

Факультет комп'ютерно - інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри автоматики та телекомунікацій

_____ Валерій ПОЦЕПАСВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«___» _____ 2023 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка системи автоматичного управління параметрами мікроклімату сховищ плодово-овочевих культур»

Виконав : студент 4 курсу, групи АКТ-19
(шифр групи)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Ємашев Дмитро Олександрович
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник ст. викл. каф. АТ . Гліб СТУПАК
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент к.т.н., доц.доц. каф. ЕТ Олександр ШТЕПА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль:

Дар'я ЖУКОВСЬКА

26.06.2023 р.

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2023 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

Тема: «Розробка системи автоматичного управління параметрами мікроклімату сховищ плодово-овочевих культур»

Виконавець, студент

гр. АТК-19

Керівник

Консультанти:

Нормоконтроль

Дмитро ЄМАШЕВ

(підпис, дата, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Гліб СТУПАК

(підпис, дата, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Валерій ПОЦЕПАСВ

(підпис, дата, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Ганна Теличко

(підпис, дата, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Дар'я ЖУКОВСЬКА

(підпис, дата, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Луцьк 2023р.

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
 Кафедра Автоматика та телекомунікації
 Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
 Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
 (шифр і назва)
 Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**В.о. завідувача кафедри АТ
Валерій ПОЦЕПАЄВ**

«___» _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Ємашеву Дмитру Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматичного управління параметрами мікроклімату сховищ плодово-овочевих культур

керівник роботи: Ступак Г.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від 05.05.2023 року № 175

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: НДРС, практика

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1) аналіз предметної області.

2) аналіз технологічного процесу.

3) підбір устаткування.

4) розробка алгоритмів.

5) моделювання і перевірка гіпотез.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень).

- схема об'єкту

- структура та функціональна схеми автоматизації

- блок-схема роботи

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2	Теличко Г.О., доц. каф. АТ		
3	Поцєпаєв В.В., в.о. зав. каф. АТ		
нормоконтроль	Жуковська Д.О., асис. каф. АТ	-	26.06.2023р.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз предметної області	01.05.2023	
2	Аналіз технологічного процесу	12. 05.2023	
3	Підбір устаткування	22. 05.2023	
4	Розробка алгоритмів	30.05.2023	
5	Моделювання і перевірка гіпотез	10.05.2023	
6	Оформлення	15.06.2023	

Студент _____
(підпис)Дмитро ЄМАШЕВ
(прізвище та ініціали)Керівник роботи _____
(підпис)Гліб СТУПАК
(прізвище та ініціали)

Лист зауважень

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Ємашев Дмитро Олександрович «Розробка системи автоматичного управління параметрами мікроклімату сховищ плодово-овочевих культур» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Пояснювальна записка: 61 стор., 30 рис., 6 табл., 19 посилань.

Випускна кваліфікаційна робота присвячена вирішенню актуальної задачі, а саме розробці системи автоматизованого управління параметрами мікроклімату. В роботі в якості об'єкту дослідження виступають сховища для плодово-овочевих культур. Проведено аналіз необхідних параметрів для цих об'єктів, визначено апаратний склад типової системи та запропоновано використання алгоритму автоматичного регулювання параметрів системи. Прийняті проєктні рішення підтверджені проведеним моделюванням і розрахунком ключових показників.

Ключові слова: АЛГОРИТМ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, МІКРОКЛІМАТ, СХОВИЩЕ, СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОНТРОЛЬ, АНАЛІЗ, РЕГУЛЯТОР, ПРОГРАМОВАНИЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОБ'ЄКТУ	11
1.1 Узагальнена характеристика системи контролю мікролімату	11
1.2 Основні вимоги до параметрів зберігання фруктів та овочів.....	12
1.3 Організація плодово-овочевих сховищ	17
Висновки до розділу 1	20
2. ФУНКЦІОНАЛЬНА ТА АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ.....	21
2.1 Опис об'єкту плодово-овочевого сховища, для якого проводиться розробка системи автоматизації	21
2.2 Структурна та функціональна схеми автоматизації	23
2.3 Засоби вимірювання та контролю для системи автоматизації.....	25
2.4 Виконавчі пристрої системи автоматизації.....	32
Висновки до розділу 2	389
3. АЛГОРИТМІЧНІ РІШЕННЯ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	39
3.1 Алгоритмічні рішення	40
3.1.1 Алгоритм запуску та останова системи.....	40
3.1.2 Розробка алгоритму автоматичного регулювання	41
3.2 Налаштування регулятора.....	46
3.3 Перевірка роботи САУ при зміні температури.....	55
Висновки до розділу 3	55
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

САУ – система автоматичного управління;

САК – система автоматизованого керування;

РГС – регульоване газове середовищем;

ФСА – функціональна схема автоматизації;

ПВВ – припливно-витяжна вентиляція;

ПЛК – програмований логічний контролер;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

ВСТУП

В сучасних умовах продовольча безпека відіграє одну з найголовніших ролей, про що неодноразово згадується в нормативних документах ООН і відповідних деклараціях. Важливим аспектом політики продовольчої безпеки будь-якої країни є не тільки можливість вирощувати агропродукцію і переробляти її, а й мати стратегічні запаси. Для зберігання плодово-овочевих культур у вигляді сировини активно застосовуються овочесховища. Якість функціонування даних приміщень і відповідність параметрів мікроклімату відіграють ключову роль при зберіганні на тривалий термін продукції агросектору. Сьогодні саме від рівня проникнення комп'ютерно-інтегрованих технологій залежить належний рівень якості кінцевого продукту і можлива пролонгації термінів зберігання. Застосування сучасних САУ та мСАК дає можливість контролювати всі необхідні параметри та тримати їх на належному рівні у відповідності до можливостей, що мають технологічні установки, такі як системи вентиляції, кондиціонування, опалення, видалення вологи чи навпаки підвищення рівня вологості.

В рамках кваліфікаційної випускної роботи бакалавра пропонується розробити автоматичну систему управління параметрами мікроклімату типового плодово-овочевого сховища.

Актуальність проведення розробки полягає в забезпеченні належних параметрів мікроклімату у сховищах для збільшення термінів зберігання та підвищення рівня продовольчої безпеки.

Мета даної роботи підтримка належних параметрів мікроклімату в плодово-овочевих сховищах за рахунок впровадження системи автоматичного управління.

Об'єкт виступає плодово-овочеве сховище.

Предметом є система автоматичного управління параметрами мікроклімату.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

- провести аналіз технології зберігання плодово-овочевих культур;
- визначити необхідний рівень впровадження систем автоматизації;
- провести розробку функціональної схеми системи автоматизації;
- провести апаратний синтез;
- розробити та провести моделювання алгоритму автоматичного регулювання.

Методи й засоби розробки: методи порівняльного аналізу, дослідження предметної галузі з відкритих джерел, імітаційне і математичне моделювання, програмування, апаратний синтез.

Результати, отримані в даній роботі можуть стати в нагоді при розробці рішень для впровадження систем мікроклімату в плодових та овочевих сховищах продукції сільського господарства для тривалого зберігання. Також отримані результати можуть бути використані для систем підтримки належного рівня параметрів мікроклімату в процесі вирощування мікрогріну, грибів та культур, що потребують сталих показників параметрів зовнішнього середовища. При заміні деяких компонентів та параметрів системи і проведенні відповідних налаштувань дана розробка може бути використана для складських та виробничих приміщень в господарчій діяльності будь-якого підприємства.

Структура та обсяг роботи. Випускна кваліфікаційна робота обсягом 61 машинописних сторінок, складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліка використаних джерел, що складається з 19 найменувань. Робота містить 30 рисунків, 6 таблиць.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОБ'ЄКТУ

1.1 Узагальнена характеристика системи контролю мікроклімату

В даний час існує багато технологій зберігання овочів та фруктів, але всі вони зводяться до підтримки оптимального мікроклімату в овочесховищах. Для цього використовується комплекс заходів, що складається з системи вентиляції, пристроїв опалення та охолодження, вимірювання рівню CO₂ та видаленню пилу. Автоматична система зберігання овочів призначена для контролю процесу зберігання та забезпечення тривалої автономної та безперебійної роботи.

Автоматична система контролю мікроклімату складається з датчиків, контролерів і виконавчих механізмів (вентиляторів, заслінок, зволожувачів і осушувачів). Всі необхідні параметри задаються за допомогою пульта управління або комп'ютера. Система оснащена якісною вентиляцією, завдяки якій регулюється температура повітря, що подається, а отже, і овочів. Крім того, система автоматичного контролю зберігання овочів забезпечує оптимальну температуру і вологість в приміщенні. Мікроклімат можна підтримувати відповідно до заданих вручну параметрів або використовувати програми що були спеціально розроблені для контролю мікроклімату в овочесховищі. Таким чином, система дозволяє контролювати температуру і вологість в овочесховищі. За допомогою системи є можливість:

- зменшення кількості продукції що підпадає під поняття бракованої;
- покращити якість овочів;
- збільшити термін служби обладнання.

Автоматична система управління має виконувати мінімальний набір таких функцій:

- контроль температуру і вологості;
- відстеження зміни в системі;
- підтримка температурно-вологісного режиму;

- архівування змінених параметрів;
- розпізнавання надзвичайних ситуацій.

1.2 Основні вимоги до параметрів зберігання фруктів та овочів

Більшість овочів, фруктів і ягід є такими, що швидко псуються. Але оскільки процес їх вирощування носить сезонний характер, на відміну від м'яса і молока, виникає проблема зберігання.

Як відомо, існує багато способів зберігання свіжих овочів, фруктів і ягід: у звичайних холодильниках, магазинах з регульованим газовим середовищем, для деяких видів овочів на стелажах тощо. Відомо, що культура не гине, а живе, готуючись до подальшого розмноження. Життєздатність зібраної продукції забезпечується енергією, що утворюється при диханні. Найважливішим, але не єдиним субстратом для дихання є цукри, головним чином глюкоза і фруктоза. У зібраному врожаї повністю зберігаються ферментні системи, необхідні для дихання. Вони переробляють цукор із виділенням CO_2 , води та великої кількості тепла. Після статевого дозрівання інтенсивність дихання плодів знижується, що з часом призводить до розкладання плоду. Щодо тепловиділення різних видів овочів, фруктів і ягід при зберіганні діє таке: чим вища температура зберігання, тим більше виділяється тепла.

Зменшити дихання плодів культур можна кількома способами, наприклад, знизити температуру. Як показує досвід, більшість видів фруктів і овочів добре зберігаються при температурах, близьких до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]. При цьому дослідження показали, що навіть при таких низьких температурах дихання лише сповільнюється, але не зупиняється. При цьому виділяється тепло, і якщо його не видаляти, відбувається самозігрівання, яке полягає в поступовому підвищенні температури, що в свою чергу посилює дихання. У цьому випадку виділяється ще більше енергії. Етилен підвищує концентрацію вуглекислого газу. В результаті дихання скорочується в кілька разів.

Найбільш популярна штучна газова суміш, що складається з 2-3% O_2 , 3-5% CO_2 і 93% N_2 при відносній вологості повітря 90-95%, дозволяє довго зберігати практично всі види овочів і фруктів. Ці параметри відрізняються в залежності від типу продукту.

Це загальні правила зберігання овочів, фруктів і ягід. Насправді способів зберігання набагато більше. Для зберігання деяких фруктів (наприклад, яблук) їх поверхню покривають шаром парафіну. Або, навпаки, кладуть ті ж яблука в закриті маленькі поліетиленові пакети (завдяки великій поверхні пакетів тепло швидко відводиться, а вуглекислий газ, що утворюється всередині пакета, унеможливорює дихання). Існують і інші методи, які передбачають як зменшення дихання, так і придушення шкідливих мікроорганізмів. Особливо страждають продукти, уражені бактеріями, цвіллю і дріжджами. Тому так важливо заздалегідь відсортувати сировину від неякісних продуктів. Регулярне сортування має сенс і під час зберігання. Щоб запобігти розмноженню шкідливих мікроорганізмів у продуктах, використовують різні засоби боротьби, такі як антисептики та антибіотики. Антисептики, такі як SO_2 , дифеніли та похідні азотистих гетероциклів, застосовуються для знищення мікробів. Крім того, використовують антибіотики, наприклад, нізин, які підбираються індивідуально для кожного виду продукції, щоб боротися зі специфічними видами мікроорганізмів.

Для отримання високих органолептичних властивостей багато овочів і фруктів повинні бути стиглими. Відомі зимові сорти яблук, груш, айви та хурми, які досягають найвищої якості лише після певного терміну зберігання. Цукор розщеплюється під час дихання. У той же час при відновленні ацетальдегіду утворюється алкоголь. Насправді під час зберігання фруктів було виявлено значну кількість етанолу та ацетальдегіду. Подібні дані є для фруктів і ягід, що містять до 0,5% етанолу. Надлишок етанолу призводить до загибелі плодів і ягід.

Під час зберігання органічні кислоти розкладаються окисленням, особливо в яблуках. В результаті знижується загальна кислотність і смак овочів і фруктів стає «гладшим». Спостерігати вуглеводний обмін у картоплі набагато складніше.

Під час зберігання крохмаль ферментативно розщеплюється фосфорилазою або амілазою. Механізми ферментативного розпаду крохмалю подібні до фосфоролізу та амілолізу глікогену в рибі. Глюкоза, що утворюється при розщепленні крохмалю, використовується для дихання. Коли дихальна система з будь-якої причини пошкоджена або ослаблена, наприклад, замерзання при мінусовій температурі, глюкоза накопичується.

У багатьох озимих культурах перетворення пектину є важливим. Під час зберігання поступово руйнується вторинна пектинова структура, що надає плодам «твердість». Це зменшує водоутримувальну здатність, і пектин знаходиться переважно в розчинній формі. Смак продукту покращується. Негативним процесом, який відбувається під час зберігання і знижує харчову цінність, є ненавмисне руйнування вітамінів, особливо найбільш нестійкого вітаміну С. Цей процес досить інтенсивно починається відразу після збору врожаю і триває протягом усього періоду зберігання. Картопля містить менше 5 мг% вітаміну С навесні (30 мг% під час збору врожаю) і менше 1 мг% в яблуках (зимові яблука під час збору: 16 мг%). Лише капуста при зберіганні втрачає деяку кількість вітаміну С. Навесні залишається до 30 мг відсотків, а після збору врожаю – 45 мг відсотків.

