

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК
«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

**на тему: «Автоматизована систему управління мікрокліматом
інкубатору на птахофабриці»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-02

Топиха Максим Ігорович _____

Керівник:

Доцент, к.т.н

Бунке Олександр Сергійович _____

Консультант з розділу «Охорона праці»:

Доцент, к.т.н

Каштанов Сергій Федорович _____

Рецензент:

Доцент, к.т.н

Воробйов Микита Валерійович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Тописі Максиму Ігоровичу

1. Тема проєкту **«Автоматизована система управління мікрокліматом інкубатору на птахофабриці»**, керівник проєкту Бунке Олександр Сергійович, доцент, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «30» травня 2024 р. № 2197-с

2. Термін подання студентом проєкту «12» травня 2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту: літературні джерела, зібрані під час проходження виробничої практики.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Перелік умовних скорочень. 2. Вступ. 3.Проектування АСУТП. 4. Розрахунок САР. 5. Опис графічної частини проєкту. 6. Програмування ПТКЗА. 7. Імітаційне моделювання АТК. 8. Охорона праці. 9. Техніко-економічний розрахунок. 10. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов’язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

Схема автоматизації функціональна, Специфікація обладнання, Схема принципова електрична, Схема зовнішніх з’єднань та проводок, Креслення загального вигляду щита автоматизації.

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С. Ф., доцент, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання «15» квітня 2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі автоматизації ТОУ	14.02.2024	
2	Функціональна схема автоматизації. Схема структурна ПТК	20.04.2024	
3	Схема електрична принципова	29.04.2024	
4	Розрахунок САР	20.05.2024	
5	Креслення загального виду щита	25.05.2024	
6	Схема зовнішніх проводок	29.05.2024	
7	Імітаційне моделювання АТК	01.06.2024	
8	Охорона праці	04.06.2024	
9	Техніко-економічний розрахунок	05.06.2024	
10	Нормоконтроль	12.06.2024	
11	Передзахист ДП	14.06.2024	
12	Захист ДП	19.06.2024	

Студент

Максим ТОПИХА

Керівник

Олександр БУНКЕ

АНОТАЦІЯ

Даний дипломний проєкт присвячений розробці автоматизованої системи управління мікрокліматом інкубатора на птахофабриці з можливістю керування та моніторингу через веб-додаток.

Проєкт досліджує характеристики промислового інкубатора та визначає основні частини: керовані заслінки, форсунку для зволоження повітря, вентилятор, камеру з датчиками температури та нагрівальний елемент. Така конструкція забезпечує ефективний інкубаційний процес з мінімальними затратами.

Проєкт використовує трирівневу структуру АСУТП: польовий рівень (вимірювальні та виконавчі прилади), середній рівень (ПЛК, регулятори) та верхній рівень (людино-машинний інтерфейс та SCADA). Web SCADA комунікує з ПЛК по протоколу MQTT.

Інженерні розрахунки включали визначення параметрів вимірювальних та регульовано-виконавчих каналів САР, метрологічні характеристики, надійність та роботоздатність системи. Первинна обробка даних у ПЛК включала зчитування сигналів, їх обробка та алармування.

Проєкт містить опис графічної частини: схему автоматизації функціональну, структурну схему програмно-технічного комплексу, електричну схему, креслення виду щита та специфікацію обладнання.

Розроблено програмне забезпечення для ПЛК та SCADA-системи для моніторингу. Імітаційне моделювання здійснено в Matlab Simulink та CoDeSys.

Техніко-економічний розрахунок підтвердив доцільність впровадження системи, оскільки вона забезпечує високу точність та ефективність управління, підвищуючи ефективність інкубації яєць та зменшуючи потребу в присутності оператора.

ABSTRACT

This thesis project is dedicated to the development of an automated microclimate control system for an incubator at a poultry farm that can be controlled and monitored via a web application.

The project investigates the characteristics of an industrial incubator and identifies the main parts: controllable dampers, a humidification nozzle, a fan, a chamber with temperature sensors, and a heating element. This design ensures an efficient incubation process at minimal cost.

The project uses a three-tiered control system structure: field level (measuring and actuating devices), middle level (PLC, regulators) and upper level (human-machine interface and SCADA). Web SCADA communicates with the PLC via the MQTT protocol.

Engineering calculations included determining the parameters of the measuring and control channels of the ATS, metrological characteristics, reliability and system performance. Primary data processing in the PLC included signal reading, processing and alarming.

The project contains a description of the graphic part: functional automation diagram, structural diagram of the software and hardware complex, electrical diagram, drawings of the panel view and equipment specification.

Software for the PLC and SCADA system for monitoring was developed. Simulation modelling was carried out in Matlab Simulink and CoDeSys.

The feasibility study confirmed the feasibility of implementing the system, as it provides high accuracy and efficiency of control, increasing the efficiency of egg incubation and reducing the need for operator presence.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

САР – система автоматичного регулювання;

ОУ – об'єкт управління;

ТОУ – технологічний об'єкт управління;

ПТКЗА – програмно-технічний комплекс засобів автоматизації;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ВМ – виконавчий механізм;

ВК – вимірювальний канал;

РО – регулюючий орган;

ПІ – пропорційно-інтегральний;

АТК – автоматизований технологічний комплекс;

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition;

РАФХ – розширена амплітудно-фазова характеристика;

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система управління мікрокліматом
інкубатору на птахофабриці»**

Київ – 2024 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП.....	11
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління	11
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОВ	13
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОВ.....	15
1.4 Функції АСУТП	16
1.5 Схема автоматизації функціональна	17
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу.....	18
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ	19
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР.....	20
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів (ВК)	20
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)	20
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів.....	20
2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів	21
2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів	21
2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод	23
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів	25
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів	25
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів	28
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК	30
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів.....	32
2.2 Інженерні розрахунки регульовано-виконавчих каналів САР .	34
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання	34

						ТА-02433.009.001.АТХ.П Автоматизована система управління мікрокліматом інкубатору		
Зм..	Кільк..	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка Стадія.. ДП Аркуш 7 Аркушів 85 КПІ ім. І. Сікорського, НН ІАТЕ, гр. ТА-02		
Розробив	Топиха М.І.							
Перевірив	Бунке О.С.							
Н. контр.	Некрашевич							
Затвердив	Волощук							

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР	34
2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР..	36
2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР.....	36
2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР	37
2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР.....	37
2.2.7 Ідентифікатор об'єкта управління	38
2.2.8 Розрахунок регуляторів САР	39
2.2.9 Функціональне моделювання САР.....	53
2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР	59
РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ	60
3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ	60
3.2 Схема структурна ПТК	60
3.3 Схема принципова електрична АСУ	60
3.4 Креслення загального вигляду щита	61
3.5 Схема зовнішніх з'єднань	62
3.6 Специфікація обладнання	63
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА	65
4.1 Програмування функціональності ПЛК	65
4.2 Програмування функціональності SCADA-системи	67
РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК.....	69
5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ	69
5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink.....	69
5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys.....	69
5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio.....	70
5.5 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі	70
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	70

6.1 рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування	71
6.1.1 Електробезпека	72
6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії.....	74
6.2.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони	74
6.2.2 Виробниче освітлення	75
6.2.3 Виробничий шум	75
6.2.4 Виробничі вібрації.....	76
6.3 Пожежна безпека та профілактика.....	76
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.....	77
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
							9
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

ВСТУП

На сьогоднішній день все більше галузей переходять на автоматизовані системи керування. Щомиті реалізуються нові ідеї та розробляються нові схеми для покращення наявних або застосування нових систем. Складно переоцінити позитивний вплив таких інновацій на наше життя. Але є декілька галузей, де перехід на автоматизовані системи керування проходить значно повільніше, наприклад, сільське господарство, а саме інкубація яєць.

Напевно більшість стикалась або хоча б бачила на фото побутові інкубатори. Вони маломісткі, потребують постійного втручання людини та у випадку відмови уся кладка яєць може зіпсуватись. На перевагу побутовим існують промислові та фермерські інкубатори. Перші вміщають багато яєць, мають часткову автоматизацію та дозволяють з більшою ефективністю та з меншим втручанням людини виводити курчат, індичат і т.д. Також наявна автоматизація існує тільки по фізичному з'єднанню, що змушує оператора сидіти та слідкувати за показниками у відносній близькості до самої системи. Фермерські же інкубатори взагалі не мають систем автоматизації і виділяються лише великою місткістю.

Таким чином можна винести наступну мету дипломного проєкту – розробити техно-робочий проєкт системи управління мікроклімату інкубатору на птахофабриці та реалізувати можливість керувати та моніторити через веб-додаток.

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Промислові інкубатори набули великої популярності насамперед завдяки більшій ефективності інкубації. Також вони не є складні при проєктуванні та мають 5 основних частин(Рис.1.1). А саме:

- Плавні керовані заслінки, які відкриваються та закриваються під дією приводів для тимчасових провітрювань та зменшення температури/вологості;
- Форсунка туманоутворення для ефективного зволоження повітря;
- Вентилятор для провітрювання та циркуляції повітря, оберти якого керуються за допомогою частотного перетворювача;
- Камера для інкубації зі стелажми, всередині якої знаходяться датчики температури для моніторингу режимних параметрів для ефективного виведення пташенят;
- ТЕН для нагрівання повітря всередині камери інкубації.

Ці всі елементи знаходяться у термоізоляційній шафі, для мінімальної втрати тепла. Така конструкція дозволяє задовольнити усі потреби виводку на всіх стадіях інкубації з мінімальними затратами та максимальною виводимістю. Таким чином реальна середня виводимість досягає близько 90%, що на 15-20% більше за домашні та фермерські установки при значно менших докладених зусиллях на етапі інкубації.

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
							11
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

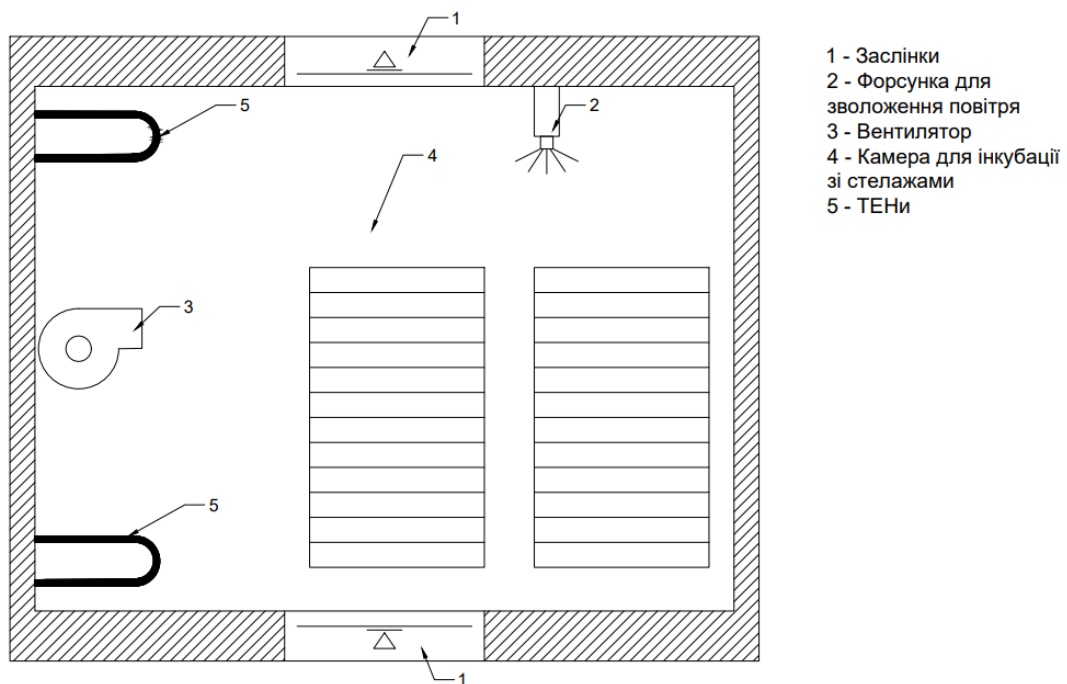


Рисунок 1.1 – Спрощена схема промислового інкубатора

Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

ТА-02433.009.001.АТХ.П

Лист

12

Таблиця 1.1 – Технологічні параметри для інкубації курячих яєць на різних стадіях

День інкубації	Назва параметру	Номінальне значення	Діапазон відхилення
1-11	Температура повітря в інкубаторі	37.9°C	+/-0.3°C
	Вологість повітря в інкубаторі	66%	+/-5%
12-17	Температура повітря в інкубаторі	37.3°C	+/-0.3°C
	Вологість повітря в інкубаторі	53%	+/-5%
18-19	Температура повітря в інкубаторі	37.3°C	+/-0.3°C
	Вологість повітря в інкубаторі	47%	+/-5%
20-21	Температура повітря в інкубаторі	37.0°C	+/-0.3°C
	Вологість повітря в інкубаторі	66%	+/-5%

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУП ТОУ

Можна виділити 3 основних типи інкубаторів – фермерські, побутові та промислові.

Побутові інкубатори використовуються для виводку близько 100 яєць. Вони дешеві та доступні. Але є вагомі мінуси:

- На кожному етапі інкубації треба самостійно виставляти температуру обігрівачу;
- Необхідно вручну вимірювати температуру, тому що потрібен контакт термометру та шкарлупи яйця;
- Треба самостійно підтримувати вологість в інкубаторі;
- Зазвичай немає АУП(автоматичний пристрій перевероту яєць).

Отже така система не є зручною та ефективною. Також є фермерські інкубатори. У них є один вагомий плюс – можна вміщати більше тисячі яєць за раз. Але мінусів достатньо, щоб його не обирати, а саме:

- Неможливість докладати яйця під час інкубації;
- Якщо система вийде з ладу, то уся партія яєць загине.

Бачимо, що такі інкубатори мають забагато вагомих недоліків. З іншого боку є промислові інкубатори. Вони мають місткість більше 1000 яєць та зазвичай непогано автоматизовані та є якісь системи захисту/сигналізації. Але і в них є свої недоліки:

- Зазвичай є доволі дорогі та відносно великий термін окупності;
- Усі сигналізації та моніторинг(якщо присутній) є місцевими, або тільки по фізичному з'єднанні.

Якщо перший недолік доволі складно вирішити через високу ціну обладнання, то другий вже здається можливим. Для вирішення було використано типову трирівневу систему(Рис.1.2):

- Перший(нижній/польовий) рівень: вимірювальна та виконавчі прилади;
- Другий(середній) рівень: ПЛК, регулятори, лічильники і т.д. Тобто цей рівень відповідає за керування приладами на об'єкті;
- Третій(верхній) рівень: людино-машинний інтерфейс та SCADA. У моєму випадку використовувалась розроблена спеціально для об'єкту web SCADA.

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		14

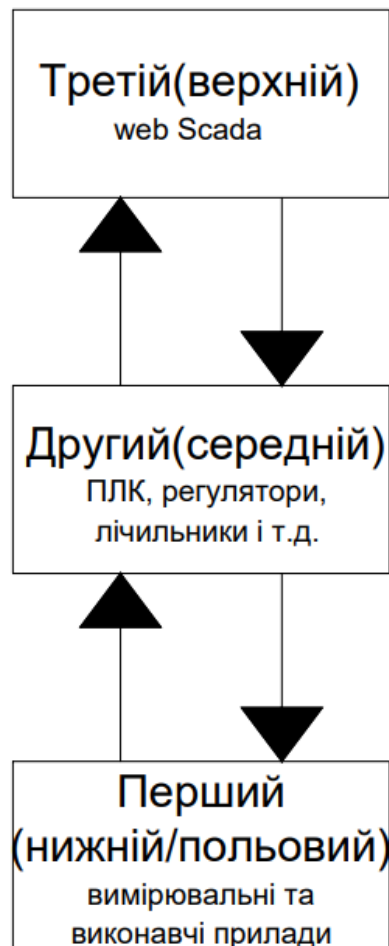


Рисунок 1.2 – Структурна схема АСУТП ТОУ

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Режимні параметри:

- Температура повітря в камері інкубації;
- Вологість повітря в камері інкубації.

Захисні параметри:

- Перепад тиску у трубопроводі, де встановлений насос для накачування води для зволоження;
- Температура повітря в камері інкубації;
- Вологість повітря в камері інкубації;
- Повне відкриття заслінок на занадто довгий термін.

Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

ТА-02433.009.001.АТХ.П

Лист

15

Контрольні параметри:

- Оберти вентилятора;
- Оберти насоса;
- Потужність ТЕНу;
- Відсоток відкриття заслінок.

1.4 Функції АСУТП

Системи регулювання:

- Підвищення температури повітря в камері інкубації шляхом вмикання ТЕНу;
- Підвищення вологості повітря шляхом зміни частоти насосу;
- Зменшення температури та вологості повітря за допомогою відкриття заслінок.

Системи сигналізації:

- Попередження за рахунок загоряння червоного індикатору та повідомлення у web SCADA системі, якщо температура повітря нижча 37.6 °C на першому етапі інкубації;
- Попередження за рахунок загоряння червоного індикатору та повідомлення у web SCADA системі, якщо температура повітря вища 38.2 °C на першому етапі інкубації;
- Попередження за рахунок загоряння червоного індикатору та повідомлення у web SCADA системі, якщо вологість повітря нижча 61% на першому етапі інкубації;
- Попередження за рахунок загоряння червоного індикатору та повідомлення у web SCADA системі, якщо вологість повітря вища 71% на першому етапі інкубації;
- Попередження за рахунок загоряння червоного індикатору та повідомлення у web SCADA системі про роботу насосу.

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		16

1.5 Схема автоматизації функціональна

Відповідно до схеми(Рис.1.3) бачимо, що система складається з припливно(поз. 1)-витяжних(поз. 7) заслінок, які відкриваються та закриваються під дією виконавчих механізмів(поз. 1а та поз. 7а). Повітря циркулює за допомогою вентилятора(М1), який регулюється за допомогою частотного перетворювача(поз. 3а). За допомогою водяного насосу(М2) та форсунки (Ф1) маємо змогу зволожувати повітря у камері інкубації.

Також регулюємо температуру повітря впливаючи на ТЕН(поз. 2) за допомогою твердотільного реле(поз. 2а) та методу ШІМ. Температура повітря підтримується в межах 37.6÷38.2°C, а вологість – 61÷71%. Відповідний датчик(поз. 6а) для моніторингу режимних параметрів встановлений у камеру інкубації.

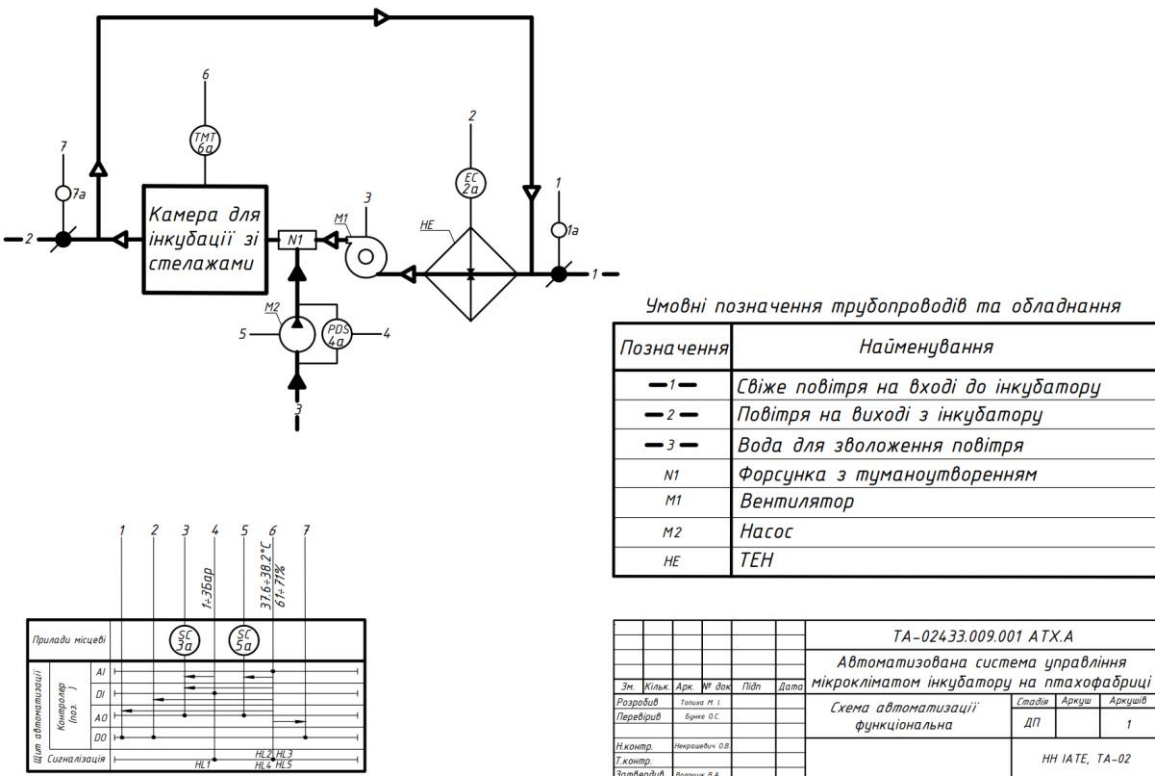


Рисунок 1.3 – Схема автоматизації функціональна

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

Як було зазначено у підрозділі 1.2, було використано типову трирівневу систему (Рис.1.2). На верхньому рівні використовується розроблена web SCADA. Вона комунікує з ПЛК по протоколу MQTT за допомогою брокеру Mosquitto. ПЛК відправляє поточні показники датчиків та регулюючі сигнали. Також за допомогою веб-додатку користувач має змогу впливати на систему: змінювати уставку, змінювати параметри ПД-регулятора та вмикати/вимикати ручний режим. Для моніторингу будуть виводитись поточні значення з давачів, графіки, помилки та сигналізації. Усі необхідні дані будуть записуватись у базу даних MongoDB, яка встановлюється локально на адміністративний PC.

