

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Кафедра комп'ютерних наук  
Секція комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КН

\_\_\_\_\_ А. С. Довбиш

“ \_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ 2020 р.

### **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

зі спеціальності 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: "Система керування процесом зберігання продуктів в  
робототехнічному комплексі харчового блоку"

Керівник роботи

к.ф.-м.н., доцент

Журба В.О.

Дипломник

студентка гр. СУ.м – 91

Михальова К.Ю.

Суми – 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Довбиш А.С.

\_\_\_\_\_ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Михальовій Катерині Юріївні

1. Тема проекту: Система керування процесом зберігання продуктів в робототехнічному комплексі харчового блоку
2. Затверджено наказом ректора університету № 1820-III від “25” листопада 2020 р.
3. Термін здавання студентом закінченого проекту “7” грудня 2020р.
4. Вихідні дані до проекту: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалами опису і автоматизації технологічного процесу відповідної установки.
5. Зміст пояснювальної записки: огляд існуючих блоків для зберігання продуктів, формування критеріїв керування параметрами, огляд типових ланок керування та інформації щодо законів керування, моделювання регулятора температури та вологості з підпорядкованим керуванням, розробка контуру керування рівня води в резервуарі, підбір засобів автоматизації, висновки до роботи.

6. Перелік графічних матеріалів: 22 картинки, 15 схем, 10 графіків.

7. Календарний план проектування

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання (початок - кінець)
1	Аналіз завдання кафедри. Огляд літератури за темою диплому.	
2	Розгляд загальних технологічних питань щодо зберігання продуктів.	
3	Створення математичної моделі контурів керування блоку для зберігання продуктів.	
4	Моделювання регуляторів для системи автоматизації.	
5	Розроблення основних схем автоматизації блоку зберігання продуктів.	
6	Формування висновків	
7	Технічне оформлення проекту.	

Студент – дипломник

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

**Записка:** 52 стор., 47 рис., 2 додатки, 16 джерел.

**Об'єкт дослідження** — блок для зберігання продуктів в роототехнічному комплексі харчового блоку.

**Мета роботи** — розробка системи керування процесом зберігання продуктів в блоці для їх утримування.

**Методи дослідження** базуються на програмних засобах обробки даних, математичному імітаційному моделюванні, експериментальному моделюванні та інших методах, що дають змогу побудувати апаратно програмний комплекс для блоку зберігання продуктів .

**Результати** — визначено контури керування. Створено математичні моделі конурів керування температурою та вологою для дослідження на такі параметри як: час перехідного процесу та точність регулювання. Розроблено систему підпорядкованого регулювання вологою в залежності від температури. Визначено параметри ПД – регуляторів для контурів керування мікроклімату в блоці для зберігання продуктів в математичному пакеті Matlab.

ДОВГОТРИВАЛЕ ЗБЕРІГАННЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ВОЛОГА, КОНТУР,  
СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ, МАЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ,  
ПІДПОРЯДКОВАНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, LONG-TERM STORAGE,  
TEMPERATURE, HUMIDITY, CIRCUIT, AUTOMATION SYSTEM,  
MATHEMATICAL MODEL, SUBORDINATE REGULATION.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	2
ВСТУП .....	3
1. ОГЛЯД АВТОМАТИЗОВАНИХ БЛОКІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКТІВ .....	4
1.1 Перелік існуючих типів блоків для зберігання продуктів.....	4
1.2 Формування критеріїв керування параметрами .....	9
2. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКТІВ .....	11
2.1 Розробка системи автоматичного керування.....	11
2.2 Огляд типових ланок систем керування.....	16
2.3. Загальна інформація щодо законів керування. ....	19
2.4 Моделювання регулятора температури.....	24
2.5 Моделювання регулятора вологи.....	28
2.6 Контур контролю рівня води в ємності для зберігання води.....	34
3. ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ БЛОКУ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКТІВ.....	36
3.1 Засоби автоматизації для регулювання температури в блоці зберігання продуктів.....	36
3.2 Засоби автоматизації для регулювання вологи в блоці зберігання продуктів.....	42
3.3 Вибір контролера .....	46
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	48

## **ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

- СУ – система управління
- САУ – система автоматичного управління
- ОР – об'єкт регулювання
- МК – мікроконтролер
- АК – автоматичне керування
- Д – давач
- АР – автоматичні регулятори
- ПЛК – програмований логічний контролер
- ЗР – закон регулювання
- Т – температура
- САК – системи автоматичного керування
- СА – схема автоматизації
- КК – контур керування

## ВСТУП

Карантинні обмеження призвели до ускладнення роботи або і до повного закриття багатьох виробництв, що в свою чергу підштовхнуло підприємців до розробки нових методів ведення бізнесу або автоматизації вже існуючих процесів. Також, у кризові періоди людям властиво відмовити собі практично у всьому, крім їжі. А це означає, що харчове виробництво завжди буде затребуваним.

У зв'язку із закриттям більшості кафе та ресторанів, актуальності набирає продаж вуличної їжі. Найбільшої популярності набирають ті пункти продажу, де торгівля відбувається без залучення найманих працівників, за допомогою спеціального обладнання або автоматів (вендорів).

Об'єктом моєї роботи є автоматизований робототехнічний комплекс харчового блоку або "вендор", який представляє собою шкаф з системою технологічного обладнання із різних допоміжних пристроїв, який створений для швидкого приготування страви хот-дог, відповідно до вимог галузевих і державних стандартів.

Так як робототехнічний комплекс харчового блоку може бути розташований як в приміщенні так і на вулиці, де є значні перепади температури та вологи в залежності від пори року, виникає необхідність в підвищенні надійності зберігання продуктів в блоках їх утримання. Разом з тим, за мету ставиться необхідність в зменшенні собівартості випускної продукції.

У своєму дослідженні я маю на меті розробити блок зберігання продуктів для автоматизованого робототехнічного комплексу харчового блоку, що володітиме кращими характеристиками ніж існуючі аналоги таких систем. Підвищення надійності зберігання продуктів реалізувати завдяки контуру системи підпорядкованим регулюванням вологи та температури. За рахунок швидкого та якісного регулювання підтримуючих параметрів в блоках зберігання продуктів, збільшити термін їх придатності та зменшити енерговитрати, що в свою чергу призведе до здешевлення процесу приготування та до зменшення ціни на випускну продукцію. [1]

# 1. ОГЛЯД АВТОМАТИЗОВАНИХ БЛОКІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКТІВ

## 1.1 Перелік існуючих типів блоків для зберігання продуктів

Їжа, це базова потреба людини, тому вона буде затребувана при будь якій економічній ситуації, курсі долара чи ціни на нафту. З кожним роком технічний прогрес все більше проникає в торгові процеси, а найбільшої популярності набувають пункти - продажу, в яких обслуговування відбувається без залучення людини, за допомогою автоматів або спеціального обладнання. Оскільки застосування таких видів продажу їжі стає все більш масштабним, виникає потреба в якнайдовшому та якісному зберіганні вже готових страв чи продуктів.

Кожний продукт має свої терміни зберігання, а при певних умовах зберігання термін придатності можна збільшити та навпаки, при некорректних умовах зберігання продукт стає непридатним до вживання. В такому разі потрібно підтримувати декілька параметрів середовища блоку. Це може бути температура, волога або тиск та інші. Також, в деяких випадках немає потреби в довготривалому зберіганні продуктів, наприклад в місцях продажу товарів, де вся продукція продається за день. В таких випадках важливо підтримувати тільки свіжий стан продукту або страви, тобто достатньо контролювати тільки один параметр, температуру, тиск чи вологу та інше. [2]

Важливим є і розташування шкафу з блоками зберігання продуктів. Деякі можуть бути розташованими тільки в приміщеннях з мінімальним перепадом температур, інші ж, як наприклад, автоматизований робототехнічний комплекс харчового блоку, можуть бути розташовані як в приміщенні так і на вулиці з великими перепадами температур та різними погодними умовами. В таких випадках треба краще слідкувати за процесом зберігання продуктів.



### **1.1.1 Устаткування для зберігання продуктів сухим способом**

Процес підтримки температури сухим способом працює за принципом звичайної духової шафи. Підігрів та підтримка температури страви відбувається за допомогою сухих ТЕНів в ручному режимі або з допомогою термостату.

Цей блок не підходить для довготривалого зберігання, адже контролюється тільки один параметр. Але є можливість підігріву та підтримки заданої температури страв.

Такий тип обладнання зручний для транспортування, так як відсутня ймовірність переливання води.



Рисунок 1.1 Модель блоку для зберігання продуктів сухого типу

Основна відмінність, що такі одиниці обладнання споживають менше електроенергії, але в той же час процес нагрівання відбувається повільніше.

### **1.1.2 Устаткування для зберігання продуктів вологим способом**

Такі типи обладнання мають системи зволоження, які виділяють деяку кількість вологи в зону, де знаходяться продукти. Ця волога потрапляє на продукти через клапани у вигляді пари та розпилюється на продукти. Такий спосіб зберігання запобігає зсушуванню продуктів й надає їм презентабельного вигляду.



Рисунок 1.2 Модель блоку для зберігання продуктів вологого типу

Такі типи блоків для зберігання продуктів можуть бути сумісними з будь-якими типами продуктів, а також є блоки з ручним та автоматичним керуванням розпилення та підтримкою заданого рівня вологи. Але таке обладнання тільки для короткочасного зберігання продуктів, або ж для підтримки заданої вологи страви чи продуктів.

### 1.1.3 Тепловий стіл для зберігання продуктів

Таке обладнання має різні розміри, але їх особливість в компактності. Процес нагрівання та підтримки температури відбувається за рахунок індуктивного нагрівача. Нагрівання відбувається швидко і до 95°C та підходить для тривалої підтримки температури.



Рисунок 1.3 Модель теплового столу для зберігання продуктів

Має терморегулятор для налаштування температури. Підходить тільки для короткотривалого зберігання (до 24 годин), адже контролюється тільки температура.

#### 1.1.4 Теплова вітрина для зберігання продуктів

Такий тип обладнання використовується в приміщеннях з маленьким перепадом температур, має хорошу теплоізоляцію для кращого збереження тепла.



Рисунок 1.4 Модель теплої вітрини для зберігання продуктів

За рахунок такого способу зберігання, продукти виглядають свіжими а страви свіжоприготованими.

Є теплові вітрини і закритого типу. Особливість такого виду блоків в тому, що вони мають нагрівні елементи згори і знизу, а також оснащені поличками які обертаються. Це вирішує проблему з нерівномірним нагріванням продуктів чи страв.



Рисунок 1.5 Модель теплої вітрини закритого типу для зберігання продуктів

Такий тип обладнання підходить для довготривалого зберігання деяких продуктів, але контролюється тільки один параметр - температура.

### **1.1.5 Теплові шафи для зберігання продуктів**

Теплові шафи широко використовують на виробничих кухнях, адже їх особливість в тому, що вони займаються мало місця, тому що сама по собі шафа малогабаритна. Використовуються для короткотривалого зберігання в гарячому та свіжому стані всіх типів блюд.



Рисунок 1.6 Модель теплової шафи

Також даний вид обладнання має електричні елементи та термостат які дозволяють підтримувати високу якість продукту протягом кількох годин.

Має цифровий температурний дисплей, що розташований у верхній частині блоку та ізольовані зовнішні стінки.

### **1.1.6 Теплові лампи для зберігання продуктів**

Такий тип обладнання використовують для точкового нагрівання окремого продукту або страви, яке відбувається за рахунок кварцових ламп інфрачервоного нагріву. Перевагою таких ламп є те, що крім нагрівання вони ще і підсвічують їжу, та загалом мають доволі цікавий вигляд.



Рисунок 1.7 Модель теплової лампи для зберігання продуктів

Такий тип обладнання використовується тільки для короткотривалого зберігання продуктів. Мінуси таких ламп, окрім того що вони точково прогрівають продукт, це їх крихкість та нетривалий термін експлуатації.

Цих проблем уникнули теплові панелі, які діють за схожим принципом. Цей тип обладнання підвішується над продуктами, та має різні розміри довжини і ширини покриття. Данний тип панелей є дость потужними та генерує достатньо тепла для забезпечення підігріву та підтримки температури будь-якої кількості страв.



Рисунок 1.8 Модель теплової панелі для зберігання продуктів

## 1.2 Формування критеріїв керування параметрами

Проаналізувавши всі приклади з різними видами блоків для зберігання продуктів, можна зробити висновок, що для короткострокового зберігання продуктів достатньо підтримувати один параметр, найчастіше це температура,

волога. Завдання моєї роботи створити блок для довготривалого зберігання продуктів, таких як, наприклад, булочек які зберігаються 8 днів. Для цього нам необхідно контролювати не тільки температуру, а й вологу в блоках утримання.