Зберігання фруктів і овочів багато в чому залежить від способу їх зберігання. При нарощуванні проти хропіння необхідно створити умови, які затримують процес дихання і дозрівання, а при необхідності зупинять процес випаровування вологи. Основним регулятором цих процесів при зберіганні є температура. Всі види і види фруктів і овочів по-різному реагують на температуру навколишнього середовища. Тому вкрай важливо підібрати оптимальну температуру зберігання фруктів і овочів, а також відносну вологість і її склад.

При високій температурі фрукти та овочі дихають краще. У той же час витрачається багато поживних речовин і біорезервів, що містяться у фруктах і овочах. Поряд з посиленням гідролітичних процесів скорочується термін зберігання плодів. Випаровування води залежить від температурного

коефіцієнта. Чим вища температура, тим більше втрата вологи. Тому під час зберігання необхідно знизити температуру (при зниженні температури на 10 °C частота дихання падає приблизно в 2 рази). Проте низькі температури можуть призвести до переохолодження та обмороження, що призводить до розвитку фізіологічних захворювань, порушення структури тканин, втрати ваги та розвитку різних захворювань.

Оптимальна температура зберігання обмежена кріоскопічною та критичною температурами. Кріоскопічна температура, при якій замерзають фрукти та овочі, і критична температура, при якій руйнується обмін речовин і виникають фізіологічні захворювання. Щоб придушити життєдіяльність різних мікроорганізмів і уповільнити дихання фруктів і овочів, необхідно зберігати фрукти і овочі при температурі, близькій до нуля, але навіть трохи нижче нуля. Ось чому так важливо знати межі чутливості фруктів і овочів до низьких температур. Проте Г. В. У ВНЗ ім.Плеханова практично неможливо підтримувати температуру строго в одному діапазоні, а заморожування плодів призводить до незворотних змін у структурі яблук.

Для більшості фруктів і овочів оптимальна температура становить приблизно 0,5°C вище нуля. Проте деякі види фруктів і овочів слід зберігати при більш високих температурах (картопля, помідори, огірки, цитрусові, банани, ананаси, дині тощо).

Реакція плодів і овочів на температуру часто залежить від ґрунтово-кліматичних умов, а також від агротехнічних заходів. Тому оптимальний режим слід давати лише з урахуванням умов вирощування та площі вирощування. З цієї причини назвати конкретні терміни зберігання не представляється можливим. Для деяких плодів режим зберігання необхідно регулювати з урахуванням необхідності дозрівання після зберігання (груші, яблука та ін.).

Оптимальна температура залежить, зокрема, від сортових особливостей фруктів і овочів. В першу чергу це стосується яблук.

На оптимальну температуру зберігання також впливає ступінь стиглості плодів. Мінімальні температури стосуються споживчої стиглості, тоді як незрілі

плоди потребують вищих температур зберігання для завершення післязбирального дозрівання. Наприклад, коричневі помідори, які зберігаються при 4-5 °С, втрачають здатність до дозрівання, навіть якщо в майбутньому буде оптимальне регулювання. Подібна ситуація відбувається з деякими сортами яблук (Джонатан, Ренет Симиренка). При тривалому зберіганні при температурі 0°С вони втрачають здатність до дозрівання і швидко уражаються фізіологічними захворюваннями.

В таблиці 1.1 наведені основні характеристики умов і термінів зберігання сільськогосподарської продукції [2].

Таблиця 1.1 – Характеристики умов та терміни зберігання

Продукція	Температура маси, С		Відносна вологість повітря, %	Тривалість зберігання з моменту збору
	при зберіганні	при замерзанні (мінусова)		
Картопля	2-4	1,3	90...95	до 12 місяців
Капуста:				
рання	0... -0,5	0,9	85...90	до 1 місяця
середня	-0,5...-0,8	1,0	85...95	2...4 місяці
пізня	0...-0,8	1,0	90...95	6...8 місяців
Морква	1...-1	1,6	90...95	6...10 місяців
Буряк	0...1	1,6	90...95	6...10 місяців
Огірок	8...10	0,6	85...95	до 10 діб
Патисон	0...4	0,6	90...95	до 2 місяців
Кабачки	0...4	0,7	85...90	до 15 діб
Кавун	2...3	0,9	80...95	1...3 місяці
Диня	0...1	1,9	85...90	2...7 місяців
Томати:				
зелені	11...13	0,6	85...90	21...28 діб
бурі	1...2	0,7	85...90	до 1 місяця
червоні	0,5...1	0,7	85...90	14...28 діб
Баклажани	7...10	0,9	85...90	до 10 діб
Цибуля ріпчаста:				
гострий	-2...-3	1,8	70...80	6...10 місяців
негострий/солодкий	0...-1	1,5	70...80	4...7 місяців
Часник	-1...-3	2,6	70...80	4...7 місяців

Оптимальні умови для зберігання продукції можуть бути створені протягом усього періоду, використовуючи холодильні камери. Однак, якщо немає доступу до штучного охолодження, можна використовувати сховища під

час холодної пори року, такої як пізня осінь, зима і рання весна, коли температура повітря приблизно на 1-2 градуси нижче оптимальної температури зберігання.

Незрілу продукцію краще зберігати за підвищеної температури, тоді як зрілу продукцію рекомендується зберігати за зниженої температури.

Важливо змінювати температуру поступово під час зберігання, щоб уникнути утворення вологи на продукції, упаковці та стінах сховища. Таким чином при проектуванні будь яких систем зберігання, необхідно враховувати не тільки можливість штучного зниження температури, а й збільшення також.

1.3 Організація плодово-овочевих сховищ

Є кілька способів зберегти фрукти та овочі свіжими. Самий простий варіант – зберігати плоди в неохолоджуваному овочевому сховищі. Такий спосіб є найбільш економічно вигідним, але він часто не дає позитивних результатів порівняно зі зберіганням у звичайних холодильниках або холодильниках з регульованим газовим середовищем (РГС) фрукти зберігаються значно коротше.

Зберігання фруктів в традиційному холодильнику має ряд суттєвих переваг, в першу чергу завдяки можливості більш швидкого охолодження продуктів в камері. Охолодження може бути автономним або загальним (централізоване). Для підтримки рівномірної температури по всій камері на стінках камери встановлені охолоджуючі елементи - акумулятори повітряного охолодження з вентиляторами для перемішування повітря. У кожній камері повинні бути термометр і вологоміри, покази яких необхідно перевіряти кожні 1-2 дні.

Побудова холодильника – дуже дорогий процес і, незважаючи на те, що воно дороге в обслуговуванні, витрати окупаються дуже швидко. Довгий час охолодження було єдиним способом збереження фруктів. Потім з'явилася система під назвою РГС, поєднання охолодження та обмеженого контролю газу в камері. У холодильниках з РГС можна регулювати співвідношення кисню і

вуглекислого газу. Після заповнення камери продуктами склад атмосфери в камері поступово змінюється: зменшується відсоток кисню і збільшується вміст вуглекислого газу. Частка вуглекислого газу в нормальній атмосфері становить 0,03%, кисню до 21%. У камері, наповненій фруктами, рівень вуглекислого газу досягає кількох відсотків і дуже важливим є також контроль цього параметру, оскільки висока концентрація може пошкодити продукт. Оптимальна концентрація становить 5% CO₂ і 3% O₂, хоча деякі різновиди містять приблизно 0% CO₂ і 2,5% O₂. При надлишку вуглекислого газу частина його видаляють хімічним шляхом за допомогою вапна або активованого вугілля. Якщо вміст CO₂ падає нижче допустимого значення, в камеру подається свіже повітря. У холодильнику з РГС також слід стежити за процентним складом атмосфери. Розвиток технології зберігання фруктів дозволив автоматизувати контроль і регулювання всіх процесів, що відбуваються в камерах [3].

Кожна сільськогосподарська продукція вимагає специфічного мікроклімату, тому неможливо зберігати урожай в одній універсальній камері. Зазвичай, зберігання продуктів поділяється на дві основні категорії: навальні сховища та контейнери.

Навальні сховища призначені для зберігання овочів, таких як картопля, цибуля і буряк. У цьому випадку продукти зберігаються в навалі, шарами висотою до 4,5 метрів, без використання будь-якої упаковки.

Контейнери, зі свого боку, дозволяють зберігати продукти в 5-6 шарів по висоті. Зазвичай розміри контейнерів становлять близько 1,2 x 1,5 x 1,2 метра. Однак, контейнери є більш універсальними, оскільки в них можна зберігати різні види овочів.

Якщо порівнювати ці два варіанти зберігання за ціною, то навальне зберігання є більш економічним рішенням. Однак, контейнери мають свої переваги, такі як можливість зберігати різноманітні овочі. Ефективність зберігання залежить від дотримання основних вимог.

Наприклад, при використанні контейнерів вони повинні бути якісними і дорогими, а також правильно розташовані для забезпечення належної циркуляції

повітря. Якщо ці вимоги не дотримуються, овочі можуть псуватися [4]. На рисунку 1.1 зображено типове сховище, яке має систему підігріву та охолодження.

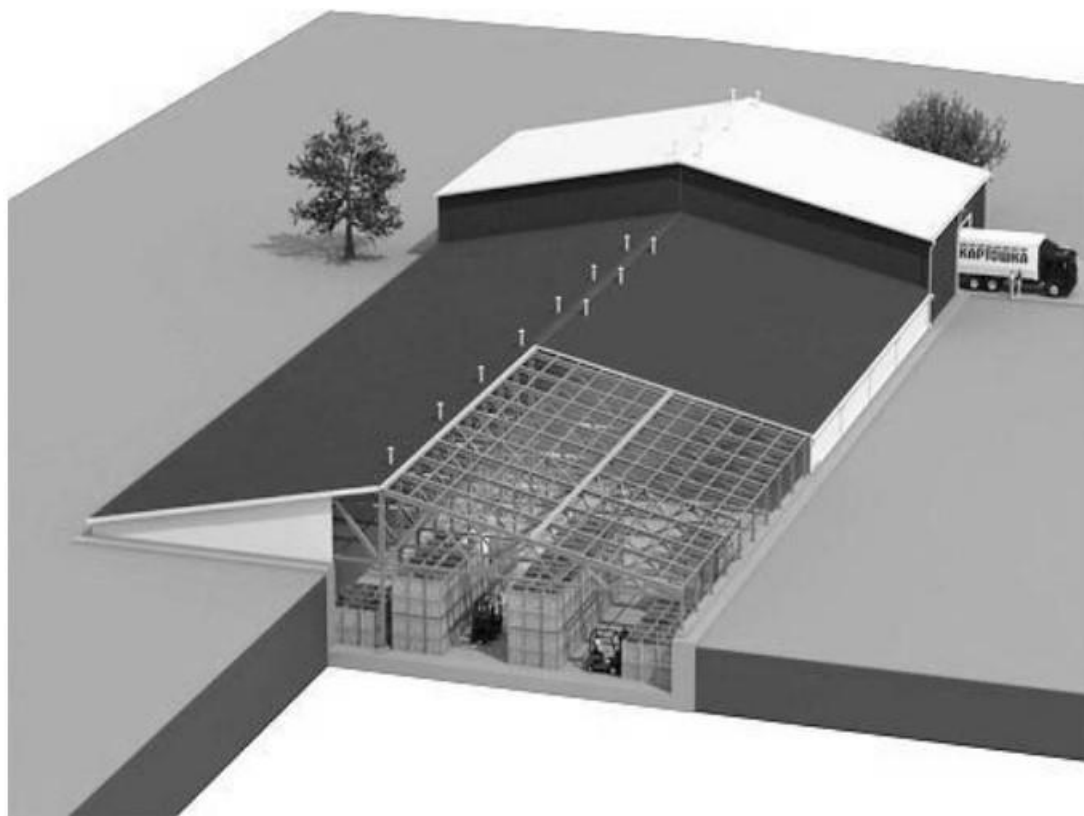


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення типового сховища

Кожне зберігання має забезпечувати потрібну гідро- і теплоізоляцію. Температура всередині повинна бути на 2-3°C вище мінімальної температури зберігання картоплі та коренеплодів, або ж відповідати оптимальній для конкретного виду продукції. Ці вимоги досягаються за допомогою стін і стелі потрібної товщини, використання гігроскопічних або теплоізоляційних матеріалів, обігрівання повітрям або охолодження вентиляцією або вентиляцією та охолодженням. Овочеві сховища затемнюються, оскільки більшість овочів на світлі зеленіють, втрачаючи товарний вигляд та харчові якості.

У сховищах є додаткові приміщення, де проводять сортування, відбір, калібрування та пакування продукції під час основного періоду зберігання. В цих

приміщеннях встановлюють необхідне обладнання, сортувальні лінії, освітлення та опалення. Використовують вентиляцію та механізацію в залежності від типу зберігання. Процеси завантаження, розвантаження, сортування та інші потрібно автоматизувати. Це допоможе уникнути підвищення цін на продукцію та забезпечити своєчасну реалізацію в кінці зберігання [5].

Для підготовки овочів та фруктів до довготривалого зберігання також необхідно проводити первинну термічну підготовку, яка включає поетапне зниження температури культур. Цей процесу також має відбуватись як невід'ємна частина технології задля успішного зберігання.

Висновки до розділу 1

В першому розділі роботи визначені основні технології, які використовуються для зберігання овочів і фруктів в сховищах тривалого зберігання. Для успішного і тривалого зберігання сільгосппродукції надважливою задачею є контроль і дотримання параметрів зберігання, а саме параметрів мікроклімату та параметрів концентрації газів:

- температура
- вологість
- концентрація кисню та двооксиду вуглецю.

Для вимірювання та зміни значень цих параметрів існує ряд технічних і технологічних рішень, звичайно ж можна їх застосовувати в ручному режимі, але оперативність і дотримання технологічних карт в такому випадку буде порушена, що в подальшому неминуче призведе до погіршення стану продукції на зберіганні. З огляду на це, подальшу роботи слід направити на розробку автоматичної системи контролю та управління мікрокліматом в сховищах.

2. ФУНКЦІОНАЛЬНА ТА АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

2.1 Опис об'єкту плодово-овочевого сховища, для якого проводиться розробка системи автоматизації

Приміщення сховища сільгосппродукції наведено схематично на рисунку 2.1.