Програма для ПЛК MaxyCon Flexy-S2-B1 від RAUT automatic створюється у середовищі розробки RAUT Qubix з використанням стандартних мов програмування FBD/CFC та ST по стандарту IEC 61131-3. Програма переноситься в контролер за допомогою Flash-карти формату micro-SD (Secure Digital), яку необхідно вставити у слот, передбачений у корпусі базового модуля.

На нижчому рівні знаходяться виконавчі механізми, які отримують команди від ПЛК. Для заслінок використовується плавно керований виконавчий механізм, що дає їм змогу приймати участь у регулюванні. Оберти вентилятора та насоса змінюються за допомогою частотного перетворювача, який інтерполює цифровий сигнал у електричний. А ТЕН регулюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції відповідно до написаної програми.

Також ПЛК при сигналізаціях вмикає відповідні сигнальні індикатори. Режимні параметри передає давач температури та вологості повітря STH-01 M. Він передає аналоговий сигнал 0-10В. Дані про

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		18

роботу насосу передає диференційне реле тиску RT263AL з дискретним сигналом.

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ

Техніко-економічна ефективність набувається за допомогою майже повної автономності системи керування. Завдяки правильно написаним командам для контролера передбачені майже всі реакції на збурення та аварійні ситуації. Необхідні параметри адміністратор може змінювати віддалено зі свого смартфона або домашнього РС, що зменшує необхідність присутності оператора на об'єкті і дозволяє зайнятись іншими важливими справами. Також така система збільшує ефективність інкубації яєць за допомогою постійному підтримуванні оптимальних температурі та вологості.

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		19

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів (ВК)

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)

- 1) Температура повітря в камері інкубації (поз. 6а)

Температура повітря вимірюється за допомогою датчика STH-01 М. У нього температурний діапазон $0...+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, клас точності 0.4%. Вихідний сигнал (0–10)В.

- 2) Вологість повітря в камері інкубації (поз. 6а)

Вологість повітря вимірюється за допомогою датчика STH-01 М. У нього клас точності для вологості $0...80\%$ дорівнює 3%, для $80...100\%$ – 4.5%. Вихідний сигнал (0–10)В.

- 3) Перепад тиску на насосі (поз. 4а)

Перепад тиску вимірюється за допомогою диференційного реле тиску RT263AL. Його клас точності дорівнює 0.5. Має дискретний вихідний сигнал, що сигналізує про вихід перепаду тиску за діапазон.

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

Усі вимірювальні канали (ВК) однаково складаються з давачів та програмованого логічного контролера(ПЛК):



Рисунок 2.1 – Схема структурна вимірювальних каналів

2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів

Давач температури та вологості повітря представлений одним датчиком з уніфікованим вихідним сигналом напруги (0–10)V і підключається за наступною схемою:

- Контакт «+» датчика підключаю до контакту «+» блоку живлення;
- Контакт «Gnd» датчика підключається до ««Gnd»» блоку живлення;
- Контакт «Ut» датчика підключається до аналогового входу контролеру для зняття температури;
- Контакт «Uh» датчика підключається до аналогового входу контролеру для зняття вологості.

Диференційне реле тиску представляє собою дискретний датчик з трьома контактами, які підключаються наступним чином:

- Контакт «1» до живлення постійного струму;
- Контакт «2» та «3» до дискретних входів плк. Вони сигналізують про падіння або засильне нагнітання тиску з виходом за настроюваний допустимий діапазон.

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Датчик температури та вологості STH-01 M просто монтується на стіну всередині інкубатору, попередньо провівши монтаж електричних за вказівками у пункті 2.1.3 та за схемою(Рис.2.2).

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		21

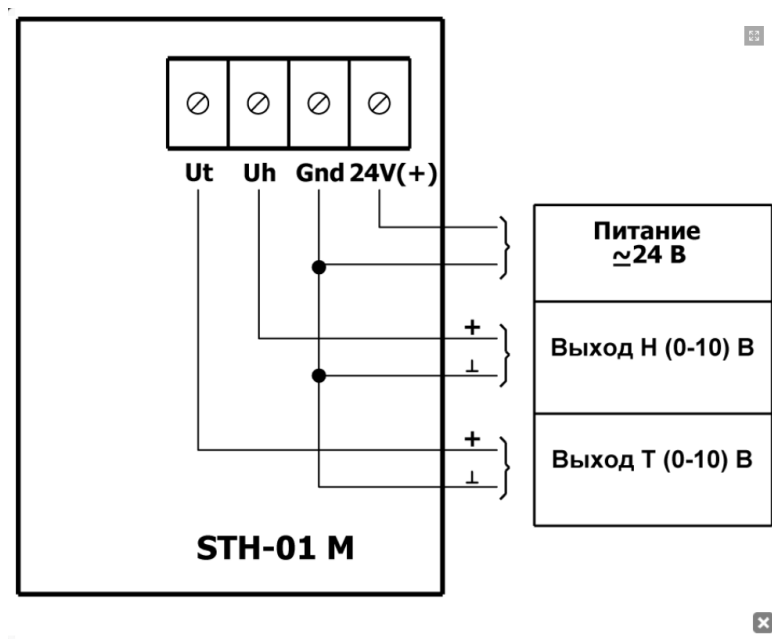


Рисунок 2.2 – Монтаж електричних з'єднань

Монтаж реле тиску RT260A починається з правильного встановлення реле у вертикальному положенні, при цьому патрубок низького тиску (LP) має бути спрямований вгору. Наступний крок включає механічне кріплення реле. Використовуйте два отвори для кріплення, які стають доступними після зняття передньої кришки. Важливо забезпечити належне затягування кріпильних елементів, щоб уникнути будь-яких рухів або вібрацій, які можуть вплинути на точність вимірювання тиску. Підключення реле здійснюється за допомогою відповідних фітингів та трубок. Важливо забезпечити надійне ущільнення з'єднань, щоб уникнути витоків.

Налаштування діапазону тиску здійснюється за допомогою рукоятки налаштування(поз.5). Встановлене значення можна бачити на шкалі налаштування(поз.9), що дозволяє точно встановити необхідний діапазон роботи реле. Налаштування механічного диференціалу здійснюється поворотом диска налаштування диференціалу(поз. 19), що дозволяє точно відрегулювати різницю тиску для активації реле(Рис.2.3).

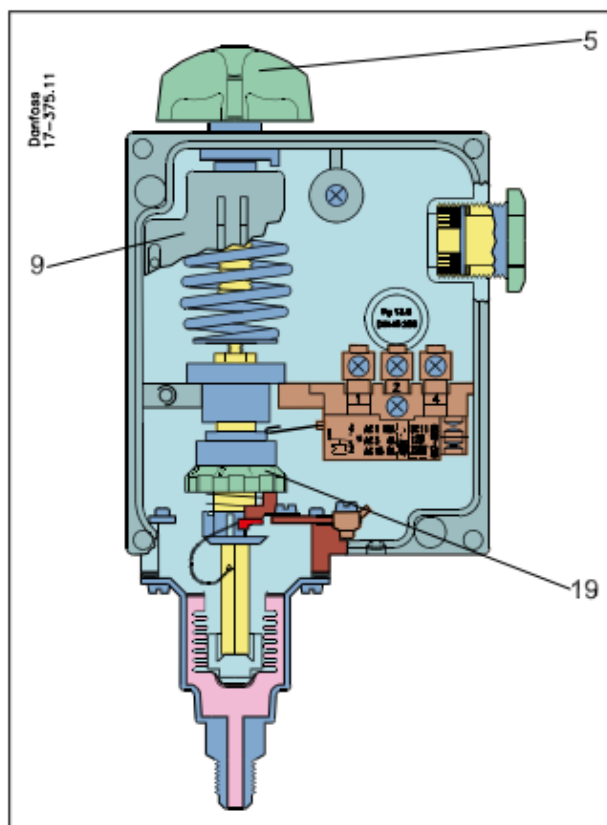


Рисунок 2.3 – Налаштування реле

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

Для забезпечення надійної роботи автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСУТП) та захисту вимірювальної апаратури від електромагнітних наведень застосовуються різноманітні методи, серед яких екранізація, заземлення, зовнішня та внутрішня фільтрація сигналів.

Екранізація і заземлення є основними методами захисту вимірювальної апаратури. Екранізація передбачає використання захисних покриттів або екранів навколо вимірювальних пристроїв та їх кабелів для зменшення впливу електромагнітних полів на сигнали вимірювання. Це допомагає уникнути спотворень даних і несправностей системи. Заземлення забезпечує стійкість системи до електромагнітних наведень, з'єднуючи металеві частини апаратури і кабелів з заземлювачем. Це дозволяє стікати надлишковому струму і запобігає

накопиченню електростатичного заряду, що може вплинути на точність вимірювань.

Зовнішня фільтрація сигналів використовується для приглушення електромагнітного шуму і перешкод на лініях живлення та сигнальних лініях. Фільтри встановлюються на вході вимірювального пристрою для зменшення шуму і перешкод, усуваючи частоти, що впливають на вимірювальний сигнал.

Використання відповідної кабельної продукції і правильне прокладання кабелів також сприяють зменшенню впливу електромагнітних наведень. Використання екранованих кабелів забезпечує бар'єр між вимірювальними каналами, а розділення силових та інформаційних ліній допомагає мінімізувати взаємний вплив. Рекомендується прокладати кабелі в різних коробах на визначеній відстані.

Внутрішня фільтрація сигналів включає програмну фільтрацію даних у програмованих логічних контролерах (ПЛК). Цей метод використовується для зменшення шуму і покращення якості сигналу. Програмна фільтрація дозволяє виділити корисний сигнал та приглушити небажані перешкоди за допомогою цифрових фільтрів, які усувають частоти, що змінюють спектр вимірювального сигналу.

Перешкоди в системах передачі даних поділяються на зовнішні та внутрішні. Зовнішні перешкоди, такі як електромагнітні хвилі, можна нівелювати за допомогою екранізації кабелів та заземлення електроцитів. Внутрішні перешкоди включають шуми, що виникають від компонентів схеми (наприклад, транзисторів) або від перепадів живлення. Для боротьби з внутрішніми перешкодами застосовуються методи фільтрації сигналу та компенсації перешкод. Апаратні рішення включають використання шумозаглушувачів – спеціальних пристроїв для зниження рівня шумів у каналі передачі даних. Програмні рішення

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		24

включають частотне розділення, яке дозволяє легше розділяти і фільтрувати корисний сигнал та шуми.

Таким чином, використання методів екранізації, заземлення, належного прокладання кабелів та фільтрації сигналів є критично важливими для забезпечення точності вимірювань і надійної роботи систем АСУТП.

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

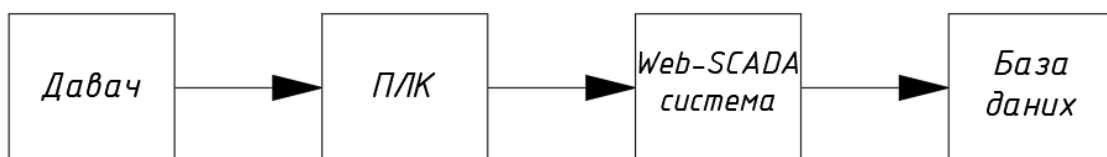


Рисунок 2.4 – Схема структурна надійності інформаційного каналу

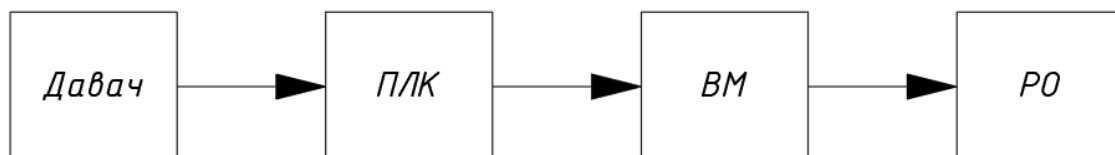


Рисунок 2.5 – Схема структурна надійності керуючого каналу

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Таблиця 2.1 – Характеристики складових вимірювальних каналів

Назва	Клас точності	Діапазон вимірювання
Датчик температури та вологості від RAUT automatic STH-01 M	0.4 3	0...+50 °C 0...80 %
Диференційне реле тиску від danfoss RT263AL	0.5	0...6 бар
ПЛК від RAUT automatic MaxyCon Flexy-S2-B1	0.1	-

Вимірювальний канал складається з датчика та програмованого логічного контролера. Таким чином розраховую абсолютні та відносні похибки для вимірювальних каналів:

- ВК температури всередині камери інкубації:

- Абсолютна похибка:

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}$$

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_{\text{кл}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100}$$

$$\Delta_{\text{датчик}} = \frac{0.4(50 - 0)}{100} = 0.2^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{\text{ПЛК}} = \frac{0.1(50 - 0)}{100} = 0.05^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{0.2^2 + 0.05^2} = 0.21^\circ\text{C}$$

$$0.21^\circ\text{C} < 0.3^\circ\text{C}$$

- Відносна похибка:

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{\Delta_{\text{ВК}}}{(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})} \cdot 100\% = \frac{0.21}{(50 - 0)} \cdot 100\% = 0.42\%$$

- ВК вологості всередині камери інкубації:

- Абсолютна похибка:

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}$$

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_{\text{кл}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100}$$

$$\Delta_{\text{датчик}} = \frac{3(80 - 0)}{100} = 2.4\%$$

$$\Delta_{\text{ПЛК}} = \frac{0.1(80 - 0)}{100} = 0.08\%$$

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{2.4^2 + 0.08^2} = 2.4\%$$

$$2.5\% \ll 5\%$$

- Відносна похибка:

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{\Delta_{\text{ВК}}}{(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})} \cdot 100\% = \frac{2.5}{(80 - 0)} \cdot 100\% = 3.1\%$$

- ВК перепаду тиску на насосі:

- Абсолютна похибка:

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}$$

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_{\text{КЛ}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100}$$

$$\Delta_{\text{давач}} = \frac{0.5(6 - 0)}{100} = 0.03 \text{ бар}$$

$$\Delta_{\text{ПЛК}} = \frac{0.1(6 - 0)}{100} = 0.001 \text{ бар}$$

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{0.03^2 + 0.001^2} = 0.03 \text{ бар}$$

$$0.03 \text{ бар} \ll 2 \text{ бар}$$

- Відносна похибка:

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{\Delta_{\text{ВК}}}{(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})} \cdot 100\% = \frac{0.03}{(6 - 0)} \cdot 100\% = 0.5\%$$

Можу зробити висновок, що похибки приладів, встановлених у вимірювальних каналах, є допустимими та відповідають вимогам точності. Це дає змогу контролювати процеси всередині камери інкубації з максимальною точністю та ефективністю.

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Таблиця 2.2 – Середній час напрацювання на відмову та інтенсивність відмов для усіх елементів ВК

Назва	Тср, год	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год
Датчик температури та вологості від RAUT automatic STH-01 M	75 000	13.3
ПЛК від RAUT automatic MaхуCon Flexy-S2-B1	150 000	6.7
Насос для води Pedrollo 3CR 100XI	40 000	25
Частотний перетворювач SPLC-NLP1000***	200 000	5
ТЕН з нержавіючої сталі "Малий"	20 000	50
Твердотільне реле SSR-40 DA FOTEK	500 000	2
Заслінка IRIS-S Stainless Steel Damper	200 000	5
Привод Belimo UM24Y-SR-R (-L)	100 000	10
Вентилятор Ziehl-Abegg FC - FC080-VDA.7Q.V4	60 000	16.7
Форсунка для туманоутворення 0.5mm Italia	20 000	50
Диференційне реле тиску від danfoss RT263A	100 000	10

Тепер за даними таблиці 2.2 проведемо розрахунки:

- ВК температури всередині камери інкубації:

- Середній час напрацювання ВК на відмову:

$$\begin{aligned}\frac{1}{T_{\text{ср}}} &= \frac{M_1}{T_1} + \dots + \frac{M_n}{T_n} \\ &= \frac{1}{75000} + \frac{1}{150000} + \frac{1}{20000} + \frac{1}{500000} + \frac{2}{200000} \\ &\quad + \frac{2}{100000} + \frac{1}{60000} = 118.7 \cdot 10^{-6}\end{aligned}$$

$$T_{\text{ср}} = 8424 \text{ год}$$

- Імовірність безвідмовної роботи за 1000 годин:

$$P_{\delta}(\tau) = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{\frac{-1000}{8424}} \cdot 100\% = 88.8\%$$

- Середній час відновлення роботоспроможності ВК:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} = \frac{8424}{8424 + 23} = 0.997$$

$$T_{\text{вр}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = \frac{8424}{0.997} - 8424 = 25.3$$

- ВК вологості всередині камери інкубації:

- Середній час напрацювання ВК на відмову:

$$\begin{aligned}\frac{1}{T_{\text{ср}}} &= \frac{M_1}{T_1} + \dots + \frac{M_n}{T_n} \\ &= \frac{1}{150000} + \frac{1}{40000} + \frac{1}{200000} + \frac{1}{100000} + \frac{2}{200000} \\ &\quad + \frac{2}{100000} + \frac{1}{60000} + \frac{1}{20000} = 146.7 \cdot 10^{-6}\end{aligned}$$

$$T_{\text{ср}} = 6817 \text{ год}$$

- Імовірність безвідмовної роботи за 1000 годин:

$$P_{\delta}(\tau) = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{\frac{-1000}{6817}} \cdot 100\% = 86.3\%$$

- Середній час відновлення роботоспроможності ВК:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} = \frac{6817}{6817 + 30} = 0.996$$

$$T_{\text{вр}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = \frac{6817}{0.996} - 6817 = 27.3$$

- ВК перепаду тиску на насосі:

- Середній час напрацювання ВК на відмову:

$$\frac{1}{T_{\text{ср}}} = \frac{M_1}{T_1} + \dots + \frac{M_n}{T_n} = \frac{1}{150000} + \frac{1}{40000} + \frac{1}{200000} + \frac{1}{100000}$$

$$= 46.7 \cdot 10^{-6}$$

$$T_{\text{ср}} = 21413 \text{ год}$$

- Імовірність безвідмовної роботи за 1000 годин:

$$P_{\delta}(\tau) = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{\frac{-1000}{21413}} \cdot 100\% = 95.4\%$$

- Середній час відновлення роботоспроможності ВК:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} = \frac{21413}{21413 + 10} = 0.9995$$

$$T_{\text{вр}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = \frac{21413}{0.9995} - 21413 = 10.7$$

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

В АСУТП, що застосовуються для контролю мікроклімату в інкубаторах на птицефабриках, первинна обробка даних вимірювання є критично важливою для забезпечення точності та ефективності управління. Основні функції первинної обробки даних в ПЛК включають:

1. **Зчитування вхідних сигналів:** ПЛК отримує вхідні сигнали з датчиків або інших вимірювальних пристроїв, які можуть бути як аналоговими (температура, вологість), так і дискретними (реле перепаду тиску). Дані зчитуються з високою частотою, щоб забезпечити своєчасне реагування на зміну параметрів мікроклімату;

2. **Фільтрація шумів:** Для забезпечення точності вимірювань ПЛК використовує фільтри для видалення шумів та інтерференцій, які можуть впливати на сигнал;
3. **Апроксимація:** Перетворення вхідних даних до кусочно-лінійної форми для спрощення подальшої обробки. Включає лінеаризацію нелінійних характеристик вимірювальних пристроїв;
4. **Порівняння:** Перевірка вхідних значень на відповідність заданим межах або пороговим значенням і виконання відповідних дій, якщо значення перевищують або не досягають цих меж;
5. **Перетворення одиниць виміру:** Перетворення вхідних сигналів, вимірюваних в різних одиницях, до єдиної системи для подальшої обробки та аналізу;
6. **Обчислення:** Виконання математичних розрахунків і логічних операцій на основі вхідних даних. Це може включати сумування, віднімання, множення, ділення, а також логічні операції І, АБО, НЕ;
7. **Алармування:** Створення подій тривоги (алармів), які можуть бути технологічними (попереджувальними) або аварійними;
8. **Аналітика:** Статистичний аналіз, що включає виділення мінімальних, максимальних і середніх значень, а також розрахунок дисперсії;
9. **Лічильник:** Математичне збільшення та зменшення числа, включаючи обрахування дискретних подій до заданого значення лічильника;
10. **Таймер:** Реалізація часових затримок, визначених значенням уставки таймеру. Використовується, наприклад, для відліку закриття/відкриття заслінок;
11. **Генератор:** Створення аналогових і дискретних даних для моделювання. Вони можуть бути сталими або періодичними;

12. Інтегрування: Лінійне інтегрування параметра для визначення площі під кривою зміни параметра;

13. Гістерезис: Реалізація області нечутливості та області повернення для забезпечення стабільності системи;

14. Масштабування: Лінійна трансформація вхідного сигналу для приведення його до зручного діапазону, що дозволяє полегшити подальшу обробку.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів

Вимірювальні канали, що використовуються для контролю температури та вологості в інкубаційній камері, базуються на датчику STN-01 M від RAUT automatic з класом точності для температури 0.4% та для вологості 3%. Вихідний сигнал датчика (0-10 В) забезпечує високу точність вимірювань:

- Абсолютна похибка для температури: 0.21°C при допустимій похибці 0.3°C;
- Абсолютна похибка для вологості: 2.5% при допустимій похибці 5%.

