545}{2.4}(1 + 0.975) = 448.5 \text{ c}$$

$$T_2 = \frac{545}{2.4}(1 - 0.975) = 5.67 \text{ c}$$

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{1 + Tp}$$

Т.к.  $T_1 \gg T_2$ , переходимо до моделі першого порядку:

Передаточна функція буде мати вигляд:

$$W(p) = \frac{1}{448.5p + 1}$$

Будуємо перехідну характеристику і порівнюємо з вихідною кривою розгону і отримаємо нормовані графіки (рисунок 40).

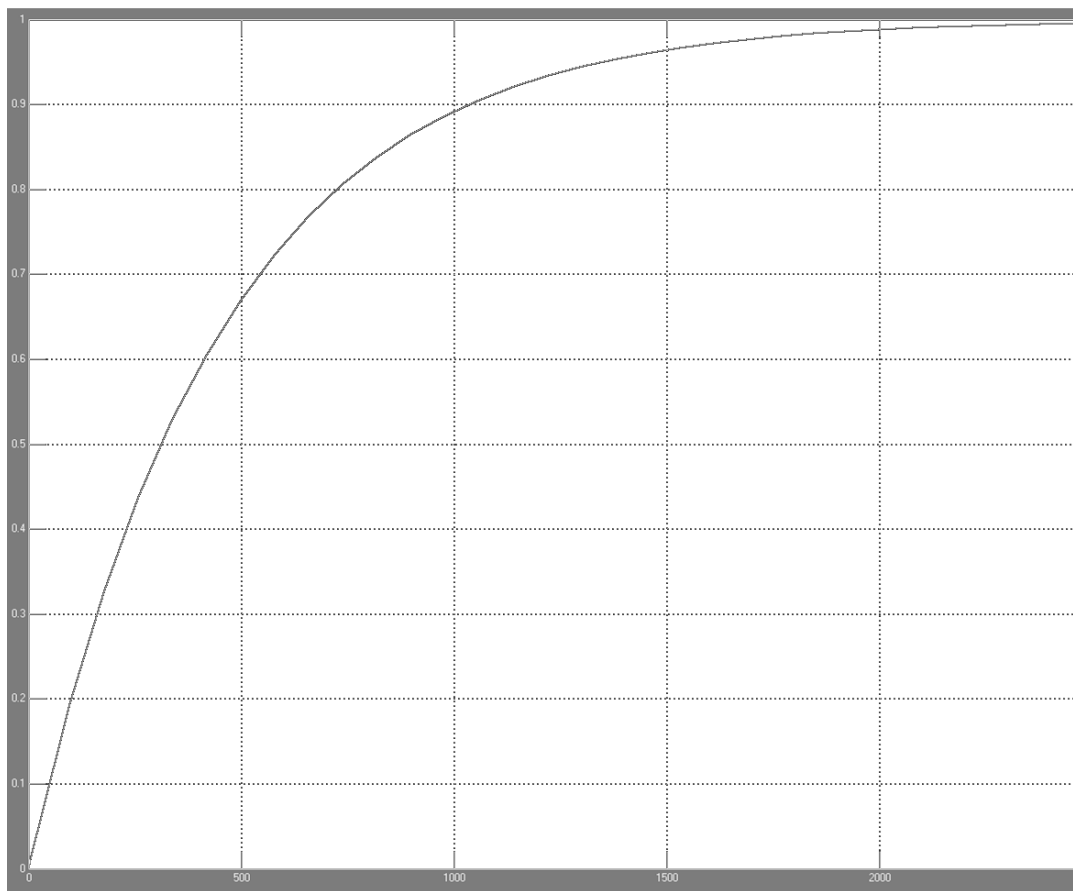


Рисунок 16- Експериментальна крива розгону

8.1.3 Отримані криві розгону перевіримо на адекватність:

Для цього використаємо метод Фішера [8]. Ділимо весь інтервал часу на 10 частин і визначимо  $Y_{i \text{ зад}}$  і  $Y_{i \text{ мод}}$ . Ці значення записані до таблиці 4.

Таблиця 4 – Отримані значення

|          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| зад<br>Y | 0.103 | 0.199 | 0.282 | 0.357 | 0.427 | 0.486 | 0.542 | 0.59  | 0.632 | 0.672 |
| мод<br>Y | 0.102 | 0.2   | 0.28  | 0.353 | 0.425 | 0.484 | 0.54  | 0.584 | 0.631 | 0.67  |
| t        | 50    | 100   | 150   | 200   | 250   | 300   | 350   | 400   | 450   | 500   |

$$Усер.мод=0,427$$

$$Усер.зад=0,429$$

Для розрахунків використаємо математичний пакет MathCad.

$$\begin{array}{l}
 yz := \begin{pmatrix} 0.103 \\ 0.199 \\ 0.282 \\ 0.357 \\ 0.427 \\ 0.486 \\ 0.542 \\ 0.59 \\ 0.632 \\ 0.672 \end{pmatrix} \\
 ym := \begin{pmatrix} 0.102 \\ 0.2 \\ 0.28 \\ 0.353 \\ 0.425 \\ 0.484 \\ 0.54 \\ 0.584 \\ 0.631 \\ 0.67 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$S1 := \frac{\sum_{i=0}^9 (yz_i - 0.429)^2}{9}$$

$$S1 = 0.036$$

$$S2 := \frac{\sum_{i=0}^9 (ym_i - 0.427)^2}{9}$$

$$S2 = 0.036$$

$$F := \frac{S1}{S2}$$

$$F = 1.008$$

Рисунок 17- MathCad розрахунки.

По таблиці для  $f_1 = 10$ ,  $f_2 = 10$  визначаємо критерій Фішера. Для даних значень він дорівнює 2,98.

Так як по таблиці Фішера цей критерій менше ніж критерій по таблиці ( $1,008 < 2.98$ ), то припустимо, що дана модель адекватна.

Таблиця 5 - Критерій Фішера



| $f_2$ | $f_1$  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 15     |
| 1     | 161.45 | 199.50 | 215.71 | 224.58 | 230.16 | 233.99 | 236.77 | 238.88 | 240.54 | 241.88 | 245.95 |
| 2     | 18.51  | 19.00  | 19.16  | 19.25  | 19.30  | 19.33  | 19.35  | 19.37  | 19.38  | 19.40  | 19.43  |
| 3     | 10.13  | 9.55   | 9.28   | 9.12   | 9.01   | 8.94   | 8.89   | 8.85   | 8.81   | 8.79   | 8.70   |
| 4     | 7.71   | 6.94   | 6.59   | 6.39   | 6.26   | 6.16   | 6.09   | 6.04   | 6.00   | 5.96   | 5.86   |
| 5     | 6.61   | 5.79   | 5.41   | 5.19   | 5.05   | 4.95   | 4.88   | 4.82   | 4.77   | 4.74   | 4.62   |
| 6     | 5.99   | 5.14   | 4.76   | 4.53   | 4.39   | 4.28   | 4.21   | 4.15   | 4.10   | 4.06   | 3.94   |
| 7     | 5.59   | 4.74   | 4.35   | 4.12   | 3.97   | 3.87   | 3.79   | 3.73   | 3.68   | 3.64   | 3.51   |
| 8     | 5.32   | 4.46   | 4.07   | 3.84   | 3.69   | 3.58   | 3.50   | 3.44   | 3.39   | 3.35   | 3.22   |
| 9     | 5.12   | 4.26   | 3.86   | 3.63   | 3.48   | 3.37   | 3.29   | 3.23   | 3.18   | 3.14   | 3.01   |
| 10    | 4.96   | 4.10   | 3.71   | 3.48   | 3.33   | 3.22   | 3.14   | 3.07   | 3.02   | 2.98   | 2.85   |
| 11    | 4.84   | 3.98   | 3.59   | 3.36   | 3.20   | 3.09   | 3.01   | 2.95   | 2.90   | 2.85   | 2.72   |
| 12    | 4.75   | 3.89   | 3.49   | 3.26   | 3.11   | 3.00   | 2.91   | 2.85   | 2.80   | 2.75   | 2.62   |
| 13    | 4.67   | 3.81   | 3.41   | 3.18   | 3.03   | 2.92   | 2.83   | 2.77   | 2.71   | 2.67   | 2.53   |
| 14    | 4.60   | 3.74   | 3.34   | 3.11   | 2.96   | 2.85   | 2.76   | 2.70   | 2.65   | 2.60   | 2.46   |
| 15    | 4.54   | 3.68   | 3.29   | 3.06   | 2.90   | 2.79   | 2.71   | 2.64   | 2.59   | 2.54   | 2.40   |
| 16    | 4.49   | 3.63   | 3.24   | 3.01   | 2.85   | 2.74   | 2.66   | 2.59   | 2.54   | 2.49   | 2.35   |
| 17    | 4.45   | 3.59   | 3.20   | 2.96   | 2.81   | 2.70   | 2.61   | 2.55   | 2.49   | 2.45   | 2.31   |

#### 5.1.4 Вибір типу регулятора та його настроювальних параметрів

Для цього використовуємо математичний пакет MATLAB.

Вигляд зібраної схеми регулювання:

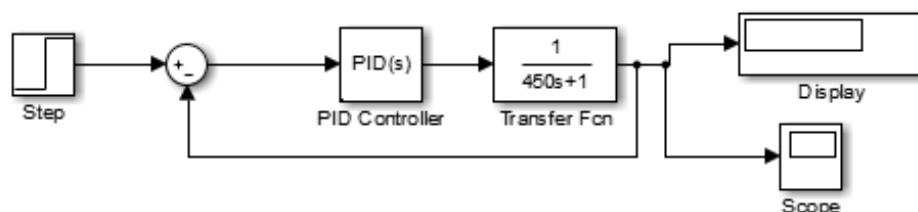


Рисунок 18- Модель в математичному пакеті MATLAB

При виборі регулятора для системи управління ми будемо розглядати промислові П, ПІ і ПІД - регулятори. Головними критеріями при виборі будуть час регулювання і перегулювання. Для зручності, нижче наведена таблиця з параметрами всіх регуляторів. Підбір параметрів регулятора здійснюється шляхом переміщення відповідного повзунка.