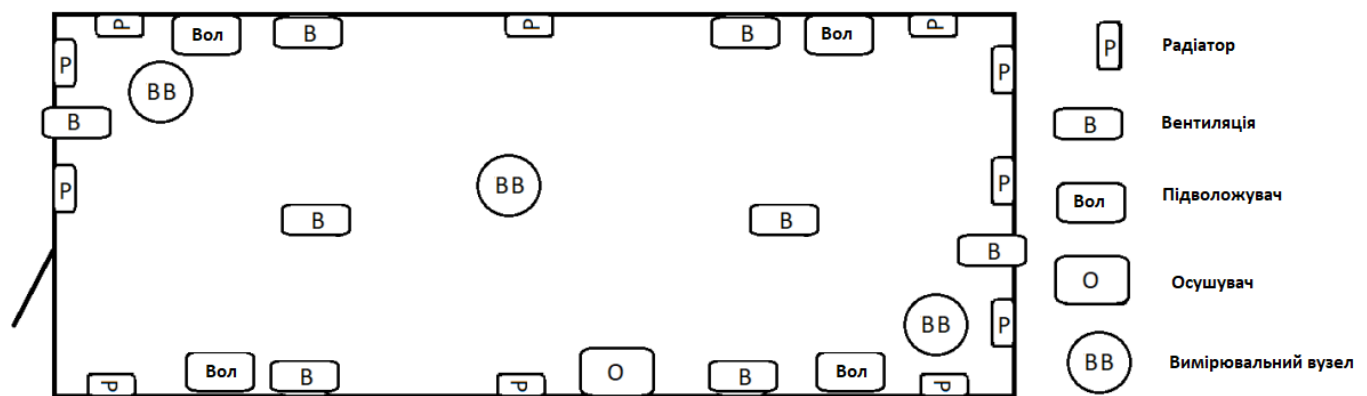


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення сховища

Загальні характеристики сховища такі:

- довжина, 25 м;
- ширина, 12 м;
- висота, 4 м;
- заглиблення 2,5 м.

Щодо комплектації приміщення технічними та технологічними пристроями, які мають стати основною автоматичної системи управління мікрокліматом, то присутні такі компоненти:

- осушувач повітря;
- зволожувач повітря;
- припливно-витяжна вентиляція з теплообмінником;

- радіатор опалення;
- вузел вимірювання параметрів мікроклімату.

Схема технологічного процесу, а саме тієї його частини, яка пов'язана з роботою автоматичної системи контролю і управління мікрокліматом наведена на рисунку 2.2.

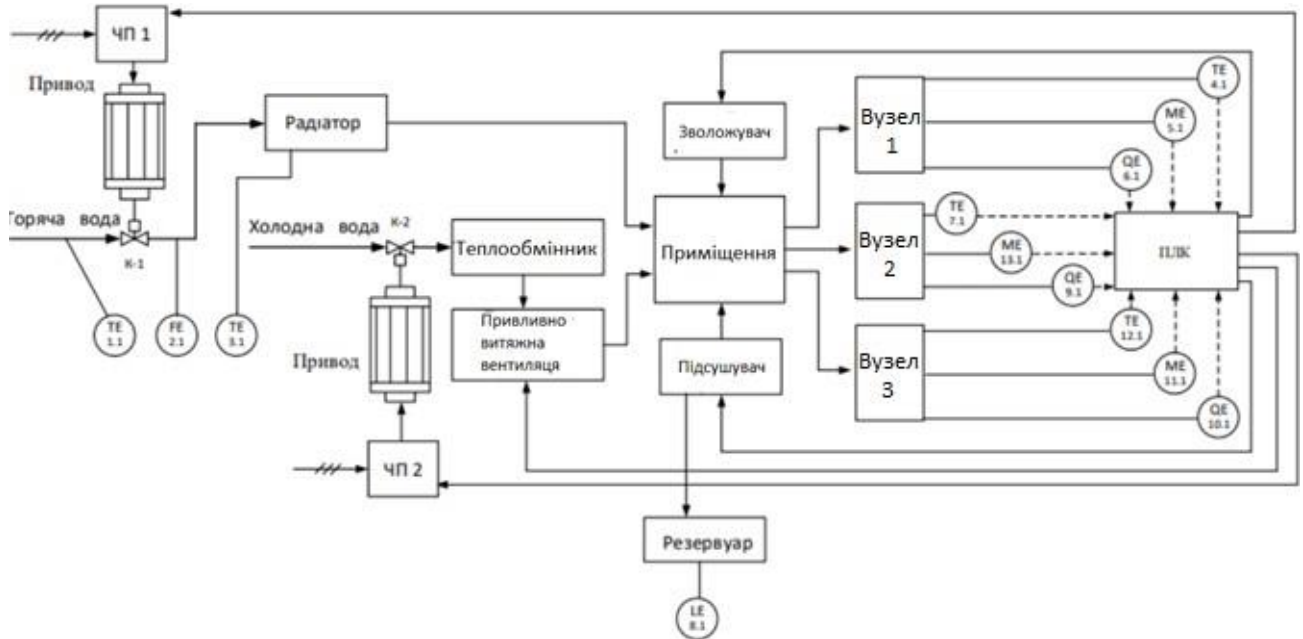


Рисунок 2.2 – Технологічна схема САУ мікрокліматом

У приміщенні є три пристрої для вимірювання параметрів мікроклімату. Дані з датчиків надсилаються на мікроконтролер для обробки. За значеннями трьох параметрів розраховується середнє значення формування керуючого сигналу. Керуючі сигнали надходять на перетворювачі частоти для формування частоти обертання запірної арматури та регулюючої арматури для регулювання витрати теплоносія для теплообмінників та радіаторів, які використовується для підтримки необхідної температури в приміщенні. Сигнали управління також активують вентиляцію, зволожувач або осушення. Надлишок води з повітря після висихання йде в резервуар. У разі підвищення допустимого рівня води система сигналізує про необхідність спорожнення ємності.

2.2 Структурна та функціональна схеми автоматизації

Управління технологічним процесом зводиться до підтримки на належному рівні необхідних показників мікроклімату у приміщенні. Структурна схема управління представлена трьома рівнями передачі (рис. 2.3) .

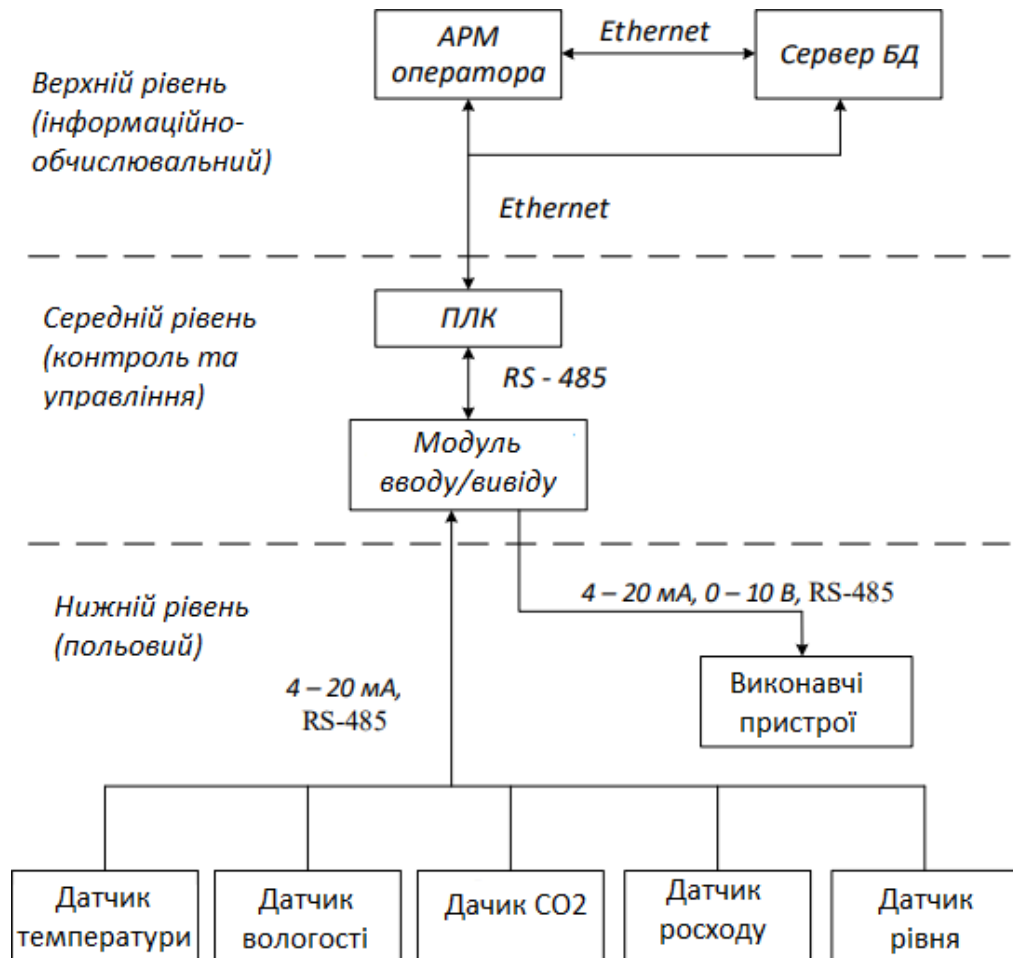


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи автоматизації

Нижній рівень (польовий) складається з первинних датчиків, що здійснює збір інформації про параметри технологічного процесу, та виконавчих пристроїв, які реалізує регулюючий вплив.

Виконавчими пристроями є обігрів, вентиляція, осушувачі повітря, зволожувачі повітря.

Середній рівень (контролерний) складається з програмованого логічного контролера (ПЛК), який здійснює:

- виконання команд верхнього рівня;
- обмін інформацією з верхнім рівнем;
- збір та первинну обробку інформації про параметри технологічного процесу;
- автоматичне регулювання.

Верхній рівень (інформаційно-обчислювальний) складається з комп'ютера, який з'єднаний з ПЛК мережею Ethernet, як середовище, що передає, використовується мідна кручена пара.

Функціональна схема автоматизації (ФСА) показує основні технічні рішення, які приймаються під час проектування систем автоматизації технологічного процесу (рис. 2.4).

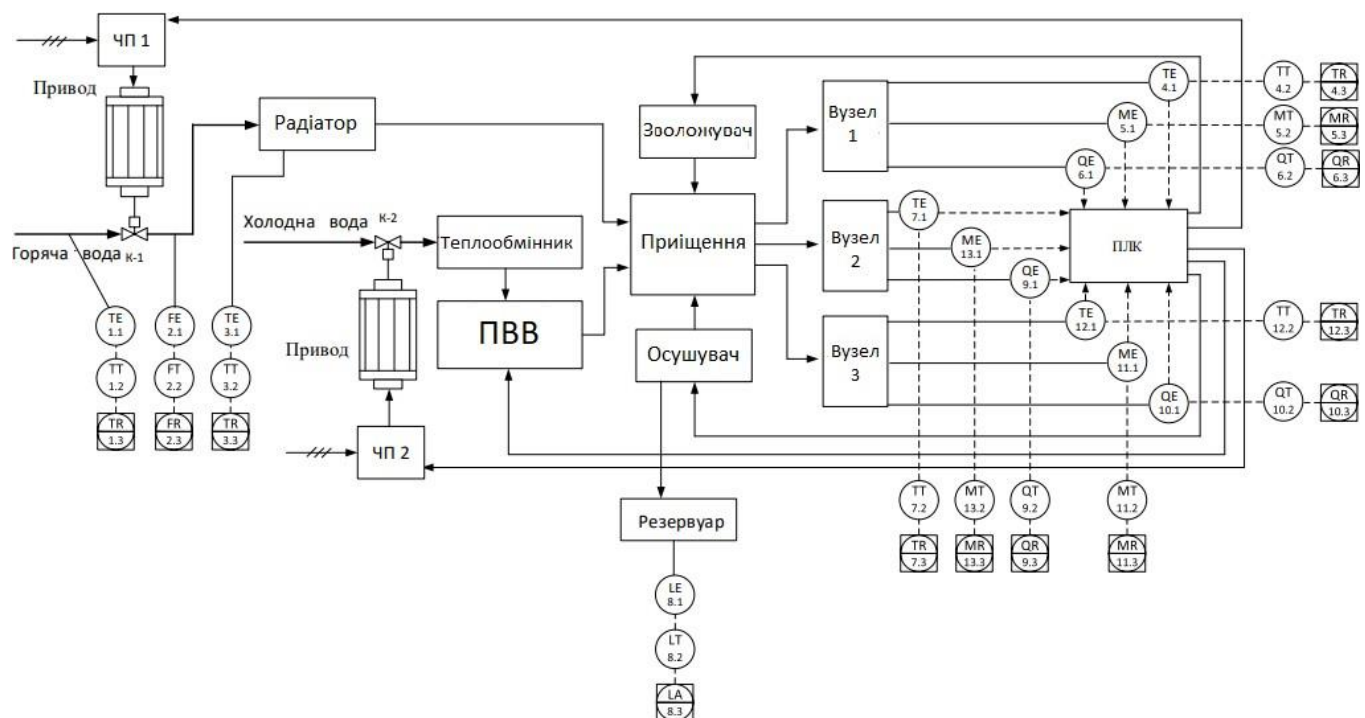


Рисунок 2.4 – Функціональна схема автоматизації

ФСА, або функціонально-структурна схема автоматизації, є документом, який описує структуру та функціональні блоки, що складають окремі елементи автоматичного контролю, управління та регулювання технологічного процесу. Також вона визначає оснащення об'єкта управління приладами та засобами автоматизації.

Усі елементи систем управління показуються як умовних зображень і поєднуються у єдину систему лініями функціонального зв'язку. Обладнання на схемі показується як умовних зображень. Розроблено функціональну схему автоматизації згідно зі стандартом американського товариства приладобудівників ANSI/ISA-5.1-2009.

2.3 Засоби вимірювання та контролю для системи автоматизації

В якості контролера, що буде використаний для реалізації проєкта автоматизації буде використано ОВЕН ПЛК 160. На рисунку 2.5 наведений зовнішній вигляд програмованого логічного контролера (ПЛК) ОВЕН 160.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд ОВЕН ПЛК 160

Фірма ОВЕН спеціалізується на розробці контролерів для малих та середніх систем автоматизації, контрольно-вимірювальних приладів та

програмних засобів. Вони використовують середовище програмування CODESYS, яке підтримує п'ять мов програмування. Продукція компанії ОВЕН знаходить своє застосування у різних галузях промисловості.

Схема підключення зовнішніх ланцюгів контролера наведена на рисунку 2.6 [6].