Також є вимірювальний канал перепаду тиску на насосі, який базується на реле диференційного тиску RT263AL від Danfoss з класом точності 0.5. Має дискретний вихідний сигнал, а також точний механізм вимірювання всередині реле:

- Абсолютна похибка для перепаду тиску: 0.03 бар при допустимому перепаді 2 бар.

Таким чином, вимірювальні канали забезпечують високу точність вимірювань, що відповідає вимогам проєкту.

Надійність вимірювальних каналів була оцінена за допомогою розрахунків середнього часу напрацювання на відмову ($T_{ср}$) та

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		32

імовірності безвідмовної роботи. Для вимірювальних каналів температури та вологості було отримано наступні результати:

- ВК температури: $T_{ср} = 8424$ год, імовірність безвідмовної роботи за 1000 годин становить 88.8%;
- ВК вологості: $T_{ср} = 6817$ год, імовірність безвідмовної роботи за 1000 годин становить 86.3%;
- ВК перепаду тиску: $T_{ср} = 21413$ год, імовірність безвідмовної роботи за 1000 годин становить 95.4%.

Ці показники свідчать про високу надійність вимірювальних каналів, що забезпечує стабільну роботу системи автоматичного регулювання мікроклімату в інкубаційній камері.

Первинна обробка сигналів в ПЛК включає такі функції як зчитування входних сигналів, фільтрація шумів, апроксимація, порівняння, перетворення одиниць виміру, обчислення, алармування та інші. Ці функції дозволяють забезпечити точність та ефективність управління мікрокліматом в інкубаційній камері.

Враховуючи високі вимоги до точності та надійності вимірювальних каналів, реалізація функцій первинної обробки сигналів в ПЛК є необхідною. Це забезпечить стабільну та ефективну роботу системи автоматичного регулювання, що є критично важливим для успішної інкубації яєць на птахофабриці.

Таким чином, вимірювальні канали системи автоматичного регулювання мікроклімату в інкубаційній камері є роботоздатними, забезпечують необхідну точність та надійність, а також потребують реалізації функцій первинної обробки сигналів в ПЛК для забезпечення стабільної та ефективної роботи системи.

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		33

2.2 Інженерні розрахунки регульовано-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

Реалізовано дві системи автоматичного регулювання:

- Контур автоматичного регулювання температури всередині камери інкубації;
- Контур автоматичного регулювання вологості всередині камери інкубації.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

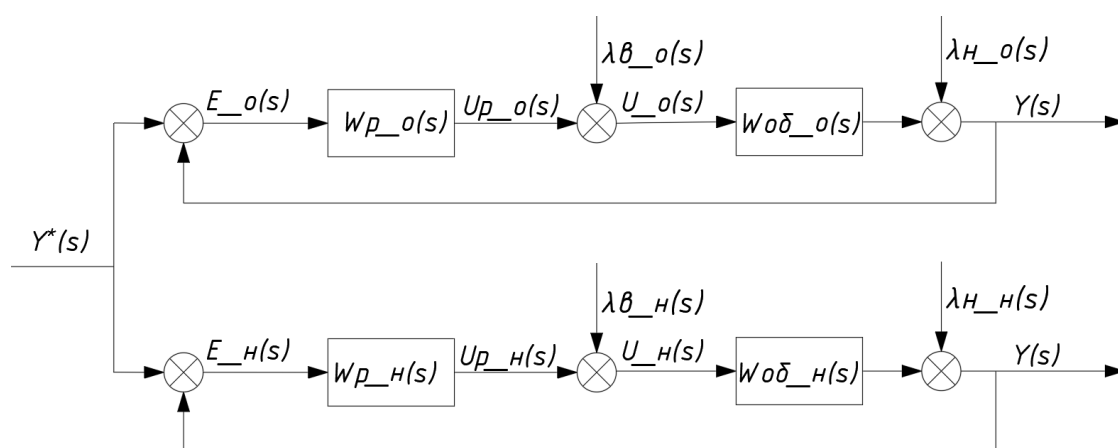


Рисунок 2.6 – Структурна схема САР температури повітря в інкубаторі

s – оператор Лапласа (оператор диференціювання $\frac{d}{dt}$).

$Wp_o(s)$, $Wp_h(s)$ – передавальна функція регулятора.

$Wob_o(s)$, $Wob_h(s)$ – передавальна функція об'єкту.

$Y^*(s)$ – задане значення температури.

$Y(s)$ – поточне значення температури.

$E_o(s)$, $E_h(s) = [Y^*(s) - Y(s)]$ – розбаланс температури.

$\lambda_{b_o}(s)$, $\lambda_{b_h}(s)$ – збурення зі сторони нагрівача.

$\lambda_{h_o}(s)$, $\lambda_{h_h}(s)$ – збурення зі сторони навантаження.

$Up_o(s)$, $Up_h(s)$ – керуюча дія від регулятора.

$U_o(s)$, $U_h(s)$ – управляюча дія на об'єкт управління.

Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

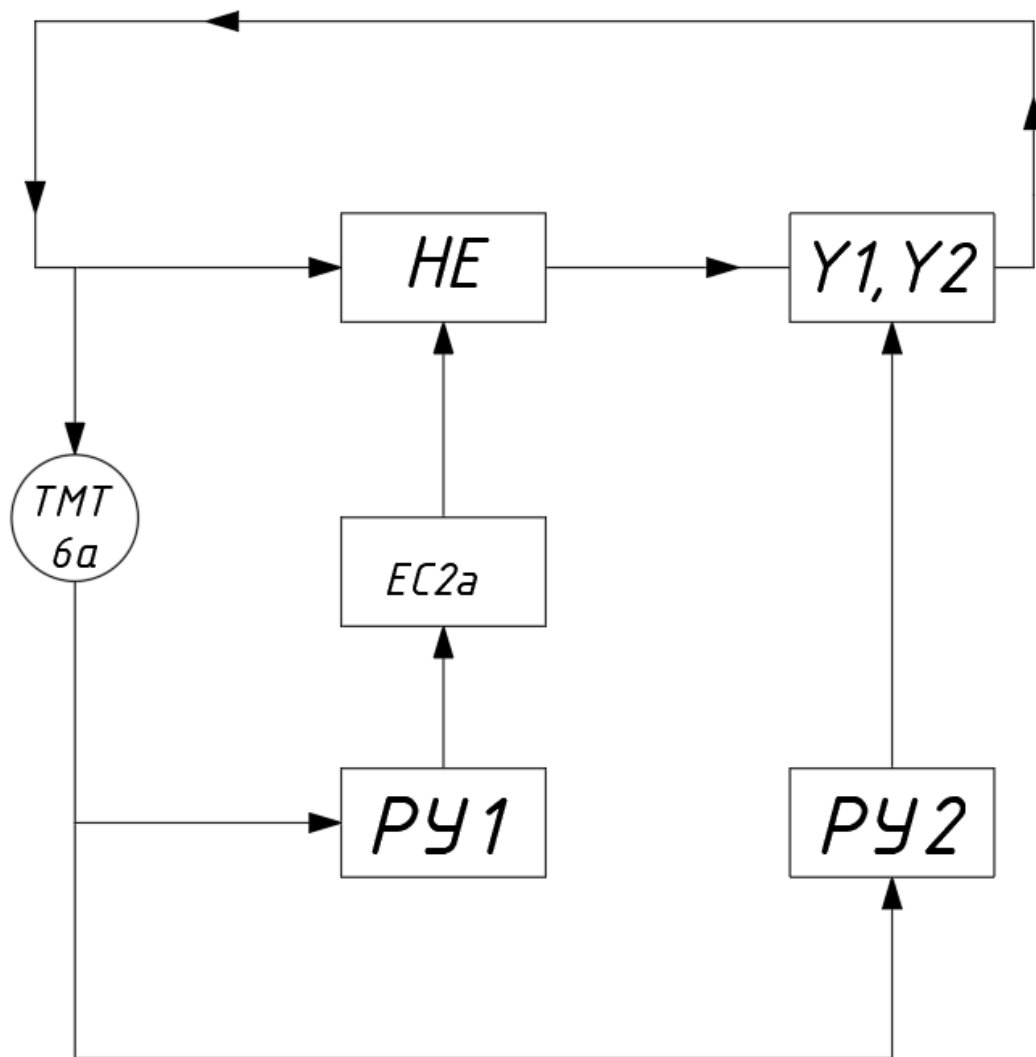


Рисунок 2.7 – Функціональна схема САР температури повітря в інкубаторі

TMT6a – датчик температури.

EC2a – твердотільне реле.

HE – нагрівальний елемент (ТЕН).

Y1, Y2 – заслінки.

PY1, PY2 – ПІ регулятори.

Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

ТА-02433.009.001.АТХ.П

Лист

35

2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

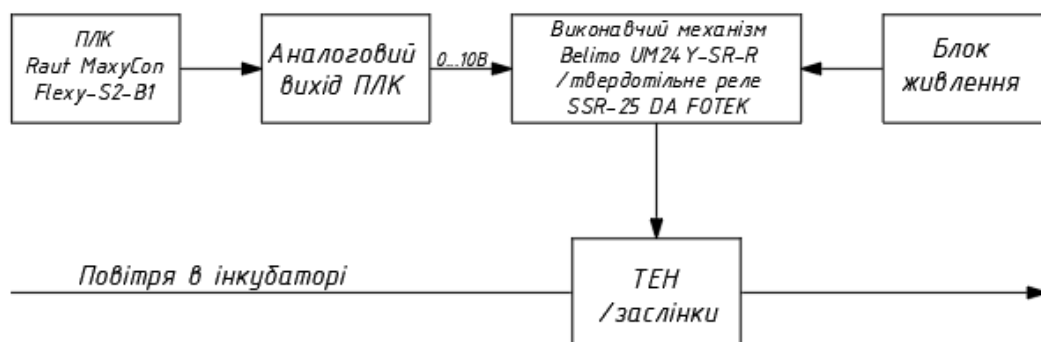


Рисунок 2.8 – Схема структурна регульовано-виконавчого каналу САР

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

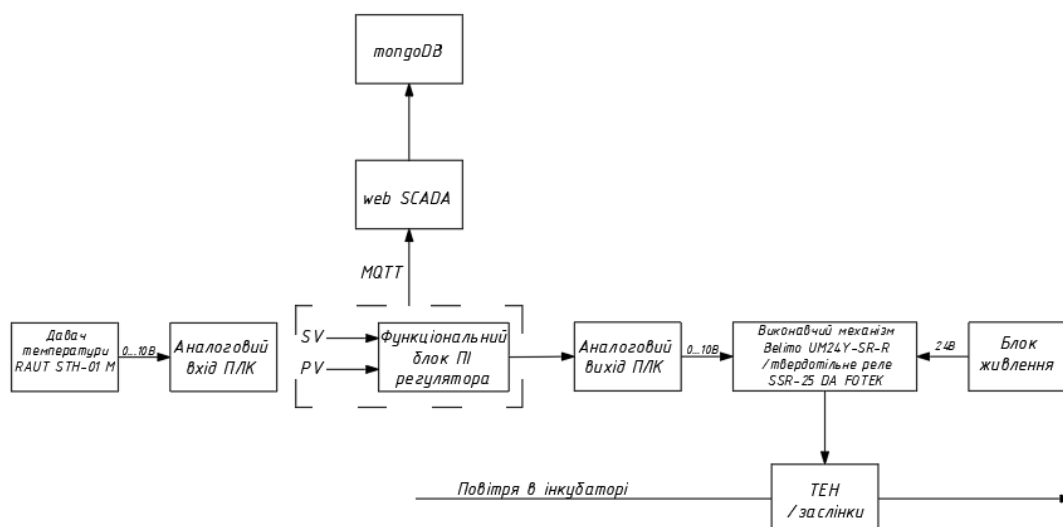


Рисунок 2.9 – Схема структурна програмно-технічних засобів САР

SV – уставка температури в інкубаторі.

PV – виміряне значення з датчика температури.

Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

ТА-02433.009.001.АТХ.П

Лист

36

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

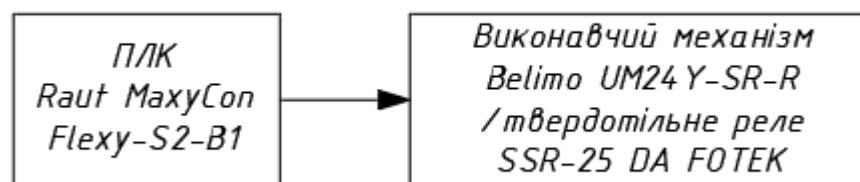


Рисунок 2.10 – Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Таблиця 2.3 – Середній час напрацювання на відмову та інтенсивність відмов для усіх елементів управляючої функції

Назва	Тср, год	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год
ПЛК від RAUT automatic MaxyCon Flexy-S2-B1	150 000	6.7
Частотний перетворювач SPLC-NLP1000***	200 000	5
Привод Belimo UM24Y-SR-R (-L)	100 000	10
Датчик температури та вологості від RAUT automatic STH-01 M	75 000	13.3
Твердотільне реле SSR-40 DA FOTEK	500 000	2

- РВК температури всередині камери інкубації:
 - Середній час напрацювання РВК на відмову:

$$\frac{1}{T_{\text{ср}}} = \frac{M_1}{T_1} + \dots + \frac{M_n}{T_n} = \frac{1}{150000} + \frac{1}{200000} + \frac{2}{100000} + \frac{1}{75000} + \frac{1}{500000}$$

$$= 47 \cdot 10^{-6}$$

$$T_{\text{ср}} = 21277 \text{ год}$$

- Імовірність безвідмовної роботи за 1000 годин:

$$P_{\delta}(\tau) = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{\frac{-1000}{21277}} \cdot 100\% = 95.4\%$$

- Середній час відновлення роботоспроможності РВК:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} = \frac{21277}{21277 + 10} = 0.9995$$

$$T_{\text{вр}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = \frac{21277}{0.9995} - 21277 = 10.6$$

За отриманих результатів можна зробити висновок, що РВК температури повітря в середині інкубатору має достатньо високу надійність.

2.2.7 Ідентифікатор об'єкта управління

Даний об'єкт є об'єктом із самовирівнюванням. Для нього обрана стандартна модель ОУ з двома аперіодичними ланками 1-го порядку та двома ланками транспортного запізнення. Такий об'єкт має два контури:

- Контур нагріву повітря:
 - $K_{\text{об}} = 2.2 \text{ } ^\circ\text{C}/\%$
 - $T_{\text{об}} = 118 \text{ с}$
 - $\tau = 2 \text{ с}$

- Контур охолодження повітря:

- $K_{об} = 0.18 \text{ }^{\circ}\text{C}/\%$
- $T_{об} = 62\text{с}$
- $\tau = 2 \text{ с}$

Динамічні характеристики були взяті з використанням літератури та за допомогою деяких додаткових обрахунків.

2.2.8 Розрахунок регуляторів САР

Так як було обрано дві одноконтурні САР, розглянемо спочатку контур нагріву повітря.

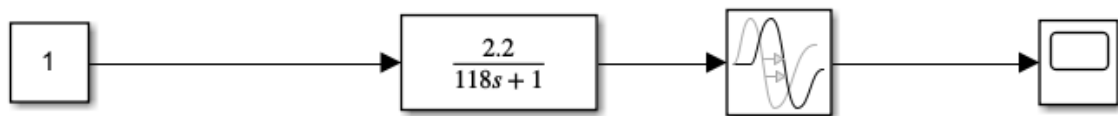


Рисунок 2.10 – Модель об'єкта

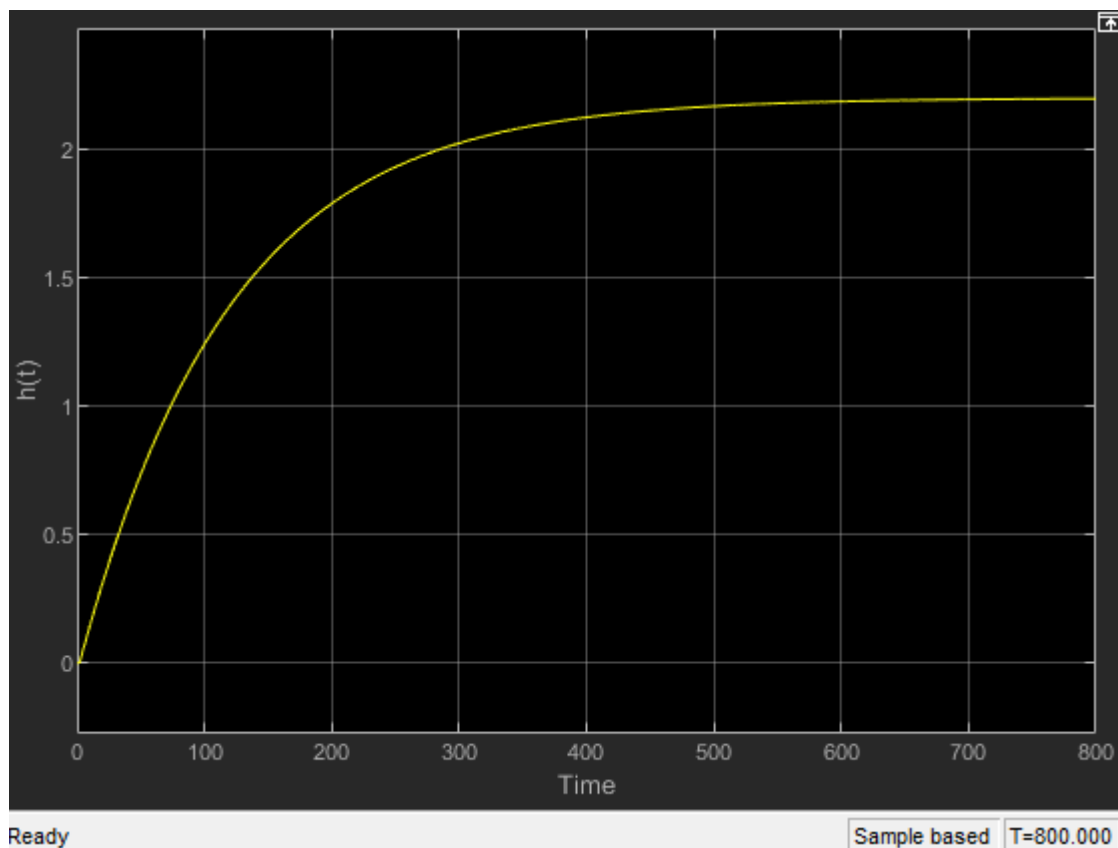


Рисунок 2.11 – Крива розгону об'єкта

Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

ТА-02433.009.001.АТХ.П

Лист

39

2.2.8.1 Метод РАФХ для контуру нагріву повітря

Код m-файлу

```
w=0:0.0001:0.58;
```

```
m=0.485;
```

```
W=(2.2.*exp(-2*(-m*w+1j*w)))/(118*(-m*w+1j*w)+1);
```

```
Re=real(W);
```

```
Im=imag(W);
```

```
Kp=-(m*Im+Re)/(Im.^2+Re.^2);
```

```
Ki=-w*(m.^2+1).*Im/(Im.^2+Re.^2);
```

```
plot(Kp,Ki,'-k');
```

```
ylabel('Ki');
```

```
xlabel('Kp');
```

```
grid on;
```

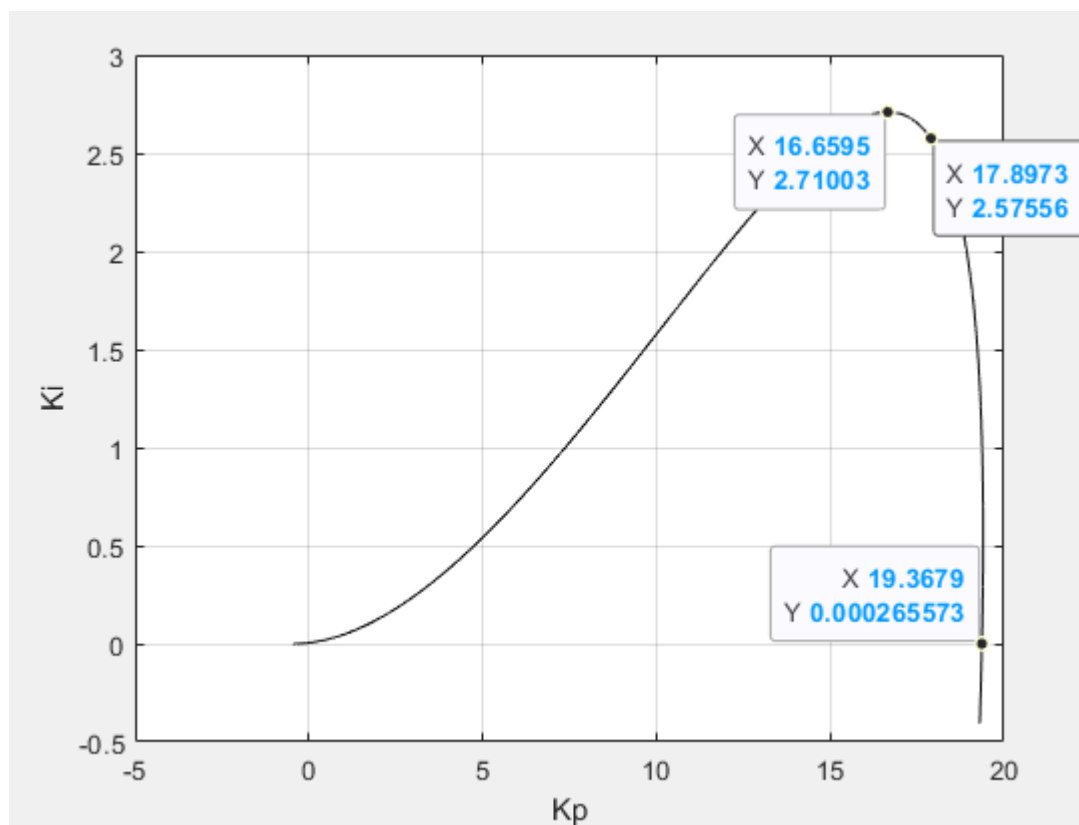


Рисунок 2.12 – Крива для степені коливальності $m = 0.485$

Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

ТА-02433.009.001.АТХ.П

Лист

40

З кривої отримуємо, що $K_{i_max} = 2.71$, $0.95 K_{i_max} = 2.58$, а також $K_{p_opt} = 19.37$. Так як був обраний ПІ-регулятор, можемо побудувати схему контуру.