##### 5.1.4.1 П- регулятор

Безперервний ідеальний П- регулятор

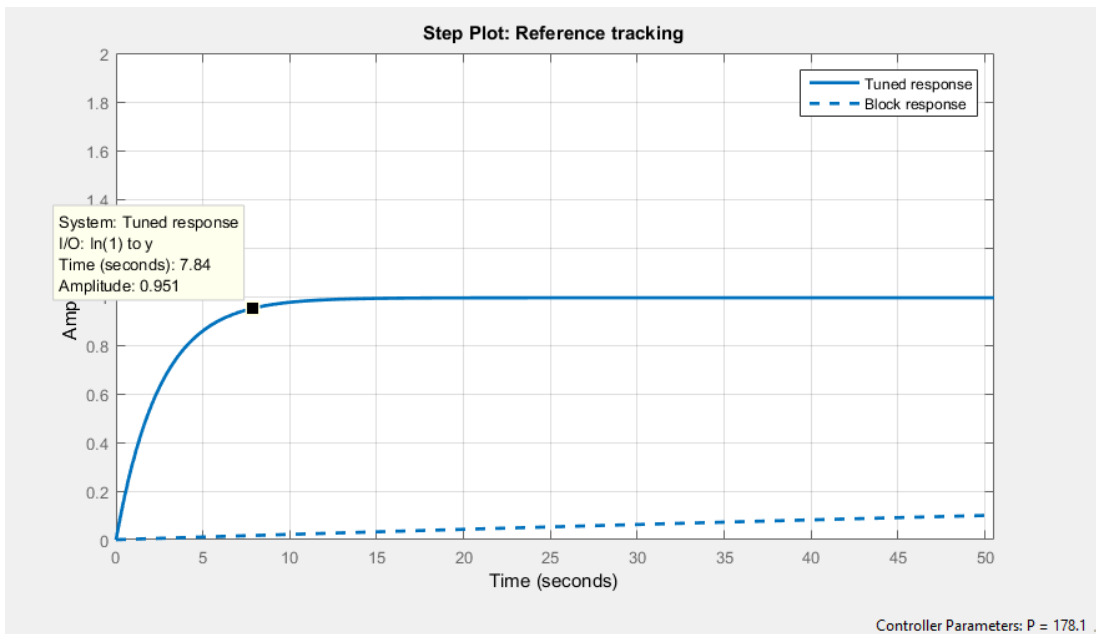


Рисунок 19- Криві моделювання

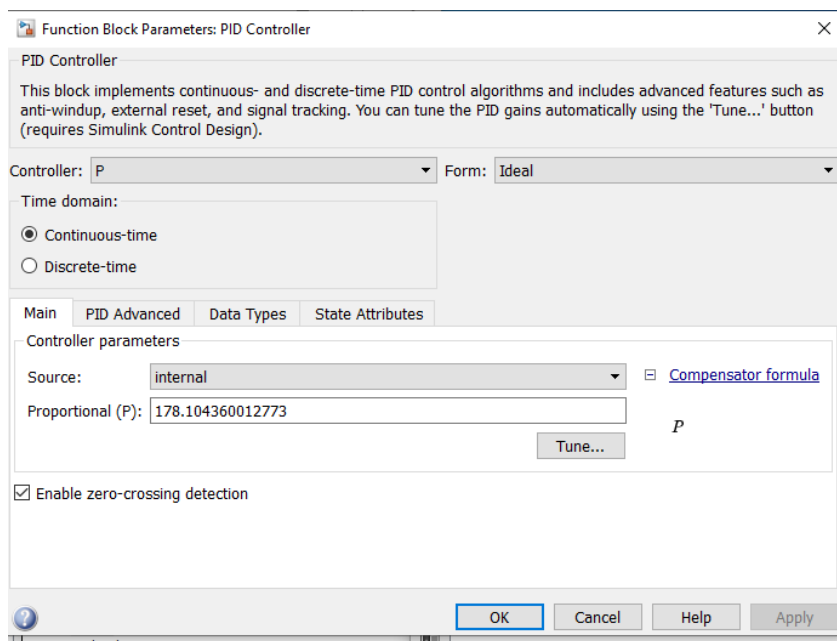


Рисунок 20- Налаштування П-регулятора

Після настроювання отримали наступні результати для регулятора: коефіцієнт підсилення - 178.1, час регулювання - 7.84 секунди, відсутнє перерегулювання. Такі самі значення були отримані й для безперервного паралельного П-регулятора під час налаштування.

#### 5.1.4.2 ПІ – регулятор

Безперервний паралельний ПІ – регулятор

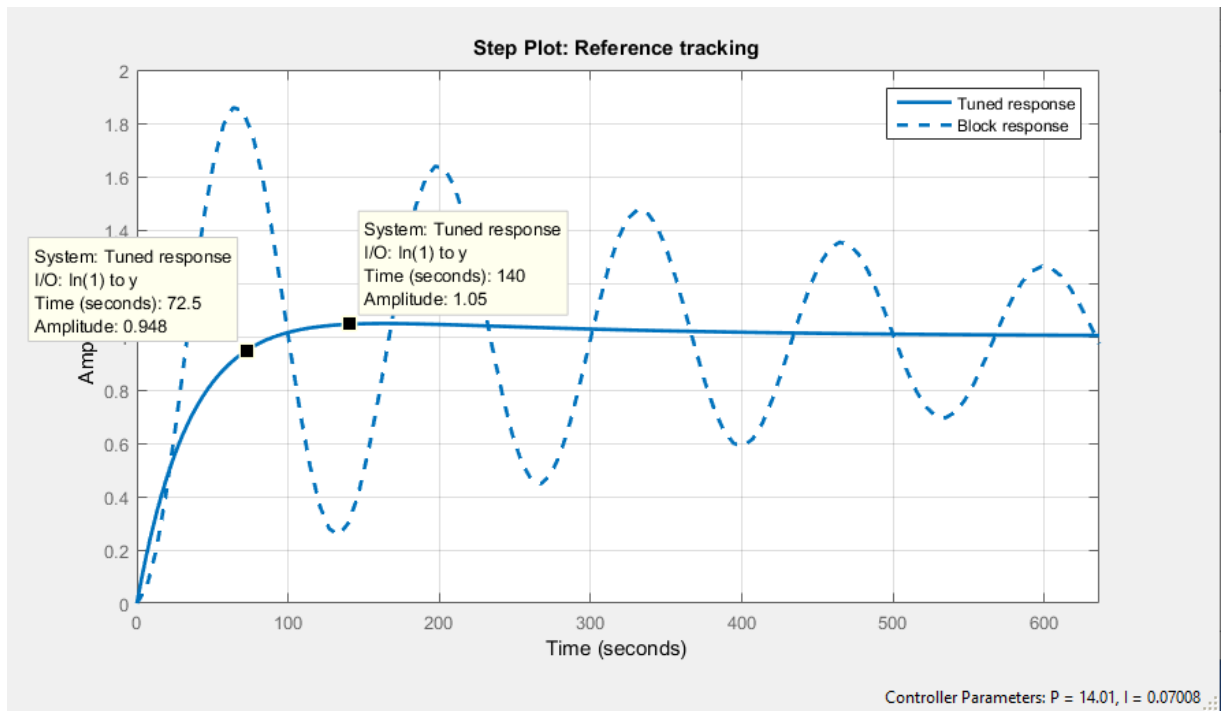


Рисунок 21- Криві моделювання

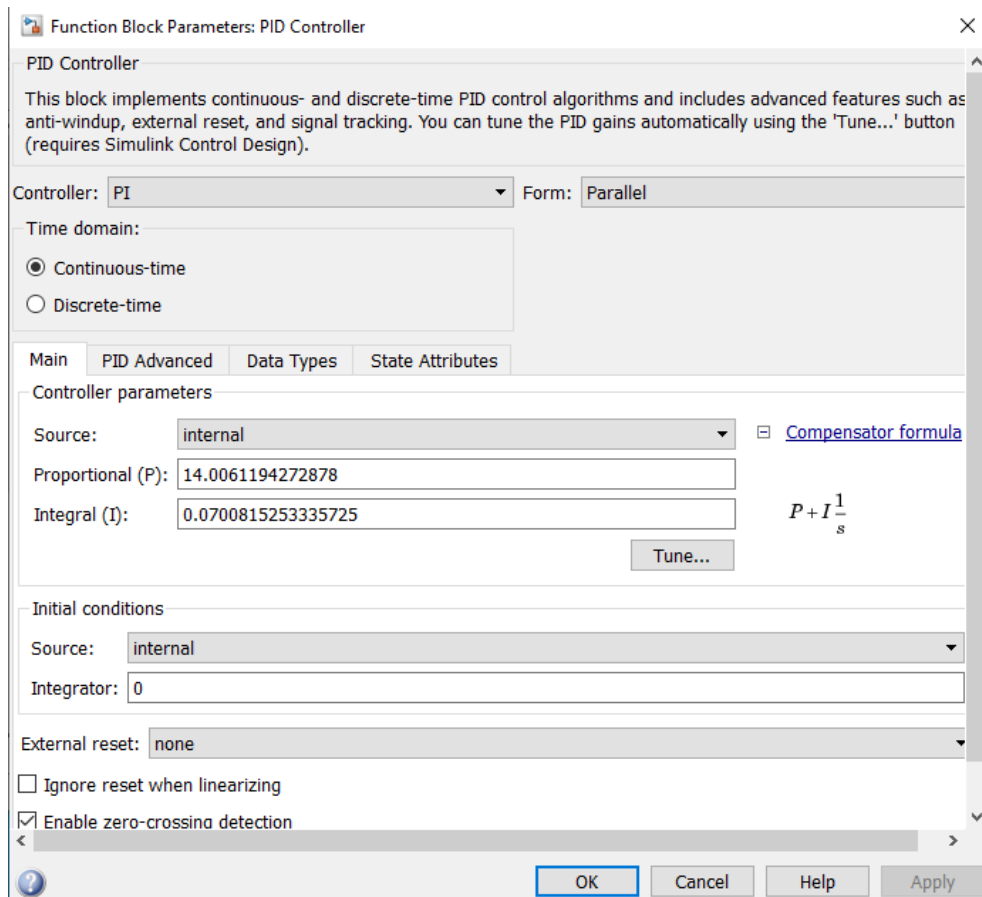


Рисунок 22 - Настройки ПІ-регулятора

Після налаштування маємо: коефіцієнт підсилення – 14; час інтегрування – 0,07; час регулювання 72,5 с; перерегулювання 5%.