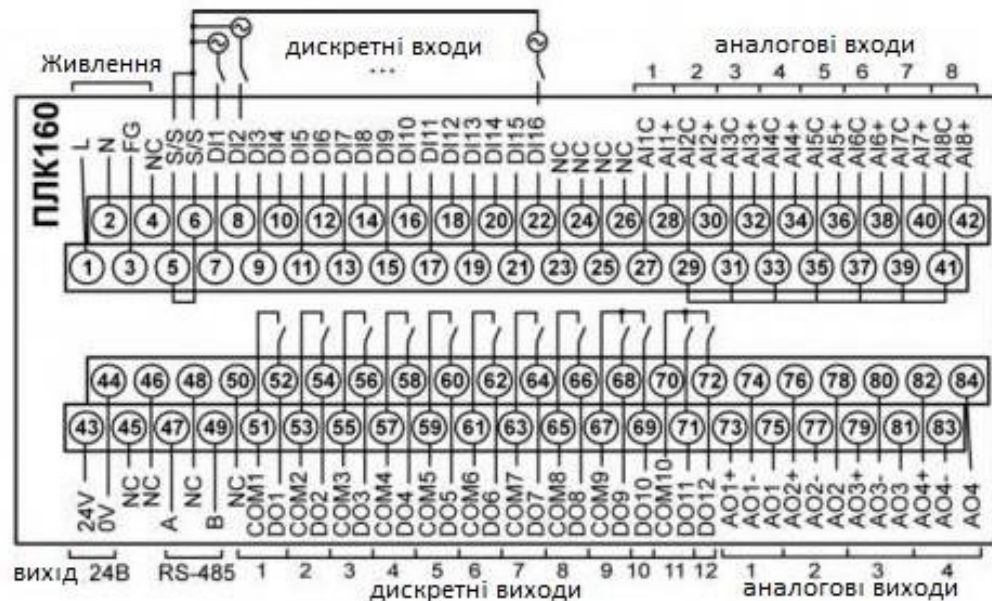


Рисунок 2.6 – Схема вводу/виводу контролера

Основні характеристики ПЛК такі:

- напруга живлення, 220 В, 24 В;
- дискретні входи 16 штук;
- дискретні виходи 12 штук;
- аналогові входи 8 штук;
- аналогові виходи 4 штук;
- інтерфейси RS-232, RS-485, Ethernet, струмова петля;
- розрядність АЦП 14 біт;
- розрядність ЦАП 12 біт.

Для системи керування параметрами мікроклімату необхідні датчики температури, вологості та якості повітря. Також, для моніторингу роботи системи додамо датчики температури води у гарячому трубопроводі та радіаторі

та датчик рівня води у пристрої осушення для сигналізації наповнення бака з зі збору конденсату.

Датчик температури та вологості обираємо RhT10. Вискочутливий датчик температури та вологості у промисловому виконанні, із захистом вимірювального елемента. Підтримує адресний доступ протоколу Modbus RS485. Можливе підключення до 127 датчиків на одну лінію. Ідеально підходить для застосування у теплицях, гроубоксах, складських приміщеннях, вентиляційних установках тощо. Можливий накладний монтаж або вбудовування у вент. канал. Загальний вигляд датчику наведено на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд датчику RhT10

Переваги:

- вимірювання температури, вологості та точки роси;
- висока точність та стабільність вимірювань;
- захисний ковпачок із спеченої міді для захисту чутливого елемента та збільшення терміну служби;
- сенсор SENSIRION.

Характеристики:

- інтерфейс: RS485 Modbus;
- живлення: 3.6-24V DC;
- точність: Range:0-100%, Resolution:0.01%, Accuracy:+/-3% RH(SENSIRION® SHT20);
- клас захисту IP56 [7].

Датчиком вуглекислого газу обираємо CO2rs485 [8]. NDIR (недисперсійний інфрачервоний метод) є принципом роботи промислових датчиків вуглекислого газу, які використовуються для вимірювання його типу та концентрації. Цей метод базується на зміні інтенсивності інфрачервоного випромінювання до і після його поглинання в інфрачервоному детекторі з вибірковою чутливістю. Промислові ІЧ датчики газу мають кілька помітних переваг, таких як висока точність, хороша вибірковість, висока чутливість і надійність, швидка реакція та лінійність у широкому діапазоні. Відмінно підходить для теплиць, гроубоксів, систем розумний будинок або вентиляційних установок. Загальний вигляд датчику наведено на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Датчик CO2rs485

Переваги та особливості:

- NDIR Технологія вимірювання;
- висока стабільність та точність вимірювання, тривалий термін служби;
- нечутливий до CH₄, H₂S, SO₂, N₂, O₂;
- вбудований захист від неправильного підключення полярності живлення;

- промисловий протокол RS485 Modbus.

Для вимірювання потоку теплоносія будемо виконувати за допомогою електромагнітного розходоміру F5001. Електромагнітний витратомір серії F5001 – це електромагнітний витратомір фланцевого типу, що ідеально підходить для провідних рідин. Розміри трубок від 10 до 2000 мм. Електромагнітний витратомір серії F5001 широко використовується для водопровідної води, стічних вод, продуктів харчування та напоїв, целюлозно-паперової промисловості та багатьох інших застосувань. Електромагнітний витратомір серії F5001 може мати різні виконання, такі як інтегральна або рознесена живлення змінним або постійним струмом. Доступні комунікації HART, RS485 та Profibus. На рисунку 2.9 наведений загальний вигляд цього пристрою.



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд F5001

Характеристики:

- діапазон швидкостей потоку: 0-15 м/с;
- GPRS, CDMA та SRD радіозв'язок;
- IP68 корпус, який можна використовувати для підземних робіт;
- FEP Liner підходить для вакуумної трубки. Висока точність читання $\pm 0,5\%$;
- сигнали про порожню трубу, поточне збудження та ємність аккумулятора;

– ISO 17025 простежуваний калібрувальний сертифікат.

Для забезпечення контролю температури теплоносія будемо використовувати датчик ДТС015М.РС. Даний тип датчику призначено для вимірювання температури та безперервного перетворення температури в цифровий сигнал RS-485 (Modbus RTU).

ДТС015М.РС виготовляються на базі термометрів опору 50М, 100М, 100П та РТ100 і мають у своєму складі високоточний нормуючий перетворювач RS-485.

Середовище вимірювання – тверді, рідкі, газоподібні та сипучі середовища. Використання у складі виробу високоточного мікропроцесорного перетворювача НПЦ-1 дозволяє отримувати дані про вимірювану температуру по RS-485 в межах всього діапазону вимірювання відповідного сенсора (його НСХ) з зазначеною точністю. На рисунку 2.10 наведено загальний вигляд ДТС015М.РС.



Рисунок 2.10 – Загальний вигляд ДТС015М.РС.

ДТС015М.РС безпосередньо підключаються до контролерів та шлюзів, не вимагаючи задіяння аналогових входів контролерів та модулів введення [10].

Датчик рівня Kronos LS-150 використовується для вимірювання рівня наповнення ємностей з конденсатом. Цей датчик має просту конструкцію, виготовлену з нержавіючої сталі, що дозволяє йому бути ефективним у різних

умовах і для різних рідин. Загальна довжина датчика складає 15 см, що є найпоширенішою моделлю.

Робота датчика базується на принципі плавучості. Коли поплавець знаходиться в нижній частині стрижня, контакти датчика зачинені. Зазвичай ці контакти підключаються безпосередньо до контролерів або шлюзів, не потребуючи використання аналогових входів контролерів або модулів введення. Наприклад, контакти можуть бути підключені до двигуна насоса або реле, особливо якщо це потужний насос. Коли рідина піднімає поплавець до обмежувальної шайби, ланцюг контактів розривається. Це викликає зупинку насоса або відправляє сигнал "зупинка" до реле. На рисунку 2.11 можна побачити зображення даного датчика [11].



Рисунок 2.11 – Зображення датчика Kronos LS-150

Основні характеристики цього пристрою включають:

- Робоча напруга: Від 12 до 220 В. Це означає, що пристрій може працювати в широкому діапазоні напруги, починаючи з 12 В і досягаючи 220 В.
- Робоча температура: Від 0 до 120 °С. Це означає, що пристрій може ефективно працювати в температурному діапазоні від нуля до 120 градусів Цельсія.

- Робочий струм: Від 0,5 до 1 Ампер. Це означає, що пристрій потребує струму в діапазоні від 0,5 до 1 Ампер для нормального функціонування.
- Матеріал: Виготовлений з нержавіючої сталі. Це означає, що пристрій має корпус або інші складові, зроблені з нержавіючої сталі, що забезпечує стійкість до корозії та зносу.

2.4 Виконавчі пристрої системи автоматизації

Виконавчими пристроями для системи підтримки мікроклімату будуть теплообмінники, клапани регулюючі з частотними перетворювачами, пристрої зволоження та осушення з перетворювачами напруги для керування вентиляторами, припливно-витяжна установка.

Для підтримання на належному рівні температури в приміщенні будуть використані два підходи, при підвищенні температури – системи кондиціонування, при зниженні температури – системи опалення на базі радіаторів та конвекції з елементами системи рекуперації.

В якості радіаторів обираємо модель Krakow 500x80. Радіатори характеризуються підвищеною тепловіддачею та економічністю роботи. Для кращої конвекції тепла радіатор оснащений двома пелюстками та поздовжніми ребрами конвекції вздовж кожної секції. Даний радіатор знайшов широке застосування в індивідуальних (автономних) системах опалення з робочим тиском до 16 бар [12]. На рисунку 2.12 показано радіатор Krakow 500x80.



Рисунок 2.12 – Радіатор Krakow 500x80

Радіатори Krakow складаються з литих алюмінієвих секцій, виготовлених із високоякісного алюмінієвого сплаву за технологією лиття під тиском та зібраних на сталевих ніпелях, що мають спеціальне покриття внутрішньої поверхні.

Для організації систем вентиляції та кондиціонування необхідно побудувати систему припливно-витяжної вентиляції з використанням калориферних теплообмінників та рекуператорів. Для цього окрім системи вентиляційних каналів, решіток та анемостатів в обов'язковому порядку обрати установку. Ми розглядаємо вибір Вентс ВУТ 2000 ЕГ як нашої установки. Ця модель є припливно-витяжною вентиляційною системою з рекуператором і електронагрівачем потужністю 18 кВт. Вона призначена для використання в житлових або комерційних приміщеннях як частина системи припливно-витяжної вентиляції. Використання рекуператора допомагає знизити витрати на опалення повітря. Номінальна продуктивність цієї установки становить 2200 м³/год.

Корпус вентиляційної системи виготовлений з алюмоцинкової сталі і має внутрішню тепло- і звукоізоляцію з мінеральної вати товщиною 25-50 мм. Зовнішній вигляд системи можна побачити на рисунку 2.13.



Рисунок 2.13 – Вентс ВУТ 2000 ЕГ

У встановці для очищення витяжного і припливного повітря є два вбудовані фільтри: G4 для витягу та F7 для припливу. У Вентс ВУТ 2000 ЕГ використовуються двосторонні відцентрові вентилятори з загнутими вперед лопатками і вбудованим термостатом захисту з автоматичним перезапуском. Електродвигуни і робочі колеса збалансовані в двох площинах, а кулькові підшипники не потребують обслуговування і мають термін служби не менше 40000 годин.

Установки використовують вискоефективні рекуператори перехресного типу з полістирольних пластин. Під рекуператором розташований піддон для збору і відведення конденсату. Якщо зовнішня температура повітря низька, встановлений електричний нагрівач для експлуатації припливно-витяжної установки. Якщо рекуперація тепла не дозволяє досягти заданої температури припливного повітря, автоматично включається калорифер для підігріву повітря, що входить в приміщення.

Установка має вбудовану систему автоматики і багатфункціональний пульт управління з графічним індикатором. Стандартний комплект установки

включає дріт завдовжки 10 м для з'єднання з пультом. Для запобігання замерзанню рекуператора використовується електронний захист з застосуванням байпаса і нагрівача. Це означає, що при виявленні низької температури датчик відкриває заслінку байпаса, і повітря обходить рекуператор по обводному каналу.

Для підтримки відповідного рівня вологості в сховищі буде використовуватись промисловий ультразвуковий зволожувач Celsius HD-18. (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – Зволожувач Celsius HD-18

Основні характеристики пристрою:

- застосування: ультразвуковий для прямого зволоження повітря;
- площа застосування: 250-300 м²;
- підключення: до водопроводу і каналізації;
- продуктивність зволоження 18.0 л/год;
- рівень шуму 55 дБ;
- дальність викиду струменя туману до 3,5 м;
- температура води, що подається 10 – 45 гр. С;

- діаметр туману 1-10 мкм;
- автоматичний захист від води і сигналізація [14].

Для можливості видалення вологи можна користуватись двом інструментальними засобами, а саме використовувати наявну систему кондиціонування опалення, або ж встановити спеціальні зневоложуючі пристрої. Одним з таких є Trotec TTR 500 D (рис. 2.15).



Рисунок 2.15 – Осушувач Trotec TTR 500 D

Промисловий осушувач Trotec TTR 500 D є відмінним вибором для ефективного осушення повітря на великих об'єктах. Цей потужний і продуктивний пристрій забезпечить вам довгий термін служби. Висока надійність його підтверджується міцністю корпусу і якістю збірки, а його легка конструкція дозволяє зручно переміщати його з одного приміщення в інше.

Осушувач працює на основі принципу TTR-Trisorp-Dual, що використовує два окремих вентилятори для обміну повітрям. Це забезпечує циркуляцію як технологічного, так і регенераційного повітря. Крім того, для регенераційного повітря передбачений промивний сектор. Функція регенерації тепла дозволяє також економити на обігріві приміщення в холодний період року.

Для керування процесом опалення, вентиляції та охолодження необхідно використовувати електроприводи для керування клапанами на теплонесучих лініях. Один з варіантів таких клапанів - це запірний клапан КЗР 25ч945п (рис. 2.16).



Рисунок 2.16 – Клапан запорний КЗР 25ч945п

Клапан запірно-регулюючий КЗР 25ч945п фланцевий комплект з електроприводом Regada застосовується на центральних і індивідуальні теплові пункти, в системах гарячого водопостачання, вентиляції, у галузях народного господарства. Клапан є запірним пристроєм, а також призначений для автоматичного регулювання техпроцесів.

Характеристики клапанів:

- робоче середовище: рідкі та газоподібні середовища;
- температура робочого середовища: від мінус 15 ° С до плюс 150 ° С;
- виробництво: Росія;
- робочий хід плунжера: 50 мм [16].