Підтримка температури буде відбуватися наступним чином: датчик постійно вимірює значення температури в блоці. Як тільки вона стала нижчою за задану, необхідно включити нагрівач та вентилятор. Коли температура в блоці і задана будуть рівні, нагрівач буде виключено. При виникненні ситуації, коли температура в блоці вища за задану, необхідно буде включити охолоджувач. При вирівнюванні температури в блоці і заданої - охолоджувач необхідно виключити.

Окрім температури необхідно підтримувати і контролювати рівень вологи. Як тільки волога в блоці буде нижчою за заданий рівень, одразу відбудеться вмикання генератора пару. У випадку, коли рівень вологи стане більшим за заданий, генератор пару буде вимикатися, та натомість відкриється заслонка, допоки рівень вологи в блоці не стане рівним заданому.

Таким чином виникла необхідність в розробці двох регуляторів контролю температури та вологи, що дозволить реалізувати довготривале зберігання продуктів в блоці.[3]

## **2. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКТІВ**

Постановка задачі дослідження:

Здійснити ідентифікацію об'єкту автоматизації, створити математичну модель блоку зберігання продуктів.

За допомогою Matlab: вибрати тип регуляторів та розрахувати параметри.

Врахувати нелінійну залежність температури від вологи, побудувати контур підпорядкованого регулювання заданим параметром.

### **2.1 Розробка системи автоматичного керування**

Основним призначенням автоматизації блоку зберігання продуктів є моніторинг показників з датчиків, керування оптимальними умовами для якнайдовшого зберігання продуктів, що вимагають таких заданих параметрів, як температура та волога. Структура самого блоку закрита, тож відсутні різкі перепади температури та вологи. В свою чергу це допомагає плавно корегувати багато з показників, щоб зберігати продукти відповідно до вимог галузевих і державних стандартів. Але які саме чинники контролюються в блоці зберігання продуктів?

Дана система автоматизації може виконувати наступні контролюючі та керуючі функції:

Підтримка температури.

Для найдовшого та якісного зберігання продуктів необхідно підтримувати відповідну температуру. При необхідності її треба або підвищувати, або знижувати. У випадку, коли температура зберігання продуктів з якихось причин не відповідає заданій, продукти вважаються непридатними для споживання, що несе за собою економічні збитки.

Підтримка вологи:

Контроль вологи в блоках допоможе уникнути появи затвердіння або плісняви, що також призводить до швидкого псування продуктів. Також

важливо швидко коригувати рівень вологи в блоці, адже при псуванні хоча б однієї одиниці продукції непридатною для споживання стає вся партія.

Все це можна контролювати та коригувати вручну, пильнуючи кожен показник датчика, або ж можна створити автоматично керовану систему для блоків зберігання продуктів, в якій всі процеси будуть відбуватися автоматично.

Блоки зберігання продуктів можна описати за допомогою структурної схеми (рисунок 2.1), звідки визначимо задачу - автоматизувати наступні контури керування.

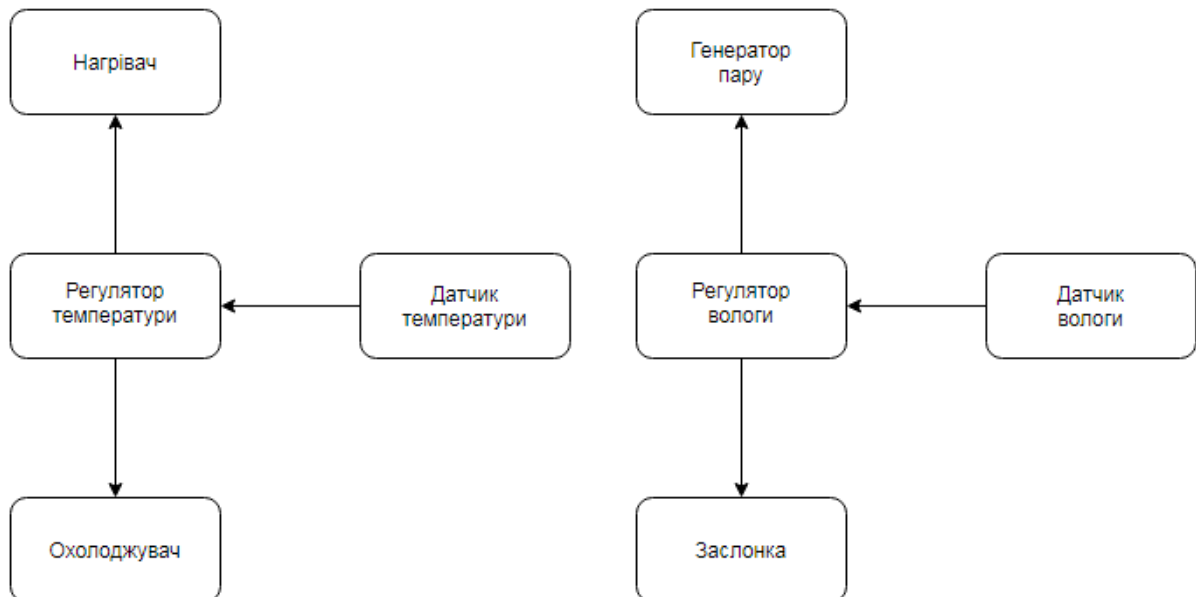


Рисунок 2.1 Схема САК блоку зберігання продуктів

На основі вище наведених задач та з аналізу схеми системи автоматичного керування, яка наведена вище, передбачимо наявність таких контурів керування:

- Підтримка сталого значення температури в блоці зберігання продуктів;
- Підтримка сталого значення вологи в блоці зберігання продуктів.



САК - (системи автоматичного керування) є частиною технологічного процесу. Встановлений режим роботи об'єкта порушується внаслідок дії збурень, яким піддаються змінні процесу, що призводить до зміни вихідних параметрів. Завдання ОР - (об'єкту регулювання) усунути вплив збурень, тобто відновити початкові значення вихідних змінних. АК - (автоматичне керування) це процес стабілізації (підтримки) або зміни за заданим законом вихідних змінних об'єкта за допомогою спеціальних пристроїв - АР (автоматичних регуляторів). САК включає взаємодіючі між собою об'єкт керування і засоби автоматичного керування, та являє собою динамічну систему, що описується диференціальними рівняннями. [4]

Вона містить дві взаємодіючі ланки: об'єкт регулювання з регулятором, а найчастіше система «об'єкт - регулятор», яка становить замкнутий контур керування за принципом зворотного зв'язку. ( рис. 2.2)

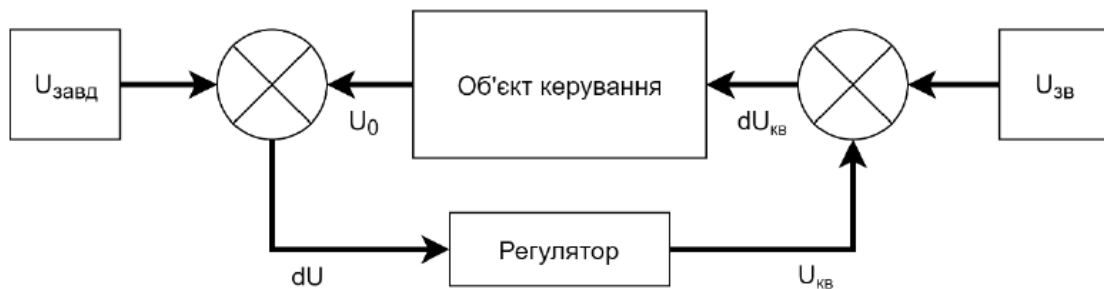


Рисунок 2.2 Принципова схема замкнутого контуру САК за відхиленням (система стабілізації)

Одним із головних завдань керування - стабілізація на заданих рівнях технологічних параметрів процесу. Потрібне значення параметру  $U_{завд} = const$  подається на пристрій, який підсумовує вплив регулятора. Там він зрівнюється із дійсним значенням параметру  $U_0$  на виході об'єкта. Значення  $U_0$  називається - керованою змінною.  $dU = (U_0 - U_{зв})$  різниця - сигнал неузгодженості. Він виникає як наслідок деяких впливів збурювання  $U_{зв}$ . На сигнал неузгодженості, у відповідь, регулятор виробляє керуючий сигнал  $U_{кв}$ ,

який разом із збуренням  $U_{зв}$  приходить на пристрій який підсумовує, утворюючи різницю  $dU_{кв} = (U_{зв} - U_{кв})$ . Необхідно у відповідь на дію збурень, забезпечити повну стабілізацію, тобто забезпечити  $dU_{кв} = 0$  чи  $dU \leq \epsilon$ . Даний принцип називається регулювання по неузгодженості (за відхиленням), а система автоматичного керування називається стабілізуюча. [5]

Збуреннями виступають наступні фактори:

- $U_{зв}$  - зовнішні технологічні параметри, порушення режиму роботи об'єкта  
(це можуть бути: зміна вологи, температури і т.п.);
- зміна навколишнього середовища (зовнішніх умов)  
(можуть бути: коливання вологості, температури і т.п.);
- параметри об'єкта (внутрішні)  
(може бути: виток сировини, неправильне спрацювання системи і т.п).

САС (системами автоматичної стабілізації) - не утискають можливості одноконтурних САК технологічних процесів. Так, відповідно до заданої функцією  $U_{зв} = F(t)$ , в системі регульована величина програмного регулювання змінюється, а в слідкуючій системі регулювання в залежності від значень будь-якої змінної технологічного процесу  $U_{зв} = F(x_T)$ , змінюють регульований параметр  $U_0$ . (Рис.2.3) [6]

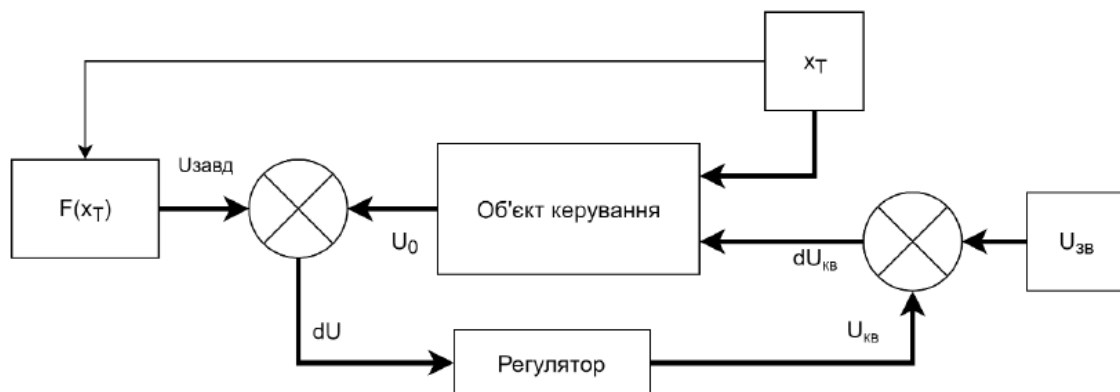


Рисунок 2.3 Принципова схема САР за відхиленням (слідкуюча система)

У системах автоматичного регулювання теж використовується принцип регулювання за збуренням. В результаті використання цього принципу отримують систему регулювання розімкнутого типу без зворотного зв'язку (Рис.2.4). Збурення  $U_{зв}$  водночас сприймається регулятором і об'єктом. В свою чергу регулятор видає регулюючий вплив  $U_{рв}$  на вхідний параметр  $U_{вх}$ , тим самим повністю прибирає вплив збурення. [7]

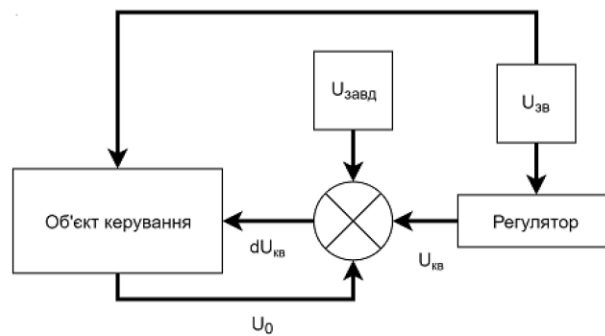


Рисунок 2.4 Принципова схема САР (за збуренням)



Рисунок 2.5 Принципова схема спрощеної моделі САК

Задля точних розрахунків і досліджень систем автоматичного керування з допомогою математичного моделювання, потрібно врахувати вплив допоміжних засобів керування на поведінку системи (Рис.2.6). До таких відносяться датчики, які вимірюють значення регульованого сигналу (температура, волога, рівень, та інше.). Також виконавчі механізми (нагрівачі, охолоджувачі та інше). В загальну модель САК входить математичний опис змінних ланок.