Безперервний ідеальний ПІ – регулятор

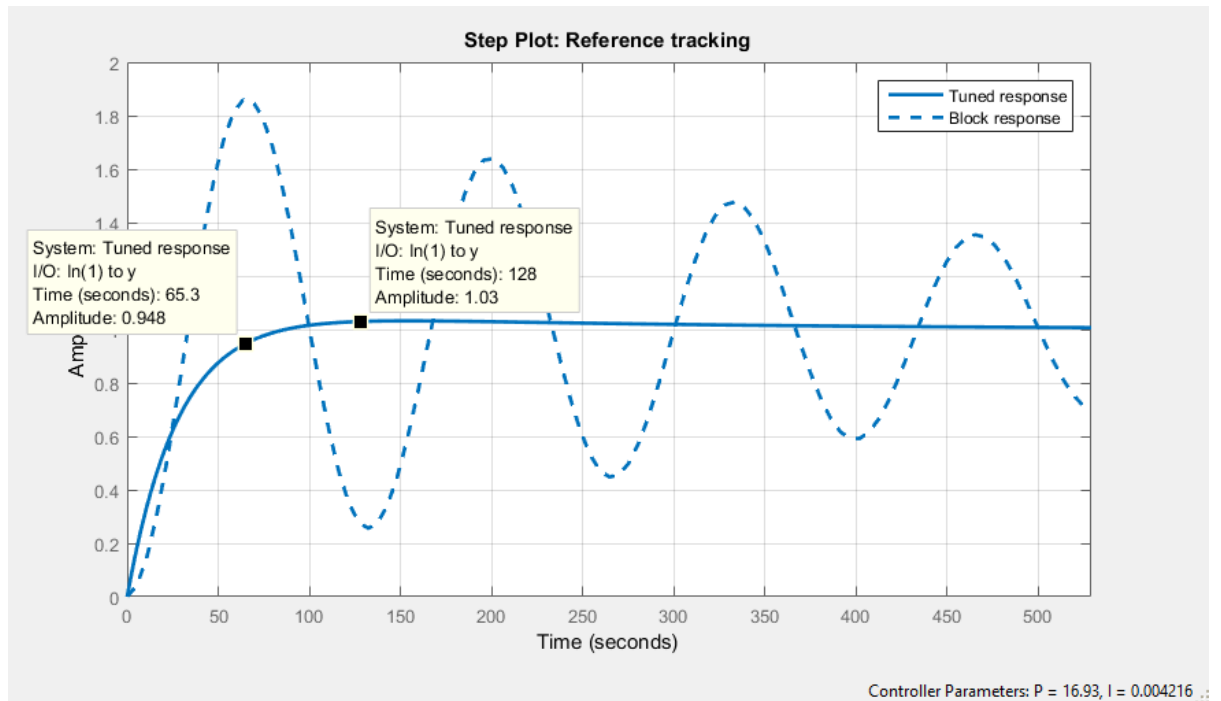


Рисунок 23- Криві моделювання

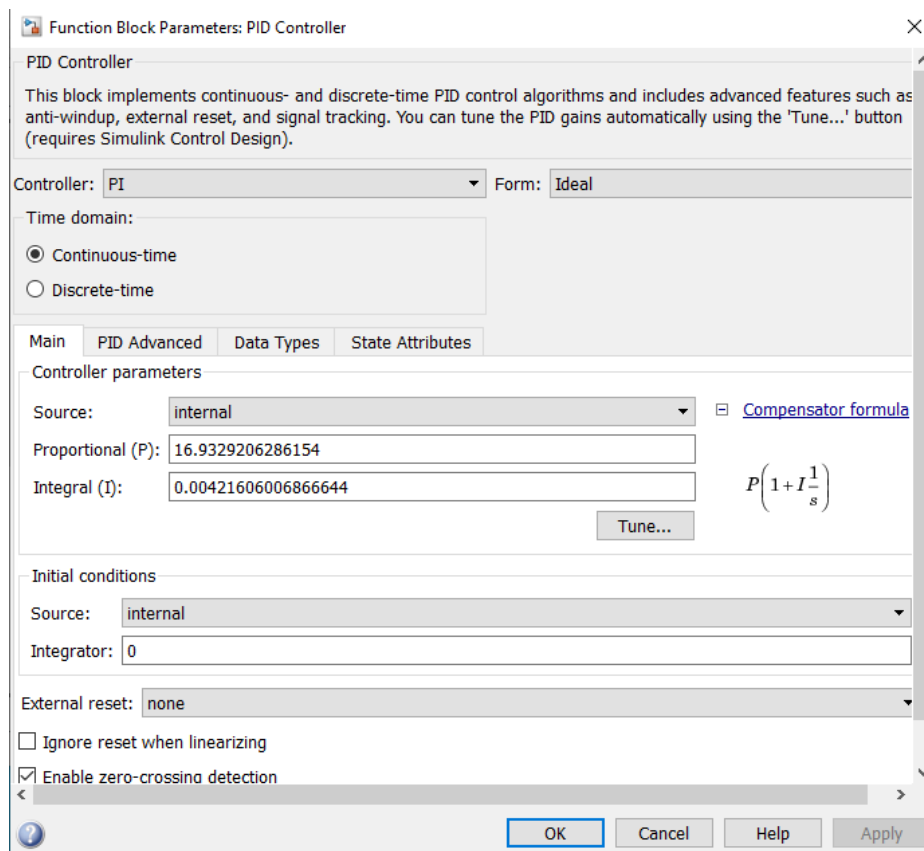


Рисунок 24- Настройки ПИ-регулятора

В результаті налаштування отримали: коефіцієнт підсилення – 16,93; час інтегрування – 0,004; час регулювання 65,3 секунди; перерегулювання 3%.

Дискретний ідеальний ПІ – регулятор

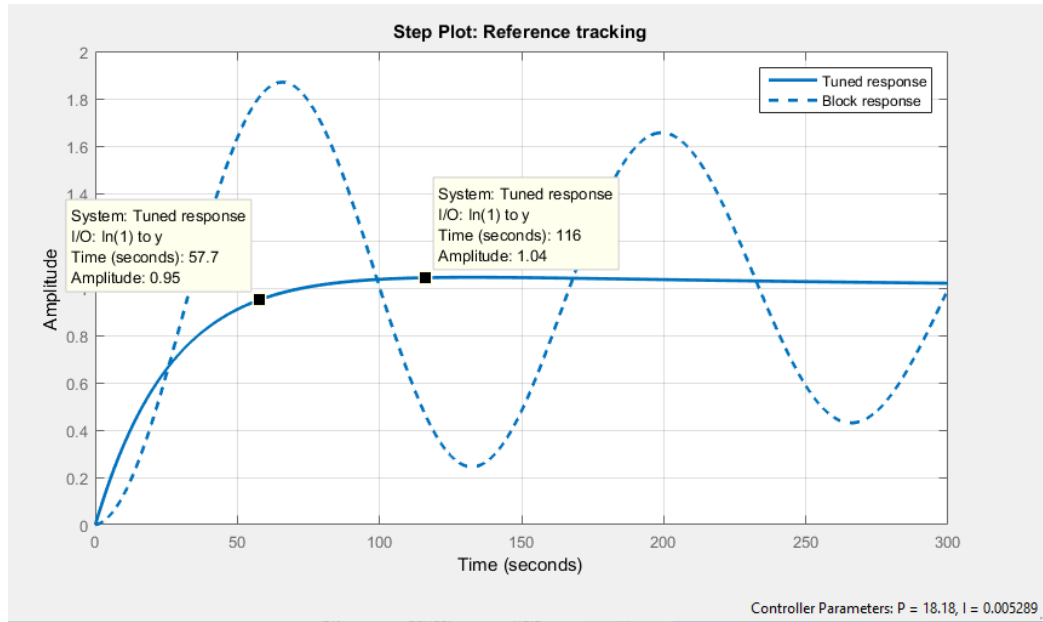


Рисунок 25- Криві моделювання

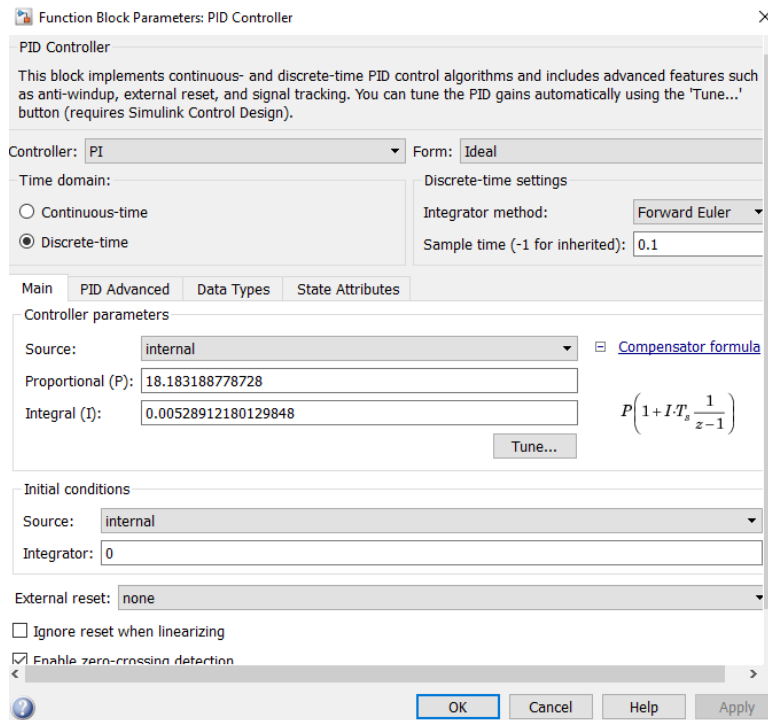


Рисунок 26- Настройки ПИ-регулятора

Після чого маємо: коефіцієнт підсилення – 18,18; час інтегрування – 0,005; час регулювання 57,7 с; перерегулювання 4%.