Для регулювання частоти обертання електроприводу клапана оберемо частотний перетворювач ESQ-210-2S-0.4K. Даний частотний перетворювач має необхідний інтерфейс зв'язку, достатню потужність живлення електроприводу і коштує дешевше, ніж аналоги [17].

Висновки до розділу 2

Другий розділ дипломної роботи було присвячено розробці основних схемотехнічних рішень та вибору необхідних для повноцінної роботи системи компонентів.

Було проведено опис технологічного процесу керування параметрами мікроклімату і надана характеристика приміщенню – сховищу плодових та овочевих культур. На підставі опису тех.процесу була розроблена структурна та функціональна схема автоматизації для технологічного процесу об'єкту проектування дипломної роботи.

На підставі прийнятих схемотехнічних рішень були обрані основні типи обладнання для реалізації системи. Всі компоненти були розділені на дві великі групи – засоби вимірювання і моніторингу та виконавчі пристрої. В якості базового контролера системи виступає ОВЕН ПЛК 160.

3. АЛГОРИТМІЧНІ РІШЕННЯ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Алгоритмічні рішення

В автоматизованих системах використовуються різні алгоритми, такі як:

- алгоритми запуску/зупинки технологічного процесу;
- П, ПІ, ПД, ПІД-алгоритм для автоматичного управління технологічним процесом;
- алгоритми централізованого управління.

Кожен з цих алгоритмів тим чи іншим чином буде представлений в системі автоматичного управління параметрами мікроклімату, яку розробляється в цій роботі.

3.1.1 Алгоритм запуску та останова системи

Цей алгоритм запускає систему підтримки мікроклімату у виробничому приміщенні. Алгоритм складається з наступних кроків:

Перевірка команди від оператора, якщо ні, нічого не відбувається.

1. Перевіряється рівень води в резервуарі пристрою осушення, якщо він не в нормі, видається повідомлення про заповнення води в резервуарі.
2. Перевіряються показання з датчиків, якщо дані параметра з одного датчика значно відрізняються від двох інших, видається повідомлення про порушення роботи датчика.
3. Видається команда на запуск перетворювача частоти для приводу клапана системи опалення
4. Видається команда на запуск перетворювача частоти приводу клапана системи охолодження.

5. Видається команда на запуск припливно-витяжної установки.
6. Видається команда на запуск пристрою зволоження.
7. Видається команда для запуску пристрою осушення.

Блок-схема даного алгоритму показано на рисунку 3.1

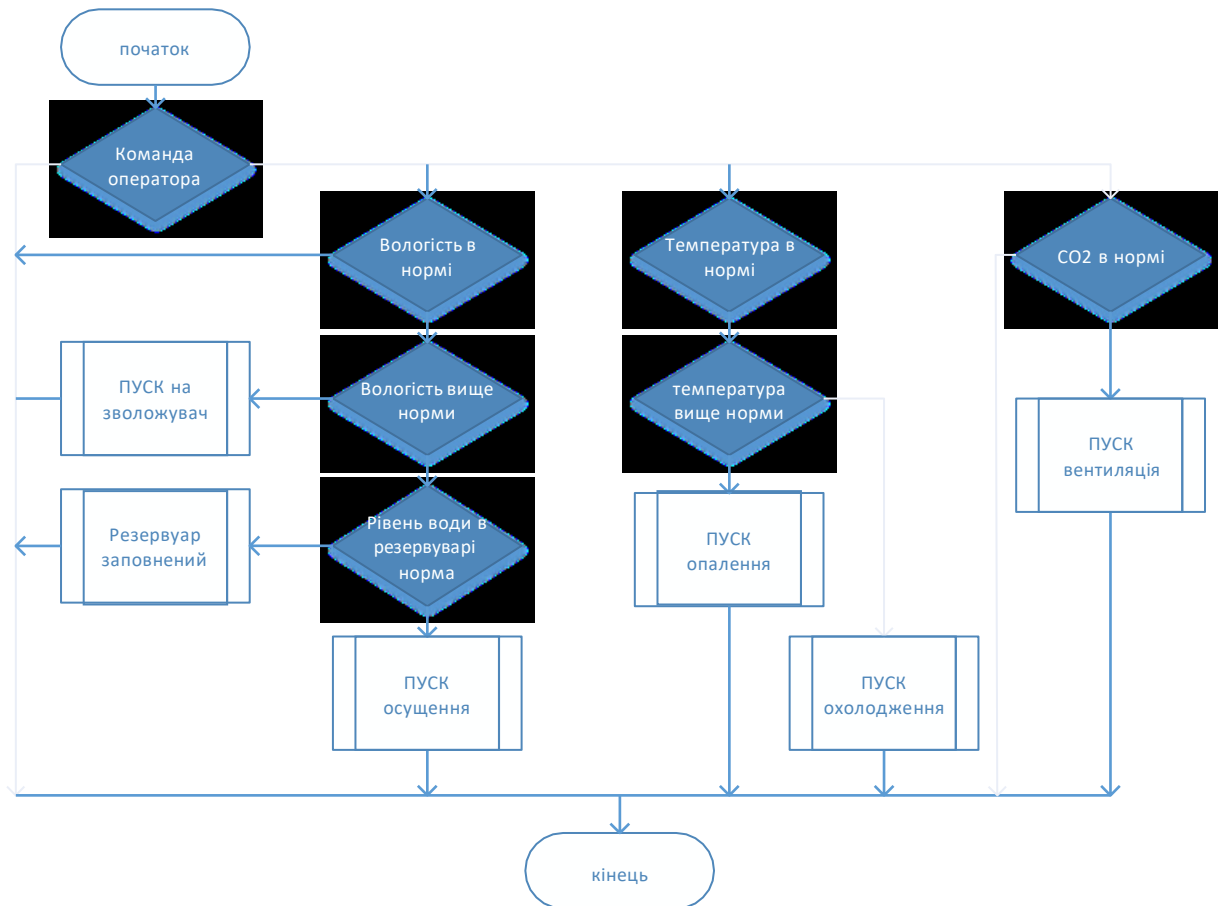


Рисунок 3.1 – Алгоритм запуску

Цей алгоритм зупиняє систему підтримки мікроклімату у виробничому приміщенні. Алгоритм складається з наступних кроків:

1. Перевірка команди від оператора, якщо ні, нічого не відбувається.
2. Видається команда на перетворювач частоти для припинення приводу клапана системи опалення.
3. Видається команда на перетворювач частоти для припинення приводу клапана системи охолодження.
4. Видається команда на зупинку припливно-витяжної установки.

5. Видається команда на зупинку пристрою зволоження.

6. Видається команда на зупинку пристрою осушення.

Блок-схема даного алгоритму показано рисунок 3.2.

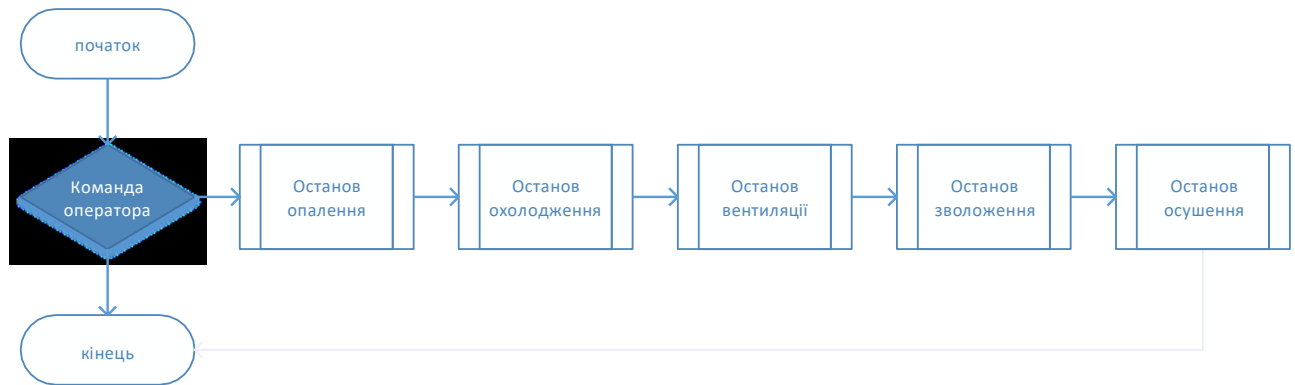


Рисунок 3.2 – Алгоритм останову

3.1.2 Розробка алгоритму автоматичного регулювання

Об'єктом керування є приміщення. Як регульована величина виступають параметри мікроклімату (температура, вологість, вміст пилу в повітрі). Як алгоритм регулювання використовується ПД-, ПІ-, ПДІ-закони. Оператор задає температуру, вологість, вміст пилу, який необхідно підтримувати у приміщенні. Ці значення подаються в ПЛК, де відбувається порівняння зі значенням поточних температури, вологості, вмісту пилу, отриманих з датчика. Потім відбувається формування вихідних сигналів. Ці сигнали подаються на виконавчі пристрої. Схема автоматичного регулювання наведено на рисунку 3.3..

Схема складається з: пристроїв (установок), що задають, ПЛК (реалізує функції ПДІ-регулятора), перетворювачів частоти, моторів редукторів, штоків, клапанів, радіатора, теплообмінника, припливно-витяжної вентиляції, пристрої зволоження, пристрої осушення, регуляторів напруги, об'єкта управління (виробничого приміщення), датчиків пилу, температури та вологості (є зворотним зв'язком).

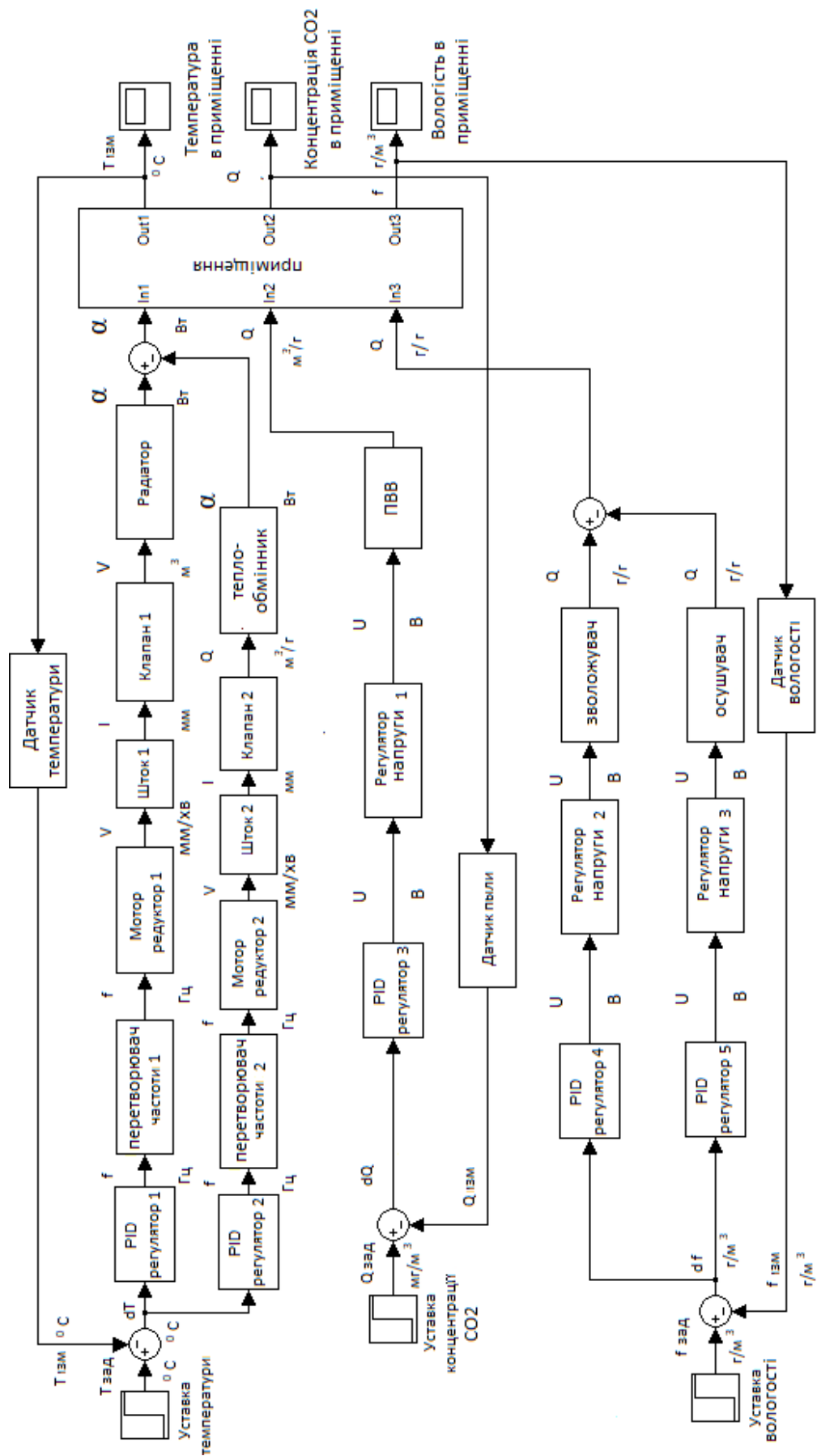


Рисунок 3.3 – Схема автоматичного регулювання

Оператор задає температуру, вологість та концентрацію CO₂ у повітрі, які необхідно підтримувати у приміщенні. Введені значення температури подається в ПЛК, де відбувається порівняння її зі значенням поточної температури, отриманої з датчиків. Потім відбувається формування вихідного сигналу. Цей сигнал подається на частотні перетворювачі для завдання необхідної швидкості двигуна редуктора клапанів гарячого та холодного водопостачання. Також введені значення вологості та концентрації CO₂ надходять у контролер для формування сигналу на регулятор напруги живлення вентиляторів пристроїв вентиляції, зволоження та осушення.

Для того щоб перевірити на скільки коректна працює алгоритм, необхідно провести імітаційне моделювання системи, але для цього необхідно розробити математичний апарат та математичний опис як об'єкту автоматизації так і безпосередньо компонентів системи автоматизації. Така необхідність продиктована не тільки розумінням, що саме по собі сховище є інерційним, а й тим що технологічні компоненти системи, які відповідають за процеси телеметрії, моніторингу, налаштування та корекції роботи системи в ручному режимі так само обладують інерційністю. Спостерігаючи за шаленим ритмом життя, і бажання допомогти, стало зрозуміло, що саме ці дві математичні моделі мають бути використані для побудови математичної моделі системи управління.