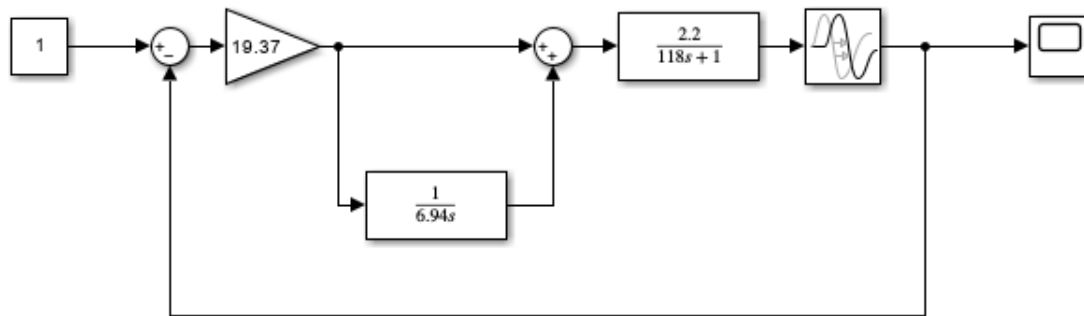


Рисунок 2.13 – Схема контуру за каналом «завдання-вихід»

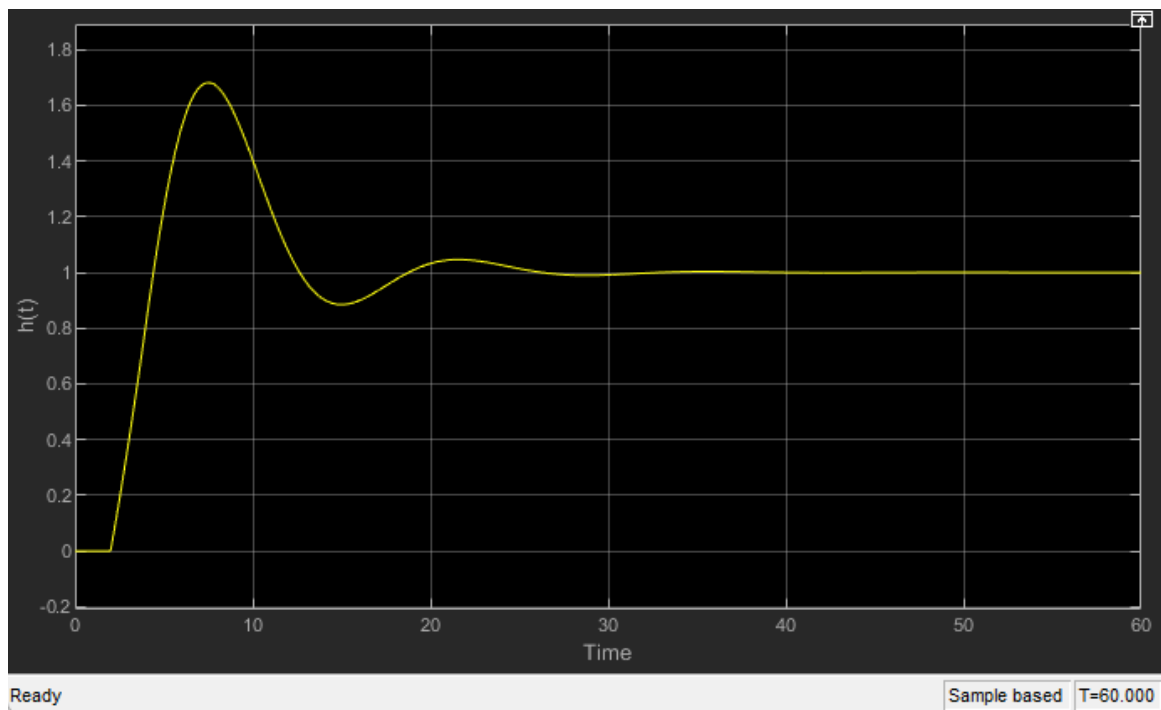


Рисунок 2.14 – Графік перехідного процесу у контурі за каналом «завдання-вихід»

Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

ТА-02433.009.001.АТХ.П

Лист

41

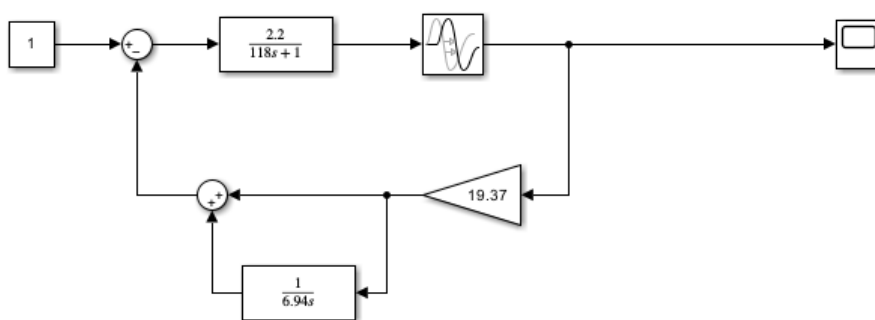


Рисунок 2.15 – Схема контуру за каналом «збурення-вихід»

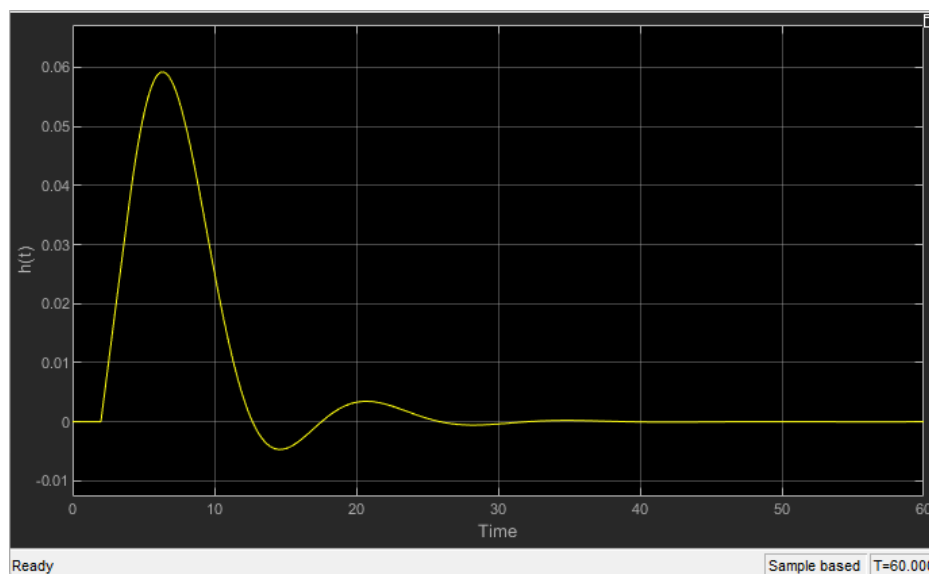


Рисунок 2.16 – Графік перехідного процесу у контурі за каналом «збурення-вихід»

Таблиця 2.4 – Показники якості за каналами «завдання-вихід» та «збурення-вихід»

Показник якості	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка $\Delta_{\text{ст}}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}}$	0.68	0.06
Перерегулювання σ , %	68	8
Степінь затухання ψ	0.93	0.94
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	17	11.7

2.2.8.2 Експрес метод для контуру нагрівання повітря

Rule	K_c	T_i	Comment
Fruehauf <i>et al.</i> (1993). Model: Method 2	$\frac{0.5556T_m}{\tau_m K_m}$	$5\tau_m$	$\frac{\tau_m}{T_m} < 0.33$
	$\frac{0.5T_m}{\tau_m K_m}$	T_m	$\frac{\tau_m}{T_m} \geq 0.33$

Рисунок 2.17 – Обраний експрес метод Cohen-Coon

Розрахуємо даним метод параметри для ПІ-регулятора:

$$K_p = \frac{0.5556 \cdot 118}{2 \cdot 2.2} = 14.9$$

$$T_i = 5 \cdot 2 = 10$$

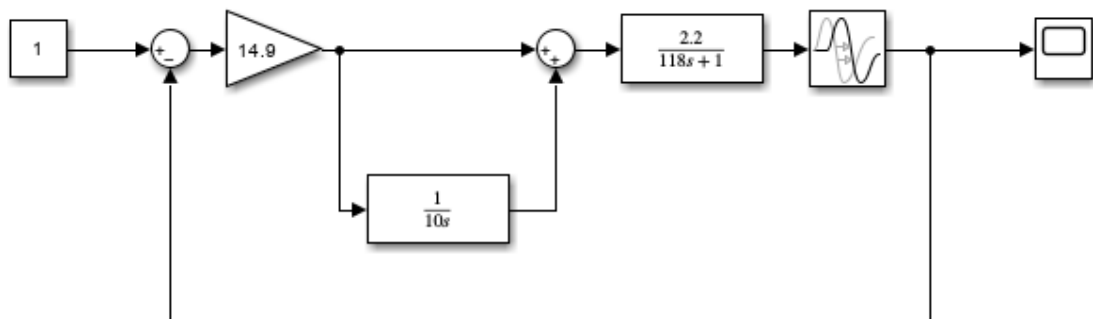


Рисунок 2.18 – Схема контуру за каналом «завдання-вихід»

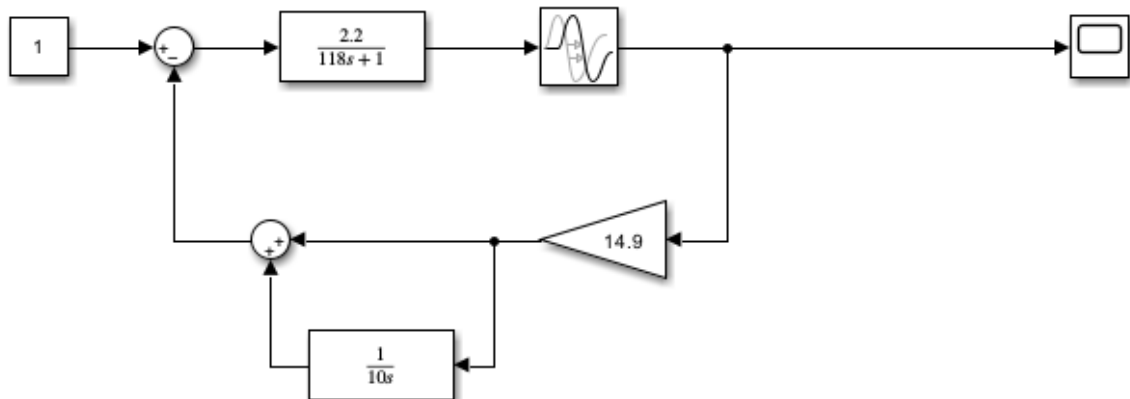


Рисунок 2.19 – Схема контуру за каналом «збурення-вихід»

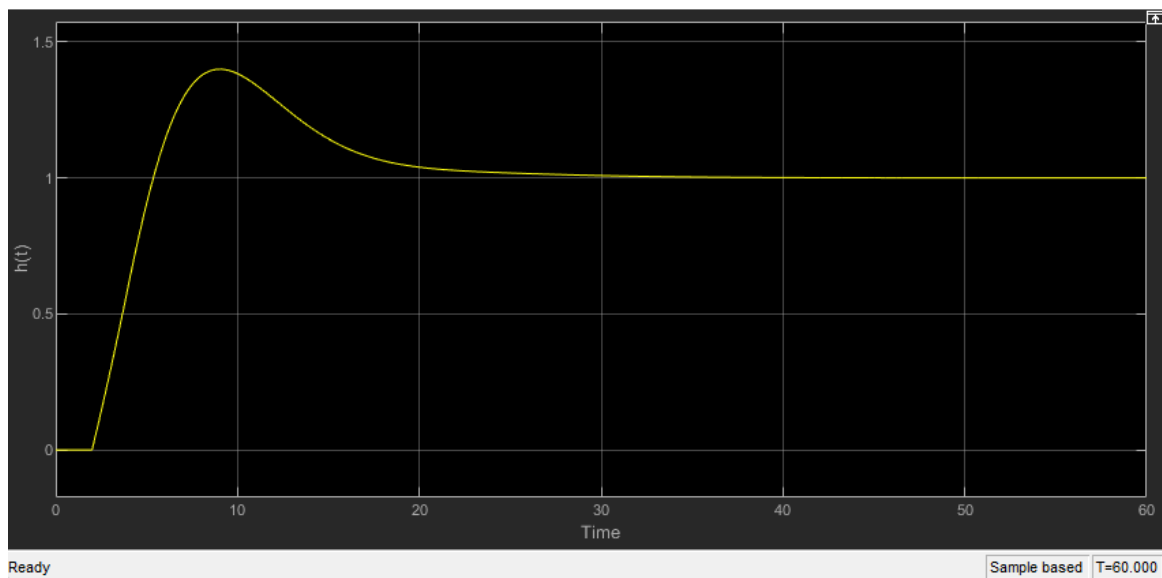


Рисунок 2.20 – Графік перехідного процесу у контурі за каналом
«завдання-вихід»

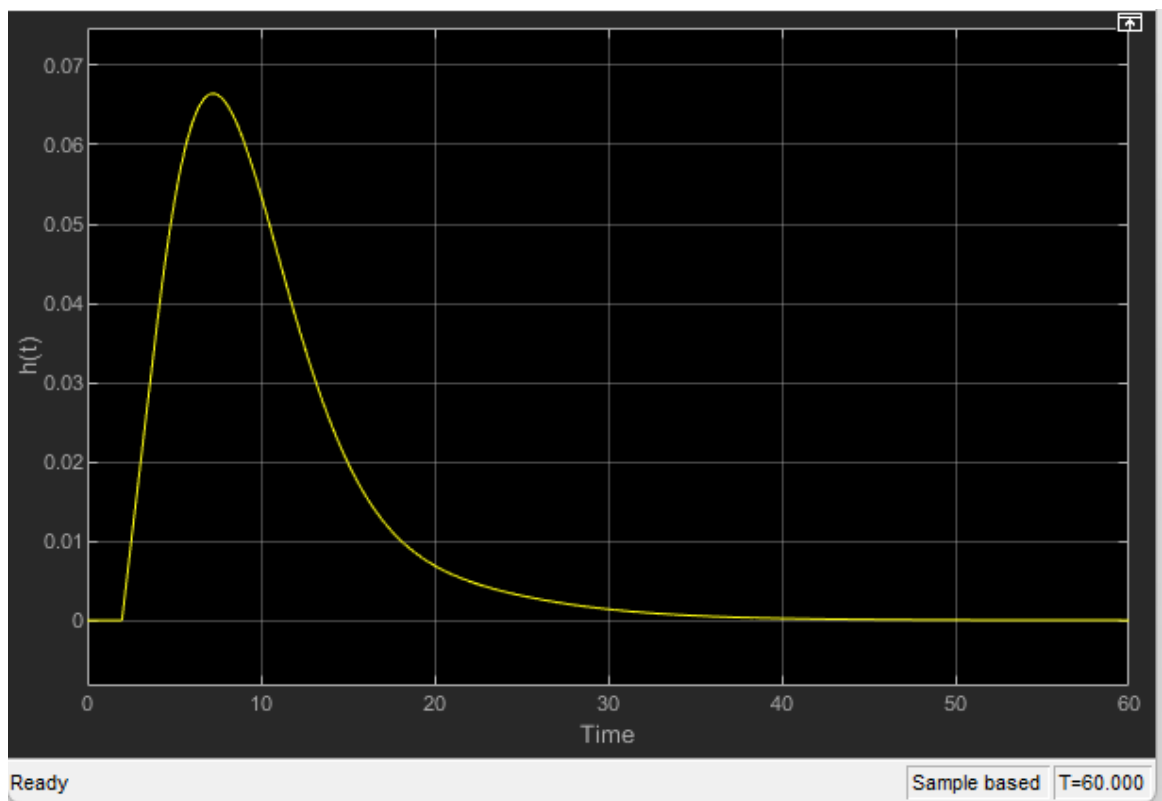


Рисунок 2.21 – Графік перехідного процесу у контурі за каналом
«збурення-вихід»

Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

ТА-02433.009.001.АТХ.П

Лист

44

Таблиця 2.5 – Показники якості за каналами «завдання-вихід» та «збурення-вихід»

Показник якості	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.4	0.066
Перерегулювання σ , %	40	0
Степінь затухання ψ	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	20	20.2

Тепер порівняємо методи розрахунку та визначимо найкращий.

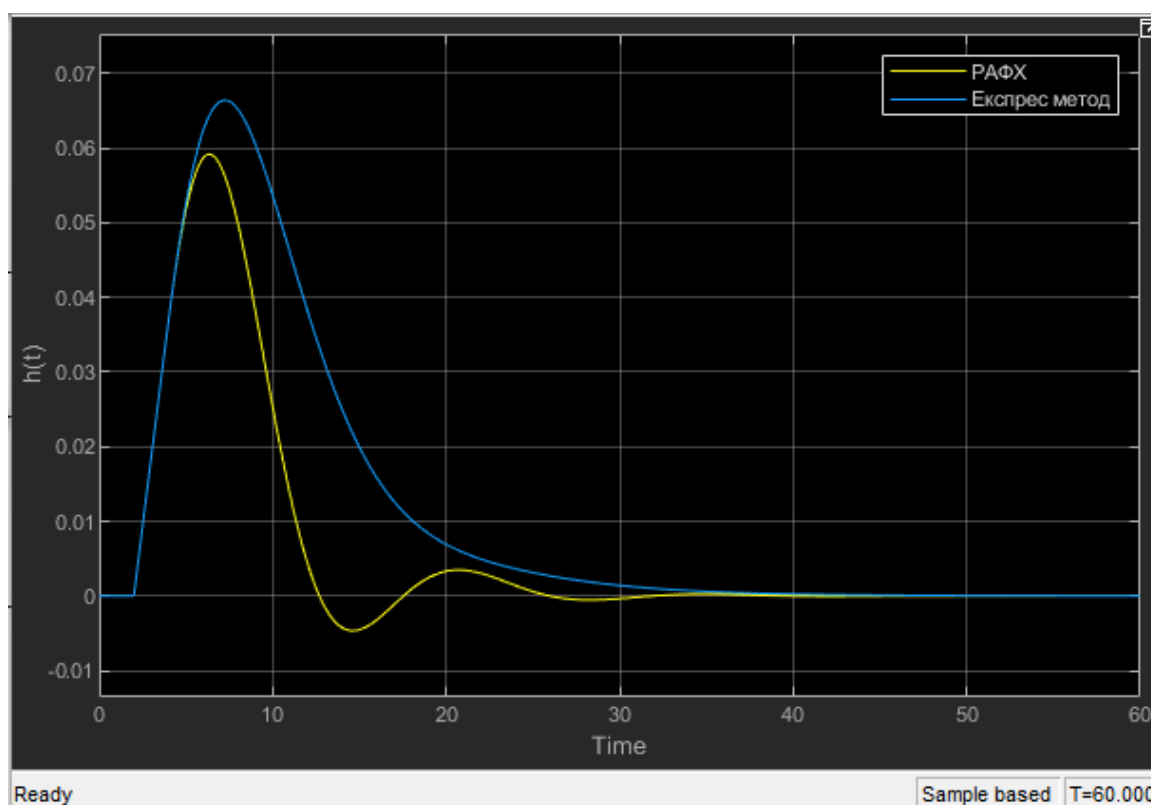


Рисунок 2.22 – Порівняння методів РАФХ та експрес

Таблиця 2.6 – Порівняння методів розрахунку ПІ-регулятора для контуру нагрівання повітря за каналом «збурення-вихід»

Показник якості	РАФХ	Експрес метод
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.06	0.066
Перерегулювання σ , %	8	0
Степінь затухання ψ	0.94	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	11.7	20.2

Можемо побачити, що оптимальним є експрес метод через 0% перерегулювання.