Дискретний паралельний ПІ – регулятор

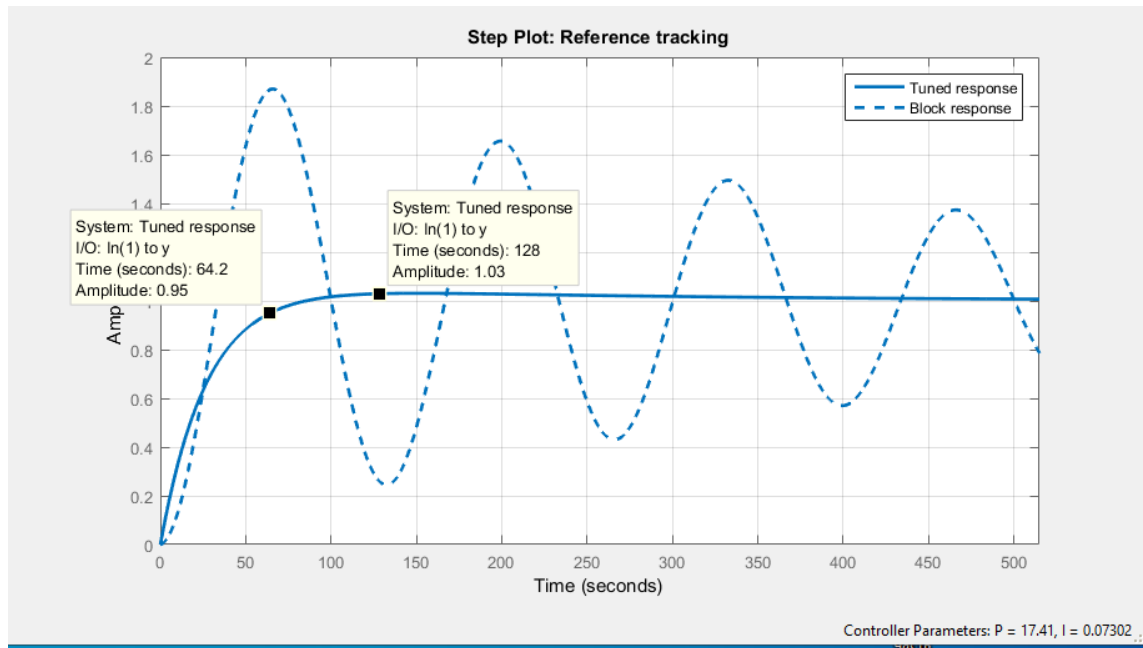


Рисунок 27- Криві моделювання

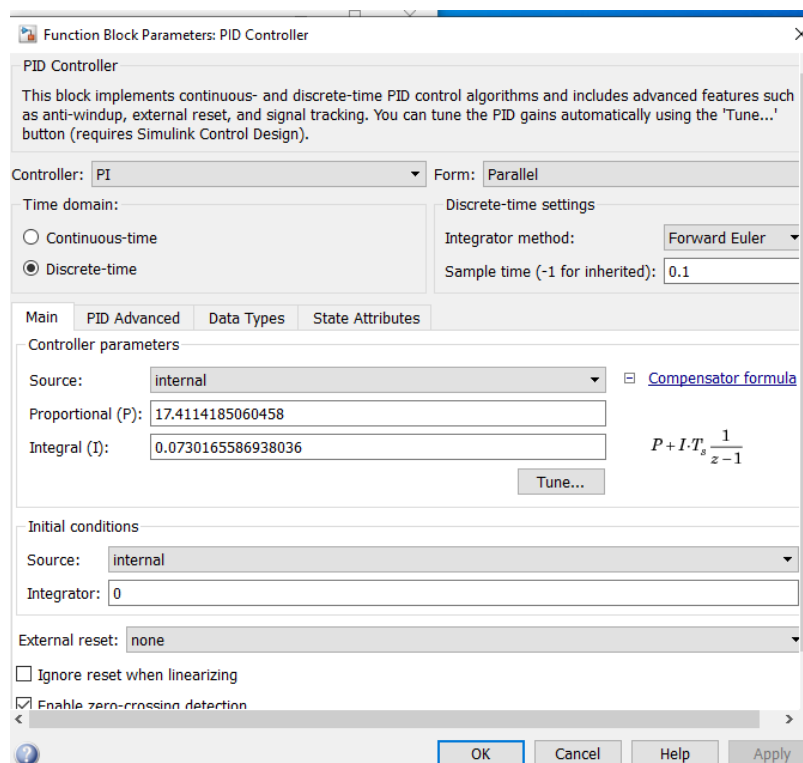


Рисунок 28- Налаштування ПІ-регулятора

Після чого маємо: коефіцієнт підсилення – 17,41; час інтегрування – 0,07; час регулювання 64,2 секунди; перерегулювання 3%.

### 5.1.4.3 ПІД – регулятор

#### Безперервний ідеальний ПІД – регулятор

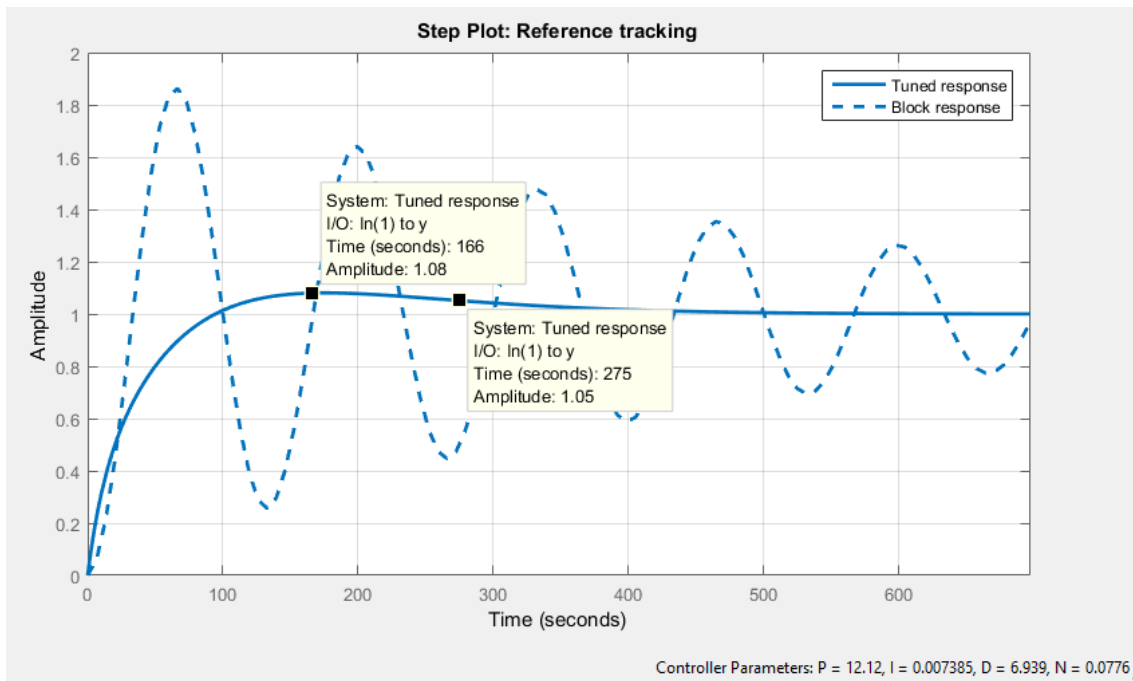


Рисунок 29- Криві моделювання

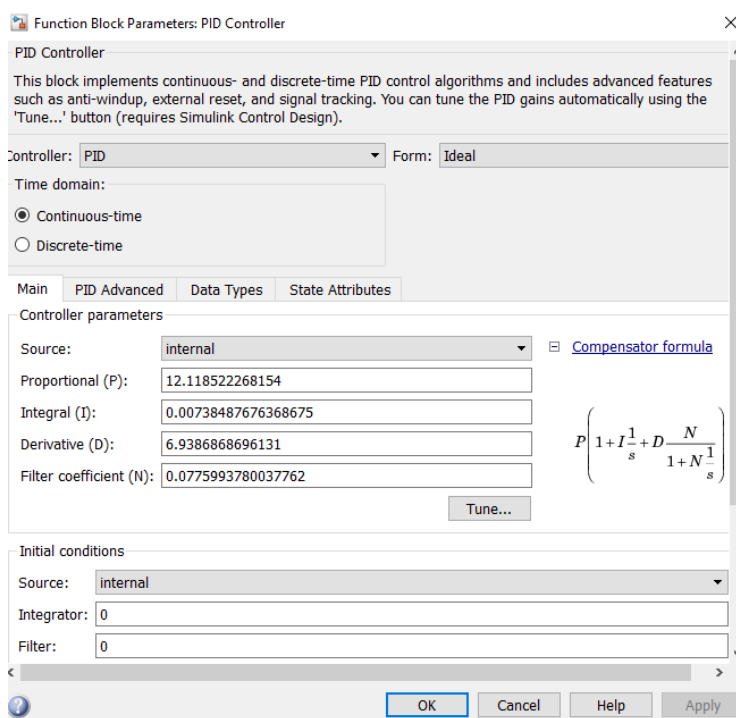


Рисунок 30- Налаштування ПІД-регулятора

Після чого маємо: коефіцієнт підсилення – 12,11; час інтегрування – 0,007; час диференціювання – 6,93; час регулювання 275 секунди; перерегулювання 8%.