Після ретельного аналізу літератури було встановлено, що для створення математичної моделі системи мікроклімату можна використати модель, яка була розроблена і перевірена у публікації [18]. Загальний принцип регулювання параметрів мікроклімату в цілій системі (яка складається з "типу приміщення - людини - об'єкта, що знаходиться/зберігається у приміщенні даного типу") визначається як перетин трьох принципів регулювання:

Загальний закон регулювання параметрів мікроклімату

$$\text{приміщення:} \equiv Z(Y_3^{(1)}) \cap Z(Y_3^{(2)}) \cap Z(Y_3^{(3)}). \quad (3.1)$$

Варто зауважити, що для отримання якісного регулювання, ми маємо враховувати не тільки поведінкову модель навколишнього середовища, а і моделі приміщення та математичний опис обладнання, що були викладені в матеріалах, що були досліджено під час підготовки випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Таким чином, математична модель виглядає відповідно до рисунку 3.4.

Сама ж модель приміщення, яку ми використаємо для перевірки роботи алгоритмів в найближчому майбутньому виглядає ідентично, до тієї що наведена на рисунку 3.5.

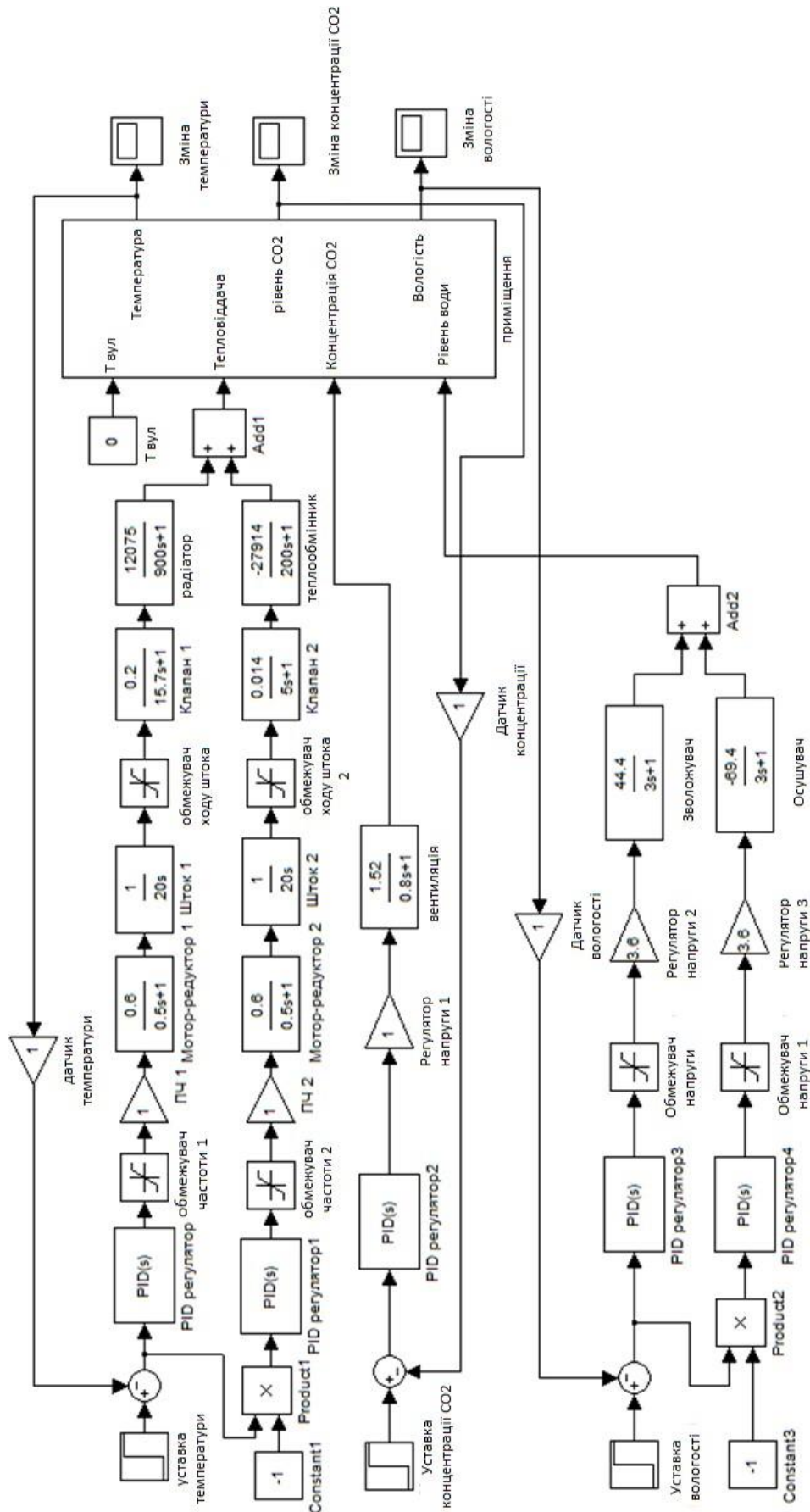


Рисунок 3.4 – Математична модель САУ

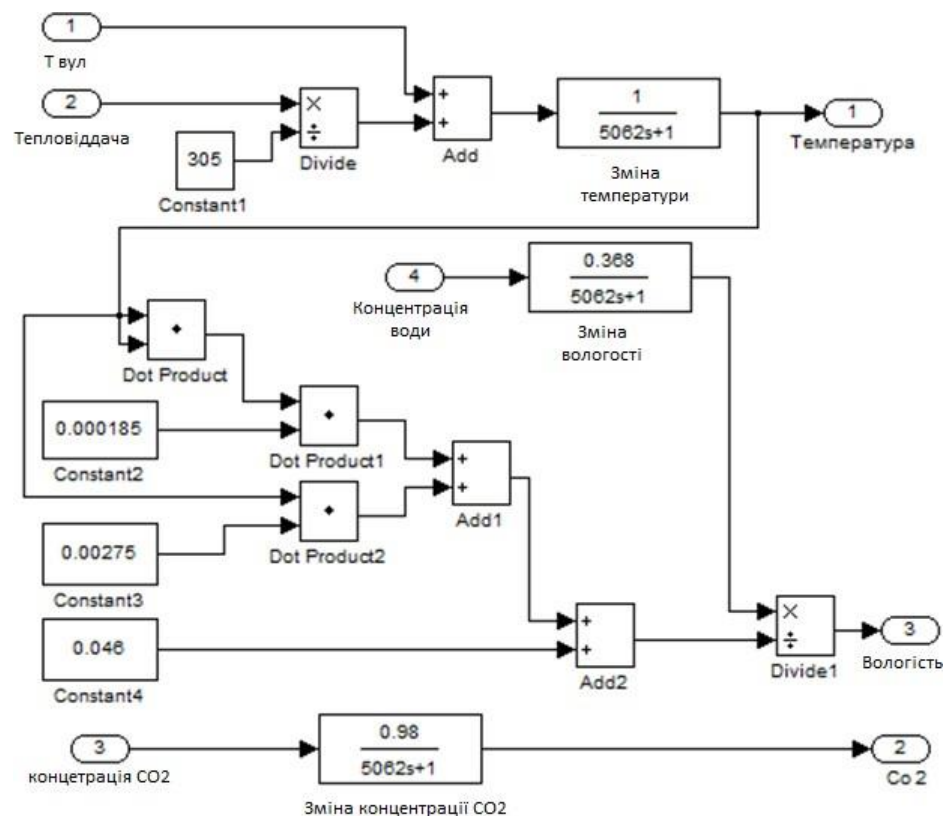


Рисунок 3.5 – Математична модель сховища

3.2 Налаштування регулятора

Формування керуючих впливів ПД-регуляторів відбуваються відповідно до різниць між уставками та значеннями мікроклімату. Налаштування регуляторів проводилися за допомогою методу Циглера-Нікольса, автоматичного налаштування в пакеті Matlab та ручного налаштування.

Для налаштування методом Циглера-Нікольса відключаємо інтегральну та диференціальну складові регулятора та змінюємо пропорційну складову доти, доки система не вийде на коливальний режим з постійною амплітудою.

Виконаємо налаштування регулятора системи опалення. На коливальний режим система вийшла за коефіцієнта посилення рівному 0,0054. Період коливань дорівнює 13 542 секунд.

Розрахуємо параметри регулятора:

$$k_{\pi} = 0,6 K^* = 0,00324; \quad (3.2)$$

$$k_{\text{и}} = 1,2 K^* / T^* = 4,8 \cdot 10^{-7}, \quad (3.3)$$

$$k_{\text{д}} = 0,075 K^* \cdot T^* = 5,48, \quad (3.4)$$

де k_{π} – пропорційний коефіцієнт;

$k_{\text{и}}$ – Інтегральний коефіцієнт;

$k_{\text{д}}$ – Диференціальний коефіцієнт;

K^* – Коефіцієнт посилення при коливальному режимі;

T^* – період коливання при коливальному режимі [19].

Підставивши коефіцієнти, отримуємо перехідний процес і показники якості відповідно до рисунку 3.5. Час перехідного процесу дорівнює 48600 секунд, перерегулювання дорівнює 62,3 відсотків. Цей метод мало хороший для настройки. Виконаємо налаштування регулятора автоматично засобами Matlab. Перехідний процес, розраховані коефіцієнти та показники якості наведено на рисунку 3.6.

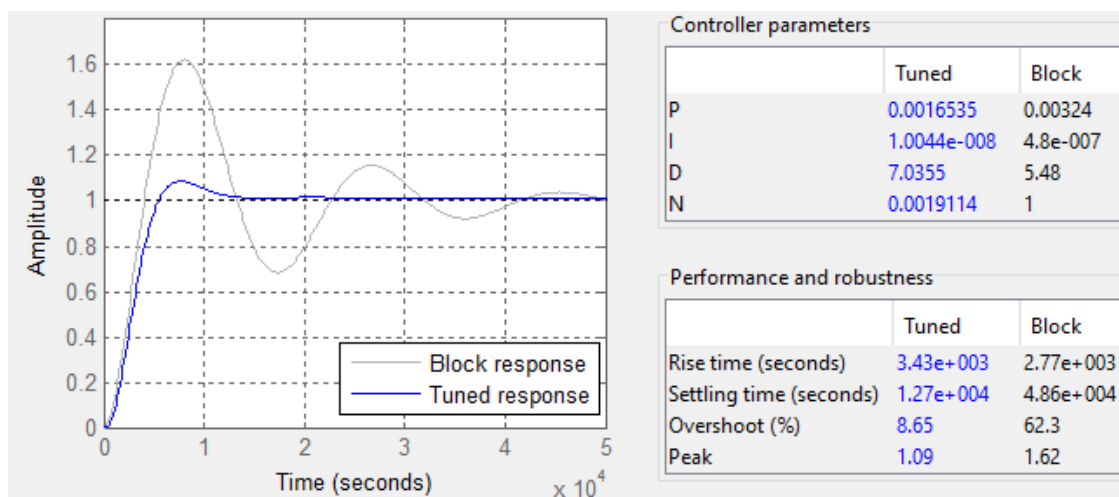


Рисунок 3.6 – Перехідні процеси за методами Циглера-Нікольса (Block response) та автоматичного налаштування (Tuned response) для системи опалення

Якість перехідного процесу з коефіцієнтами, отриманими автоматично, значно краща, ніж розрахованих за методом Циглера Нікольса.

Проведемо підстроювання параметрів регулятора поліпшення якості перехідного процесу з урахуванням автоматично отриманих коефіцієнтів. Інтегральна складова регулятора була виключена, оскільки не мала видимого впливу на якість перехідного процесу, оскільки в системі переважає інтегруюча ланка. Таким чином використовуємо ПД-регулятор. Перехідний процес, коефіцієнти регулятора та показники якості наведено на рис. 3.7.

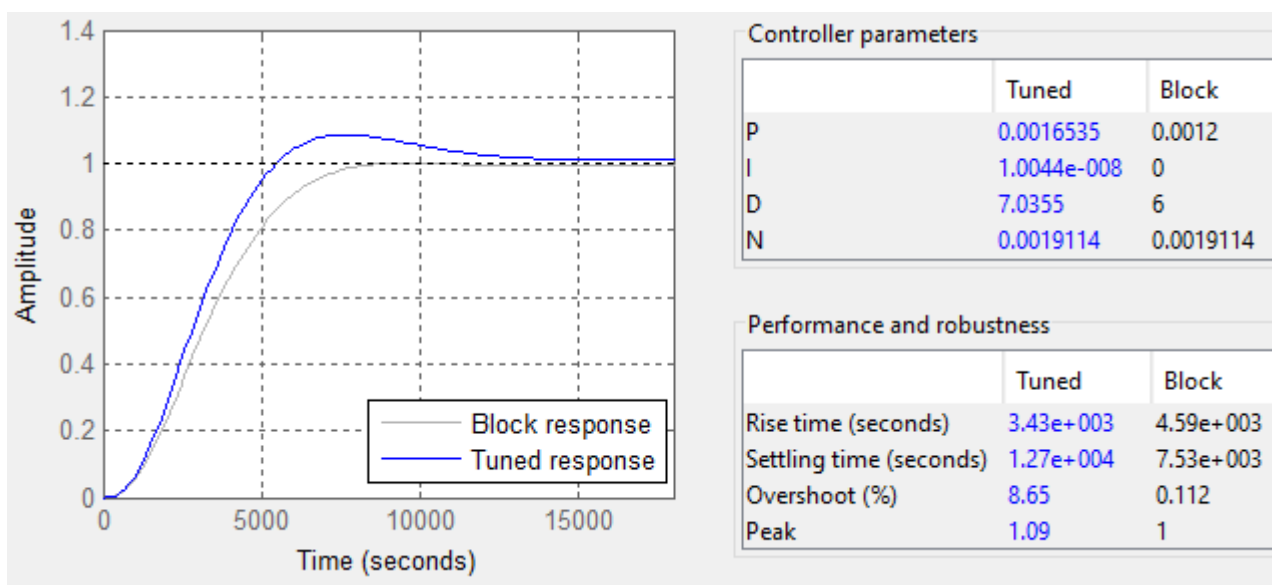


Рисунок 3.7 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора для системи опалення

Порівняння показників якості представлено у таблиці 3.1

З таблиці видно, що найкращим способом є ручне налаштування.