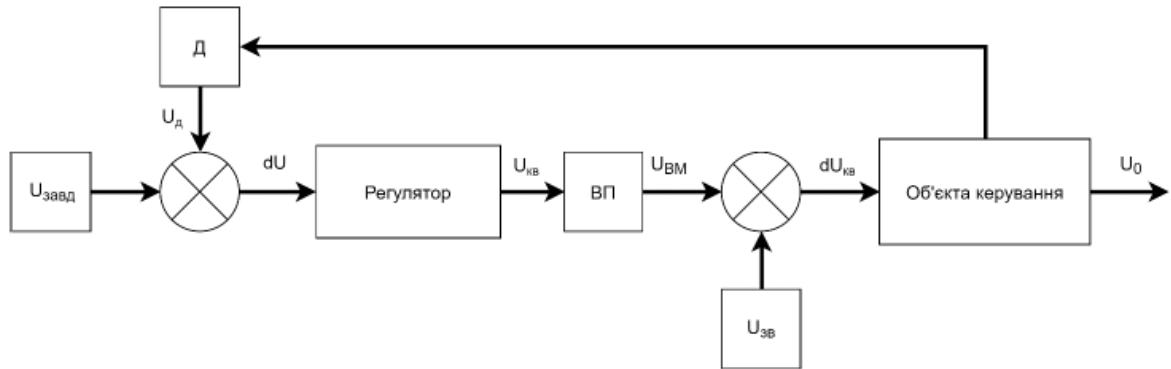


Рисунок 2.6 Принципова схема САК

В результаті, поведінка системи автоматичного регулювання визначається динамічними характеристиками складових її ланок (елементів). Під час моделювання САК на ЕОМ за допомогою MatLab (розширення Simulink) прийнято описувати ланки системи за допомогою передавальних функцій та диф. рівнянь.

## 2.2 Огляд типових ланок систем керування

У САК входять різні елементи. Вони розрізняються за конструктивним рішенням, принципом дії, та іншими признаками. Але не дивлячись на велику різноманітність, всі ці елементи можна класифікувати за їх динамічними властивостями. [8] Реальні елементи САК з достатнім ступенем точності можна апроксимувати типовими окремими елементарними ланками або поєднаннями кількох ланок.

- Типові ланки систем автоматичного регулювання мають важливі властивості та особливості;
- Параметри ланки не змінюються в часі;
- Ланка передає сигнал з входу на вихід, тобто тільки в одному напрямку;
- Кривою розгону характеризуються динамічні властивості ланки. Це залежність вихідної змінної ланки  $X_{вих}$  від часу в разі подачі

на вхід ланки одиничного ступеневої впливу  $X_{вх}$  при заданих початкових умовах;

- Лінійним диференціальним рівнянням  $n$ -го порядку або ж відповідною передавальною функцією описується ідеалізована характеристика ланки .

Розгляд типових ланок САК та їх моделі.

#### Безінерційна (підсилююча ланка):

Особливістю є те, що передача вхідного сигналу на вихід відбувається майже миттєво.

Рівняння ланки записується у вигляді:  $X_{вих}(t) = k_{кв} X_{вх}(t)$ ;

$k_{кв}$  – коефіцієнт передачі ланки.

Для моделювання безінерційної ланки в пакеті розширення Simulink використовують підсилювач Gain (Рис.2.7).

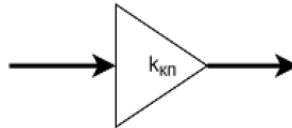


Рисунок 2.7 Схема моделі безінерційної ланка Simulink

#### Інерційна ланка 1 - го порядку

Аперіодична (інерційна), ланка 1-го порядку має ємність по речовині або енергії та опором потоку цієї речовини або ж енергії. Описуються вони лінійним диференціальним рівнянням 1-го порядку з постійними коефіцієнтами:

$$T \frac{dx_{вих}}{dt} + x_{вих} = kx_{вх}$$

де  $T$  - постійна часу аперіодичної ланки (дорівнює добутку ємності на опір);

$k$  - коефіцієнт передачі ланки.

Інерційний ланка 1-го порядку моделюється на інтеграторі, який охоплений зворотнім зв'язком. Перепишемо рівняння інерційної ланки відносно похідної поділивши попередньо на  $T$ , для моделювання:

$$\frac{dT x_{\text{вих}}}{dt} = -\frac{1}{T} x_{\text{вих}} + \frac{k}{T} x_{\text{вх}}$$

Ступінчастий сигнал використовуємо в якості вхідного сигналу. З допомогою осцилографа Scope переглядаємо реакцію системи на ступінчастий сигнал.

### Інерційний ланка 2 - го порядку

Аперіодичну ланка 2 - го порядку отримуємо при послідовному з'єднанні двох фізичних елементів. Кожен з них обмінюється речовиною, або енергією через деякий опір та має ємність.

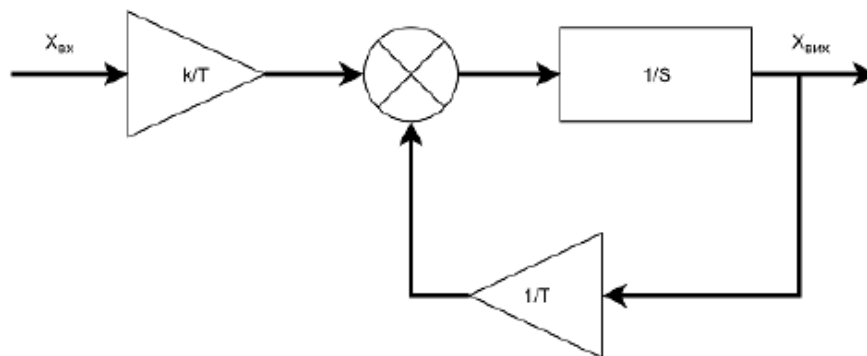


Рисунок 2.8 Схема моделі інерційної ланки в Simulink

Динаміка цієї ланки описується диференціальним рівнянням 2-го порядку

$$T_2^2 \frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} + T_1 \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} + k x_{\text{вх}}$$

При умові що  $T_1 \gg T_2$ .

Для моделювання аперіодичної ланки приведемо до виду:

$$\frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} = \frac{k}{T_2^2} x_{\text{вх}} - \frac{1}{T_2^2} x_{\text{вих}} - \frac{T_1}{T_2} \frac{dx_{\text{вих}}}{dt}$$

Таким чином, схематично модель буде складатися з суматора із трьома входами та трьома блоками Gain, двох послідовно з'єднаних інтеграторів та осцилографа Scope. Рівнянням другого порядку описується і коливальна ланка, але відрізняється від інерційного співвідношенням постійними часу  $T_1 < 2T_2$ .

### 2.3. Загальна інформація щодо законів керування.

Регулятор безперервної дії - пристрій, який постійно формує на виході регулюючий сигнал, при безперервній подачі на вході керуючого сигналу, і відповідає заданому закону регулювання (ЗР) (Рис.2.9). Під час моделювання, ЗР представляють деяким керуючим органом. [9]

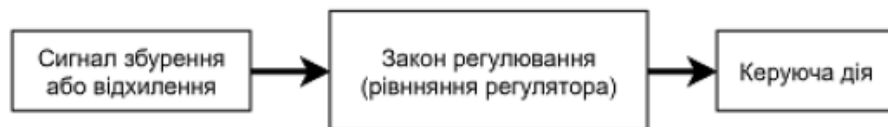


Рисунок 2.9 Схема регулятора безперервної дії

Розглянемо деякі основні типи регуляторів безперервної дії та їх моделі.

#### Пропорційний (статичний регулятор)

У випадку відхилення регульованої величини від заданого значення, цей регулятор видає команду на переміщення регулюючого органу, пропорційно відхиленню. Таким чином, величина сигналу на виході регулятора стає пропорційною сигналу на вході. Закон регулювання записуємо у вигляді:

$$y(t) = k_p x(t),$$

де  $y(t)$  – керуючий вплив регулятора;

$x(t)$  - сигнал неузгодженості.

$k_p$  - коефіцієнт передачі регулятора, який ще називається коефіцієнтом посилення регулятора. Обчислюється він як відношення зміни сигналу на виході регулятора, яке прийняте за 100%, до сигналу, який викликав цю неузгодженість. Для моделювання П-регулятора в пакеті розширення Simulink (Matlab) використовують підсилювач Gain.

### Інтегральний регулятор

Працює відповідно до рівняння:

$$y(t) = k_i \int x(t) dt$$

де  $k_i$  - коефіцієнт передачі регулятора, який характеризує швидкість роботи виконавчого механізму.

З закону регулювання видно, що швидкість регулюючого впливу  $dy/dy$  прямо пропорційна сигналу неузгодженості  $k_i x$ . Модель інтегрального регулятора в пакеті розширення Simulink складається з інтегруючого блоку, та послідовно з'єднаних блоків Gain з коефіцієнтом  $k_i$ .

### Пропорційно - інтегральний регулятор

Цей регулятор будується паралельним з'єднанням П-регулятора та І-регулятора. Закон регулювання можна записати:

$$y(t) = k_p x + k_i \int x dt = k_p \left( x + \frac{1}{T_i} \int x dt \right)$$

де  $k_p$  - статичний коефіцієнт передачі;

$T_i$  - час ізодрому.

Константа  $1/T_i$ , яка входить в інтегральну складову, має розмірність 1 / сек. Величина характеризує час, впродовж якого відбувається автоматичне перенесення регулюючого органу з одного крайнього положення в інше. Це відбувається за рахунок інтегральної складової регулюючого впливу. Виходить, що регулюючий вплив пропорційно - інтегрального регулятора



пропорційний сумі відхилення регульованої величини в часі від заданої, та інтеграла цього відхилення.

А сама модель пропорційно - інтегрального регулятора складається з двох підсилювачів, суматора та інтегратора, на виході якого формується регулюючий вплив пропорційно - інтегрального регулятора.

### Диференціальний регулятор

В Д - регуляторі, величина вихідного сигналу прямо пропорційна швидкості зміни вхідного сигналу:

$$y(t) = \frac{k_p dx}{dt}$$

Зазвичай, диференціальний регулятор не використовується самостійно. Він входить як складова частина в ПД-регулятор і ПД- регулятор.

### Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор

ПД - регулятор має ще одну назву - ізодромним регулятором з попередженням. Закон його регулювання описується таким рівнянням:

$$y(t) = k_p \left( x + \frac{1}{T_i} \int x dt + T_d \frac{dx}{dt} \right)$$

$k_p$  - це коефіцієнт передачі регулятора;

$T_i$  - це час ізодрому;

$T_d$  - це час передування.

Модель ПД-регулятора складається з: інтегратора, диференціатора і суматора, на виході якого формується керуючий вплив ПД-регулятора та трьох підсилювачів.

В теорії систем автоматичного регулювання, склалося поняття, що передавальна функція використовується для опису динамічних властивостей лінійних ланок, які мають параметри, що зосереджені, кінцеві і постійні в

часі. У визначенні, передавальна функція лінійної ланки  $W(p)$  - це відношення миттєвих сигналів на виході  $y(p)$  і на вході  $x(p)$  ланки в операторній формі:

$$w(p) = \frac{y(p)}{x(p)}$$

Завжди диференціальне рівняння можна перетворити у відповідну передатну функцію. Рівняння, які наведені вище, можуть бути записані в операторній формі. Необхідно замінити похідну  $d/dt$  символом  $p$ . Це допоможе перетворити рішення диференціального рівняння на вирішення алгебраїчного, що набагато легше. В теорії автоматичного регулювання таке перетворення дуже часто використовується.

Представимо рівняння інерційної ланки  $T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$

Далі в операторній формі  $Trx_{\text{вих}}(p) + x_{\text{вих}}(p) = kx_{\text{вх}}(p)$

Чи

$$x_{\text{вих}}(p)(Tp + 1) = kx_{\text{вх}}(p)$$

Запишемо передаточну функцію:

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k}{Tp + 1}$$

$k$  - коефіцієнт передачі ланки;

$T$  - постійна часу ланки.

В Simulink ця передатна функція має вигляд:

Для рівняння аперіодичної ланки другого порядку

$$T_2^2 \frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} + T_1 \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$$

операторна форма буде має вигляд:

$$T_2^2 p^2 x_{\text{вих}}(p) + T_1 p x_{\text{вих}}(p) + x_{\text{вих}}(p) = k x_{\text{вх}}(p)$$

а передаточна функція:

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$$

Передаточні функції І, ІІ та ІІД-регуляторів відповідно, мають наступний вигляд:

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k_i}{p}$$

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k_i + k_p p}{p}$$

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k_i + k_p p + k_d p^2}{p}$$

В результаті, у вигляді передавальної функції можна представити будь яку ланку. У пакеті Simulink це моделюється блоком передавальної характеристики, який має назву Transfer Fcn (він задає передавальну функцію у вигляді відношення поліномів).