Безперервний паралельний ПІД – регулятор

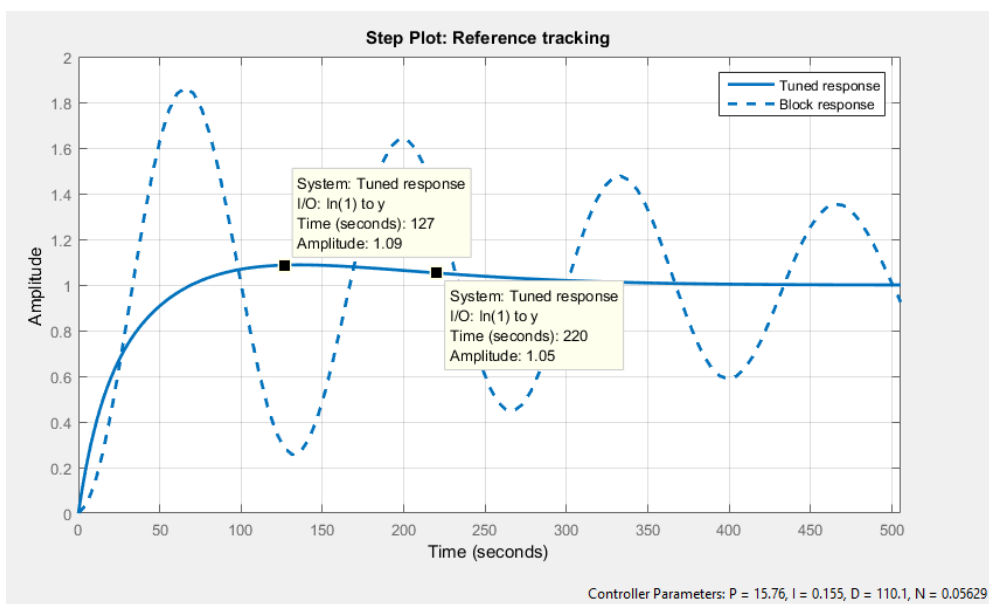


Рисунок 31 - Результати моделювання

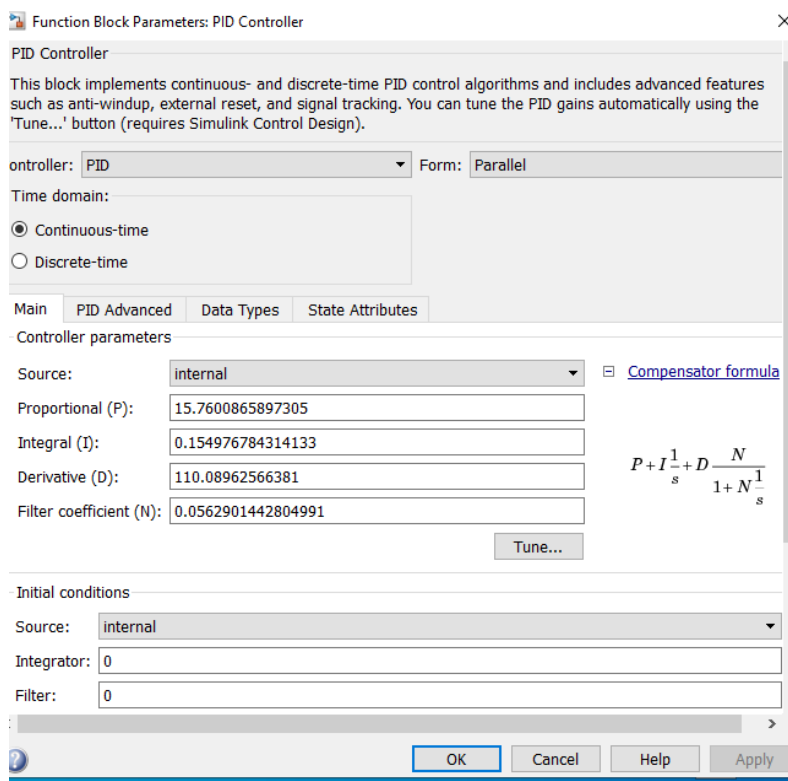


Рисунок 32- Налаштування ПІД-регулятора

Після чого маємо: коефіцієнт підсилення – 15,76; час інтегрування – 0,15; час диференціювання – 110,08; час регулювання 220 секунди; перерегулювання 9%.



## Дискретний паралельний ПІД – регулятор

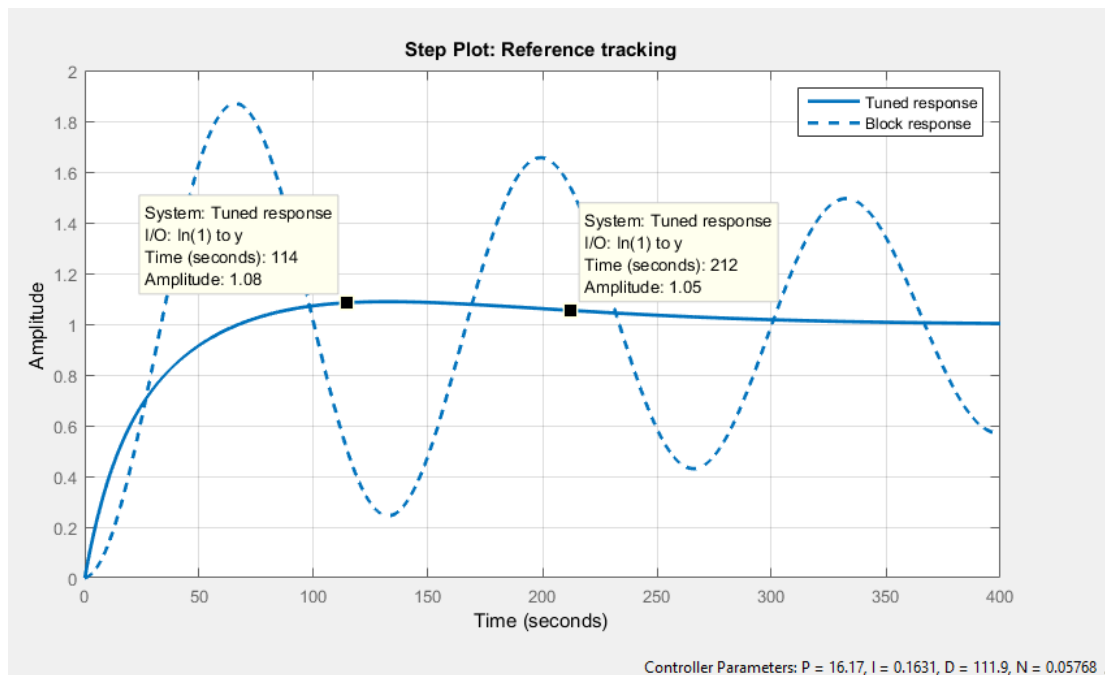


Рисунок 33 - Результати моделювання

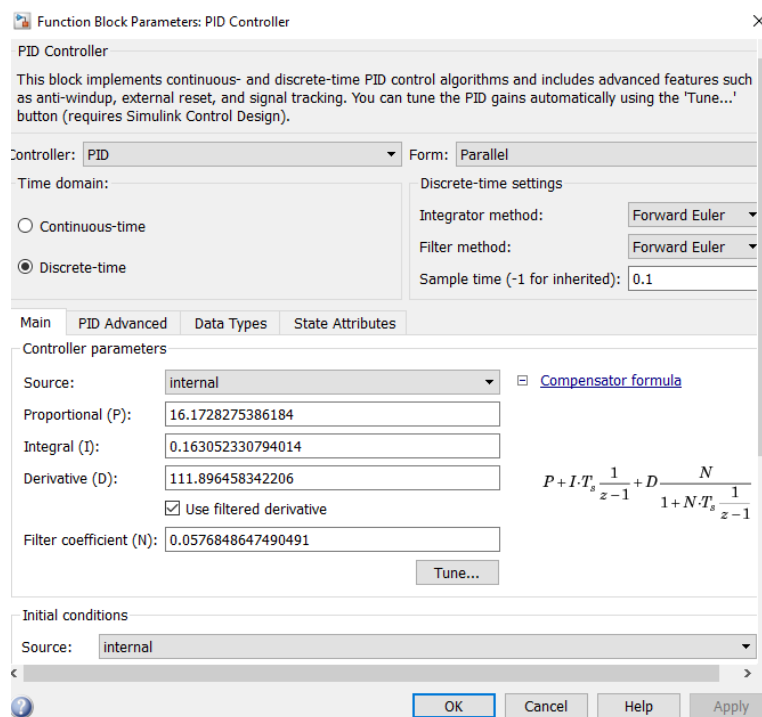


Рисунок 34 - Налаштування ПІД-регулятора

Після чого маємо: коефіцієнт підсилення – 16,17; час інтегрування – 0,16; час диференціювання – 111,89; час регулювання 212 секунди; перерегулювання 8 %.

## Дискретний ідеальний ПІД – регулятор

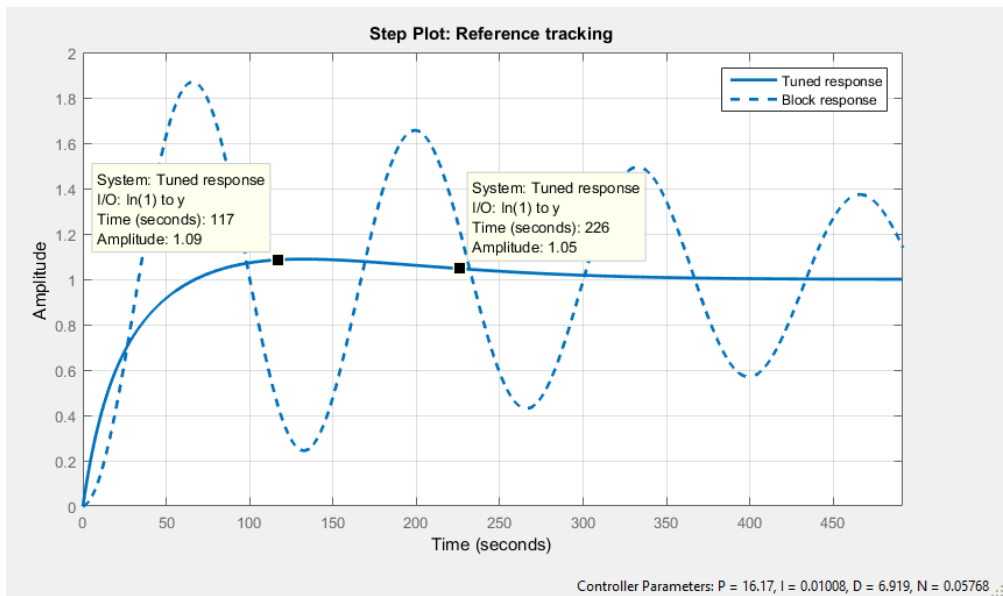


Рисунок 35 - Результати моделювання

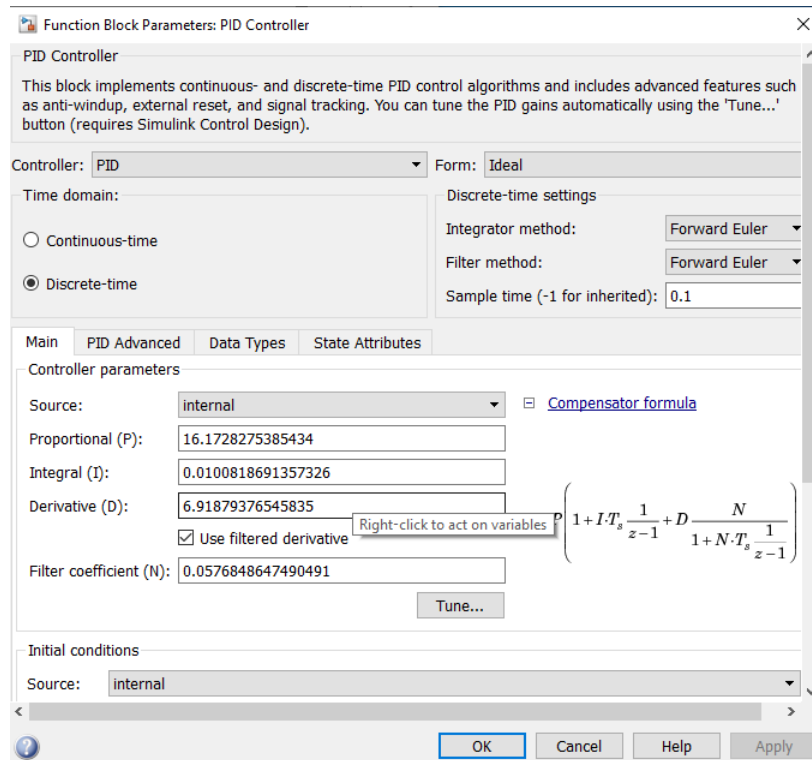


Рисунок 36- Настройки ПІД-регулятора

Після чого маємо: коефіцієнт підсилення – 16,17; час інтегрування – 0,01; час диференціювання – 6,91; час регулювання 226 секунди; перерегулювання 9 %.

Результати всіх дослідів зведено до таблиці 6:

Таблиця 6 – Результати регулювання

| Регулятор                                | P     | I     | D      | Час регулювання, с | Перерегулювання,% |
|--|-------|-------|--------|--------------------|-------------------|
| Безперервний ідеальний П- регулятор      | 178,1 | -     | -      | 7,84               | -                 |
| Безперервний паралельний ПІ – регулятор  | 14    | 0,07  | -      | 72,5               | 5                 |
| Безперервний ідеальний ПІ – регулятор    | 16,93 | 0,004 | -      | 65,3               | 3                 |
| Дискретний ідеальний ПІ – регулятор      | 18,18 | 0,005 | -      | 57,7               | 4                 |
| Дискретний паралельний ПІ – регулятор    | 17,41 | 0,07  | -      | 64,2               | 3                 |
| Безперервний ідеальний ПІД – регулятор   | 12,11 | 0,007 | 6,93   | 275                | 8                 |
| Безперервний паралельний ПІД – регулятор | 15,76 | 0,15  | 110,08 | 220                | 9                 |
| Дискретний паралельний ПІД – регулятор   | 16,17 | 0,16  | 111,89 | 212                | 8                 |
| Дискретний ідеальний ПІД – регулятор     | 16,17 | 0,01  | 6,91   | 226                | 9                 |

При виборі регулятора, основною увагою були показники часу регулювання та перегулювання. З усіх розглянутих варіантів найкращим вибором з погляду цих показників був би П-регулятор. Проте, технічно його реалізувати неможливо, хоча теоретично він можливий при моделюванні з використанням зазначених параметрів.

При використанні ПІ-регулятора отримали наступні результати: середній час регулювання склав 65 секунд, а перегулювання становило 4%. ПІД-регулятор має свої недоліки, зокрема, вимагає налаштування трьох параметрів (що ускладнює процес), є вразливим до перешкод та інших факторів. Моделюючи систему з використанням ПІД-регулятора, отримали гірші показники: час регулювання збільшився майже в 3 рази порівняно з ПІ-регулятором, а перегулювання також зросло.

Зважаючи на таблицю 13, ми вибрали Дискретний ідеальний ПІ-регулятор, оскільки він має оптимальні показники, порівняно з іншими варіантами, що наведені у таблиці 13.

## 6. АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ

Мікропроцесорна система управління виробництвом хлібопекарських дріжджів може включати різноманітні компоненти та функції для ефективного контролю та керування процесами виробництва. Деякі з можливих компонентів та функцій включають:

1. Мікропроцесорний контролер: Це головний пристрій, який виконує обробку і управління даними та комунікацію з іншими компонентами системи.
2. Датчики: Вимірювальні пристрої, які збирають дані про параметри процесу, такі як температура, вологість, рівень матеріалів тощо.
3. Актuatorи: Механізми або пристрої, що виконують фізичні дії на основі сигналів з мікропроцесора, наприклад, регулювання температури, відкриття або закриття клапанів, контроль швидкості змішування тощо.
4. Керівництво процесом: Програмне забезпечення, яке забезпечує контроль і керування різними аспектами процесу виробництва, такими як регулювання температури, контроль якості, управління часом та швидкістю процесів тощо.
5. Комунікаційні інтерфейси: Забезпечують зв'язок між мікропроцесорною системою управління та зовнішніми пристроями, такими як комп'ютери, монітори, інші системи автоматизації або мережеві пристрої.
6. Моніторинг і діагностика: Функції, які дозволяють відстежувати та аналізувати стан процесу, виявляти проблеми, автоматично виявляти несправності та надавати діагностичну інформацію для підтримки працездатності всієї системи.

Основним завданням мікропроцесорної системи управління виробництвом хлібопекарських дріжджів є забезпечення ефективного та автоматизованого керування всіма процесами виробництва з метою досягнення високої якості продукції. Деякі основні завдання системи управління включають:

1. Регулювання параметрів процесу: Система має здатність контролювати та регулювати різні параметри процесу виробництва, такі як температура, час замішування, рівень вологості тощо. Це дозволяє досягти необхідних умов для виробництва якісних дріжджів.
2. Моніторинг та контроль якості: Система відстежує параметри якості продукції і забезпечує контроль за їх відповідністю встановленим стандартам. При необхідності, система може автоматично коригувати параметри процесу для досягнення оптимальної якості дріжджів.
3. Оптимізація процесу: Система виробництва може виконувати аналіз даних та оптимізацію процесу, зокрема встановлювати оптимальні параметри роботи, мінімізувати

витрати енергії та сировинних матеріалів, підвищувати продуктивність і знижувати відходи.

4. Автоматична діагностика та виявлення несправностей: Система може аналізувати сигнали з датчиків та виявляти можливі несправності або відхилення від норми. Вона може автоматично визначати причину проблеми та надавати оператору діагностичну інформацію для подальшого виправлення.

5. Збір та аналіз даних: Система забезпечує збір, зберігання всіх параметрів і даних технологічного процесу.

6. Візуалізація та звітність: Мікропроцесорна система управління може надавати візуальне представлення даних про процес виробництва у формі графіків, діаграм та інтерактивних інтерфейсів. Це дозволяє операторам та керівництву моніторити процес, аналізувати його ефективність та приймати інформовані рішення.

7. Інтеграція з іншими системами: Мікропроцесорна система управління може бути інтегрована з іншими системами на підприємстві, такими як система управління виробництвом (MES), система моніторингу якості або системи управління енергоефективністю. Це забезпечує обмін даними та координацію між різними процесами.

8. Автоматизоване керування: Система може мати можливість автоматичного керування процесом виробництва хлібопекарських дріжджів. Вона може виконувати розрахунки, приймати рішення та виконувати відповідні дії без прямого втручання оператора, забезпечуючи неперервність та стабільність процесу.

9. Можливість налаштування та розширення: Мікропроцесорна система управління повинна мати можливість налаштування параметрів регулювання відповідно до конкретних вимог та потреб виробництва. Крім того, вона повинна бути гнучкою для можливості розширення та інтеграції нових функцій та технологій.

Алгоритм роботи мікропроцесорної системи управління виробництвом хлібопекарських дріжджів може включати такі кроки:

1. Збір даних: Система починає роботу зі збору даних про параметри процесу, такі як температура, вологість, рівень матеріалів тощо. Ці дані можуть бути зібрані за допомогою датчиків, які передають інформацію до мікропроцесора.

2. Аналіз даних: Зібрані дані проходять процес аналізу, де вони порівнюються зі заданими стандартами та встановленими параметрами якості. Система перевіряє, чи відповідають поточні значення параметрів необхідним критеріям.

3. Регулювання процесу: На основі отриманих даних та аналізу система встановлює необхідні значення параметрів процесу, такі як температура, час замішування, рівень

вологості тощо. Вона контролює роботу актуаторів, які впливають на ці параметри, забезпечуючи їх точність та стабільність.

4. Моніторинг якості: Протягом процесу виробництва система надає постійний моніторинг параметрів якості продукції. Вона порівнює фактичні значення зі стандартами та виявляє будь-які відхилення. У разі виявлення неприпустимих змін система може автоматично втрутитись та скорегувати параметри процесу.

5. Діагностика та виявлення несправностей: Система має можливість автоматично виявляти можливі несправності або відхилення від норми. Вона аналізує сигнали з датчиків та виконує діагностику стану обладнання. У разі виявлення проблеми система надає діагностичну інформацію та можливі рекомендації для виправлення проблеми.

6. Візуалізація та звітність: Система може візуалізувати дані та результати аналізу у зручній формі, наприклад, на графіках, діаграмах або інтерактивних інтерфейсах. Вона може надавати звіти про стан процесу, якість продукції та іншу важливу інформацію операторам та керівництву.

7. Керівництво та взаємодія з операторами: Система може надавати рекомендації та інструкції операторам про налаштування та коригування параметрів процесу. Вона також може мати можливість взаємодії з операторами через інтерфейс, де вони можуть вносити зміни, відповідати на попередження або отримувати повідомлення про стан процесу.

Цей алгоритм надає загальний огляд процесу роботи мікропроцесорної системи управління виробництвом хлібопекарських дріжджів його показано на рисунку:



Рисунок 37 – Алгоритм роботи системи

Алгоритм роботи підсистеми підтримання оптимальної температури в теплообміннику виробництва хлібопекарських дріжджів включає такі кроки:



1. Зчитування температури: Підсистема починає роботу зі зчитування актуальної температури в теплообміннику за допомогою температурних датчиків. Ці дані передаються в мікропроцесор для подальшої обробки.

2. Порівняння з оптимальною температурою: Отримані дані про температуру порівнюються зі заданою оптимальною температурою, яка забезпечує ефективну роботу процесу виробництва дріжджів. Це може бути заздалегідь встановлене значення або залежати від інших факторів, таких як час, стадія процесу тощо.

3. Регулювання параметрів теплообмінника: Якщо виявляється, що поточна температура не відповідає оптимальному значенню, підсистема вживає заходів для регулювання параметрів теплообмінника. Це може включати регулювання потоку робочої рідини, регулювання потужності обігрівачів або вентиляції, а також контроль системи охолодження.

4. Зворотний зв'язок та корекція: Підсистема використовує зворотний зв'язок, отриманням даних про ефективність внесених змін, щоб визначити, чи було досягнуто оптимальної температури. У разі необхідності вона вносить корективи в регулювання, змінюючи параметри теплообмінника до досягнення бажаного рівня температури.

5. Моніторинг та реагування на відхилення: Підсистема постійно моніторить температуру в теплообміннику і реагує на будь-які відхилення від оптимального режиму. Вона може відправляти сповіщення або сигналізувати про будь-які проблеми або небезпеки, пов'язані з температурою, для подальшої реакції оператора або автоматичних заходів.

6. Журналювання та аналіз даних: Підсистема може зберігати і журналювати дані про температуру в теплообміннику для подальшого аналізу та вдосконалення процесу. Це дозволяє виявляти тренди, проводити статистичний аналіз та вдосконалювати регулювання в майбутньому.

Детальний алгоритм регулювання температури в теплообміннику виробництва хлібопекарських дріжджів може включати наступні кроки:

1. Ініціалізація: Система ініціалізується та готується до роботи. Це включає запуск мікропроцесора, ініціалізацію необхідних датчиків температури та обміну даними з теплообмінником.

2. Зчитування температури: Мікропроцесор зчитує значення температури в теплообміннику за допомогою температурних датчиків. Зчитані дані передаються до алгоритму регулювання.

3. Порівняння з цільовим значенням: Отримане значення температури порівнюється з заданим цільовим значенням, яке відповідає оптимальній температурі в теплообміннику для виробництва дріжджів.

4. Розрахунок регулювання: На основі різниці між поточною температурою і цільовим значенням, алгоритм розраховує необхідну корекцію параметрів теплообмінника. Це може включати розрахунок потужності обігрівачів, регулювання потоку робочої рідини або інші параметри відповідно до специфікацій обладнання.

5. Виконання регулювання: Отримані значення корекції передаються до пристроїв керування теплообмінником, щоб змінити його параметри відповідно. Наприклад, може бути змінена потужність обігрівачів або регулювання клапанів для контролю потоку робочої рідини.

6. Моніторинг і зворотний зв'язок: Система продовжує моніторити температуру в теплообміннику після виконання регулювання. Вона зчитує нові значення температури та порівнює їх з цільовим значенням. Якщо необхідно, алгоритм здійснює додаткові корекції для забезпечення стабільності температури відповідно до вимог виробництва.

7. Журналювання та аналіз даних: Система може зберігати дані про температуру в теплообміннику для подальшого аналізу та вдосконалення процесу. Це може включати зберігання історичних даних, генерацію звітів, виявлення трендів та вдосконалення алгоритмів регулювання.

Цей детальний алгоритм демонструє послідовність дій підсистеми підтримання оптимальної температури в теплообміннику. Реальна реалізація може варіюватися залежно від конкретних технічних характеристик, обладнання та вимог виробництва.

Цей детальний алгоритм зображено на рисунку 38:

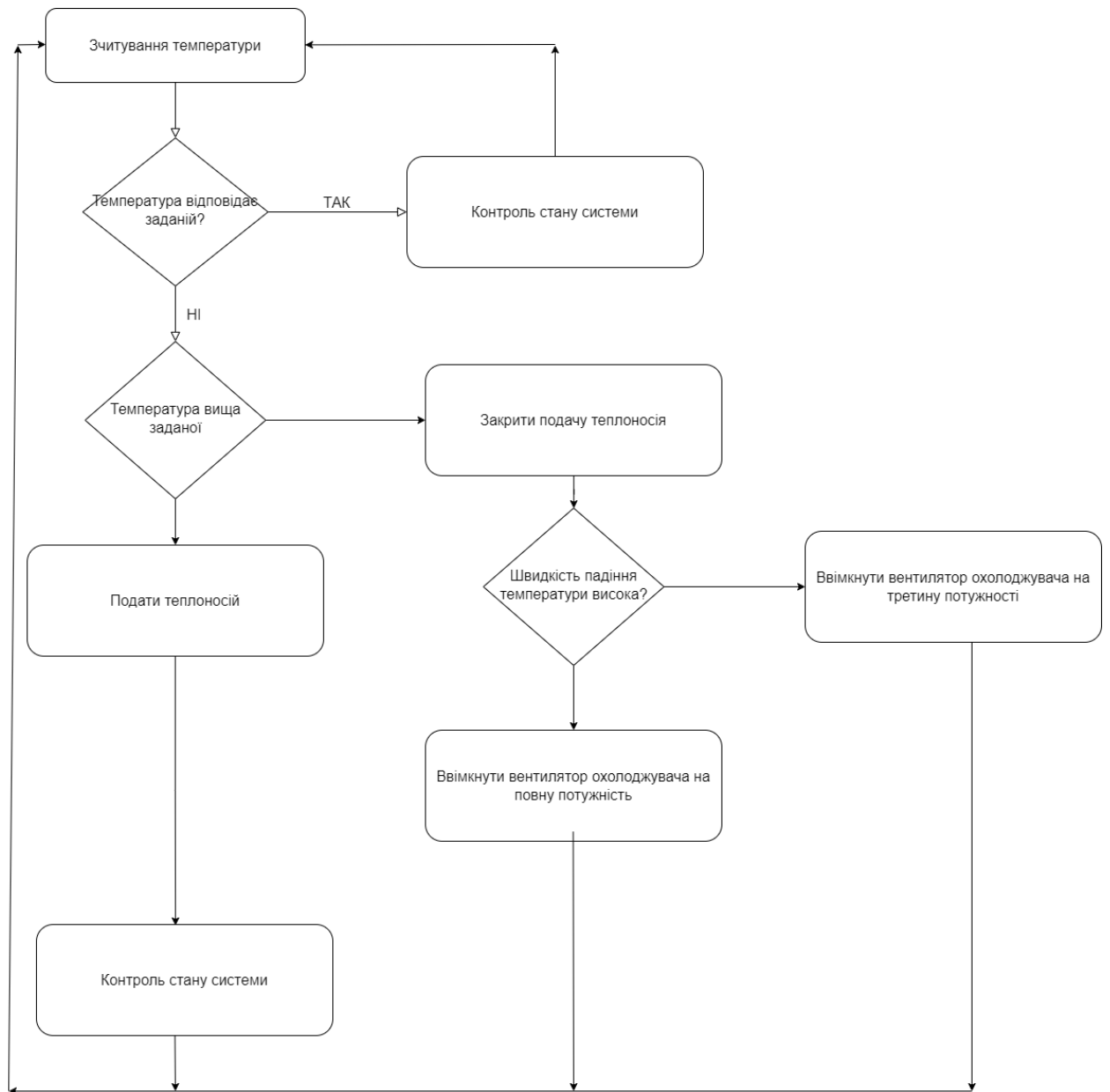


Рисунок 39 – Детальний алгоритм роботи підсистеми в теплообміннику

## 7 РОЗРОБКА АСУТП ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Система управління технологічною лінією виробництва хлібопекарських дріжджів має на меті забезпечення ефективного та надійного функціонування всіх етапів виробництва з метою досягнення високої якості продукції. Основні цілі та завдання такої системи включають:

1. Автоматизація процесів: Система управління спрямована на автоматизацію різних етапів виробництва хлібопекарських дріжджів, включаючи підготовку сировини, змішування інгредієнтів, ферментацію, охолодження та упаковку. Це дозволяє знизити людський фактор, підвищити ефективність та забезпечити стабільність процесів.

2. Контроль параметрів: Система має на меті постійний контроль і вимірювання параметрів виробництва, таких як температура, вологість, час, швидкість перемішування тощо. Це дозволяє забезпечити точність та стабільність процесів, а також дотримання встановлених стандартів якості.

3. Регулювання процесів: Система забезпечує регулювання різних параметрів виробництва для досягнення оптимальних умов. Наприклад, контроль температури в теплообміннику, регулювання швидкості перемішування сировини або регулювання часу ферментації. Це дозволяє підтримувати стабільність процесів та забезпечити високу якість продукції.

4. Моніторинг та аналітика: Система здійснює постійний моніторинг параметрів виробництва і збирає дані для подальшої аналітики. Це дозволяє виявляти аномалії, вдосконалювати процеси виробництва та приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації виробництва.

5. Забезпечення безпеки: Система управління також включає заходи забезпечення безпеки виробництва, включаючи контроль параметрів, захист від надмірного нагрівання або перегріву, автоматичне вимкнення у разі виникнення аварійних ситуацій тощо.

Призначення АСУ ТП (Автоматизованої системи управління технологічними процесами) в дріжджо-бродильному відділенні полягає у досягненні високої ефективності роботи технологічного обладнання шляхом виконання технологічного регламенту, поліпшення якості кінцевої продукції і зниження її собівартості.

Основні режими роботи АСУ ТП включають:

1. Ручний режим роботи: В цьому режимі оператор безпосередньо керує положенням регулюючого органу або станом виконавчого механізму. Оператор вводить дані для оперативного управління через засоби введення операторської станції.

2. Автоматичний режим роботи: В цьому режимі оператор виконує функції контролю і спостереження за роботою технологічного обладнання, яке автоматично управляється, включаючи регулятори. Комплекс програмно-технічних засобів системи автоматично або під керівництвом системи верхнього рівня управління забезпечує підтримку заданого режиму роботи.

3. Дистанційний режим роботи: В цьому режимі оператор з рівня операторського управління системи формує команди і завдання для стабілізації або зміни параметрів технологічного режиму, включаючи запобігання і локалізацію аварійних та нештатних ситуацій. Оператор також здійснює контроль і спостереження за роботою технологічного обладнання і протіканням технологічного процесу.

Ці режими роботи дозволяють забезпечити оптимальний контроль та управління технологічними процесами виробництва хлібопекарських дріжджів, забезпечуючи ефективну та безпечну роботу обладнання та досягнення встановлених цілей виробництва.

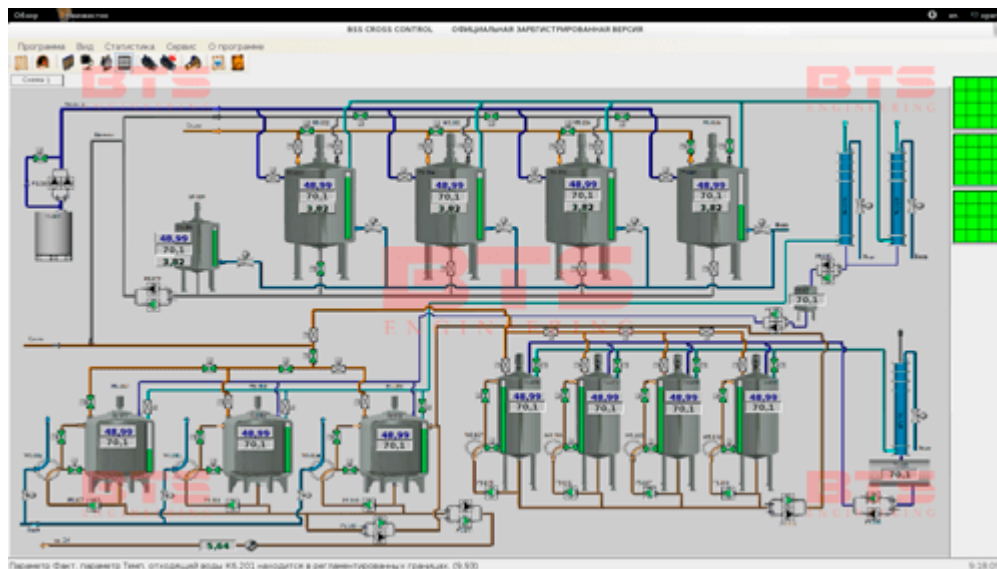


Рисунок 40 – Мнемосхема створеної АСУТП в програмі STEP 7

Апаратно-програмний комплекс АСУТП складається з наступних компонентів:

1. Програмований логічний контролер (ПЛК): Він відповідає за збір і обробку даних, керування виконавчими механізмами та взаємодію з іншими компонентами системи. ПЛК виконує програмне забезпечення, яке контролює технологічний процес.
2. Станція оператора на базі персонального комп'ютера (ПК): Цей компонент забезпечує взаємодію оператора з системою управління. На ПК встановлена операційна система Linux OpenSuse і SCADA-пакет BSS Cross-Contrulli, які дозволяють оператору моніторити та керувати процесом виробництва.
3. Прикладне програмне забезпечення ПЛК: Це програмне забезпечення реалізує логіку керування технологічними процесами на ПЛК.
4. Прикладне програмне забезпечення станції оператора: Це програмне забезпечення надає інтерфейс для взаємодії оператора з системою, включаючи візуалізацію процесу, моніторинг параметрів і керування обладнанням.
5. Прикладне програмне забезпечення сервера даних: Це програмне забезпечення забезпечує зберігання та обробку даних, що отримуються від датчиків та інших компонентів системи.
6. Датчики і первинні перетворювачі: Вони вимірюють технологічні параметри та стан основного обладнання і перетворюють їх в електричні сигнали. Датчики відправляють дані до ПЛК для подальшого аналізу і керування.

7. Виконавчі механізми регулюючих органів: Ці механізми отримують сигнали від ПЛК і виконують відповідні дії для зміни параметрів технологічного процесу.

Зв'язок між компонентами системи здійснюється за допомогою стандартного протоколу TCP/IP. Інформація обмінюється автоматично між компонентами системи для забезпечення координації та керування технологічним процесом.

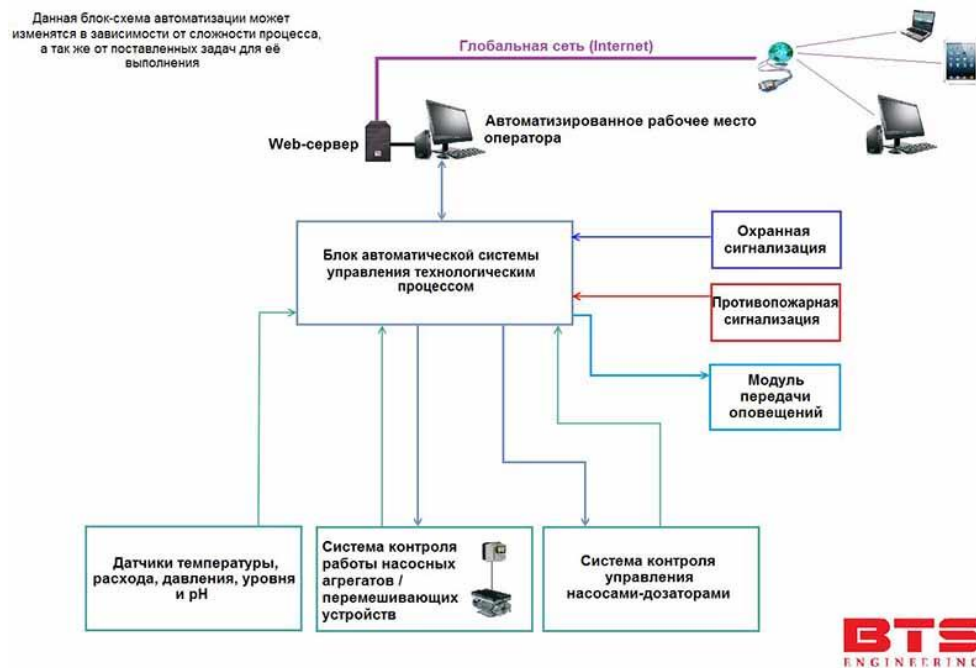


Рисунок 41 – Блоксхема створеної АСУТП

## **ВИСНОВКИ**

В даній роботі розглянуті та вирішені питання, пов'язані з розробкою системи управління лінією з виробництва хлібопекарських дріжджів.

Досліджено структурну схему процесу та роботу основного обладнання. На основі проведеного аналізу визначено основні параметри процесу системи управління технологічної лінії з виробництва хлібопекарських дріжджів.

Складено креслення функціональної схеми автоматизації та обрано технічні засоби автоматизації, датчики та перетворювачі, виконавчі механізми, сигналізацію, блоки та захист. Проведено розрахунок параметрів керування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів з напряму підготовки «Системна інженерія» і спеціальності «Комп'ютеризовані системи управління і автоматика», – Суми.: СумДУ, 2013. – 69с.
2. Брусиловский, Л. П. Автоматизация технологических процессов в пищевой промышленности [Текст] / Л. П. Брусиловский, А. Я. Вайнберг. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 344 с
3. Автоматическиеприборы, регуляторы и управляющие машины: справочное пособие / Под ред. Б.Д.Кошарского. – 3-е изд., пер. и доп. – Л. : Машиностроение, 1976. – 880 с.
4. Каталог продукції фірми МІКРОЛ- <http://www.microl.ua>
5. Каталог продукції фірми Овен - <http://www.oven.ua>
6. Каталог продукції «MICROL» 2009 г.
7. Дмитриев, Е.А.Теплообменные аппараты химических производств [Текст] : учебное пособие / Е. А. Дмитриев, Е. П. Моргунова, Р. Б. Комляшев ; - М: Химико-технологический ун-т им. Д. И. Менделеева, 2013. - 87 с. : ил.; 21 см.; ISBN 978-5-7237-1131-0
8. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. – М.: Химия, 1969. – 564с.
9. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного регулювання. – Підручник. К.: Либідь, 1997. – 544 с.
10. Ємнісний рівнемір Liquicap MFMI 51 <https://iteu.com.ua/uk/products/liquicap-mfmi51-uk/>
11. Контролер SIMATIC S7-300- <https://chipmaker.com.ua/index.php?app=classifieds>