При цьому налаштуванні відсутнє перерегулювання та мінімальний час перехідного процесу.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи опалення

Параметр	Метода Циглера-Нікольса	Автоматична настройка MathLab	Ручна настройка
k_p	0,00324	0,0016535	0,0012
k_i	$4,8 \cdot 10^{-7}$	10^{-8}	0
k_d	5,48	7,0355	6
$t_{\text{пер}}, \text{с}$	48600	12700	7530
$\sigma, \%$	62,3	8,65	0

Виконаємо налаштування регулятора системи охолодження. На коливальний режим система вийшла за коефіцієнта посилення рівному 0,13. Період коливань дорівнює 6446 секунд - $k_p = 0,078$; $k_i = 2,42 \cdot 10^{-5}$; $k_d = 62,85$.

Підставивши коефіцієнти, отримуємо перехідний процес та показники якості на рисунку 3.7. Час перехідного процесу дорівнює 35500 секунд, перерегулювання дорівнює 65,8 відсотків. Цей метод мало хороший для настройки. Виконаємо налаштування регулятора автоматично засобами Matlab. Перехідний процес, розраховані коефіцієнти та показники якості наведено на малюнку 3.8.

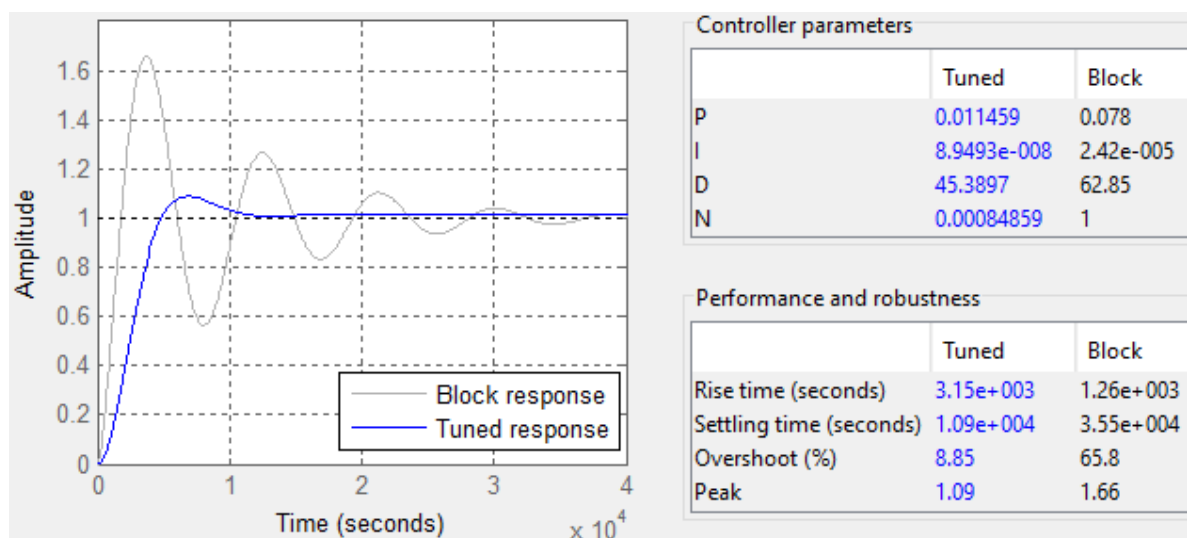


Рисунок 3.8 – Перехідні процеси за методами Циглера-Нікольса (Block response) та автоматичного налаштування (Tuned response) для системи охолодження

Якість перехідного процесу з коефіцієнтами, отриманими автоматично, значно краща, ніж розрахованих за методом Циглера Нікольса.

Проведемо підстроювання параметрів регулятора поліпшення якості перехідного процесу з урахуванням автоматично отриманих коефіцієнтів. Інтегральна складова регулятора була виключена, оскільки не мала видимого впливу на якість перехідного процесу, оскільки в системі переважає інтегруюча ланка. Таким чином використовуємо ПД-регулятор. Перехідний процес, коефіцієнти регулятора та показники якості наведено на рисунку 3.9.

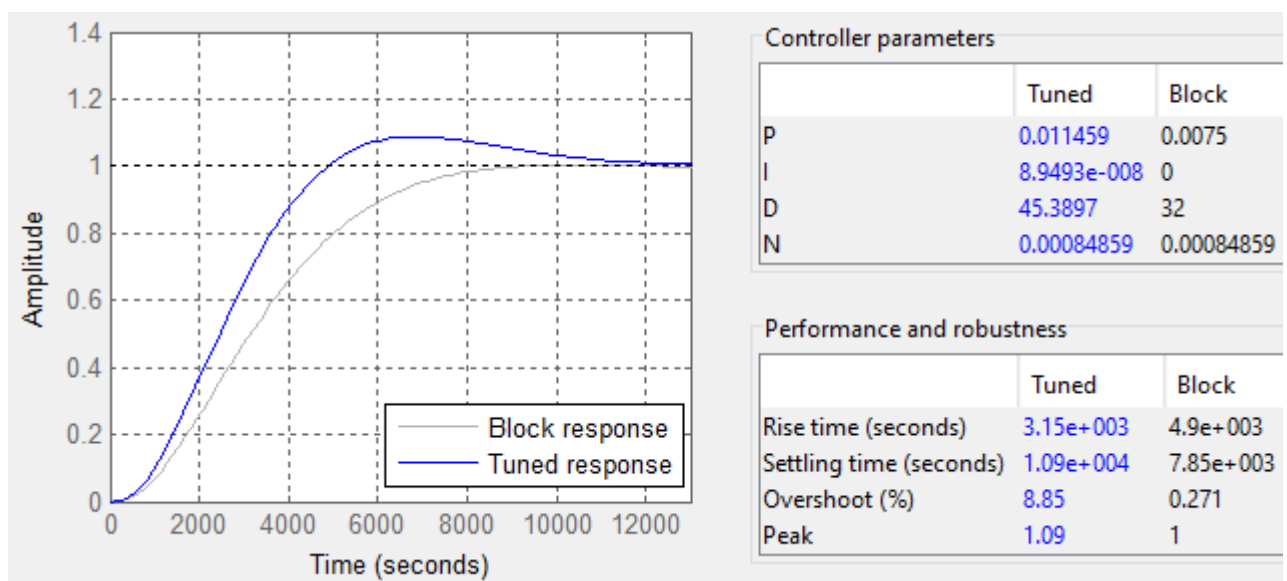


Рисунок 3.9 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора для системи охолодження

Порівняння показників якості представлено у таблиці 3.2.

З таблиці видно, що найкращим способом є ручне налаштування.

При цьому налаштуванні відсутнє перерегулювання та мінімальний час перехідного процесу.

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи охолодження

Параметр	Метода Циглера-Нікольса	Автоматична настройка MathLab	Ручна настройка
k_p	0,078	0,01146	0,0075
k_i	$2,42 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-8}$	0
k_d	62,85	45,39	32
$t_{\text{рег}}, \text{с}$	35500	10900	7850
$\sigma, \%$	65,8	8,85	0

Виконаємо налаштування регулятора системи зволоження автоматично засобами Matlab. Далі проведемо підстроювання параметрів регулятора для покращення якості перехідного процесу. Перехідні процеси, коефіцієнти регулятора та показники якості наведено на рисунку 3.10.

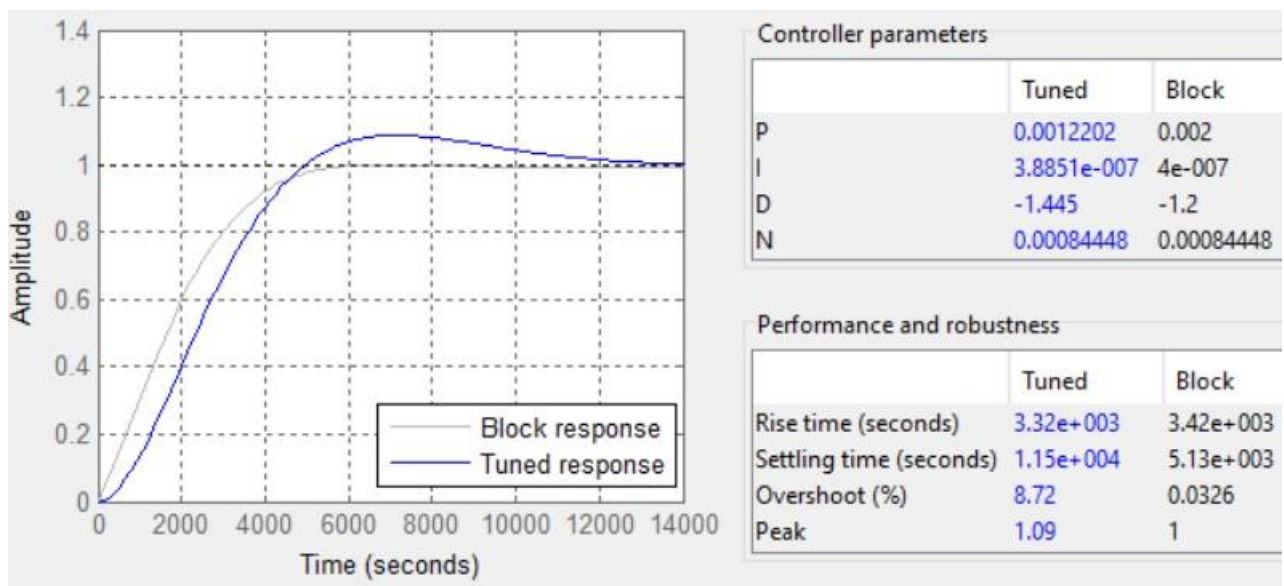


Рисунок 3.10 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора для системи зволоження

Порівняння показників якості представлено у таблиці 3.3.

При ручному підстроюванні відсутнє перерегулювання та мінімальний час перехідного процесу

Таблиця 3.3 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості за різних методів налаштування регулятора для системи зволоження

Параметр	Автоматична настройка MatLab	Ручна настройка
k_p	0,00122	0,002
k_i	$3,885 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$
k_d	-1,445	-1,2
$t_{\text{рег}}, \text{с}$	11500	5130
$\sigma, \%$	8,72	0

Виконаємо налаштування регулятора системи осушення автоматично засобами Matlab. Далі проведемо підстроювання параметрів регулятора для покращення якості перехідного процесу. Перехідні процеси, коефіцієнти регулятора та показники якості наведено на рисунку 3.11.

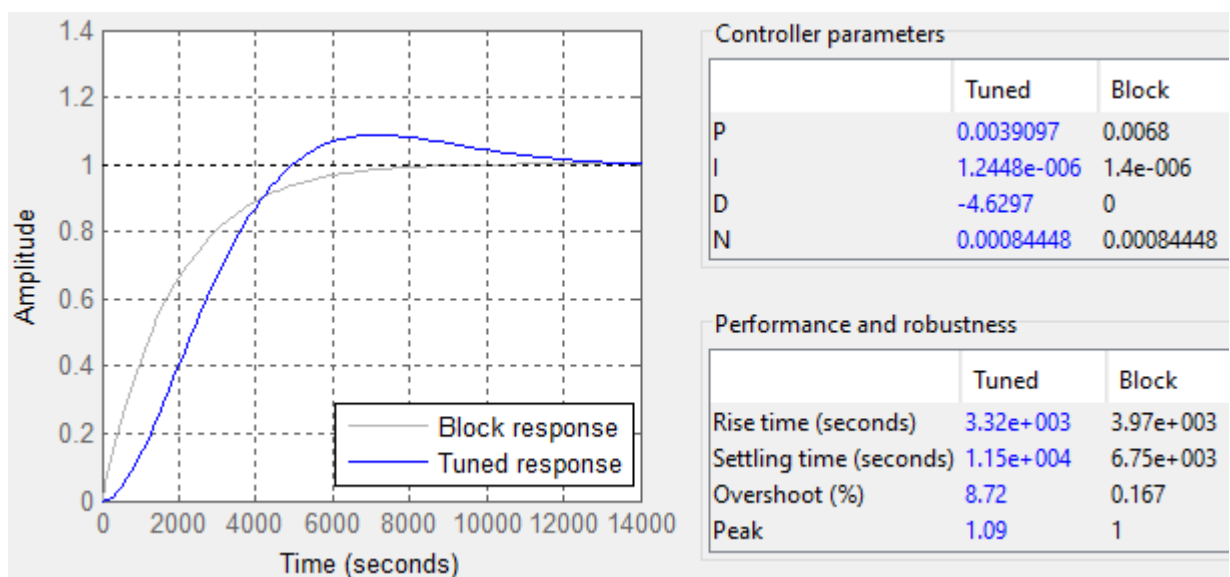


Рисунок 3.11 – Перехідні процеси при автоматичному налаштуванні (Tuned response) та ручному підстроюванні (Block response) регулятора для системи осушення

Порівняння показників якості представлено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості при різних методах налаштування регулятора для системи осушення

Параметр	Автоматична настройка MatLab	Ручна настройка
k_p	0,00391	0,0068
k_i	$1,2448 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
k_d	-4,63	0
$t_{\text{пер}}, \text{с}$	11500	6750
$\sigma, \%$	8,72	0

При ручному підстроюванні відсутнє перерегулювання і мінімальний час перехідного процесу.

Виконаємо налаштування регулятора системи вентиляції автоматично засобами Matlab. Далі проведемо підстроювання параметрів регулятора для покращення якості перехідного процесу. При зміні диференціальної складової не спостерігалось суттєвої зміни якості, тому ця складова була виключена. Для системи вентиляції використовуємо ПІ-регулятор. Перехідні процеси, коефіцієнти регулятора та показники якості наведено на рисунку 3.12.