При складанні і перетворенні структурної схеми системи автоматичного керування передатні функції зручніші, ніж диференціальні рівняння. Ланки САР можуть бути з'єднані одна з одною паралельно або ж послідовно, або із зворотнім зв'язком.

Передатна функція паралельно з'єднаних ланок буде дорівнювати сумі передаточних функцій ланок:

$$w(p) = w_1(p) + w_2(p) + \dots + w_n(p)$$

Передатна функція послідовно з'єднаних ланок буде дорівнювати добутку передатних функцій всіх ланок:

$$w(p) = w_1(p) w_2(p) \dots w_n(p)$$

Передатна функція замкнутої системи або ж ланка зі зворотним зв'язком, визначається виразом:

$$w(p) = \frac{w(p)}{1 + w(p)}$$

Перед створенням автоматизованого блоку для зберігання продуктів потрібно ознайомитися з вимогами, які можуть до неї пред'являтися. [10] Також необхідно розглянути варіанти апаратної бази, на основі якої може бути створена така система.

#### 2.4 Моделювання регулятора температури

В контролері виставляється бажана для продуктів температура – назовемо її заданою температурою. Датчик температури вимірює фактичну температуру в блоці зберігання продуктів. Величина відхилення це різниця фактичної температури і заданої. Контроллер отримує цю величину для обчислення потужності, яку потім падає на виконуючий пристрій. Роль датчика виконує датчик температури. Виконавчими механізмами є нагрівач та охолоджувач.

В структурному представленні система керування температурою в блоках зберігання продуктів представлена на (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 Структурна схема системи керування температурою в блоці зберігання булочок

В блоці для зберігання продуктів, якщо відхилення температури має додатну величину (якщо задана або контрольна температура більша за фактичну), означає, що в блоці зберігання продуктів достатньо холодно, та необхідно включити нагрівач. Або ж, якщо фактична температура стала більшою за задану, значить в блоці достатньо жарко, і треба виключити нагрівач та включити охолоджувач. В даній системі для реалізації системи

регулювання температури використовується датчик температури (Д), обігрівач у вигляді ТЕНів та компресорний охолоджувач (ОУ).

Для ідентифікації, будемо графік залежності зміни температури від часу, і на його основі побудуємо передаточну характеристику системи. [11] Формуємо таблицю, де перший стовпець це час, другий - вхідний сигнал (тобто включення або виключення виконуючого механізму), а третій вихідний, тобто значення температури. (рис. 2.11)

Занесемо всі ці значення в Matlab.

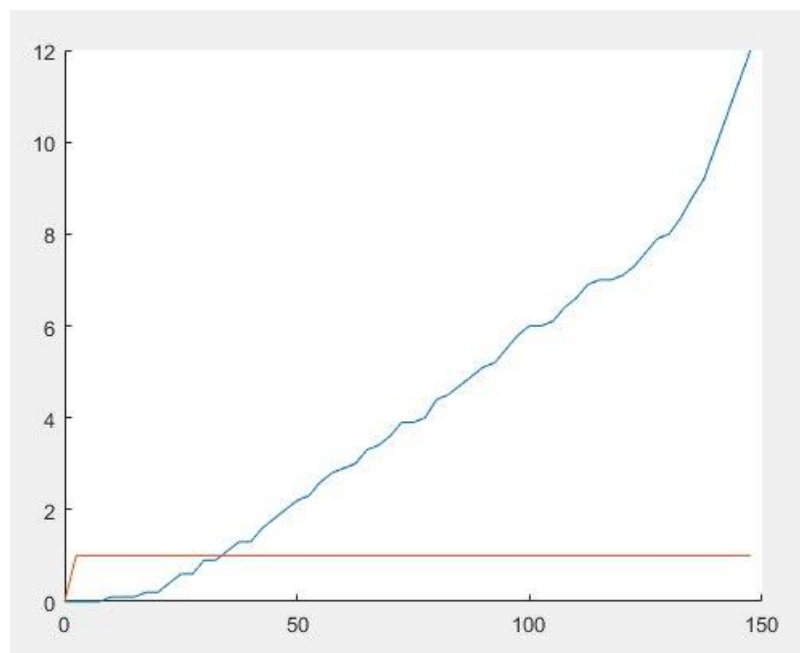


Рисунок 2.11 Графік зміни температури

Даний графік був досліджений на відповідність аперіодичною ланкою першого, другого та третього порядків.

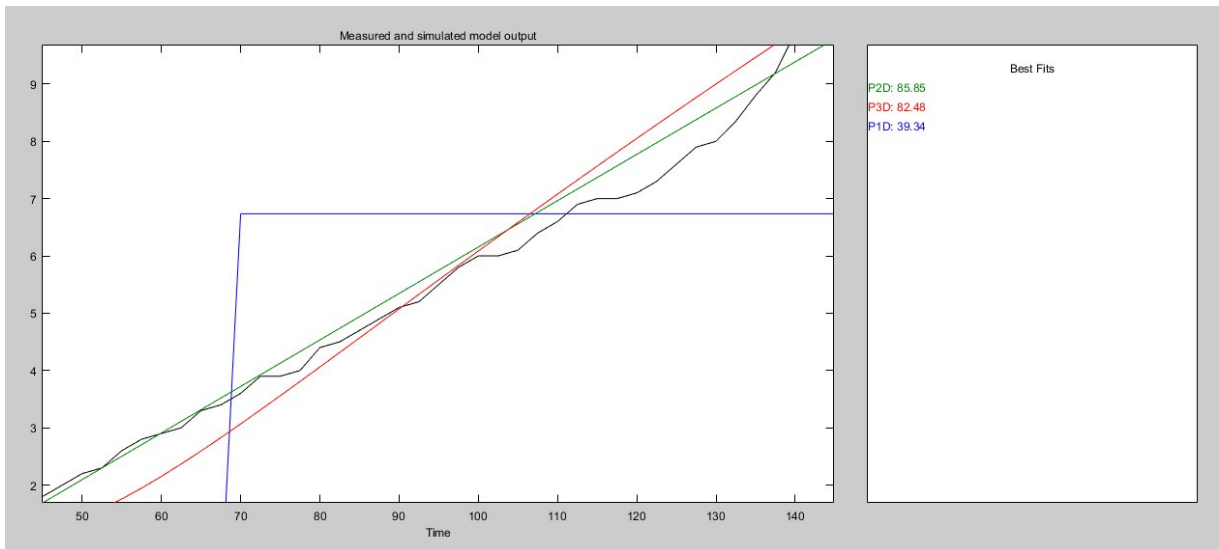


Рисунок 2.12 Опис кривої розгону трьома ланками різних порядків

Найточніше графік залежності температури описує ланка другого порядку. Тож обираємо ланку 2 - го прядку для опису кривої розгону.

Отримуємо передаточну характеристику рис 2.13

```

Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      (1+Tp1*s) (1+Tp2*s)

      Kp = 816.01
      Tp1 = 10000
      Tp2 = 0.00060717
      Td = 21.115
  
```

Рисунок 2.13 Передаточна характеристика об'єкта

На основі заданої передаточної характеристики побудуємо контур регулювання температури з ПД – регулятором та збуренням в пакеті розширення Simulink. рис 2.14 [12]

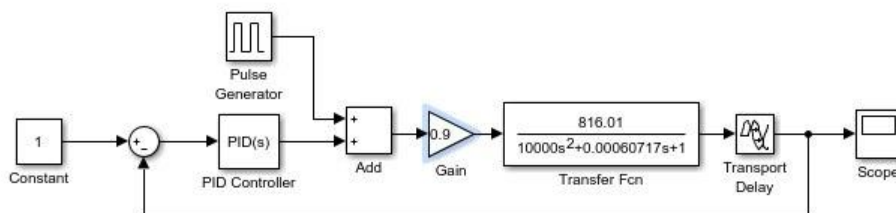


Рисунок 2.14 Контур регулювання температури

На рис.2.14 можна поачити збурюючий плив.

Налаштовуємо регулятор на найменший час перехідного процесу графік при мінімальному перерегулюванні рис 2.15

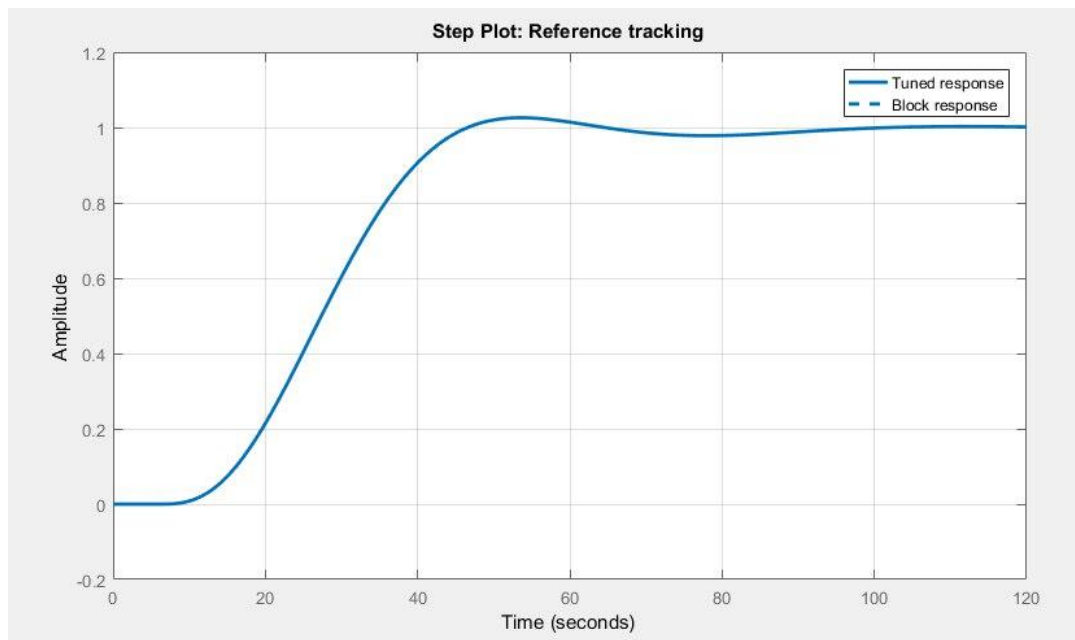


Рисунок 2.15 Налаштування регулятора на потрібні параметри

Перехідний процес системи для досягнення значення, займає до 200 секунд, що задовольняє умови нашої системи рис 2.16

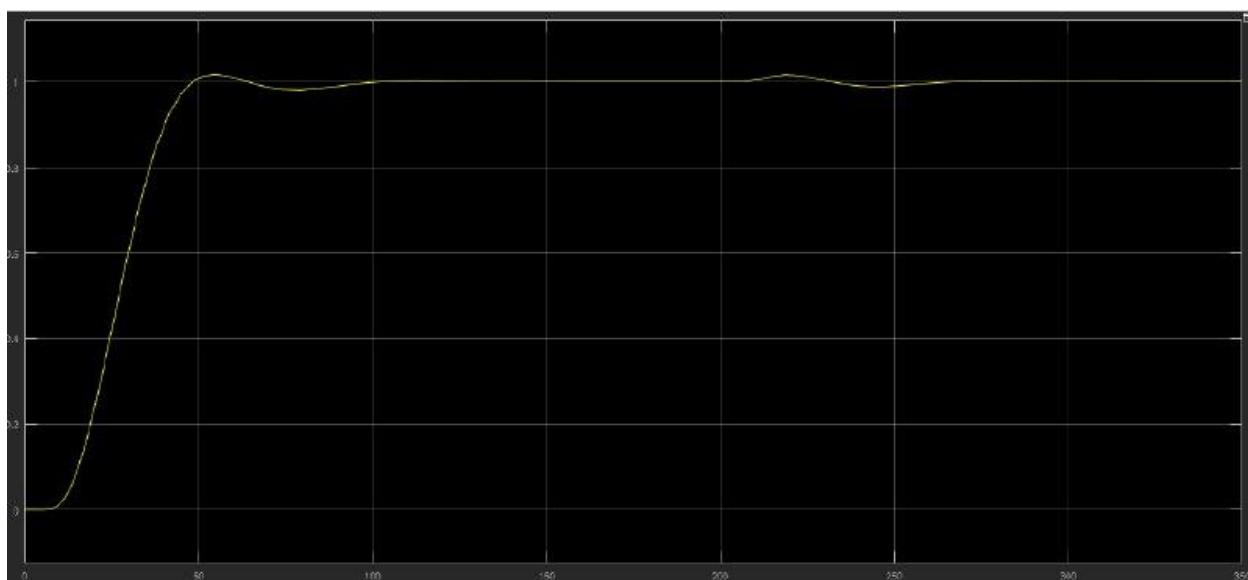


Рисунок 2.16 Перехідна характеристика системи регулювання температури в блоці

## 2.5 Моделювання регулятора вологи

В блоці зберігання продуктів відбувається контроль вологи. Задається бажаний (заданий) рівень вологи в контролер. В свою чергу датчик вимірює рівень вологи в блоці (фактичний рівень). Величина відхилення розраховується різницею фактичного рівня вологи в блоці та заданого на контролері. Далі ця величина передається на контролер, для обчислення потужності, яку необхідно подати на виконуючий механізм. В ролі виконуючого пристрою зволожувач, який працює в режимі включення\виключення та заслонка.



Рисунок 2.19 Структурна схема системи керування вологою

Якщо рівень вологи заданої на контролері більший за рівень вологи в блоці, це свідчить про те, що відхилення вологи має додатну величину. Тож необхідно увімкнути зволожувач. В іншому випадку, коли рівень заданої вологи менший за фактичний рівень вологи в блоці, відхилення вологи має від'ємну величину. В такому випадку необхідно відкрити заслонку, адже в блоці достатньо волого. Якщо відкрита заслонка, зволожувач вимкнений, і навпаки, якщо зволожувач ввімкнений, заслонка повинна бути закритою.

Роль датчика виконує датчик рівня вологи (Д), роль зволожувача виконує генератор пару, для його роботи необхідний блок з водою. Заслонка працює за допомогою електромотору та драйвера мотору (ОУ).

Для ідентифікації, будемо графік залежності зміни вологи від часу, і на його основі побудуємо передаточну характеристику системи. Формуємо таблицю, де перший стовпець це час, другий - вхідний сигнал (тобто



включення або виключення виконуючого механізму), а третій вихідний, тобто значення вологи. [13]

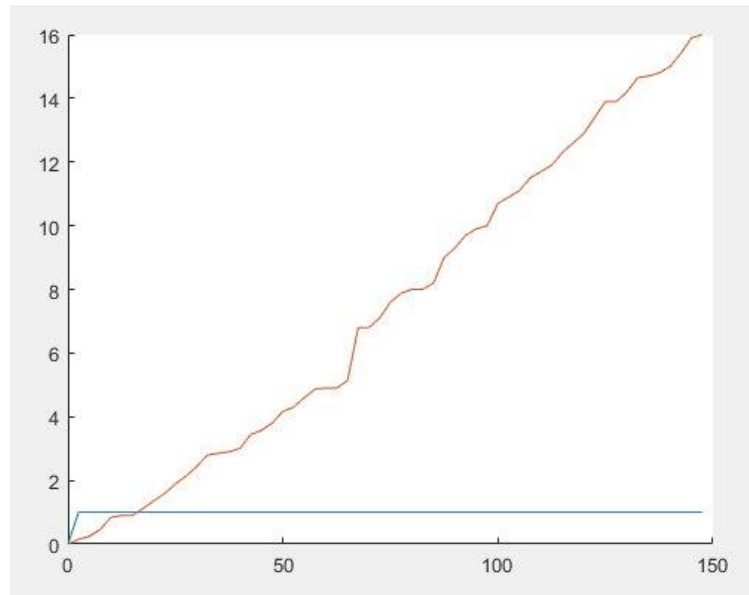


Рисунок 2.20 Залежність зміни вхідного сигналу від вихідного в часі

Наступним кроком дослідили даний графік на відповідність аперіодичними ланками першого та другого порядків. (рис.2.21). З графіку можна побачити, що найточніше графік залежності вологи описує ланка першого порядку. Тож обираємо ланку 1 - го прядку для опису кривої розгону.

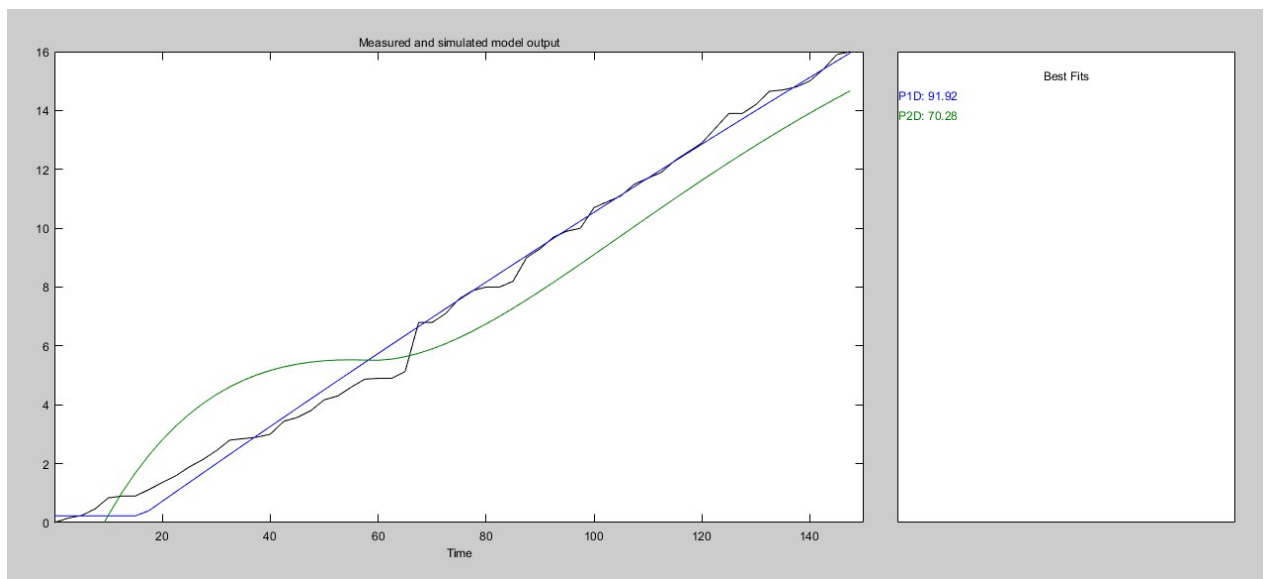


Рисунок 2.21 Опис графіку зміни вхідного сигналу від вихідного у часі трьома ланками різних порядків

В результаті отримаємо наступну передаточну характеристику.

```

Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      1+Tp1*s

      Kp = 113.56
      Tp1 = 879.11
      Td = 13.62

Name: PID
  
```

Рисунок 2.22 Передаточна характеристика системи

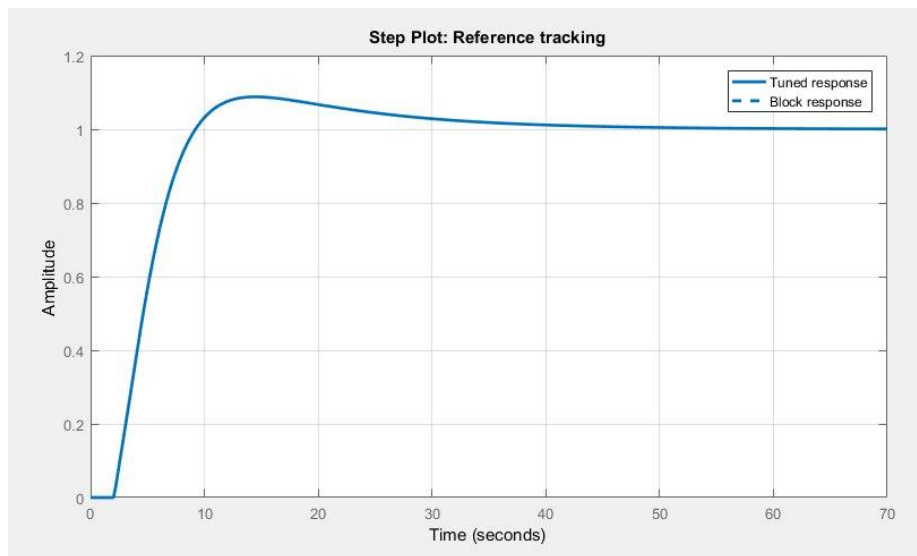


Рисунок 2.23 Налаштування регулятора регулювання вологи

Наступним кроком побудували регулятор з наступними параметрами налаштування (рис.2.23).

Рівень вологи, в блоці зберігання продуктів, крім регулювання вологою, залежить ще і від рівня температури. Адже зважаючи на абсолютну вологість (це кількість водяної пари у грамах, що міститься в 1 м<sup>3</sup>), при зміні температури змінюється і волога, та навпаки. При підвищенні температури підвищується і рівень вологи, при пониженні вологи знижується і температура. Графік залежності виглядає наступним чином.рис. 2.24.

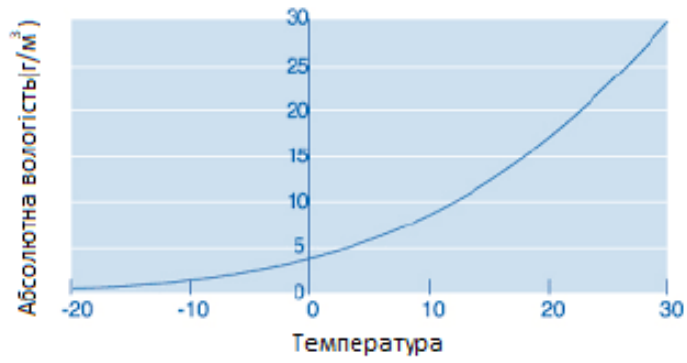


Рисунок 2.24 Залежність зміни рівня вологи від зміни температури

Враховуючи таку залежність зміни рівня вологи від температури, побудуємо наступну схему контуру (рис.2.25). [14]

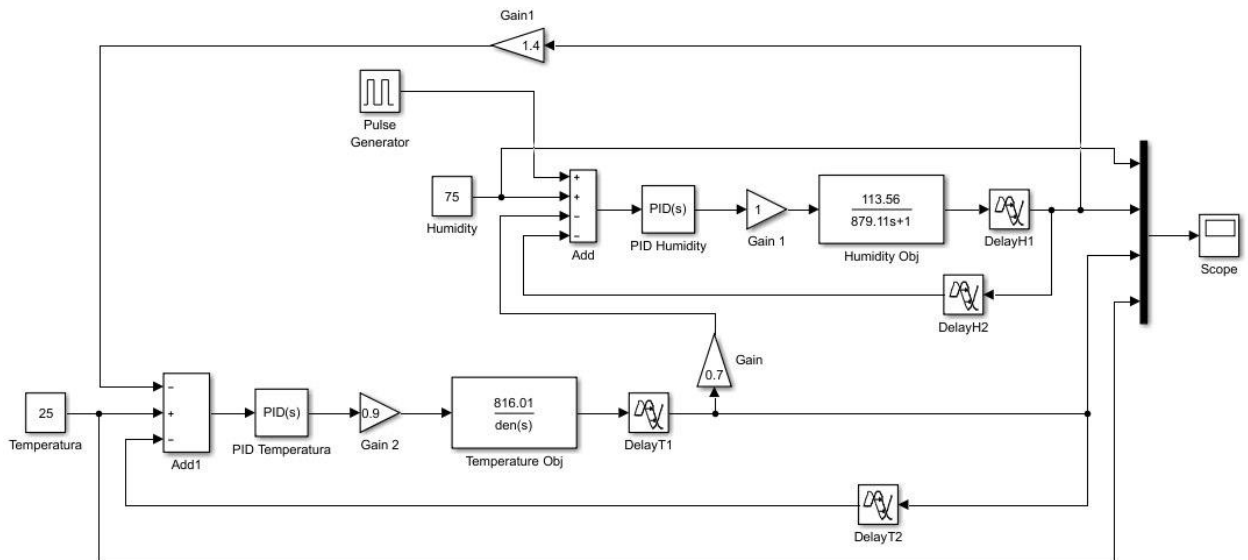


Рисунок 2.25 Схема контуру регулювання вологи в блоці

В контур вологи додали збурюючий вплив, та налаштували час спрацювання на 150 – ій секундi. В результатi отримали наступну перехiдну характеристику.

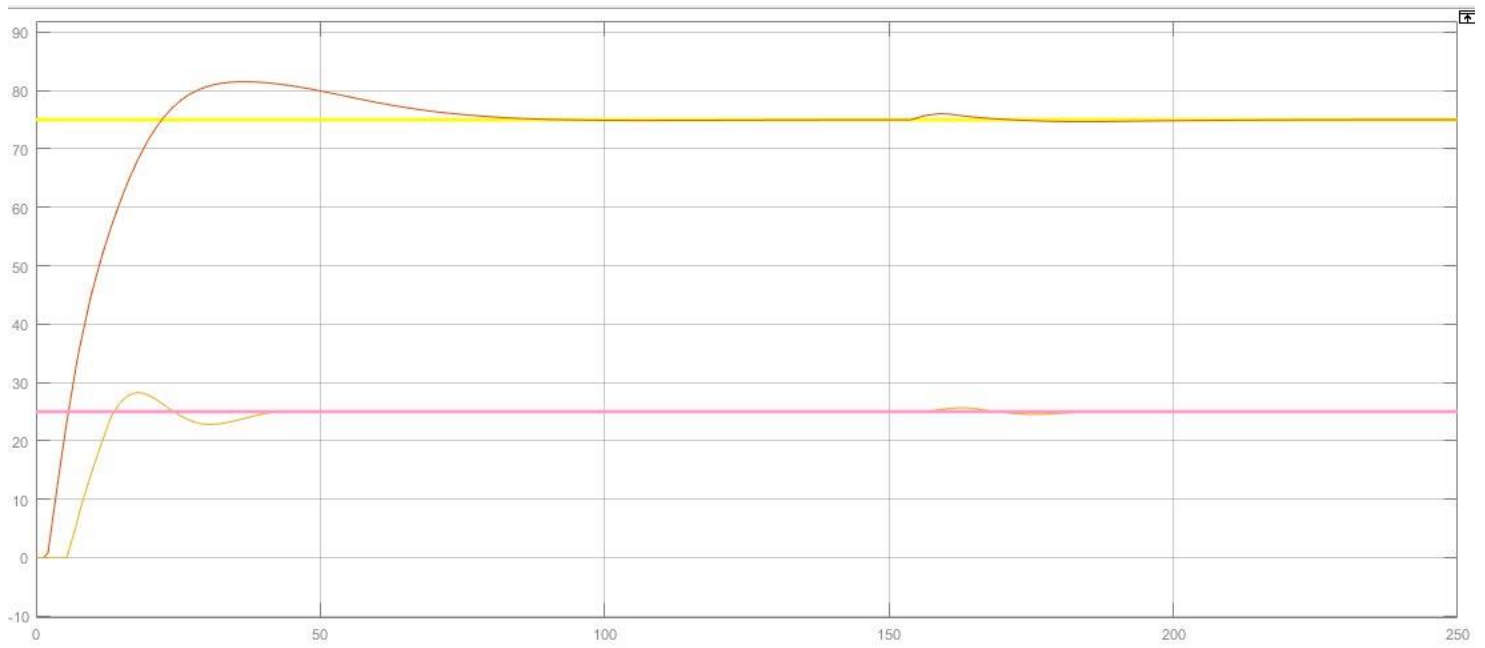


Рисунок 2.26 Перехідна характеристика системи регулювання вологою та залежність зміни вологи від зміни температури

На графіку рис.2.26 можна побачити перехідну характеристику фіолетового кольору, що відповідає за вологу, та перехідну характеристику рожевого кольору, що відповідає за температуру. Також бачимо збурюючий вплив, який ми задали на контурі керування вологою. З отриманого графіку робимо висновок, що підвищення вологи надає збурюючий вплив на систему регулювання температурою.

Наступним кроком створимо збурюючий вплив на контур регулювання температурою.

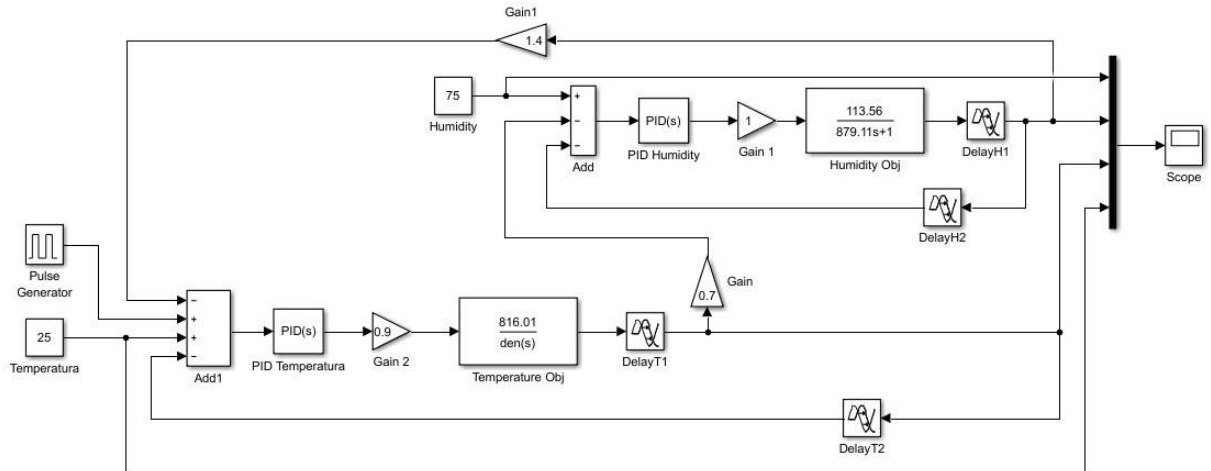


Рисунок 2.27 Перехідна характеристика системи регулювання вологою та залежність зміни вологи від зміни температури

Далі додали збурюючий вплив в контур регулювання температурою, та налаштували час спрацювання на 150 – ій секунд. В результаті отримали наступну перехідну характеристику.

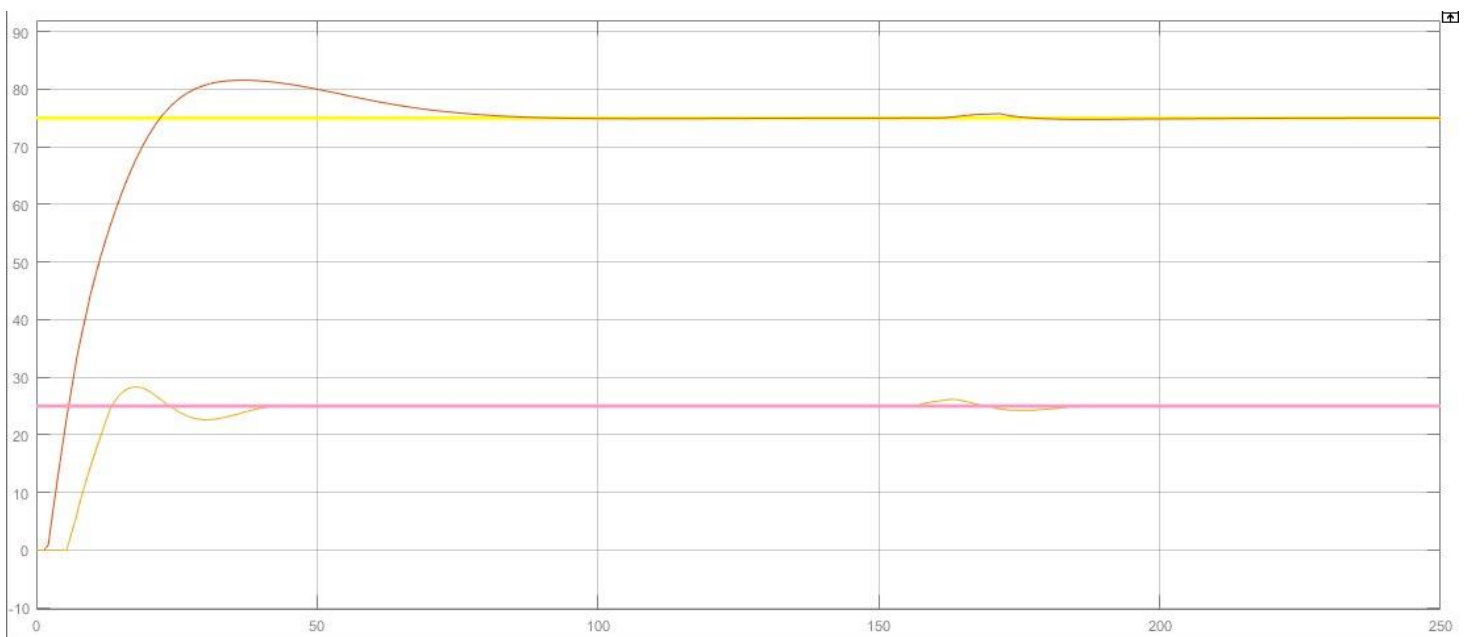


Рисунок 2.28 Перехідна характеристика системи регулювання вологою та залежність зміни вологи від зміни температури

З графіку рис.2.28 можна побачити, що перехідна характеристика фіолетового кольору відповідає за вологу, а рожева за температуру. На 150-ій секунді в контурі керування температурою бачимо збурюючий вплив. І цей збурюючий вплив створює збурення в перехідній характеристиці вологи.

З графіків вище робимо висновок, що при зміні температури змінюється рівень вологи, та навпаки, при зміні вологи змінюється і температура. Маючи такі результати доцільно використовувати каскадне керування, що призведе до зменшення енерговитрат.

## **2.6 Контур контролю рівня води в ємності для зберігання води**

Для зволоження блоку для зберігання продуктів використовується ультразвуковий генератор туману. Для його коректної роботи необхідна ємність з водою, адже сам генератор повинен бути зануреним у воду. Сам генератор туману має захист від низького рівня води, тобто коли рівень води менший за необхідний та мембрана генератору знаходиться не у воді, генератор не буде працювати. Якщо рівень вологи стане нижчим за заданий, регулятор включить генератор туману. У випадку, коли рівень води критично малий, генератор не буде спрацьовувати, що призведе до псування всієї продукції в блоці та економічним збиткам.

Тож, для коректної роботи етапу зволоження, необхідно розробити контур контролю рівня води в ємності для зберігання води. Для контролю рівня води в ємності, будемо використовувати поплавковий датчик. Контур контролю рівня води в ємності представлений на рис.2.27.

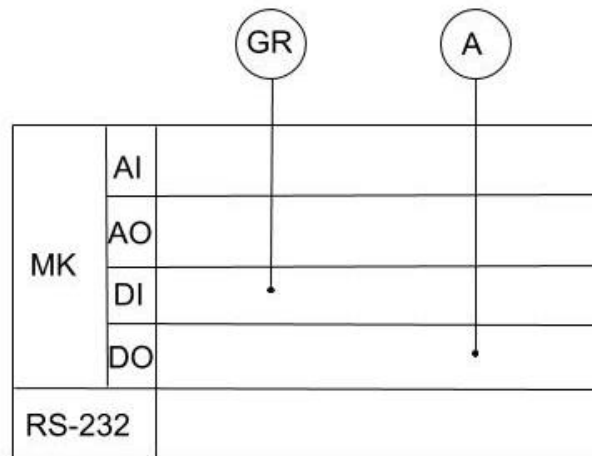


Рисунок 2.29 Контур контролю рівня води в ємності

У випадку закінчення води подається сигнал на світлодіод який розташований на шкафу робототехнічного комплексу харчового блоку, який сповіщає про те що автомат не працює. Далі сповіщення надходить обслуговуючому персоналу, який повинен швидко відреагувати та замінити бак з водою. Заміна баку з водою відбувається за попередньо узгодженим графіком.

### **3. ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ БЛОКУ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКТІВ**

На основа опису та розрахунку контурів керування, перейдемо до створення системи автоматизації. Підберемо засоби автоматизації для регулювання температури та вологи в блоці зберігання продуктів.

#### **3.1 Засоби автоматизації для регулювання температури в блоці зберігання продуктів.**

Для контуру температури нам необхідно підібрати датчик температури, в ролі виконуючого механізму для нагрівання ТЕН з вентилятором для рівномірного прогрівання, мотор для керування вентилятором, а також реле для включення та виключення мотору. Також виконуючим механізмом необхідно підібрати охолоджувач.

##### **3.1.1 Датчик температури**

Контроль якості продуктів є однією з найголовніших функцій блоку, а якісна підтримка температури допоможе зберегти продукти свіжими. Датчик повинен бути надійним, адже неправильний рівень температури в блоці призведе до псування всієї продукції, що спричинить економічні збитки.

Для визначення температури в блоці зберігання продуктів використаємо датчик NT-PT100 - це термодатчик, який працює на основі мікросхеми NT-PT100.



Рисунок 3.1 Зовнішній вигляд датчика NT-PT100



Основні характеристики датчика NT-PT100:

- Універсальні умови роботи, адже датчик повністю герметизований, тож може працювати і в сухих і у вологих умовах;
- Максимальна температура вимірювання  $+150\text{ C}^\circ$ , а мінімальна  $-60\text{ C}^\circ$ , що повністю задовольняє умовам;
- Рівень захисту монтажної частини IP - 68;
- Довжина монтажної частини 30 мм.

Даний датчик має досить не велику похибку вимірювання у своїй цінній категорії.

### **3.1.2 Нагрівальний елемент**

У зв'язку з тим, що автоматизований робототехнічний комплекс харчового блоку може бути встановленим і на вулиці, де є значні перепади температур, необхідно підібрати нагрівальний елемент, який допоможе швидко відновити задану температуру та унеможливити псування продуктів.

Тому, в ролі нагрівача використаємо сухі ТЕНи, адже вони швидко і якісно нагрівають повітря, часто використовуються в харчовій промисловості та не впливають на якість та смак їжі.

ТЕНи складаються з плоских ізоляційних керамічних блоків з високою теплопровідністю. Обираємо цей нагрівальний елемент, адже його температурний діапазон підходить для зберігання продуктів у нашому блоці. Важливим є і те, що це найдешевші і найпрактичніші в своєму класі нагрівальні елементи, які широко використовуються для підігрівання продуктів та в пічках.

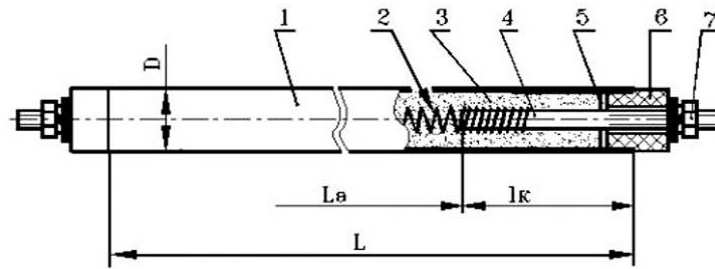


Рисунок 3.2 Будова сухих ТЕНів

1 - оболочка; 2 - спіраль; 3 - наповнювач; 4 - контактний стрижень; 5 - герметизуючий матеріал; 6 - ізолятор; 7 - контактні шайби та гайка;

Основні характеристики сухих ТЕНів:

- Мають високу надійність та безпеку в обслуговуванні;
- Температура нагрівання до 700 С°;
- Потужність ТЕНів 2000В;
- Діаметр ТЕНа 190 мм.;
- Мають спеціальну конструкцію, яка дозволяє використовувати ТЕНи і в сухому і у вологому середовищі;
- Завдяки герметичному виконанню, термін служби окремої нагрівальної одиниці 10 тис. годин, що економічно вигідно.

### 3.1.3 Вентилятор

Для рівномірного розповсюдження гарячого повітря від ТЕНів по всьому блоку для зберігання продуктів, підберемо вентилятор. Використаємо вентилятор в який вже вбудований сухий ТЕН круглої форми для нагрівання повітря та моторчик для обертання вентилятора. [15]



Рисунок 3.3 Зовнішній вигляд вентилятора

Основні характеристики вентилятора:

- Діаметр крильчатки 150 мм.;
- Матеріал - нержавіюча сталь.

### 3.1.4 Мотор

В ролі моторчика для введення в дію вентилятора використали електромотор Ariston C00081589.

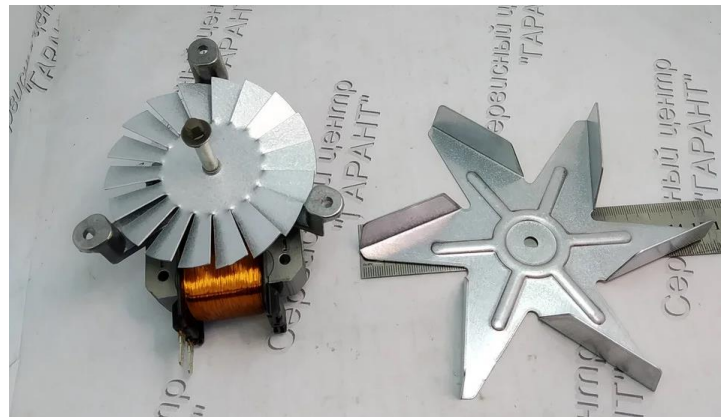


Рисунок 3.4 Зовнішній вигляд електромотора Ariston C00081589

Основні характеристики мотора Ariston C00081589:

- Потужність двигуна 25В;
- Використовується в електропічках, тож не боїться високих температур.

### 3.1.5 Реле

Наш блок для зберігання продуктів має маленькі розміри та закриті стінки, тому відсутні різкі перепади температур. Вентилятор буде крутитися з малою швидкістю, і цього буде достатньо для розповсюдження теплого повітря по всьому об'єму блоку. Тож немає необхідності в регулюванні його швидкості. Мотор який крутить вентилятор буде працювати за принципом включення\виключення. В результаті робимо висновок, що сигнал на мотор для обертання вентилятора повинен подаватися тільки тоді, коли включається нагрів ТЕНів, а при відключенні ТЕНів перестає крутитися і вентилятор.

Так як відсутня необхідність в регулюванні швидкості обертання вентилятора, мотор буде підключений до реле.

В ролі реле обрали твердотільне реле SSR-25DD.



Рисунок 3.5 Зовнішній вигляд реле SSR-25DD

Основні характеристики реле SSR-25DD:

- Вхідна напруга: 3-32 В постійного струму
- Вихідна напруга: 5-200VDC
- Розміри: 63 \* 45 \* 23.2mm

На реле подається сигнал, привод замикається і двигун крутить вентилятор, який рівномірно розповсюджує нагріте від ТЕНів повітря.

### 3.1.6 Охолоджувач

В ролі охолоджувача підбрали мініатюрний холодильний агрегат PURSWAVE ST19W DC, що обладнаний дуже маленькою компресорною водяною охолоджувальною установкою з конденсаторним випарником і термостатом. [16]

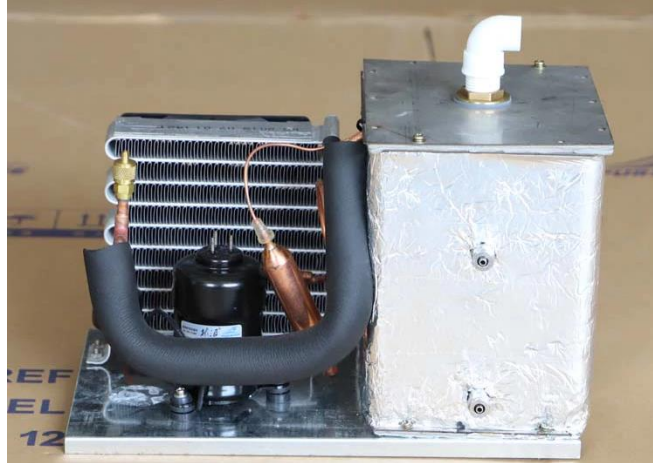


Рисунок 3.6 Зовнішній вигляд охолоджувача PURSWAVE ST19W DC

Основні характеристики охолоджувача PURSWAVE ST19W DC:

- Агрегат використовується в побутових холодильних установках, в блоках з обмеженим простором;
- Температурний режим від  $- 25^{\circ}\text{C}$  до  $+ 10^{\circ}\text{C}$ , при температурі зовнішнього середовища до  $+ 32^{\circ}\text{C}$ ;
- Номінальна потужність охолодження: 400 Вт;
- Розмір одиниць: 470x180x160 мм;
- Обладнаний ємністю для води;
- Обладнаний електронною платою управління та термостатом.

В якості контролера використовується ПЛК ОВЕН 160, в якому є два порта інтерфейсу передачі даних типу RS-232. Підключення охолоджувача PURSWAVE ST19W DC до контролера буде відбуватися через один з портів інтерфейсу передачі даних RS-232.

### 3.2 Засоби автоматизації для регулювання вологи в блоці зберігання продуктів

Для регулювання вологи в блоці зберігання продуктів, нам необхідно підібрати датчик, що буде вимірювати рівень вологи. В ролі виконавчих механізмів підберемо випарник холодильних камер, заслонку, яка буде працювати в режимі включення\виключення, та мотор для її відкривання та закривання.

#### 3.2.1 Датчик вологи

Для вимірювання рівня вологи оберемо датчик вологості EVHP503. Застосовується цей датчик в харчовій, фармацевтичній та хімічних, а також у сфері вентиляції та кондиціонування.



Рисунок 3.7 Зовнішній вигляд датчика вологи EVHP503

Основні характеристики датчика вологи EVHP503:

- Робочий діапазон 5% - 95%;
- Точність вимірювання  $\pm 3\%$ ;
- Працює за умов температури зовнішнього середовища - 10°C ... + 70°C;
- Час відгуку датчика менше 30 сек.;
- Розміри: довжина 185 мм.; діаметр 20 мм.;
- Захист основного корпусу датчика IP65.

### 3.2.2 Зволожувач повітря

Для підвищення рівня вологи в блоці для зберігання продуктів, в ролі зволожувача повітря обрали ультразвуковий генератор холодного туману DC 24В. Для роботи пристрою необхідно джерело живлення 24В.



Рисунок 3.8 Зовнішній вигляд зволожувача повітря DC 24В

Основні характеристики зволожувача повітря DC 24В:

- Використовується для зволоження маленьких приміщень, інкубаторів або грибних камер;
- Захист при низькому рівні води в баці;
- Продуктивність туману приблизно 40 мл/годину;
- Діаметр мембрани 16 мм.;

Пристрій що генерує пар складається з мембрани, яка під впливом електричного струму починає вібрувати з частотою 1 700 КГц, перетворюючи таким чином воду на пару. Для роботи пристрою необхідно встановити бак з водою.

### 3.2.3 Поплавковий датчик

Для контролю рівня води в ємності де знаходиться вода, яка використовується для роботи мембранного генератора туману, що повинен бути занурений у воду, обрали однорівневий поплавковий датчик ПДУ.



Рисунок 3.9 Зовнішній вигляд поплавкового датчика ПДУ

Принцип дії цього датчика заснований на механічному переміщенні поплавця, який оснащений постійним магнітом уздовж штока, в якому розміщений геркон. В момент, коли магніт досягає заданого рівня, герконовий контакт замикається. Таким чином на виході пристрою формується відповідний сигнал. [17]

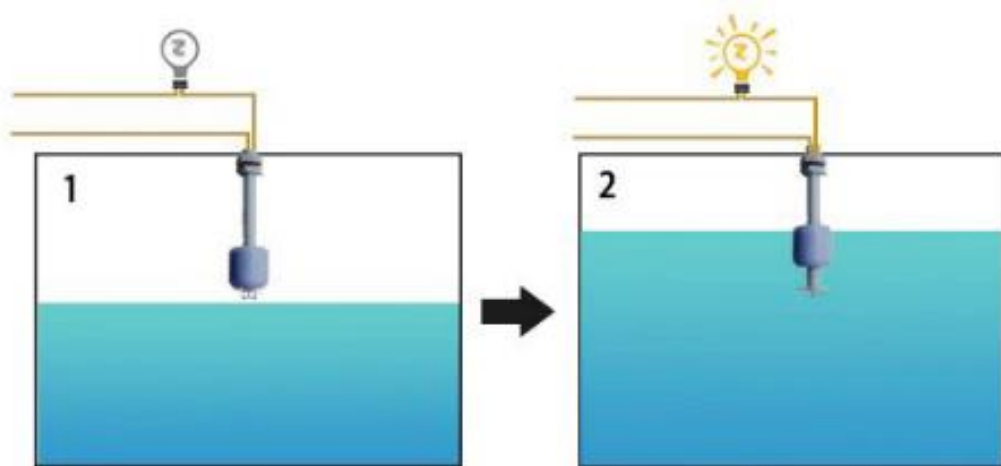


Рисунок 3.10 Принцип дії поплавкового датчика

Основні характеристики поплавкового датчика ПДУ:

- Виготовлений з нержавіючої сталі;
- Можна контролювати як мінімальний так і максимальний рівень води в резервуарі;



### 3.2.4 Заслонка

У випадках, коли необхідно знизити рівень вологи в блоці для зберігання продуктів будемо використовувати заслонку.



Рисунок 3.10 Зовнішній вигляд заслонки з електроприводом КРА 100

Основні характеристики заслонки з електроприводом КРА 100:

- Виготовлена з оцинкованої сталі, тому дуже стійка до виникнення корозії;
- Має круглий перетин; Розмір патрубку 100 мм.;

Вона буде працювати в режимі відкриття\закриття. Обрали модель заслонки КРА 100, адже вона вже з вбудованим електроприводом Velimo. Застосовуються у вентиляційних приміщеннях для регулювання витрат повітря, використовуватися як повітропровід, або ж в маленьких блоках для вентиляції. Так як заслонка буде працювати в режимі включення\виключення, відсутня необхідність в регулюванні положення заслонки. В якості контролера використовується ПЛК ОВЕН 160, в якому є два порта інтерфейсу передачі даних типу RS-232. В один у нас вже підключений мотор що крутить вентилятор, тож підключення електропривода що повертає заслонку буде відбуватися за допомогою другого порта RS-23.

### 3.3 Вибір контролера

Для реалізації системи необхідно підібрати контролер. Сам робототехнічний комплекс харчового блоку вже має ПЛК ОВЕН 140. Адже цей контролер підходить для нашої системи, та є одним з найдешевших в своїй категорії.



Рисунок 3.11 Зовнішній вигляд ПЛК ОВЕН 140

Основні характеристики:

- Має великий обсяг пам'яті та великі обчислювальні потужності;
- Наявні два порти RS – 232 та Ethernet в контролері;
- Присутній вбудований годинник;
- Має вбудований акумулятор;
- Присутня підтримка таких протоколів: протоколів обміну Modbus, ОВЕН, DCON

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізувавши всі приклади з різними видами блоків для зберігання продуктів та страв було виявлено, що для короткочасного зберігання продуктів достатньо контролювати тільки один параметр середовища. Але в робототехнічному комплексі харчового блоку необхідно запровадити довготривале зберігання. Тож виникла необхідність в розробці двох регуляторів контролю температури та вологи. Сформовані критерії керування параметрами.
2. Проведено огляд типових ланок керування та інформації щодо законів керування. Завдяки моделюванню процесу зміни температури та вологи, реалізовано ідентифікацію об'єкта автоматизації, створено математичні моделі контурів керування за допомогою програмного середовища Matlab . Визначені контури регулювання.
3. Обрано тип регуляторів для контурів керування мікроклімату в блоці для зберігання продуктів з підпорядкованим регулюванням та підібрані їх параметри завдяки пакету розширення Simulink (Matlab).
4. Підібрано апаратне забезпечення для блоку, з врахуванням можливості утримувати продукти в різних умовах зберігання. В результаті данний блок можна використовувати не тільки в робототехнічному комплексі для зберігання булочок та сосисок, а й в комплектації з іншими автоматами з різним переліком продуктів для зберігання.

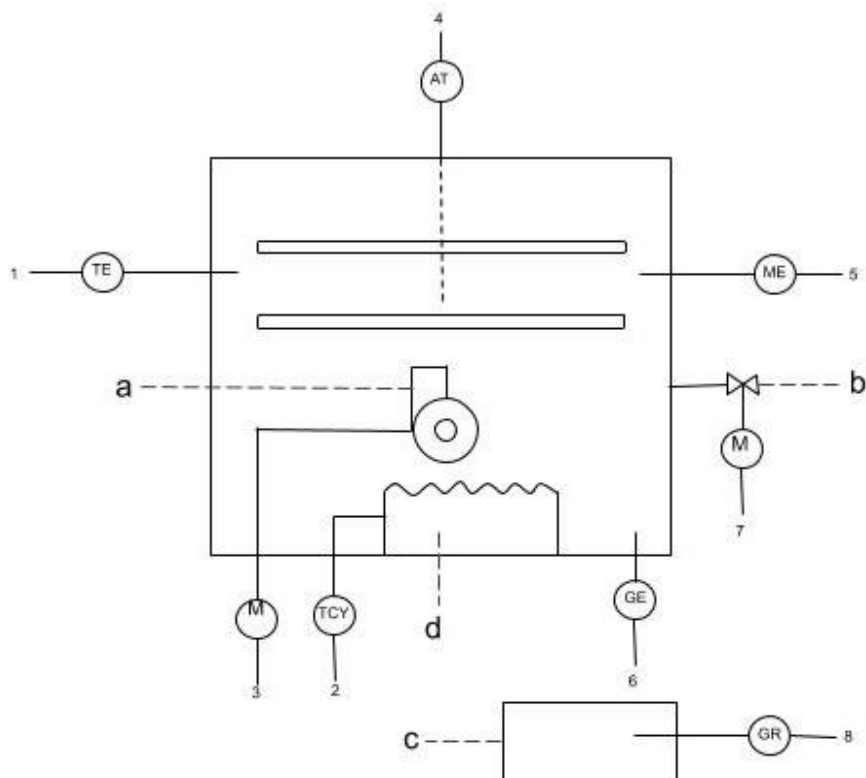
## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Михальова К.Ю. – «Автоматизований робототехнічний комплекс харчового блоку», дипломний проект: 151. – Суми, 2019. – 55с.
2. Види та особливості блоків для зберігання продуктів – [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://profood.by/oborudovanie/374-rzbiraemsia-v-oborudovanii-dlia-hranenija-gotovih-blud>
3. Михальова К.Ю. – «Автоматизований робототехнічний комплекс харчового блоку вендінгового апарату» – Міжнародна науково - технічна конференція «ІМА-2020» .- Суми.-2020.- 209с.
4. Николайчук Я.М., Возна Н.Я., “Теорія автоматичного управління” - Тернопіль, 2015 р. - 59 с.
5. Щербак Я.В., Івакіна К. Я., “Основи теорії автоматичного регулювання електромеханотронних систем”, - Харків, 2019 р. - 223 с.
6. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування: Підручник. — Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. — 2017. — 250 с.
7. Ю. М. Ковриго, О. В. Степанець, Т. Г. Баган, О. С. Бунке., “Сучасна теорія управління” — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. — 2018р. — 155 с.
8. Остапенко Ю.А. Ідентифікація та моделювання технологічних об’єктів керування: Підручник / Остапенко Ю.А. — К.: Задруга, 1999. — 424 с.
9. Минаев И.Г. Свободно программируемые устройства в автоматизированных системах управления / И.Г. Минаев, В.В. Самойленко, Д.Г. Ушкур, И.В. Федоренко - Ставрополь: АГРУС. 2016. - 168 с. ISBN 978-5-9596-1222-1
10. М.С. Пушкар, С.М. Проценко, “Проектування систем автоматизації” — Дніпропетровськ: НГУ, — 2013, — 268 с. EE 531 – System Identification [Electronic resources] / Chulalongkorn University, Department of Electrical Engineering. — Available at: <http://jitkomut.lecturer.eng.chula.ac.th/ee531/pem.pdf>, 2019.

11. O'Dwyer, A. Handbook of PI and PID controller tuning rules. A. O'Dwyer. – Imperial college press, Ireland, 2016. – 562 p.
12. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. — М: Горячая Линия-Телеком, 2016. — 608 с. ISBN 978-5-9912-0060-8
13. Yurkevich D.V., “Advances in PID Control” — NSTU, 2011. — 259 p
14. Огляд системи нагрівання – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://bigl.ua/p1281388338-ventilyator-konveksii-tenom>
15. Міні - охолоджуюча система PURSWAVE ST19W DC – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [https://ru.made-in-china.com/co\\_purswave/product\\_Purswave-Lt35A-DC-24V-Mini-Refrigeration-System-24V.html](https://ru.made-in-china.com/co_purswave/product_Purswave-Lt35A-DC-24V-Mini-Refrigeration-System-24V.html)
16. Принцип роботи поплавкового датчика – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://owen.ua/ru/datchiki/pdu-odnourovnevye-poplavkovye-datchiki>.

## ДОДАТОК А

### Функціональна схема автоматизації блоку зберігання продуктів



		1	2	3	4	5	6	7	8	HL
МК	AI	•				•				
	AO									
	DI									
	DO		•	•	•		•			•
RS-232								•		

a – Вентилятор

b – Заслонка

c – Блок для води

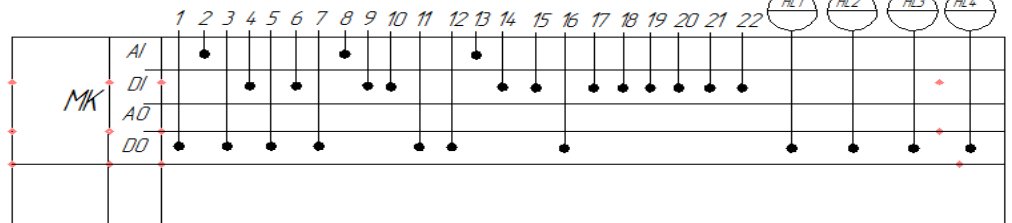
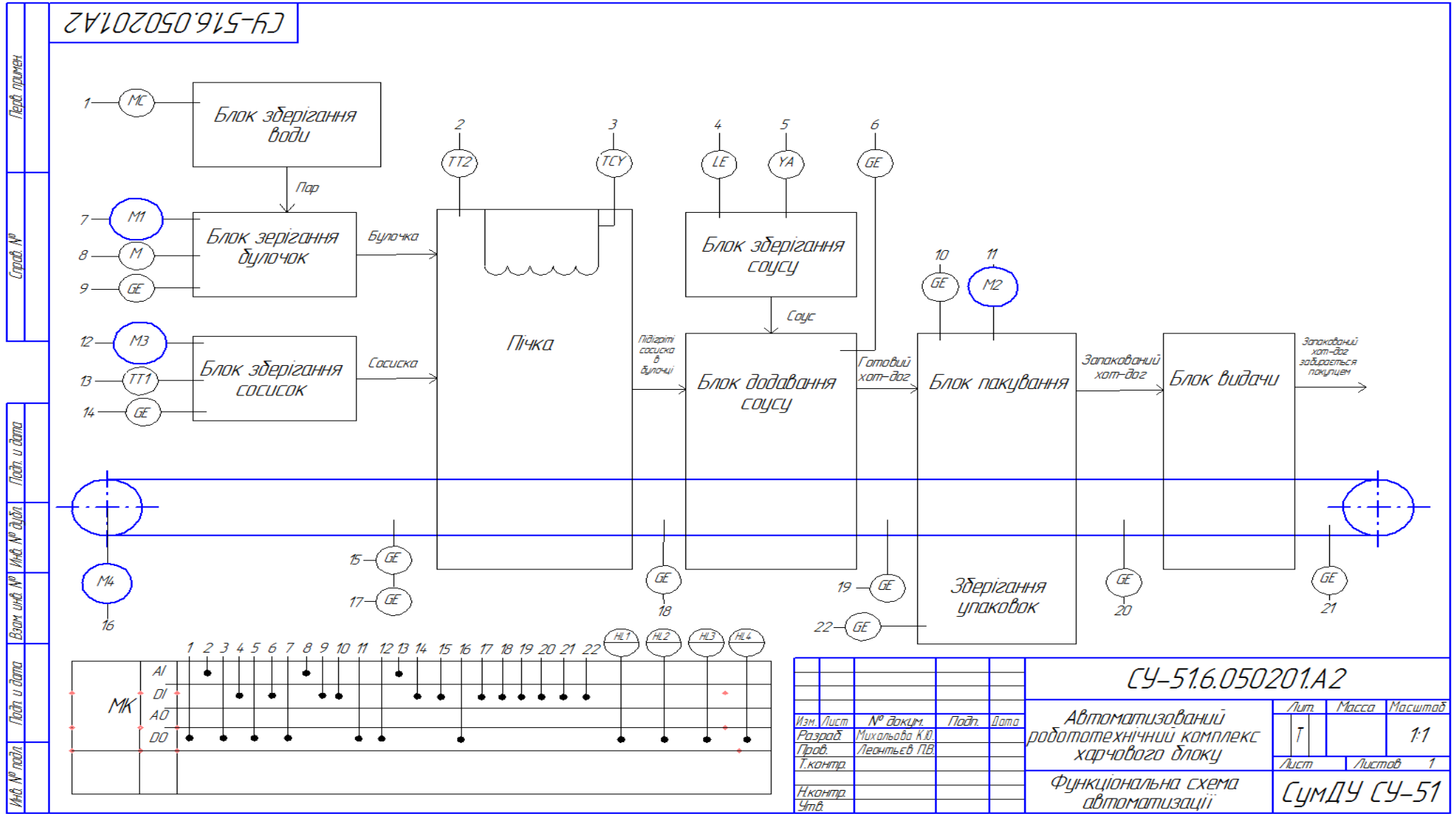
d - Нагрівач

					СУМ – 91.6.050201.A2			
Изм.	Лист	№ Докум	Подп.	Дата	Автоматизований робототехнічний комплекс харчового блоку	Лист.	Масса	Маштаб
Разраб.	Михальова К.Ю					Т		1:1
Прав.	Журба В.О.				Функціональна схема автоматизації	СумДУ СУМ – 91		
Т.контр								
Утв.								

# ДОДАТОК Б

## Функціональна схема автоматизованого робототехнічного комплексу

СУ-516.050201А2



СУ-516.050201А2

Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Автоматизований робототехнічний комплекс харчового блоку	Лист	Масса	Масштаб
Разраб. Михайлова К.Ю.	Проб. Леонтьев П.В.				Т		1:1
Т.контр.				Функціональна схема автоматизації	Лист	Листов 1	
Н.контр.				СумДУ СУ-51	Формат А3		
Утв.				Копировал			