2.2.8.3 Метод РАФХ для контуру охолодження повітря

Побудуємо криву заданої степені коливальності за допомогою MATLAB:

Код m-файлу

```
w=0:0.0001:0.58;
m=0.485;
W=(0.18.*exp(-2*(-m*w+1j*w)))/(62*(-m*w+1j*w)+1);
Re=real(W);
Im=imag(W);
Kp=-(m*Im+Re)/(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im/(Im.^2+Re.^2);
plot(Kp,Ki,'-k');
ylabel('Ki');
xlabel('Kp');
grid on;
```

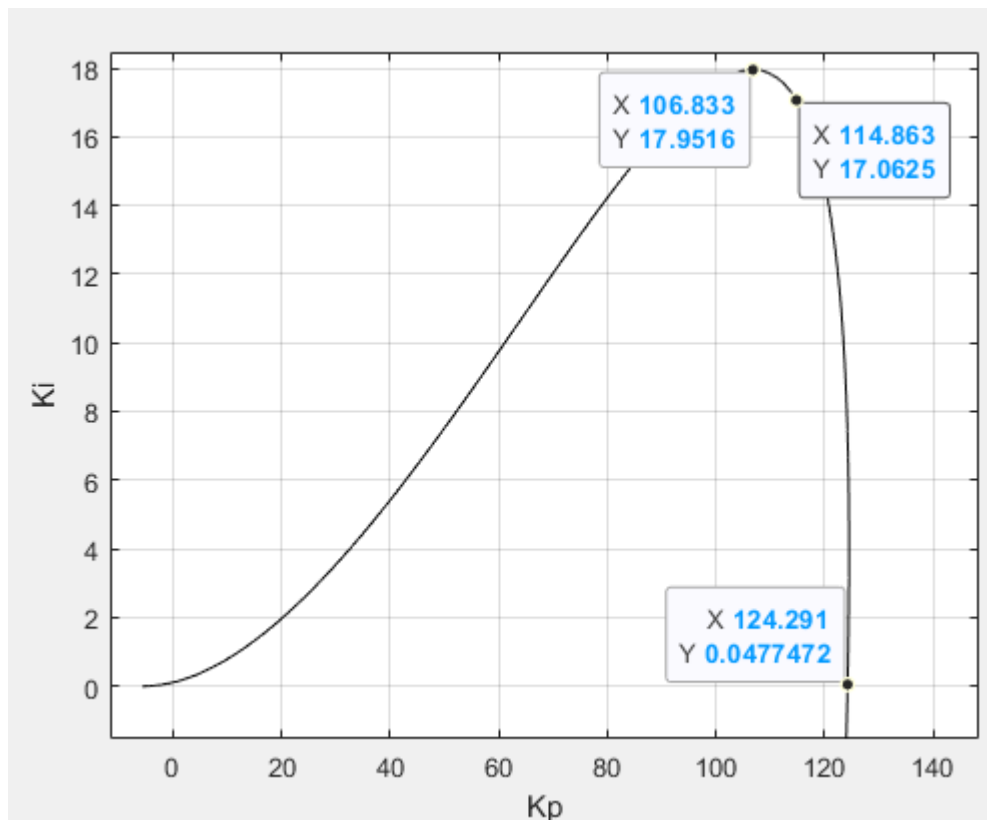


Рисунок 2.23 – Крива необхідної степені коливальності

З кривої отримуємо, що $K_{i_max} = 17.95$, $0.95 K_{i_max} = 17.06$, а також $K_{r_opt} = 124.29$, $T_i = 6.73$. Так як був обраний ПІ-регулятор, можемо побудувати схему контуру.

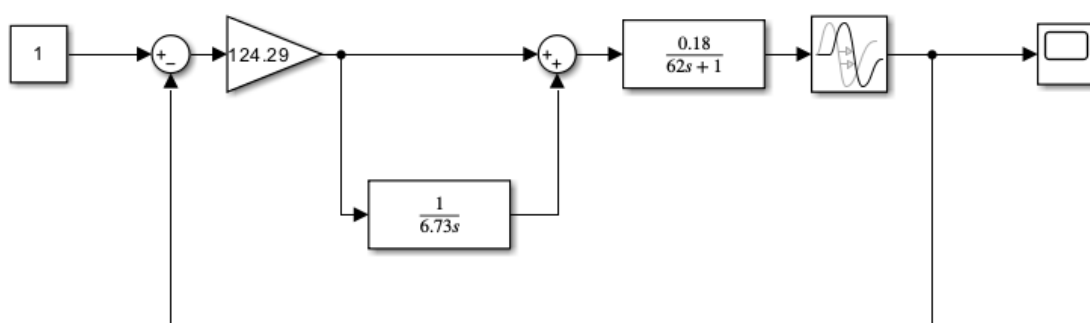


Рисунок 2.24 – Схема САР за каналом «завдання-вихід»

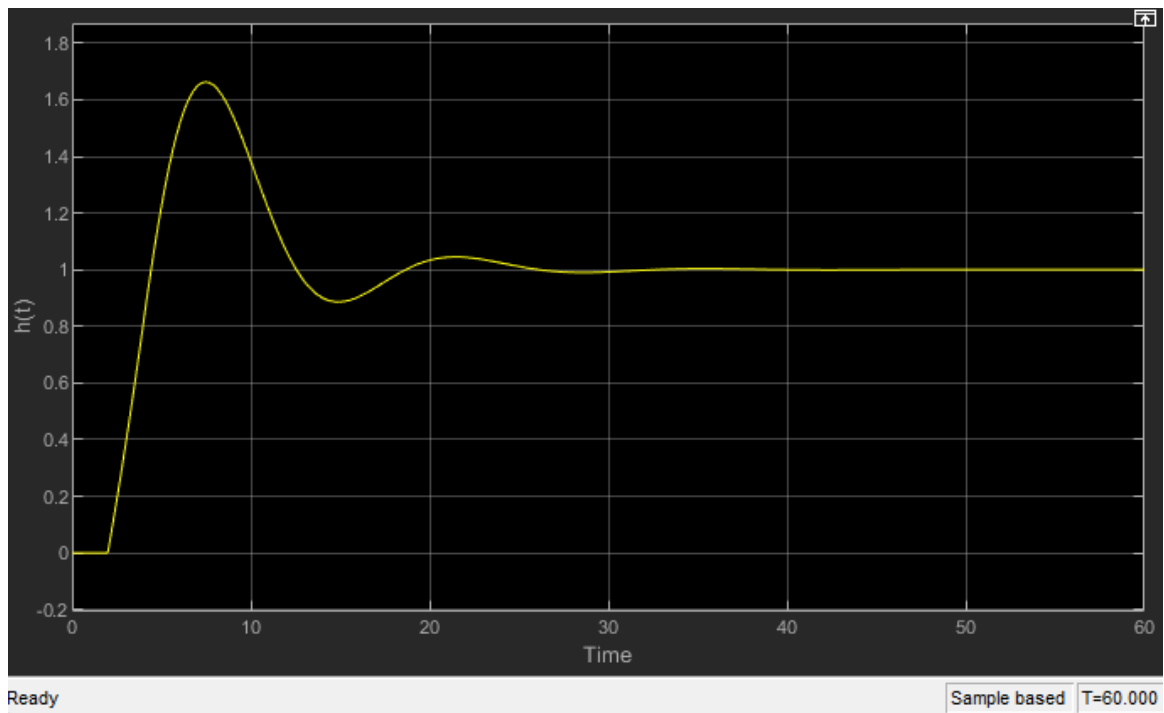


Рисунок 2.25 – Графік перехідного процесу САР за каналом «завдання-вихід»

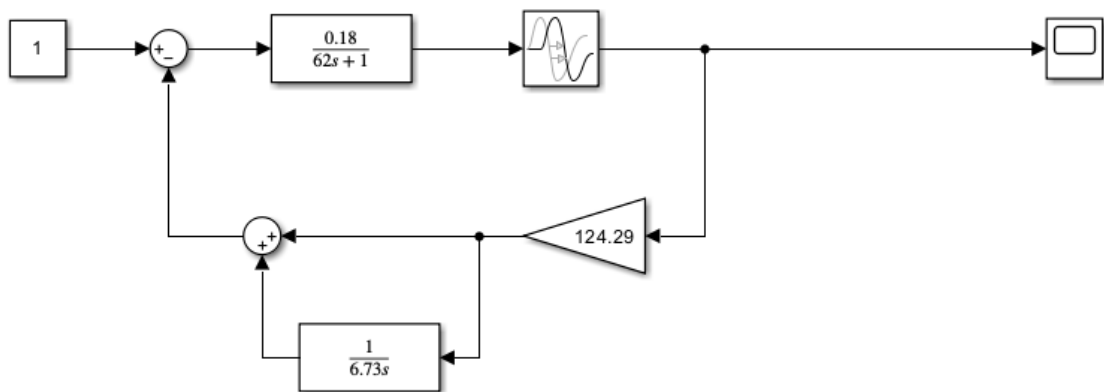


Рисунок 2.26 – Схема САР за каналом «збурення-вихід»

Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

ТА-02433.009.001.АТХ.П

Лист

48

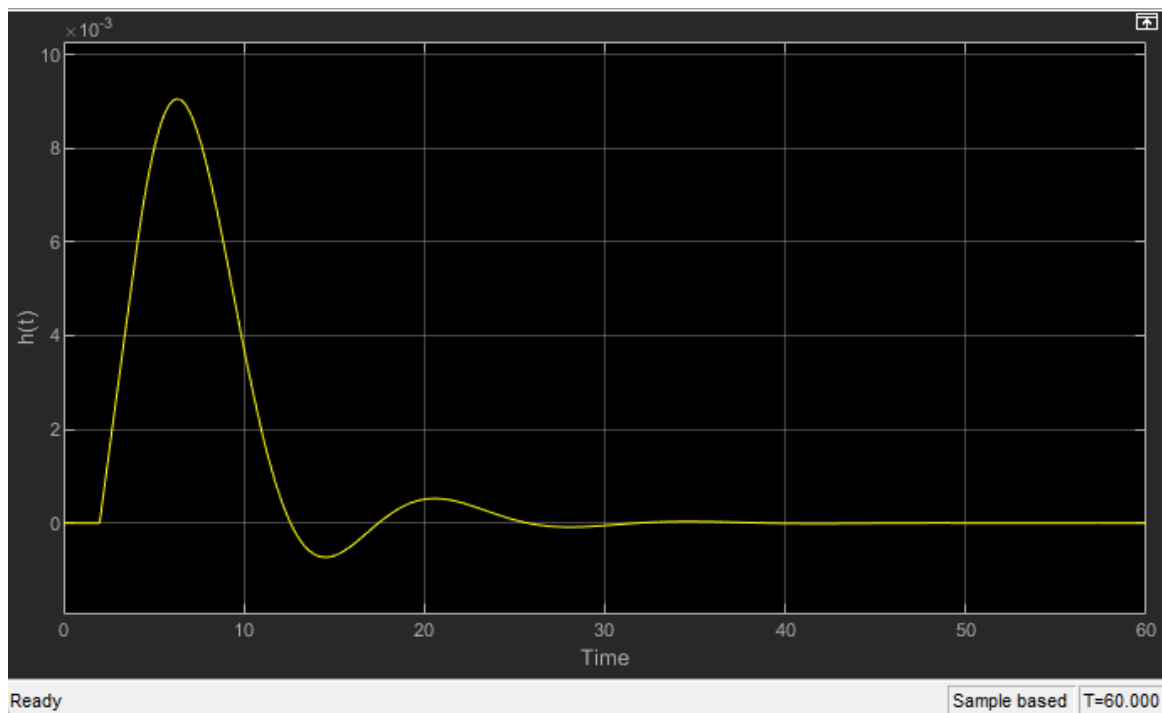


Рисунок 2.27 – Графік перехідного процесу САР за каналом «збурення-вихід»

Таблиця 2.7 – Показники якості за каналами «завдання-вихід» та «збурення-вихід» для САР

Показник якості	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка $\Delta_{\text{ст}}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}}$	0.66	0.009
Перерегулювання σ , %	66	7.8
Степінь затухання ψ	0.93	0.94
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	16.8	11.7

2.2.8.4 Експрес метод для контуру охолодження повітря

Rule	K_c	T_i	Comment
Fruehauf <i>et al.</i> (1993). Model: Method 2	$\frac{0.5556T_m}{\tau_m K_m}$	$5\tau_m$	$\frac{\tau_m}{T_m} < 0.33$
	$\frac{0.5T_m}{\tau_m K_m}$	T_m	$\frac{\tau_m}{T_m} \geq 0.33$

Рисунок 2.28 – Обраний експрес метод Cohen-Coon

Розрахуємо даним метод параметри для ПІ-регулятора:

$$K_p = \frac{0.5556 \cdot 62}{2 \cdot 0.18} = 95.7$$

$$T_i = 5 \cdot 2 = 10$$

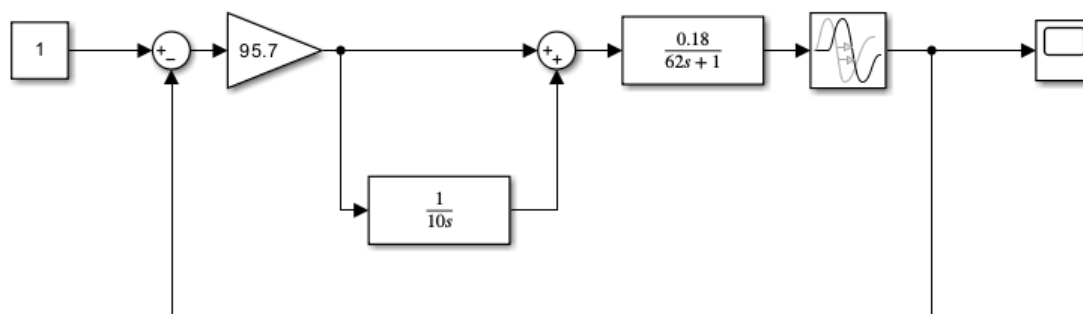


Рисунок 2.29 – Схема САР за каналом «завдання-вихід»

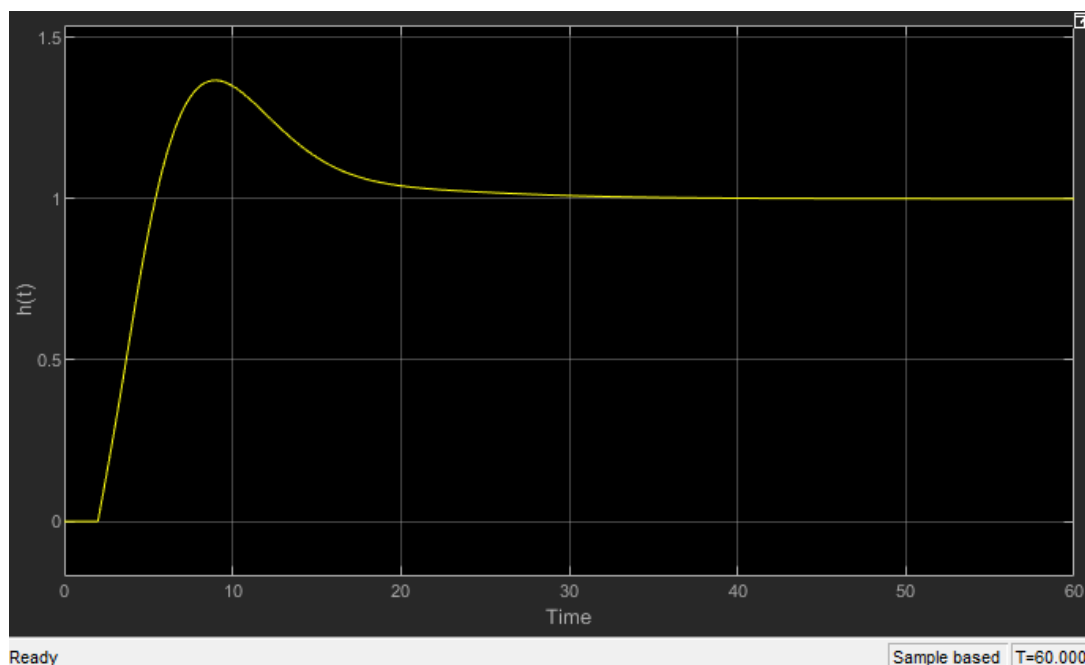


Рисунок 2.30 – Графік перехідного процесу САР за каналом «завдання-вихід»

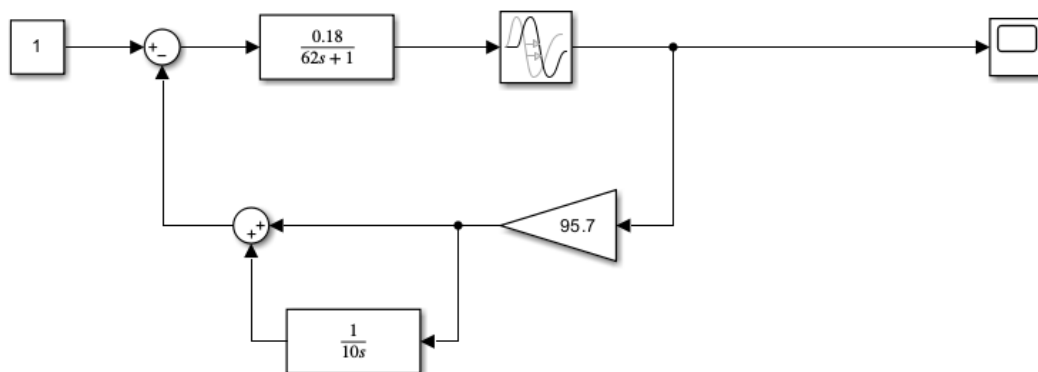


Рисунок 2.31 – Схема САР за каналом «збурення-вихід»

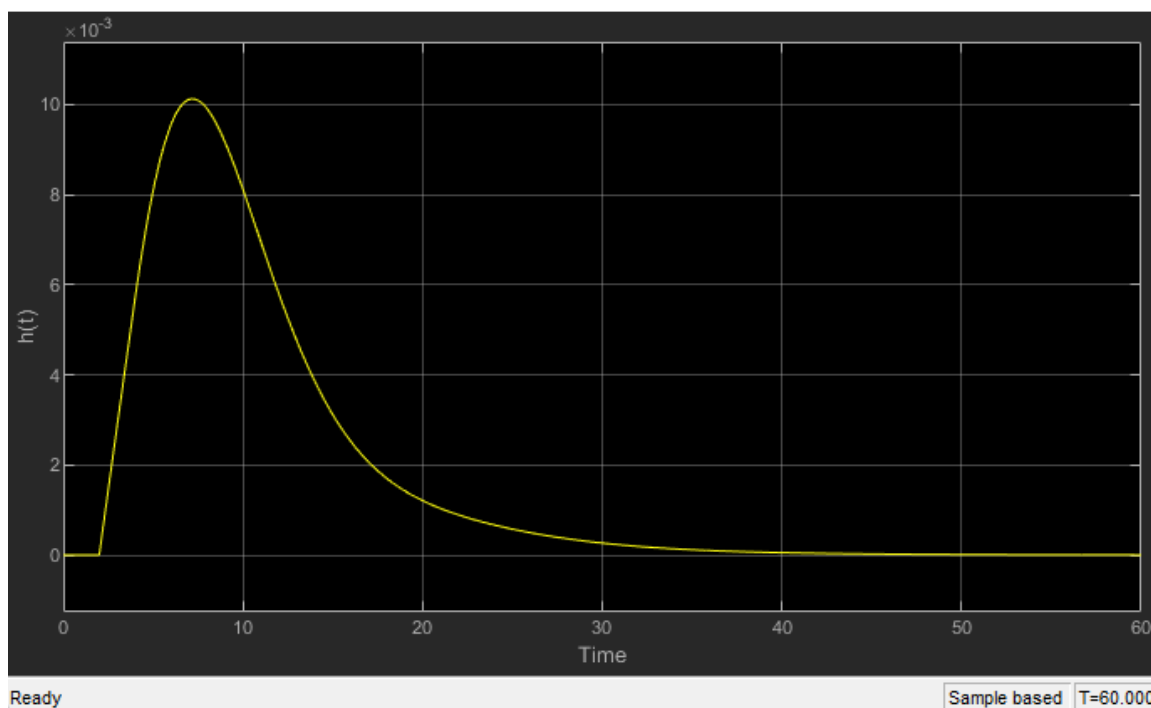


Рисунок 2.32 – Графік перехідного процесу САР за каналом «збурення-вихід»

Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

ТА-02433.009.001.АТХ.П

Лист

51

Таблиця 2.8 – Показники якості за каналами «завдання-вихід» та «збурення-вихід» для САР

Показник якості	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.37	0.01
Перерегулювання σ , %	37	0
Степінь затухання ψ	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	20.5	20.9

Тепер порівняємо методи розрахунку та визначимо найкращий.

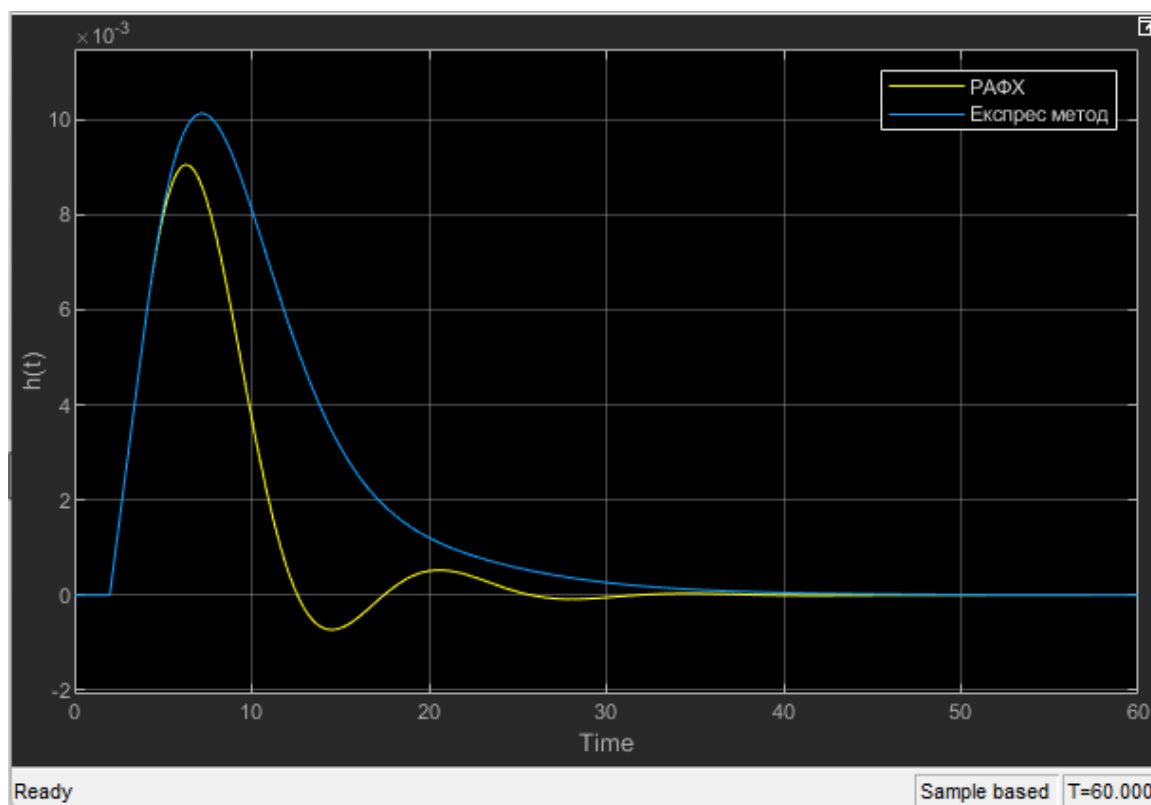


Рисунок 2.33 – Порівняння методів РАФХ та експрес

Таблиця 2.9 – Порівняння методів розрахунку ПІ-регулятора для контуру охолодження повітря за каналом «збурення-вихід»

Показник якості	РАФХ	Експрес метод
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.009	0.01
Перерегулювання σ , %	7.8	0
Степінь затухання ψ	0.94	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	11.7	20.9

Можемо побачити, що оптимальним є експрес метод через 0% перерегулювання.

2.2.9 Функціональне моделювання САР

Перевірка на чутливість об'єкту буде проводитися за каналом «збурення-вихід», так як завдання буде залишатись сталим.

- Зміна $K_{об}$ для контуру нагрівання повітря

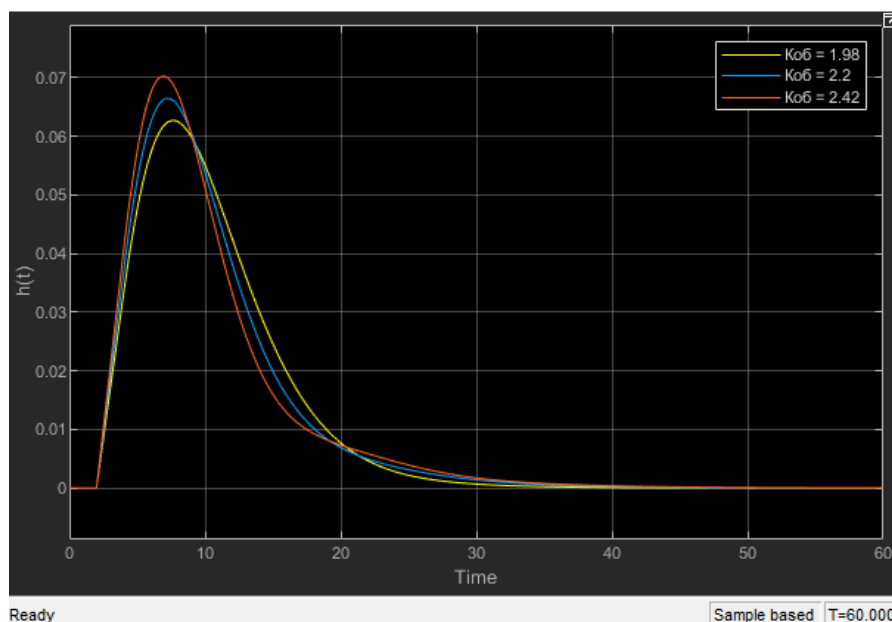


Рисунок 2.34 – Графік перехідного процесу при збуренні $K_{об}$ контуру нагрівання повітря

Таблиця 2.10 – Показники якості при збуренні $K_{об}$ контуру нагрівання повітря

Показник якості	$K_{об} = 1.98$	$K_{об} = 2.2$	$K_{об} = 2.42$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.063	0.066	0.07
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Степінь згасання ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	20.7	20.2	20.3

- Зміна $K_{об}$ для контуру охолодження повітря

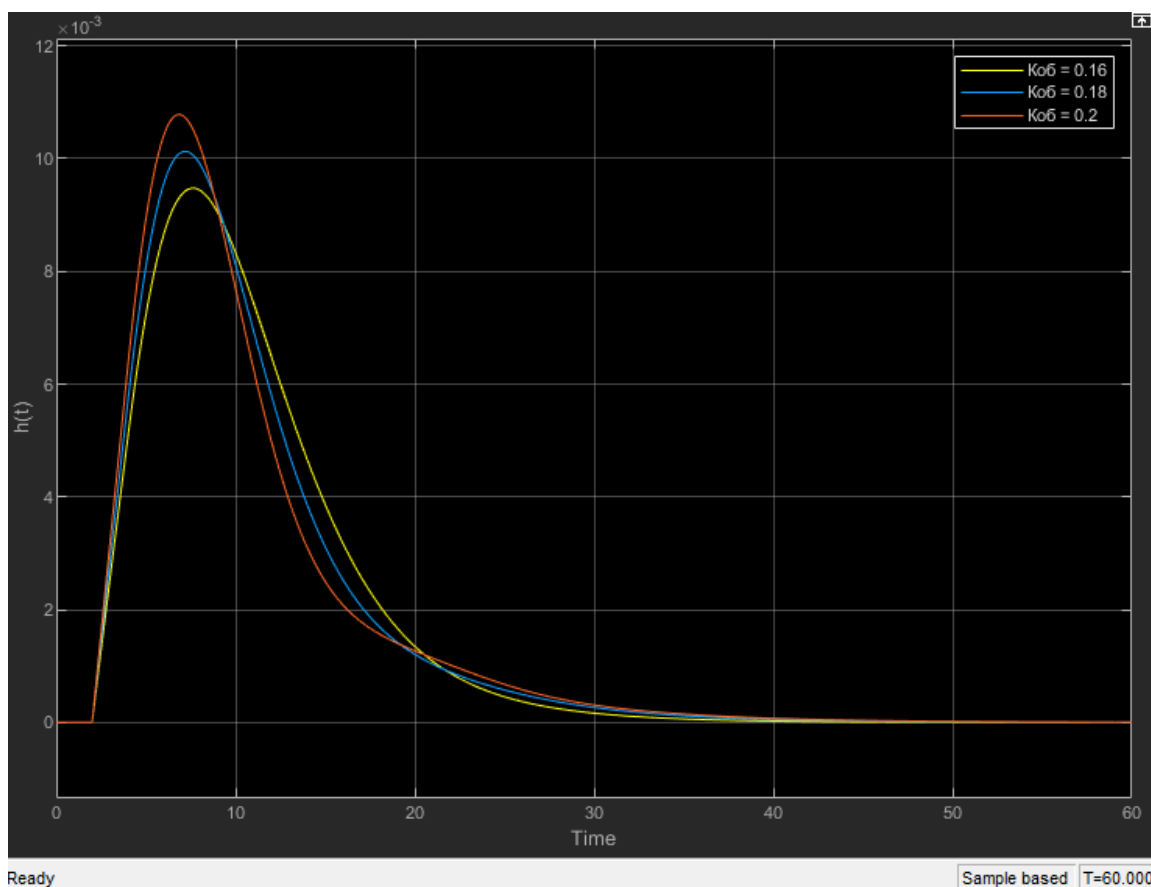


Рисунок 2.35 – Графік перехідного процесу при збуренні $K_{об}$ для контуру охолодження повітря

Таблиця 2.11 – Показники якості при збурені $K_{об}$ для контуру охолодження повітря

Показник якості	$K_{об} = 0.16$	$K_{об} = 0.18$	$K_{об} = 0.2$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.009	0.01	0.011
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Степінь затухання ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	21.6	20.9	21.6

- Зміна $T_{об}$ для контуру нагрівання повітря

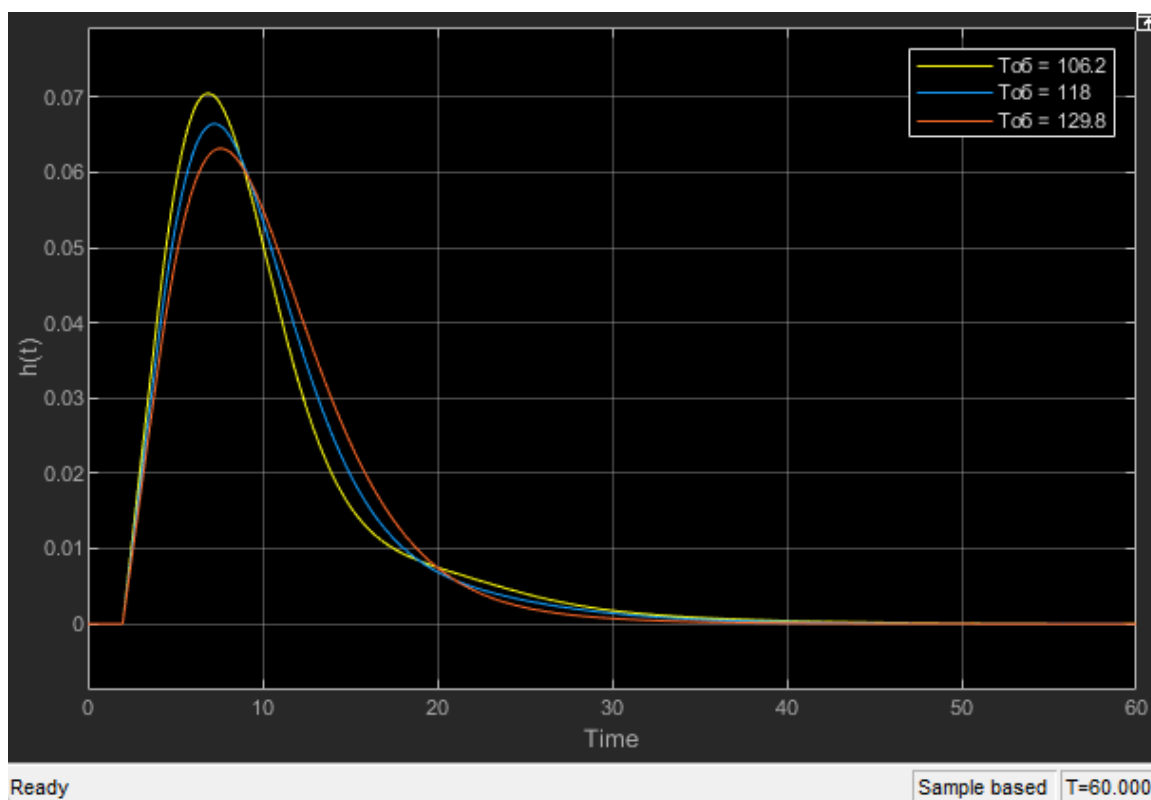


Рисунок 2.36 – Графік перехідного процесу при зміні $T_{об}$ для контуру нагрівання повітря

Таблиця 2.12 – Показники якості при зміні $T_{об}$ для контуру нагрівання повітря

Показник якості	$T_{об} = 106.2$	$T_{об} = 118$	$T_{об} = 129.8$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.07	0.066	0.063
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Степінь затування ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	20.7	20.2	20.7

- Зміна $T_{об}$ для контуру охолодження повітря

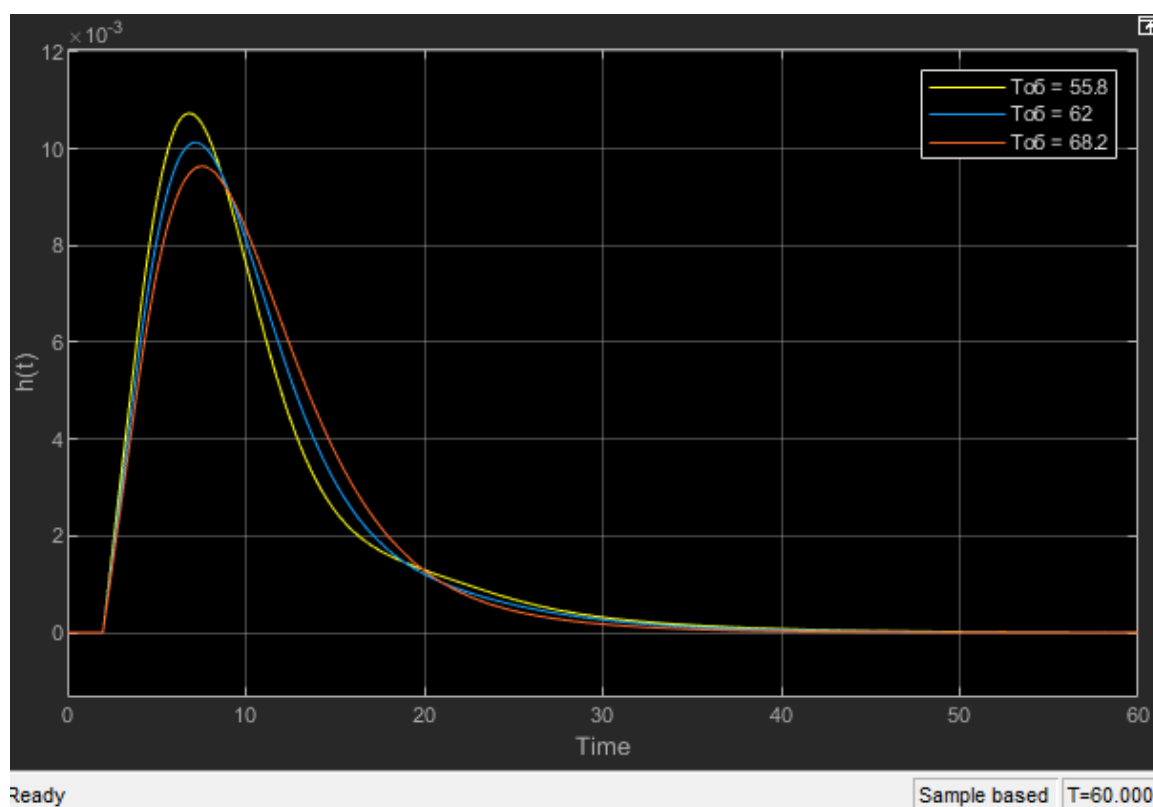


Рисунок 2.37 – Графік перехідного процесу при зміні $T_{об}$ для контуру охолодження повітря

Таблиця 2.13 – Показники якості при зміні $T_{об}$ для контуру охолодження повітря

Показник якості	$T_{об} = 55.8$	$T_{об} = 62$	$T_{об} = 68.2$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.011	0.01	0.0096
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Степінь згасання ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	21.6	20.9	21.3

- Зміна τ для контуру нагрівання повітря

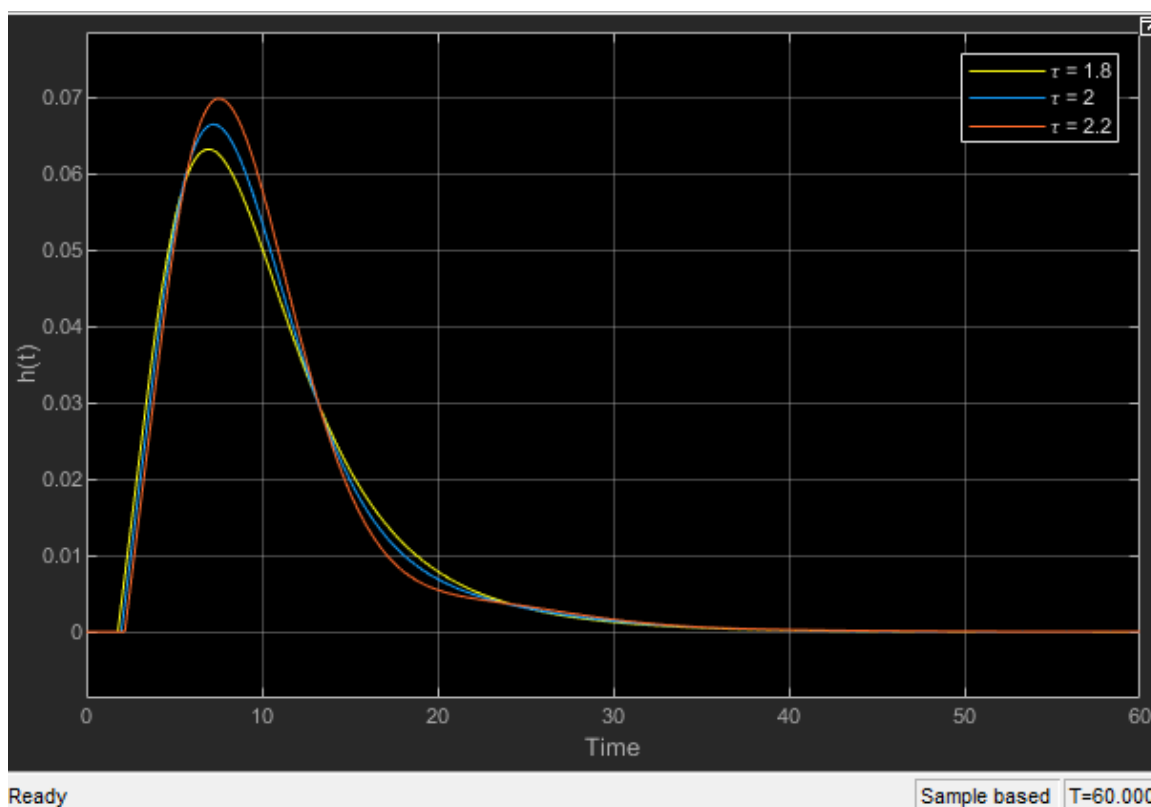


Рисунок 2.38 – Графік перехідного процесу при зміні τ для контуру нагрівання повітря

Таблиця 2.14 – Показники якості при зміні τ для контуру нагрівання повітря

Показник якості	$\tau = 1.8$	$\tau = 2$	$\tau = 2.2$
Статична похибка $\Delta_{\text{ст}}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}}$	0.063	0.066	0.07
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Степінь згасання ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	20.9	20.2	18.6

- Зміна τ для контуру охолодження повітря

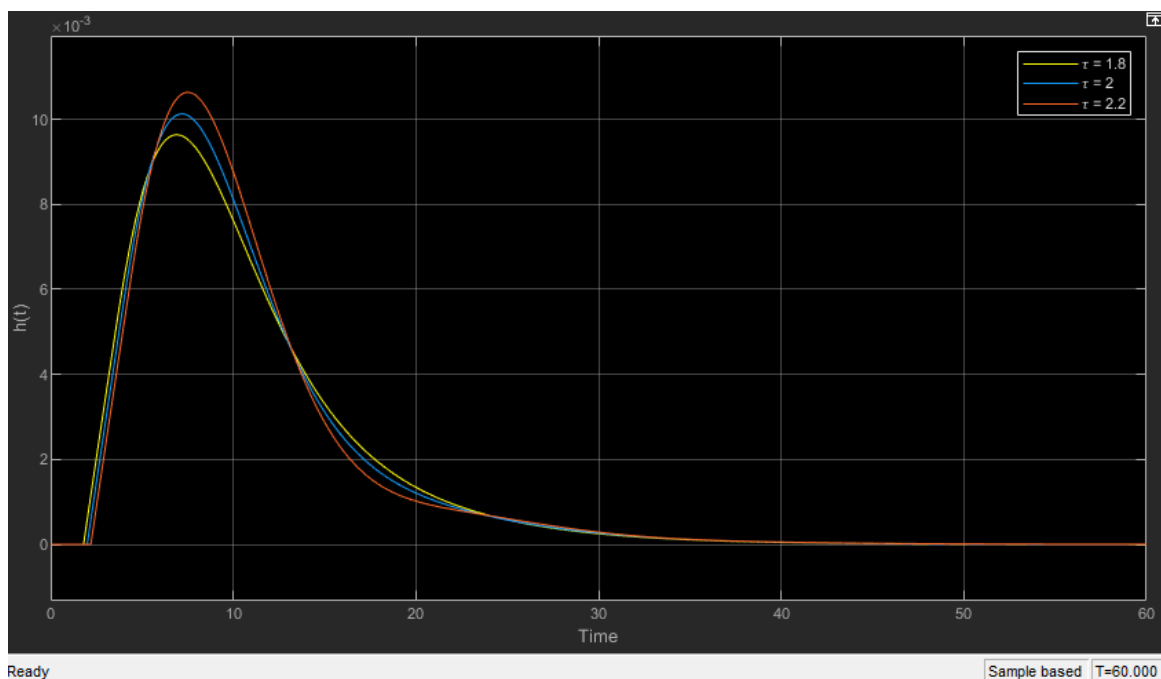


Рисунок 2.39 – Графік перехідного процесу при зміні τ для контуру охолодження повітря

Таблиця 2.15 – Показники якості при зміні τ для контуру охолодження повітря

Показник якості	$\tau = 1.8$	$\tau = 2$	$\tau = 2.2$
Статична похибка $\Delta_{\text{ст}}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}}$	0.0096	0.01	0.011
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Степінь затухання ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	21.9	20.9	19.6

2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР

Можна зробити висновок, що обрана система автоматичного регулювання температури та вологості в інкубаторі є роботоздатною, забезпечує високу точність і надійність, а також має достатню нечутливість до параметричних збурень, що робить її ефективною для використання в умовах інкубації яєць на птахофабриці.

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

Опис функціональної схеми автоматизації ТОУ наведений у підрозділі «1.5 Схема автоматизації функціональна».

3.2 Схема структурна ПТК

Опис структурної схеми ПТК наведений у підрозділі «1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу» та сама схема представлена на Рисунку 1.2.

3.3 Схема принципова електрична АСУ

Електрична принципова схема автоматичної системи управління мікроклімату інкубатора на птахофабриці включає кілька важливих компонентів, серед яких блоки живлення, давачі, виконавча апаратура і ПЛК.

Основу живлення системи складає блок живлення GB1, який забезпечує напругу 24В постійного струму для ПЛК та інших компонентів системи. Захист системи від перевантажень і коротких замикань на стороні 380В живлення здійснюється за допомогою автоматичного вимикача QF1, який розрахований на струм 32А. Додатковий захист окремих елементів системи, таких як вентилятор і насос, забезпечується автоматичними вимикачами QF2, QF3, QF4, QF5, і QF6, що мають різні номінальні струми.

Підключення давачів до системи має свої особливості. Датчик температури та вологості ТМТ6 підключається до ПЛК через аналоговий вхід, що дозволяє контролеру отримувати точні дані про стан мікроклімату в інкубаторі. Диференційне реле тиску PDS4 підключається через дискретний вхід, що дає змогу побачити вихід за межі перепаду тиску та просигналізувати про можливу несправність насоса.

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		60

Виконавча апаратура включає в себе осьовий вентилятор М1 і насос М2, які підключаються до частотних перетворювачів А2 і А3 відповідно. Частотні перетворювачі керують швидкістю обертами вентилятору та насосу залежно від сигналів, отриманих від ПЛК. Приводи Y1 і Y2 для заслінок, що працюють від напруги 24В, керуються аналоговими виходами контролера для регулювання витратою повітря, що допомагає у регулюванні температури. Нагрівальний елемент НЕ підключений через твердотільне реле ЕС2, яке також керується сигналами від ПЛК для підтримання необхідної температури в інкубаторі.

Проходження сигналу в системі починається з давачів, таких як датчик температури та вологості ТМТ6 і диференційне реле тиску PDS4. Датчик температури та вологості передає аналоговий сигнал до аналогового входу PLC, де цей сигнал обробляється для визначення поточного стану мікроклімату. Диференційне реле тиску надсилає дискретний сигнал до ПЛК, який вказує на стан насосу.

Оброблені сигнали від давачів використовуються ПЛК для генерування команд управління. Наприклад, якщо датчик температури показує, що температура в інкубаторі опускається нижче встановленої межі, ПЛК може видати команду на реле ЕС2, яке керує потужністю ТЕНу НЕ за допомогою метода ШІМ.

3.4 Креслення загального вигляду щита

Принцип монтажу апаратури на щиті базується на забезпеченні надійного і зручного доступу до кожного елемента. Всі компоненти, такі як програмований логічний контролер (А1), блок живлення (GB1), автоматичні вимикачі (QF1-QF6) та світлосигнальні лампи (HL1-HL5), розміщені на монтажній панелі щита у визначених місцях. Автоматичні вимикачі встановлюються на DIN-рейках, що забезпечує легкість

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		61

монтажу і демонтажу. Світлосигнальні лампи розташовані на фасаді щита для візуалізації сигналізації та швидкою реакції.

Ергономічні вимоги до розташування апаратури реалізовані таким чином, щоб забезпечити максимальну зручність експлуатації і обслуговування. Всі елементи щита розміщені так, щоб мінімізувати необхідність нахилання або підйому оператором. Розташування апаратури враховує оптимальну висоту і досяжність, забезпечуючи легкий доступ до кожного компонента. Це важливо для оперативного втручання у разі необхідності і регулярного технічного обслуговування.

Розташування клемників на щиті також підпорядковане ергономічним вимогам. Клемники (ХТ1, ХТ2, ХТ3) розташовані в нижній частині щита для зручного підключення зовнішніх провідників. Це дозволяє уникнути перехрещування кабелів і забезпечує чітку організацію внутрішніх з'єднань. Клемники марковані і розташовані у доступних місцях, що спрощує процес підключення і обслуговування.

Таким чином, креслення загального виду щита автоматизації демонструє продуману конструкцію, яка забезпечує надійність, безпеку і зручність експлуатації автоматизованої системи управління мікрокліматом інкубатора.

3.5 Схема зовнішніх з'єднань

Схема зовнішніх з'єднань забезпечує взаємозв'язок між різними компонентами системи автоматизації мікроклімату інкубатора та їхнє правильне підключення до джерел живлення, датчиків і виконавчих механізмів. Вона гарантує надійне та безпечне функціонування системи шляхом чіткої організації всіх електричних з'єднань.

Основними компонентами схеми є силові та контрольні кабелі, які використовуються для передачі електричної енергії та сигналів керування між різними пристроями. До складу схеми входять такі елементи:

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		62

- Кабелі силові ВВГ різного перерізу (4 мм², 2.5 мм² і 1.5 мм²), що використовуються для підключення вентилятору (М1), насосу (М2) та ТЕНу (НЕ) до джерел живлення;
- Контрольні кабелі КВВГ для передачі сигналів від датчиків (ТМТ6, PDS4) до ПЛК та для керування приводами заслінок (У1, У2);
- Вита пара CAT.5е для передачі даних між контролером та системою web SCADA, що забезпечує моніторинг і віддалене керування системою;

Крім кабелів, у схемі передбачено використання гофротруб для захисту кабельних трас, що підвищує надійність і безпеку експлуатації системи. Всі з'єднання виконуються відповідно до умовних позначень.

3.6 Специфікація обладнання

На специфікації представлені обрані вироби. Насамперед перевага віддавалась українським брендам, наприклад:

- Raut automatic, що зарекомендував себе по усьому світу завдяки програмовано логічним контролерам, які, здається, передбачені для будь-яких систем. Також виробник надає змогу придбати різного роду блоки розширення, датчики, блоки перетворення сигналів і т.д. Для проєкту були обрані 2 вироби:
 - Вільно програмований контролер МахуCon Flexy-S2-B1, що обладнаний достатньо кількістю дискретними/аналоговими входами/виходами та підтримує протокол MQTT;
 - Датчик температури та вологості STH-01 М. Це відносно недороге та якісне рішення для систем, в яких треба одночасно вимірювати температуру та вологість повітря. Такий датчик має окремий аналоговий вихід для кожного параметру.

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		63

- Одескабель, що має широкий вибір кабелів силових, контрольних, екранованих і не тільки. Висока якість виробів дозволяє менше перейматись через ненадійність електропроводки;
- АСКО-УКРЕМ – національний бренд електротехнічної продукції, який прогресивно розвивається та прагне до лідерства на електротехнічному ринку України. Само тому було прийняте рішення придбати світлосигнальні лампи у цього виробника.

Також було обрано обладнання різних виробників світу:

- Danfoss. Кожен зі світу автоматизації хоча б раз чув про цю фірму. Danfoss надає безліч різних рішень від централізованого водопостачання до судноплавства. Тому їм також необхідно надавати спеціалізоване обладнання для будь-яких проєктів. Само тому було обрано диференційне реле тиску RT263AL саме в них;
- Neitz є високотехнологічним виробником і постачальником продуктів промислової автоматизації. На сьогоднішній день основними продуктами є частотні перетворювачі, сервосистеми, системи керування рухом і т.д. У даного виробника було обрано частотні перетворювачі серії SPLC-NLP1000 для вентилятору та насосу. Головною задачею було обрати прилад з високою точністю та можливістю комутації з ПЛК та РО;
- Belimo. Останній виробник, що заслуговує окремої уваги. Це провідний виробник по світу, який має офіс у Києві. Таким чином можна легко зв'язуватись з представниками у разі виникнення питань стосовно несправності обладнання. З цієї причини було вирішено придбати два приводи UM24Y-SR-R саме у них.

З усією іншою інформації по приладах та про інші прилади можна ознайомитись у додатках TA-02433.010.001 АТХ.С.

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		64

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

Програма була розроблена у середовищі Codesys на мовах CFC та ST, що підтримуються програмовано логічними контролерами від Raut automatic. Таким чином маємо змогу без ускладнень потім завантажити програму на ПЛК. Для моделювання об'єкту, а також реалізації контуру регулювання використовується система з Codesys, Matlab Simulink та Matrikon OPC Server.

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
    PID_0: PID;
    PID_1: PID;
    TSensor: REAL;
    TSP: REAL := 17.9;
    AIT: REAL;
    PVF: REAL;
    Kp1: REAL := 14.9;
    Ti1: REAL := 10;
    Y_manuall: REAL;
    Y_offset1: REAL;
    Y_min1: REAL := 0;
    Y_max1: REAL := 100;
    Reset1: BOOL;
    Manuall: BOOL;
    Kp2: REAL := -95.7;
    Ti2: REAL := 10;
    Y_min2: REAL := 0;
    Y_max2: REAL := 100;
    Reset2: BOOL;
    PVHE: REAL;
    DLAMP1: BOOL := FALSE;
    DLAMP2: BOOL := FALSE;
    AOEC: REAL;
    AOY1: REAL;
    AOY2: REAL;
    Interpolation_1: InterpolationTo;
    AnV_min: REAL := 0;
    AnV_max: REAL := 10;
    Interpolation_2: InterpolationTo;
    Interpolation_3: InterpolationTo;
    HE_max: REAL := 100;
    HE_min: REAL := 0;
    AOHE: REAL;
    AOF: REAL;
    ACTUAL2: REAL;
    ACTUAL1: REAL;
END_VAR
```

Рисунок 4.1 – Змінні для роботи програми

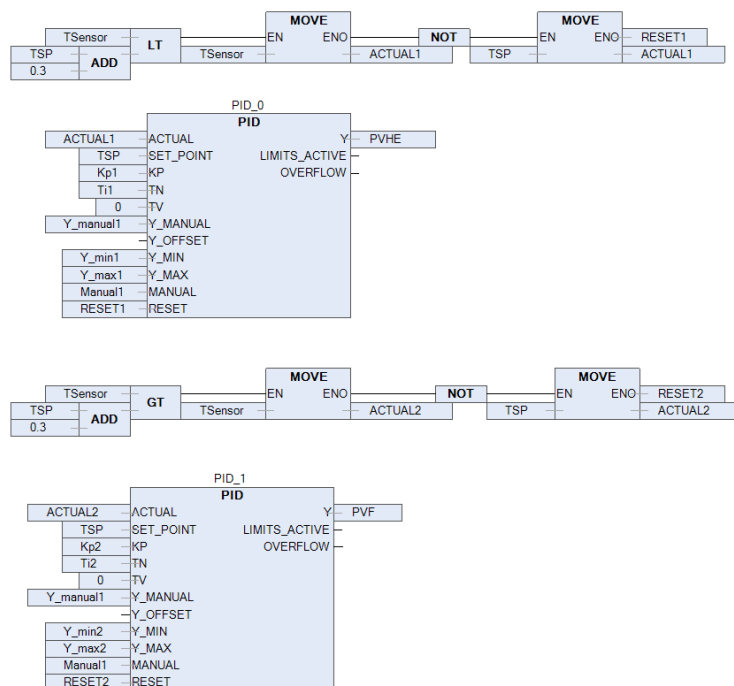


Рисунок 4.2 – Реалізація контуру регулювання у SoftPLC.

У самому середовищі Codesys були розроблені ПІ-регулятори САР, інтерполяції даних, сигналізації, вмикання та вимикання елементів об'єкту та підключення і обмін даних з web SCADA системою по протоколу MQTT. Регулятори були взяті з бібліотеки Util 3.5.19.0. Обмін по протоколу MQTT реалізовано за допомогою бібліотек Mqtt Client 3.5.13.26 та JSON HTTP Client 1.0.0.7.

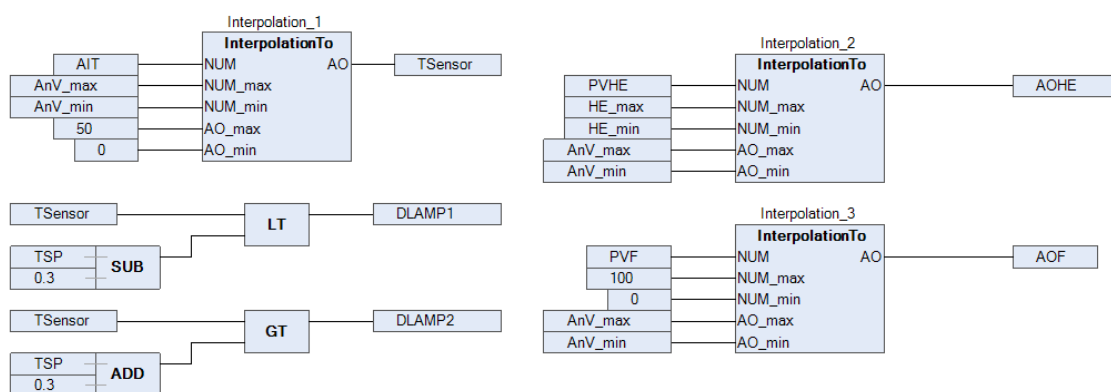


Рисунок 4.3 – Реалізація інтерполяцій, сигналізацій та зміни налаштувань

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

Була реалізована web SCADA-система на базі React, Node.js. Передача даних виконувалась по протоколу MQTT, а саме передавались файли JSON формату з показниками датчиків, поточними параметрами виконавчих механізмів і т.д.

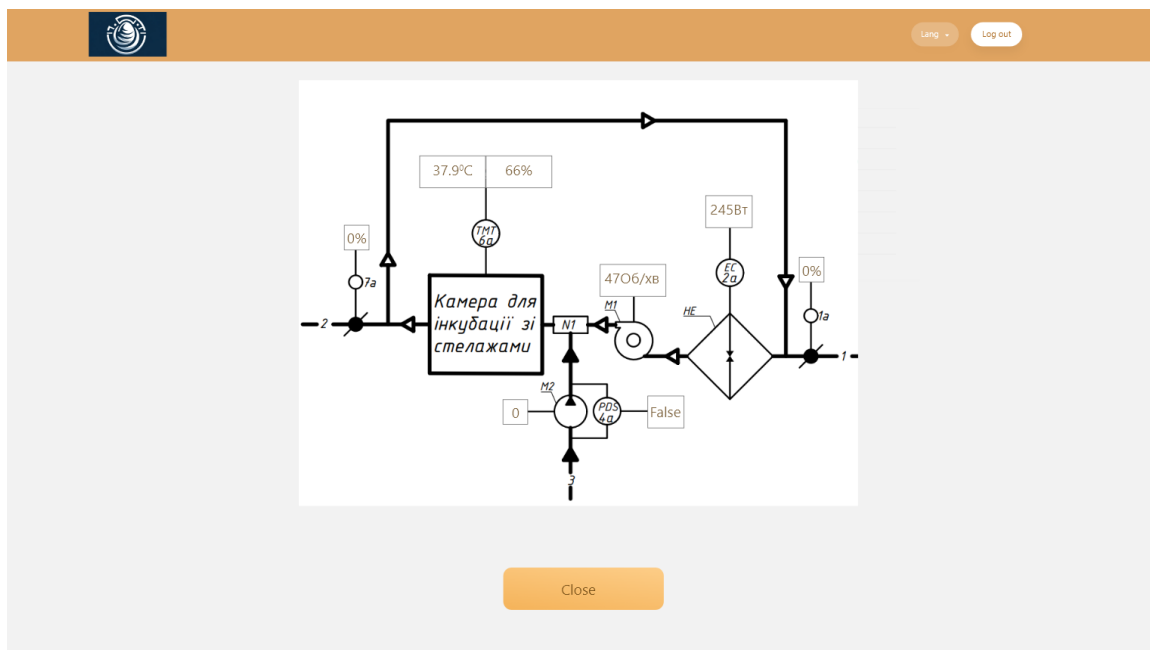


Рисунок 4.4 – Мнемосхема для зручного загального моніторингу

Також було реалізовано вивід регульованих параметрів на графік. Було обрано період 24 години. Виводити графік дає змогу використання бази даних MongoDB. Вона просто у інтеграції в систему та в роботі з нею. Також на сторінці виводяться поточні показники датчиків та є можливість вмикати ручний режим і встановлювати бажану уставку.

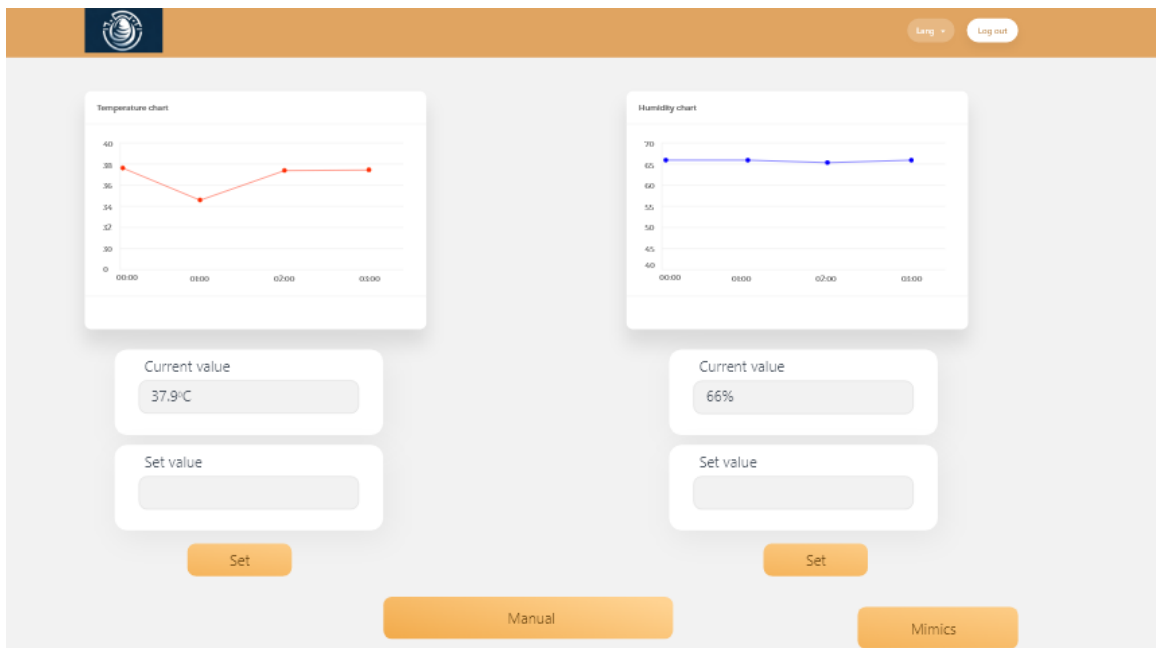


Рисунок 4.5 – Регульовані параметри

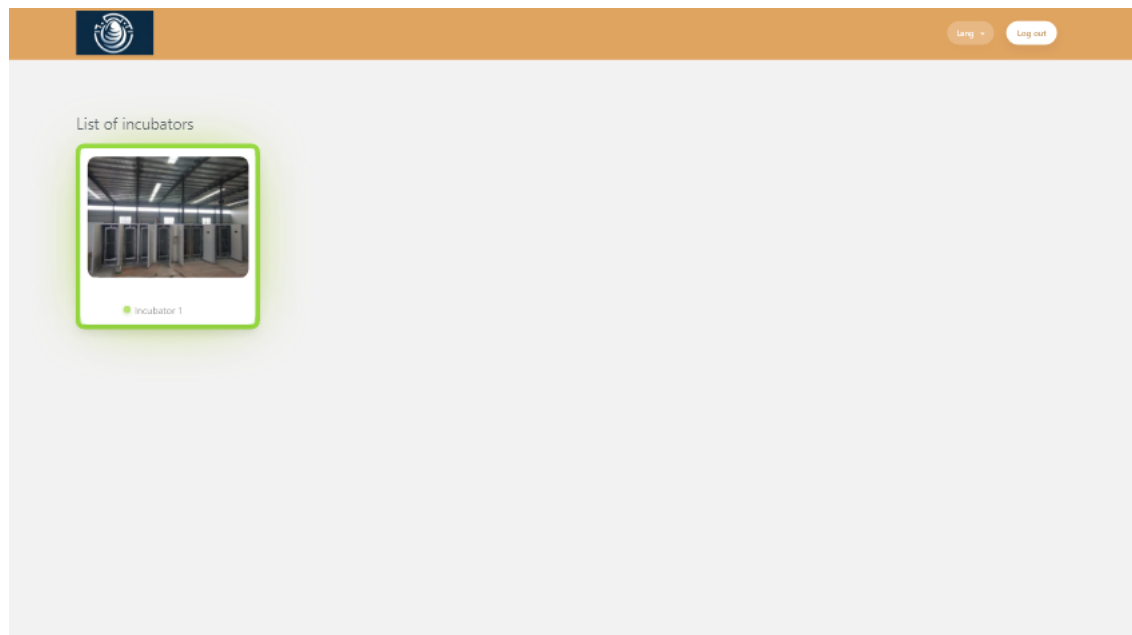


Рисунок 4.6 – Основна сторінка з можливістю обрати інкубатор також можна одразу бачити стан об'єкту.

5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio

Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA системі показана у підрозділі «4.2 Програмування функціональності SCADA-системи»

5.5 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі було реалізовано в розділі 4.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є невід'ємною складовою будь-якого виробничого процесу, що має на меті забезпечення безпеки, здоров'я та добробуту працівників. Дотримання норм охорони праці сприяє зниженню ризиків виникнення нещасних випадків, професійних захворювань та інших небажаних подій. У цьому розділі будуть розглянуті основні аспекти забезпечення охорони праці при експлуатації автоматизованої системи управління мікрокліматом інкубатору на птахофабриці.

Діяльність у сфері охорони праці регламентується численними нормативно-правовими актами України, зокрема Законом України "Про охорону праці", Державними санітарними нормами та правилами, наказами та інструкціями Міністерства охорони здоров'я та Міністерства соціальної політики України. Основні вимоги до охорони праці визначені Законом України "Про охорону праці", який зобов'язує роботодавців створювати безпечні та здорові умови праці, а також здійснювати контроль за їх дотриманням.

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		70

6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування

Безпека праці є невід'ємною частиною будь-якого виробничого процесу, особливо в умовах автоматизованого виробництва. Для забезпечення безпеки експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування було здійснено наступні заходи:

- **Вибір щита:** Обрано металевий щит із ступенем захисту IP66, що є оптимальним вибором для приміщення. Металевий корпус забезпечує дотримання діючих вимог з електробезпеки та захист від механічних пошкоджень;
- **Кабелі та дроти:** Всі кабелі та дроти розміщені у гофротрубах або пластикових коробах, що забезпечує їх механічний захист і зменшує ризик пошкоджень. Кабелі також мають відповідне маркування, що спрощує їх використання та технічне обслуговування;
- **Захист від стороннього втручання:** Щит оснащений замком, що запобігає несанкціонованому доступу та втручанню у робочий процес, що підвищує рівень безпеки експлуатації;
- **Блок живлення:** Блок живлення обладнаний автоматичним вимикачем, який забезпечує відключення живлення під час коротких замикань та захищає систему від перепадів напруги. Це сприяє захисту обладнання та зниженню ризику виникнення аварійних ситуацій;
- **Регульовані клапани:** Система оснащена достатньою кількістю регульованих клапанів, які у разі аварії допоможуть локалізувати проблему та запобігти її розповсюдженню. Це забезпечує більш ефективне управління аварійними ситуаціями та знижує ризики для працівників.

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		71

Всі ці заходи спрямовані на забезпечення безпечної експлуатації автоматизованої системи керування мікрокліматом інкубатору на птахофабриці, що відповідає вимогам чинних нормативно-правових актів України у сфері охорони праці.

6.1.1 Електробезпека

Основні нормативні документи, що регламентують вимоги з електробезпеки, це ПУЕ-2017, НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.01-97, НПАОП-40.1-1.32-01, ДСТУ 7237:2011 та Технічний регламент з безпеки низьковольтного електричного обладнання (постанова Каб. Міністрів України №1149), а також ДСТУ Б.В.2.5-82:2016.

Захисне заземлення всіх металевих частин обладнання, які можуть опинитися під напругою в разі пробією ізоляції, має виконуватись згідно з вимогами ПУЕ-2017 (Правила улаштування електроустановок споживачів). Система захисного заземлення TN передбачає з'єднання металевих неструмопровідних частин електроустановок із захисним «РЕ»-провідником. Використовується підсистема TN-S, де «N»- та «РЕ»-провідники розділені.

Згідно ДСТУ 7237:2011 для забезпечення захисту від випадкового дотику людини до струмовідних частин ЕУ застосовують такі види захисту:

- основне (робоче) ізолювання струмовідних частин (захисне ізолювання);
- додаткове, посилене, подвійне ізолювання струмовідних частин;
- захисні оболонки;
- захисні огорожі (тимчасові або стаціонарні);
- безпечне розташування струмовідних частин;
- ізолювання робочого місця;
- мала напруга; захисне вимкнення;

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
							72
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- попереджувальна сигналізація (звукова, світлова тощо);
- блокування;
- встановлення знаків безпеки;
- електрозахисні засоби; засоби індивідуального захисту.

Для запобігання ураженню електричним струмом під час дотику до металевих неструмовідних частин, які можуть бути під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, застосовують окремо або в поєднанні такі види захисту:

- захисне заземлення;
- автоматичне вимкнення живлення;
- зрівнювання потенціалів;
- застосування обладнання відповідного класу за електрозахистом;
- захисний електричний поділ кіл;
- ізолювальні (непровідні) приміщення, зони, майданчики;
- системи наднизької напруги (безпечної, захисної).

Передбачена проектом апаратура системи автоматизації та силове електротехнічне устаткування повинні експлуатуватися відповідно до паспортних даних, які визначають номінальні значення струмів і напруг живлення.

Для виконання діючих вимог з електробезпеки, силове електроустаткування в спроектованій системі згідно з ДСТУ ІЕС 61140:2005 має І клас за електрозахистом, а засоби автоматизації (блоки контролерів, екранні пристрої, давачі, виконавчі пристрої, блоки живлення тощо) системи управління мають відповідно І, II та III класи.

Всі електричні ланцюги повинні бути ізольовані відповідно до стандартів ДСТУ. Використання ізоляційних матеріалів високої якості зменшує ризик пробою та короткого замикання. Перевірка стану ізоляції

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		73

повинна проводитись регулярно, особливо у місцях можливого механічного пошкодження або в умовах високої вологості.

Встановлення пристроїв захисного відключення (ПЗВ) з параметрами, які відповідають номінальному струму мережі, забезпечує швидке відключення у випадку виникнення витoku струму або короткого замикання. Для роботи з електроустановками мають отримувати допуск лише працівники з відповідною кваліфікацією та допуском до електробезпеки.

Регулярне проведення інструктажів з електробезпеки та навчання щодо дій у випадку аварійних ситуацій, зокрема при ураженні електричним струмом, є обов'язковим.

6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії

Для забезпечення гігієни праці та виробничої санітарії необхідно враховувати наступні аспекти:

- Мікроклімат та склад повітря робочої зони;
- Виробниче освітлення;
- Виробничий шум та вібрації.

6.2.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Встановлена ефективна система вентиляції та кондиціонування з урахуванням вимог ДБН В.2.5 – 67:2013 для підтримання оптимальних параметрів мікроклімату (температура, вологість, швидкість руху повітря) у виробничих приміщеннях. Температура в приміщенні повинна підтримуватись в межах 18-22°C, а вологість – 40-60%. Використання автоматичних систем моніторингу якості повітря для виявлення концентрацій шкідливих речовин та своєчасного реагування на відхилення від нормативних значень. Регулярний аналіз повітря на наявність шкідливих домішок, таких як пил, аерозолі, гази. Регулярне провітрювання робочих приміщень, особливо тих, де використовуються

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		74

хімічні речовини або відбуваються процеси з виділенням пилу та газів. Забезпечення достатньої кількості повітрообмінів на годину.

Дотримання вимог ДСН 3.3.6.042-99 "Державні санітарні норми виробничих приміщень" забезпечує оптимальні умови праці та знижує ризик професійних захворювань.

6.2.2 Виробниче освітлення

Відповідність рівнів освітленості робочих місць нормативам, визначеним ДБН В.2.5-28-2018, для запобігання зорового стомлення та зменшення ризику виробничих травм. Мінімальний рівень освітленості повинен бути не менше 500 люкс для загального освітлення і 1000 люкс для місцевого освітлення. Використання енергоефективних джерел світла (LED ламп) для забезпечення рівномірного освітлення робочих зон з мінімальним енергоспоживанням. Використання природного освітлення, де це можливо, з урахуванням його належного розподілу.

Встановлення системи регулювання рівня освітленості, що дозволить адаптувати освітлення під конкретні умови роботи. Використання датчиків руху для автоматичного ввімкнення та вимкнення освітлення.

6.2.3 Виробничий шум

Встановлення шумоізоляційних екранів та покриттів для зменшення рівня виробничого шуму, що виникає від роботи обладнання. Використання звукоізолюючих матеріалів на стінах, підлозі та стелі виробничих приміщень. Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (звукоізолюючими навушниками або берушами) для зменшення впливу шуму на слух. Регулярна перевірка стану засобів захисту та їх заміна при зношенні.

Регулярний контроль рівня шуму в робочих приміщеннях за допомогою шумомірів. Забезпечення відповідності рівнів звуку нормативам (не більше 85 дБ для робочих місць, 75 дБ – для офісних

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		75

приміщень) відповідно до ДСТУ ISO 1999:2014 "Акустика. Визначення впливу шуму на слух у працівників".

6.2.4 Виробничі вібрації

Встановлення обладнання на антивібраційні основи та використання амортизаційних матеріалів для зменшення вібрацій, що передаються на конструкції будівлі. Вибір обладнання з меншим рівнем вібраційного впливу. Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (антивібраційні рукавиці та взуття) для зменшення впливу вібрацій на організм. Проводити регулярні медичні огляди для виявлення можливих негативних наслідків вібрацій.

Регулярний контроль рівня вібрацій за допомогою віброметрів. Забезпечення відповідності рівнів вібрацій нормативам (не більше 2,8 мм/с для виробничих приміщень) відповідно до ДСН 3.3.6-039-99 та ДСТУ ISO 2631-1:2001 "Механічні коливання та удари. Вплив загальних вібрацій на людину".

6.3 Пожежна безпека та профілактика

Встановлення згідно вимог ДБН В.2.4-56-2014, НАПБ Б.01.008-2018 та ДСТУ CEN/TS 54-14:2021 «Системи пожежної сигналізації та оповіщення» автоматичних систем виявлення та гасіння пожеж (спринклерні системи) та вогнегасників у всіх приміщеннях виробничого комплексу. Регулярне обслуговування та перевірка їх працездатності.

Регулярне проведення тренувань та навчань для працівників щодо дій у разі виникнення пожежі, використання засобів пожежогасіння та евакуації. Розробка планів евакуації та проведення їх регулярних тренувань.

Встановлення системи пожежної сигналізації та оповіщення з виведенням сигналу на центральний пульти управління та оперативного реагування. Регулярна перевірка та обслуговування системи для

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		76

забезпечення її надійної роботи. Використання вогнестійких будівельних матеріалів та конструкцій для зменшення ризику поширення пожежі. Захист кабельних трас та комунікацій вогнестійкими матеріалами.

Забезпечення наявності інструкцій з пожежної безпеки на робочих місцях. Проведення регулярних перевірок дотримання вимог пожежної безпеки. Встановлення відповідальних осіб за дотримання пожежної безпеки на кожній виробничій ділянці.

Дотримання діючих вимог ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення» та НАПБ А.01.001 « Правила пожежної безпеки в Україні».

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Таблиця 7.1 – Таблиця вартості обладнання на створення АСУ станом на 2024 рік.

Найменування	Одиниці виміру	Кіль	Вартість одиниці (шт, м), грн	Загальна вартість, грн
Диференційне реле тиску, RT263AL	шт	1	17 206	17 206
Датчик температури/вологості повітря, STH-01 M	шт	1	3 675	3 675
Світлосигнальна лампа, AD22-22DS	шт	5	43.24	216,2
Вільно програмований контролер, МахуCon Flexy-S2-B1	шт	1	7 539	7 539
Блок живлення модульний, ABLM1A24012	шт	1	1 779,33	1 779,33
Твердотільне реле, SSR-25 DA	шт	1	130	130

Продовження таблиці 7.1

Найменування	Одиниці виміру	Кіль	Вартість одиниці (шт, м), грн	Загальна вартість, грн
Щит ЩШМ-II-600x400x210 УХЛ3.1 IP66, MAS0604021R5	шт	1	6 225	6 225
Кабель-канал перфорований, ІМПАКТ	м	2,25	33,79	76
DIN-рейка з перфорацією, MR	м	1,5	119	178,5
Прохідна клема, 2.5 мм ² , MRK	шт	14	15,06	210,84
Прохідна клема, 1.5 мм ² , MRK	шт	23	15,06	346,38
Частотний перетворювач, SPLC-NLP1000-3R7G-4	шт	1	7 895	7 895
Частотний перетворювач, SPLC-NLP1000-0R75G-4	шт	1	5 584	5 584
Привод, UM24Y-SR-R	шт	2	2 822,4	5 644,8
Автоматичний вимикач, IC60N 32A, 3P	шт	1	1 443,02	1 443,02
Автоматичний вимикач, IC60N 2A, 1P	шт	2	496,85	993,7
Автоматичний вимикач, IC60N 16A, 1P	шт	1	343,2	343,2
Автоматичний вимикач, IC60N 10A, 3P	шт	1	1 324,22	1 324,22

Кінець таблиці 7.1

Найменування	Одиниці виміру	Кіль	Вартість одиниці (шт, м), грн	Загальна вартість, грн
Автоматичний вимикач, IC60N 2А, ЗР	шт	1	1 456,75	1 456,75
Кабель силовий, ВВГ, 4х4	м	10	109,7	1097
Кабель силовий, ВВГ, 2х2.5	м	2,5	34,91	87,28
Кабель силовий, ВВГ, 1х1.5	м	2	7,55	15,1
Кабель контрольний, КВВГнг, 3х0.74	м	6	17,29	103,74
Кабель контрольний, КВВГ, 4х1	м	7	17,83	124,81
Вита пара, САТ.5е 4х2х0.51	м	15	44	660
гофротруба, 91925 ДКС 25 мм	м	42,5	16,4	697

З таблиці можемо порахувати:

$V_{об} = 63\,608.9$ грн – загальна вартість складових АСУ;

$V_{пр} = V_{об} \cdot 5\% = 3\,180.44$ грн – вартість на проектування;

$V_{т} = V_{об} \cdot 3\% = 1\,908.3$ грн – витрати на доставку;

$V_{м} = V_{об} \cdot 20\% = 12\,721.8$ грн – витрати на монтаж;

$V_{пн} = V_{об} \cdot 10\% = 6\,360.9$ грн – витрати на пусконаладжувальні роботи;

Також приймемо, що необхідний термін окупності $T_{ок}^* = 3$ роки.

Тепер маємо змогу обчислити капіталовкладення($\Delta K_{авт}$):

$$\Delta K_{авт} = V_{об} + V_{пр} + V_{т} + V_{м} + V_{пн} = 87\,780.2 \text{ грн}$$

Далі обчислимо економічну ефективність(ΔU):

$$\Delta U = Ek - \Delta B_{авт}$$

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		79

де E_k – економія від введення АСР в дію, грн/рік, $E_k = 254\,000$ грн/рік;

$\Delta B_{авт}$ – додаткові витрати на обслуговування системи, грн/рік.

Звідси, спочатку необхідно обрахувати додаткові витрати на обслуговування ($\Delta B_{авт}$):

$$\Delta B_{авт} = B_e + B_a + B_r + B_z$$

$$B_e = C_e \cdot T \cdot N = 4.32 \cdot 8760 \cdot 6 = 227\,059.2 \text{ грн/рік,}$$

де B_e – додаткові витрати на електроенергію, грн/рік

C_e – тариф на електроенергію, грн/кВт*год;

T – час роботи обладнання за рік, год;

N – потужність засобів автоматизації, кВт.

$$B_a = 0.2 \cdot \Delta K_{авт} = 0.2 \cdot 87\,780.2 = 17\,556 \text{ грн/рік,}$$

де B_a – амортизаційні відрахування, грн/рік.

$$B_r = 0.5 \cdot \Delta K_{авт} = 0.5 \cdot 87\,780.2 = 43\,890.1 \text{ грн/рік}$$

де B_r – витрати на поточний ремонт і обслуговування системи, грн/рік.

$$B_z = B_{зп} \cdot T \cdot n = 15\,000 \cdot 2.4 \cdot 1 = 36\,000 \text{ грн/рік,}$$

де B_z – додаткові витрати на зарплату експлуатаційного персоналу, грн/рік;

n – кількість працівників, чол;

T – час роботи АСУ за рік, міс;

$$\text{Отже, } \Delta B_{авт} = B_e + B_a + B_r + B_z = 227\,059.2 + 17\,556 + 43\,890.1 + 36\,000 = 324\,505.3 \text{ грн/рік}$$

Тоді можемо отримати, що $\Delta U = 254\,000 - 324\,505.3 = -70\,505.3$ грн/рік.

З обчислень можемо зрозуміти, що система є збитковою. Але її введення є необхідністю, для підвищення ефективності та якості продукції. Також треба зазначити, що при автоматизації декількох інкубаторів збиток зменшиться та навіть стане прибутком.

ВИСНОВКИ

Розроблено техно-робочий проєкт автоматизованої системи управління мікрокліматом інкубатору на птахофабриці. У проєкті використано сучасні комп'ютерно-інтегровані технології, такі як програмовані логічні контролери, SCADA-система для моніторингу і керування через веб-додаток, а також технології IoT для збору та аналізу даних. Автоматизація забезпечує стабільність мікроклімату в інкубаційних камерах, що сприяє підвищенню ефективності інкубації та зниженню витрат на ручне втручання.

Основні висновки щодо роботоздатності CAP:

- Системи автоматичного регулювання температури та вологості забезпечують високу точність і стабільність.
- Вимірювальні канали для температури, вологості і тиску мають допустимі похибки і відповідають вимогам точності.
- Надійність систем автоматичного регулювання підтверджена розрахунками середнього часу напрацювання на відмову (T_{ср}) і ймовірності безвідмовної роботи.

Проєкт може бути тиражований для аналогічних інкубаторів на інших птахофабриках, що мають схожі вимоги до мікроклімату. Використання стандартних компонентів і модульного підходу дозволяє легко адаптувати систему для різних умов експлуатації. Враховуючи високу надійність і ефективність автоматизованої системи, її впровадження на інших об'єктах може значно підвищити продуктивність.

Використання сучасних технологій автоматизації дозволяє легко модернізувати систему в майбутньому. Основні напрями для модернізації можуть включати:

- Покращити візуалізацію у web SCADA-системі;
- Додати можливість кращого ручного управління через web SCADA-систему;
- Зробити можливим динамічно додавати нові інкубатори;
- Знайти методи для більш оптимальних розрахунків CAP;
- Додати нові режими для різних видів яєць;

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
							81
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Все про інкубатори види, інструкції по виведенню пташенят. URL: <https://jak.koshachek.com/articles/vse-pro-inkubatori-vidi-instrukcii-po-vivedennju.html> (дата звернення 06.11.2023)
2. Режими інкубації яєць домашньої птиці. URL: <http://babushkinsad.kiev.ua/2015/12/22/2542.html> (дата звернення 03.03.2024)
3. Інформація про ПЛК МахуCon Flexy-S2-B1. URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/kontroll-ua/multipurpose-ua/easily-programming-ua/maxycon-flexy-s2-platform-ua/maxycon-flexy-s2-b1-ua.html> (дата звернення 13.04.2024)
4. Датчик температури/вологості повітря STH-01 M URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/sensors-ru/humidity-ru/sth-01-m-ru.html> (дата звернення 13.04.2024)
5. Частотний перетворювач SPLC-NLP1000-1R5G-4 URL: https://spc.com.ua/ru/products/nietz-splc-nlp1000-1r5g-4-frequency-inverter-1-5kw-3phase-380v-ip20?_pos=1&_fid=e6e236c98&_ss=c (дата звернення 10.05.2024)
6. Частотний перетворювач SPLC-NLP1000-3R7G-4 URL: https://spc.com.ua/ru/products/nietz-splc-nlp1000-3r7g-4-frequency-inverter-3-7kw-3phase-380v-ip20?_pos=1&_fid=2aecbab0d&_ss=c (дата звернення 10.05.2024)
7. Вентилятор осьовий FC - FC080-VDA.7Q.V4 URL: <https://www.ziehl-abegg.com/uk/detail/FC/FC080-VDA.7Q.V4/175799> (дата звернення 10.05.2024)
8. Електричний насос RP-PRO III URL: <https://www.super-ego.es/catalog/plumbing-tools/Testing-pumps/rp-pro-iii-testing-pump-electric-self-priming> (дата звернення 13.05.2024)
9. Трубчастий електронагрівник «Малий» URL: <https://grepan.ua/teni/teni-dlya-povitrya/teni-dlya-kalorifera/ten-dlya-kaloriferu-maliy-nerzhaviyka-3-0-kvt-5-rizhkv> (дата звернення 14.05.2024)
10. ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок». (дата звернення 01.06.2024)
11. НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». (дата звернення 01.06.2024)
12. НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок». (дата звернення 01.06.2024)

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
							82
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

13. ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту (60856). (дата звернення 01.06.2024)

14. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. (дата звернення 01.06.2024)

15. ДСТУ ІЕС 61140:2005. Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання (61685). (дата звернення 01.06.2024)

16. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. (дата звернення 01.06.2024)

						ТА-02433.009.001.АТХ.П	Лист
Змн.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		83