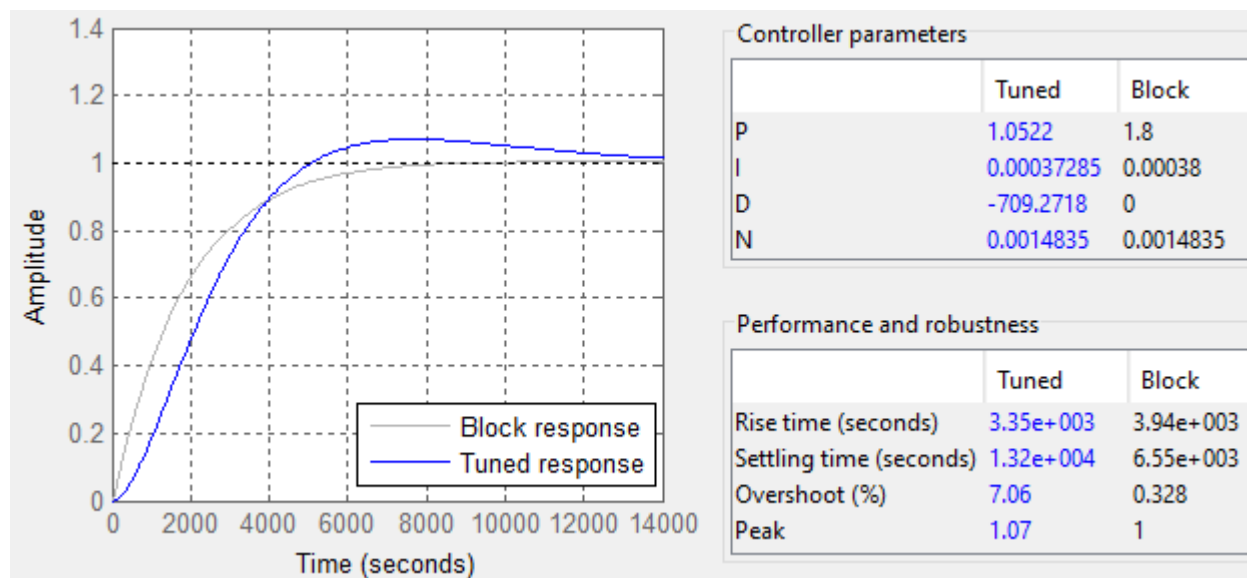


Рисунок 3.12 – Перехідні процеси автоматичного налаштування (Tuned response) та ручного підстроювання (Block response) регулятора для системи вентиляції

Порівняння показників якості представлено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Коефіцієнти регулятора та порівняння показників якості за різних методів налаштування регулятора для системи вентиляції

Параметр	Автоматична настройка MatLab	Ручна настройка
k_p	1,0522	1,8
k_i	$3,73 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$
k_d	-709,27	0
$t_{\text{пер}}, \text{с}$	13200	6550
$\sigma, \%$	7,06	0

При ручному підстроюванні відсутнє перерегулювання та мінімальний час перехідного процесу.

Отримано математичну модель системи підтримки параметрів мікроклімату з налаштованими регуляторами.

3.3 Перевірка роботи САУ при зміні температури

Змоделюємо ситуацію, коли діє зовнішня температура на овочесховище. Зовнішня температура динамічно змінюватиметься протягом світлового дня за гармонійним законом з амплітудою 8 градусів, починаючи зі стрибка 10 градусів. За допомогою такої моделі поведінки навколишнього середовища ми маємо нагоду не тільки перевірити коректність і адекватність моделі САУ, а і достовірність прийнятих припущень щодо математичних моделей поведінки приміщення, на базі якого реалізовано плодів-овочеве сховища сільгосппродукції. Важливим фактором є те, що моделі не враховують інертність продуктів, що зберігаються в сховищах.

Перехідний процес та графік зміни температури вулиці наведено на рисунку 3.13

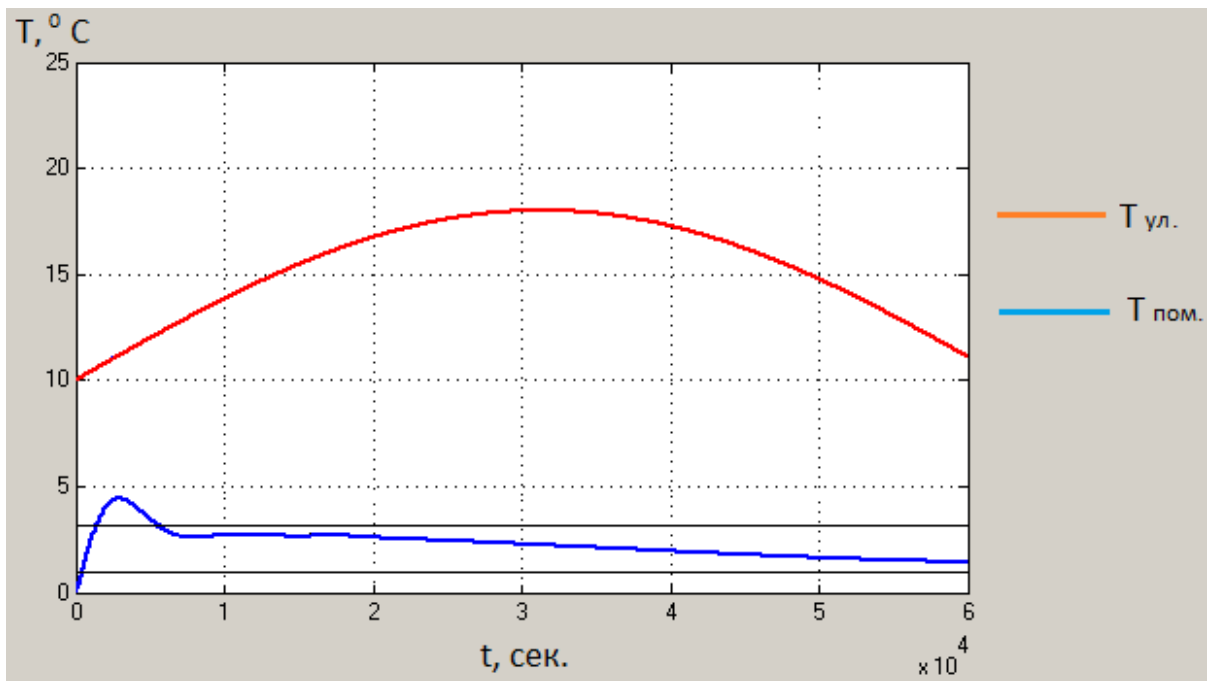


Рисунок 3.13 – Перехідний процес із зовнішнім впливом

На графіку видно, що система обробляє обурення і далі тримає температуру в приміщенні діапазоні 5% від уставки. Дану систему можна використовувати як систему стабілізації температури в приміщенні. Перехідний процес з впливом, що обурює, отримав перерегулювання 11 відсотків і час регулювання дорівнює 9880 секунд.

Висновки до розділу 3

Для управління технологічним процесом було розроблено алгоритми пуску/зупинки технологічного устаткування. Розроблено математичну модель системи та розраховано параметри налаштування регулятора за методом Циглера-Нікольса та автоматичного налаштування в пакеті Matlab з подальшим підстроюванням параметрів вручну. Провели аналіз системи за зовнішнього впливу температури. Система обробляє обурення та зберігає значення температури у приміщенні не більше 5 % від уставки. Таким чином, система

може застосовуватися для регулювання та стабілізації параметрів мікроклімату у приміщенні. Використання трьох вузлів вимірювання в різних областях приміщення надає найбільш повну картину параметрів мікроклімату в приміщенні і тим самим підвищує якість вимірювання. За рахунок реєстрації та управління витратою сировини теплоносія відбувається його ефективне використання.

ВИСНОВКИ

В рамках кваліфікаційної випускної роботи бакалавра була розроблена автоматична система управління параметрами мікроклімату типового полодово-овочевого сховища.

В першому розділі роботи визначені основні технології, які використовуються для зберігання фруктів і овочів в сховищах тривалого зберігання. Для успішного і тривалого зберігання сільгосппродукції надважливою задачею є контроль і дотримання параметрів зберігання, а саме параметрів мікроклімату та параметрів концентрації газів:

- температура
- вологість
- концентрація кисню та двооксиду вуглецю.

Для вимірювання та зміни значень цих параметрів існує ряд технічних і технологічних рішень, звичайно ж можна їх застосовувати в ручному режимі, але оперативність і дотримання технологічних карт в такому випадку буде порушена, що в подальшому неминуче призведе до погіршення стану продукції на зберіганні. З огляду на це, подальшу роботи слід направити на розробку автоматичної системи контролю та управління мікрокліматом в сховищах.

Другий розділ дипломної роботи було присвячено розробці основних схемотехнічних рішень та вибору необхідних для повноцінної роботи системи компонентів.

Було проведено опис технологічного процесу керування параметрами мікроклімату і надана характеристика приміщенню – сховищу плодових та овочевих культур. На підставі опису тех.процесу була розроблена структурна та функціональна схема автоматизації для технологічного процесу об'єкту проектування дипломної роботи.

На підставі прийнятих схемотехнічних рішень були обрані основні типи обладнання для реалізації системи. Всі компоненти були розділені на дві великі

групи – засоби вимірювання і моніторингу та виконавчі пристрої. В якості базового контролера системи виступає ОВЕН ПЛК 160.

Третій розділ присвячено розробці алгоритмів управління та перевірці основних гіпотез, щодо того чи працює система в цілому з наявним переліком обладнання та з програмним забезпеченням. Для управління технологічним процесом було розроблено алгоритми пуску/зупинки технологічного устаткування. Розроблено математичну модель системи та розраховано параметри налаштування регулятора за методом Циглера-Нікольса та автоматичного налаштування в пакеті Matlab з подальшим підстроюванням параметрів вручну. Провели аналіз системи за зовнішнього впливу температури. Система обробляє обурення та зберігає значення температури у приміщенні не більше 5 % від уставки. Таким чином, система може застосовуватися для регулювання та стабілізації параметрів мікроклімату у приміщенні. Використання трьох вузлів вимірювання в різних областях приміщення надає найбільш повну картину параметрів мікроклімату в приміщенні і тим самим підвищує якість вимірювання. За рахунок реєстрації та управління витратою сировини теплоносія відбувається його ефективне використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ

1. Подпратов Г.І., Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник. – К. : Аграрна освіта, 2014. – 393 с.
2. Богомолів О. В., Верешко Н. В., Сафронова О. С. та ін. Зберігання та переробка сільськогосподарської продукції. – Х.: Еспада, 2008. – 544 с.
3. Скалецька Л.Ф. Технології зберігання і переробки: способи ефективного використання врожаю городини та садовини: Монографія / Л.Ф. Скалецька, Г.І. Подпратов, О.В. Завадська. – КП.: «КОМПРИНТ», 2014. – 202 с.
4. Технологія зберігання продукції. [Електронний ресурс]. <https://h-e.com.ua/uk/tehnologiya-hraneniya-produktsii/> –Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана.
5. Умови зберігання фруктів та овочів у сховищах. [Електронний ресурс]. Режим доступу: – <http://agro-business.com.ua/agro/zberihannia/item/8235-umovy-zberihannia-fruktiv-ta-ovochiv-u-skhovyshchakh.html> –Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана.
6. ПЛК160[M02]. Програмований логічний контролер. [Електронний ресурс]. Режим доступу: – <https://owen.ua/ua/programovani-logichni-kontrolery/plk160-m02-programovanyj-logichnyj-kontroler> – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана.
7. Датчик температуры и влажности промышленный RS485 Modbus. [Електронний ресурс]. Режим доступу: – <https://hydroponics.in.ua/datchik-temperature-i-vlazhnosti-promyshlennyj-rs485-modbus> – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана.
8. Датчик углекислого газа CO2 RS485 Modbus. [Електронний ресурс]. Режим доступу: – <https://hydroponics.in.ua/datchik-uglekislogo-gaza-co2-rs485-modbus> – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана.

9. GPE - F5001 - Электромагнитный расходомер. [Электронный ресурс].
Режим доступа: – http://triada.com.ua/device/288-gpe_inc-gpe_f5001_elektromagnitnyy_rashodomer_serii.html – Дата доступа: травень 2023.
– Назва з титул. екрана.
10. ДТСхх5М-RS. Термосопротивления с цифровым интерфейсом RS-485. [Электронный ресурс]. Режим доступа: – <https://owen.ua/ru/datchiki/dtsxx5m-rs-termosoprotivlenija-s-cyfrovym-interfejsom-rs-485/konstruktivnye-ispolnenija> –
Дата доступа: травень 2023. – Назва з титул. екрана
11. Датчик уровня жидкости поплавковый Kronos LS-150, нержавеющей сталь, магнитный сенсор, длина 150мм, 12-220В 1А. [Электронный ресурс].
Режим доступа: https://tehbezpeka.ua/p1654096745-datchik-urovnya-zhidkosti.html?source=merchant_center&gclid=Cj0KCQjwy9-kBhCHARIsAHpBjHgyacpawhoe2AvFWU-2BmJyo47cVfl0JpYN0oM474IXLymnDb_JGZUaAmZyEALw_wcB– Дата
доступа: травень 2023. – Назва з титул. екрана
12. Радиатор алюминиевый krakow 500x80. [Электронный ресурс].
Режим доступа: https://santehland.net/p767515512-radiator-alyuminievyj-krakow.html?source=merchant_center&gclid=Cj0KCQjwy9-kBhCHARIsAHpBjHi3i1BPvp2WBznHuGuEvvgRphsJSDRvb_a3Rv87ml9-zTfT7KgMFpwaAizTEALw_wcB – Дата доступа: травень 2023. – Назва з титул. екрана
13. Вентс ВУТ 2000 ЕГ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vents-shop.com.ua/vents-vut-2000-eg-uk/> – Дата доступа: травень 2023. –
Назва з титул. екрана
14. Промисловий зволожувач. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://recond.ua/product/celsius-hd-18> – Дата доступа: травень 2023. – Назва з
титул. екрана
15. Trotec TTR 500 D. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://osushiteli.ua/uk/trotec-ttr-500-d> – Дата доступа: травень 2023. – Назва з
титул. екрана

16. Запорна арматура регулююча. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://kokshetay.electroprogress.com/catalog/pribory-dlya-izmereniya-preobrazovaniya-i-regulirovaniya-davleniya/elektromagnitnye-klapany/klapan-zaporno-reguliruuschii-25ch945p> – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана

17. Частотные преобразователи. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://nsk.Elcomspb.ru/katalog/invertors/frequency_converters/?filter=true&cost_slider=0,61419&price=0,61419&attribute_115\[0\]=0.4](https://nsk.Elcomspb.ru/katalog/invertors/frequency_converters/?filter=true&cost_slider=0,61419&price=0,61419&attribute_115[0]=0.4) – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана

18. Човнюк, Ю., Чередніченко, П. і Москвітін, А. 2022. Моделювання та алгоритм розрахунку параметрів системи регулювання мікроклімату приміщення з елементами штучного інтелекту. Містобудування та територіальне планування. 79 (Квіт 2022), 446–462. DOI:<https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.79.446-462>.

19. Алгоритм налаштування коефіцієнтів під-регулятора із використанням методів нечіткої логіки. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiT-MSq4NAhWh8rsIHRNoCBgQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.mpky.nung.edu.ua%2Findex.php%2Fmpky%2Farticle%2Fdownload%2F530%2F537&usg=AOvVaw3388V58O2mHn0E9PIp2Z7&opi=89978449> – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана