

**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: «Автоматична система регулювання температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму»

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-13

Лудченко Андрій Євгенович _____

Керівник:

Старший викладач

Некрашевич Олена Василівна _____

Консультант з охорони праці:

Доцент, к.т.н.

Каштанов Сергій Федорович _____

Рецензент:

д.т.н., професор кафедри Атомної енергетики

Кравець Володимир Юрійович _____

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

Студент _____

Київ – 2025 року

АННОТАЦІЯ

Дана дипломна робота представляє комплексне дослідження та розробку автоматизованої системи, призначеної для керування технологічним процесом зберігання комбікорму. Ключовою метою проєкту є забезпечення стабільних та оптимальних параметрів мікроклімату всередині сховища, що є вирішальним фактором для збереження вихідної якості, поживної цінності та безпеки продукції протягом усього терміну її зберігання.

В основі розробленої системи лежить програмований логічний контролер Modicon TM172PBG42RI, який є центральним елементом, що відповідає за логіку керування. Система здійснює безперервний моніторинг та стабілізацію найважливіших показників — температури та відносної вологості повітря. Для цього вона використовує цілий комплекс вимірювальних приладів, включаючи датчики температури, вологості, концентрації вуглекислого газу та перепаду тиску. Керуючий вплив на мікроклімат реалізується через виконавчі механізми: підігрів повітря здійснюється електричним калорифером, а його осушення — конденсаційним осушувачем. Циркуляція повітряних мас та ізоляція приміщення забезпечуються системою вентиляторів та повітряних заслінок.

Архітектура системи побудована за трирівневим ієрархічним принципом, що є стандартом для сучасних АСУТП. Нижній, або польовий, рівень об'єднує всю сенсорну та виконавчу апаратуру. Середній рівень представлений ПЛК, який обробляє отримані сигнали та реалізує алгоритми керування. Верхній рівень — це SCADA-система, що надає оператору інструменти для візуалізації процесів, моніторингу, диспетчеризації та ведення архіву даних.

Проведений техніко-економічний розрахунок підтвердив фінансову доцільність впровадження даного проєкту, показавши очікуваний термін окупності інвестицій на рівні 2.1 року. Таким чином, розроблена система є ефективним рішенням, що дозволяє мінімізувати втрати продукції, оптимізувати експлуатаційні витрати та підвищити загальну надійність процесу зберігання комбікорму.

Ключові слова: КОМБІКОРМ, ПРИПЛИВНО-ВИТЯЖНА СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, МІКРОКЛІМАТ В ПРИМІЩЕННІ.

ANNOTATION

This thesis presents a comprehensive study and development of an automated system designed to control the technological process of compound feed storage. The key objective of the project is to ensure stable and optimal microclimate parameters inside the storage facility, which is a decisive factor in preserving the initial quality, nutritional value, and safety of products throughout their storage period.

The developed system is based on a modern programmable logic controller Modicon TM172PBG42RI, which is the central element responsible for control logic. The system continuously monitors and stabilizes the most important indicators — temperature and relative humidity. To do this, it uses a whole range of measuring instruments, including sensors for temperature, humidity, carbon dioxide concentration, and pressure drop. Control over the microclimate is implemented through executive mechanisms: air is heated by an electric heater and dehumidified by a condensation dehumidifier. Air circulation and room insulation are provided by a system of fans and air dampers.

The system architecture is based on a three-level hierarchical principle, which is standard for modern automated control systems. The lower, or field, level combines all sensor and executive equipment. The middle level is represented by a PLC, which processes the received signals and implements control algorithms. The upper level is a SCADA system that provides the operator with tools for process visualization, monitoring, dispatching, and data archiving.

The technical and economic calculation confirmed the financial feasibility of implementing this project, showing an expected return on investment of 2.1 years. Thus, the developed system is an effective solution that minimizes product losses, optimizes operating costs, and increases the overall reliability of the feed storage process.

Keywords: COMBICORM, INFLOW-EXHAUST VENTILATION SYSTEM, AUTOMATED CONTROL SYSTEM, MICROCLIMATE IN THE ROOM.

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматична система регулювання
температури повітря в приміщенні зберігання
комбікорму»**

Київ – 2025 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП.....	11
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління.....	11
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ	13
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ	15
1.4 Функції АСУТП	15
1.5 Схема автоматизації функціональна.....	16
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу	17
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ	19
РОЗДІЛ 2. ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	22
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР.....	22
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК).....	22
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів.....	22
2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів	23
2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів	24
2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод.....	26
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів.....	27
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів.....	28
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів.....	29
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК.....	31
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР	32
2.2 Інженерний розрахунок регульовально-виконавчих каналів САР.....	34
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання.....	34
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР	34
2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР	35
2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР	36
2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР .	36
2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР.....	37
2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління.....	38
2.2.8 Розрахунок регуляторів САР	39

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П			
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Лудченко А.Є			Автоматична система регулювання температури повітря в приміщенні зберігання комбікомру	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів		Некрашевич О.В.					6	101
						КПІ ім. І. Сікорського, НН ІАТЕ, гр. ТА-13		
Н. контроль		Некрашевич О.В						
Зав. каф		Волощук В.А.						

2.2.9 Функціональне моделювання САР.....	44
2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР.....	50
РОЗДІЛ 3. ОПИС ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ ПРОЕКТУ	52
3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ	52
3.2 Схема структурна ПТК.....	52
3.3 Схема принципова електрична АСР	52
3.4 Креслення загального виду щита	54
3.5 Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)	56
3.6 Схема зовнішніх з'єднань	57
3.7 Специфікація обладнання	58
Вимірювальна апаратура:	58
Виконавча апаратура та електрообладнання:	59
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА	61
4.1 Програмування функціональності ПЛК	61
4.2 Програмування функціональності SCADA-системи.....	62
РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК	66
5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ	66
5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink.....	66
5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys	67
5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio	67
5.5 Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio	68
5.6 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі	69
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ	71
Вступна частина	71
6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки праці при експлуатації системи.....	72
6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії	75
6.2.1. Мікроклімат робочої зони.....	75
6.2.2. Склад повітря робочої зони	77
6.2.3. Виробниче освітлення	77
6.2.4. Виробничий шум	79
6.2.5. Виробничі вібрації	80
6.3 Пожежна безпека та профілактика.....	81
6.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі.....	82
6.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту	83

6.4 Висновки до розділу	84
РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	85
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	90

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСР – автоматична система регулювання
АСУ – автоматизована система управління
АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом
АТК – автоматизований технологічний комплекс
ВК – вимірювальні канали
ВМ – виконавчий механізм
ДПБ – дипломний проєкт бакалавра
ЕК – екзаменаційна комісія
ІВС – інформаційно-вимірювальна система
ІМ – імітаційна модель
КЕС – кібер-енергетична система
КПЕ – ключові показники ефективності.
КФС – кібер-фізична система
ОПР – особа, що приймає рішення
ОУ – об'єкт управління
ПЗ – пояснювальна записка
ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний
ПЛК – програмований логічний контролер
ПТЗ – програмно-технічні засоби
ПТКЗА – програмно-технічного комплексу засобів автоматизації
РАФХ – розширена амплітудо-фазова характеристика
РВК – регульовально-виконавчий канал в складі РВС
РВС – регульовально-виконавча система АСУТП
РО – регулюючий орган
САР – система автоматичного регулювання
СКМ – система комп'ютерної математики
ТЕС – теплова електрична станція
ТОУ – технологічного об'єкту управління
ФБ – функціональний блок
ECTS – European credit transfer and accumulation system, європейська система трансферу і накопичення кредитів
HMI – human-machine interface, людино-машинний інтерфейс
MES – manufacturing execution system, система управління виробничими процесами
PLC – programmable logic controller, програмований логічний контролер
SCADA – supervisory control and data acquisition, диспетчерське управління і збір даних

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Зберігання комбікорму є критично важливим етапом у ланцюгу агропромислового виробництва, від якого безпосередньо залежить якість кінцевої продукції, здоров'я тварин та економічна ефективність господарства. Неналежні умови зберігання призводять до значних фінансових втрат через псування продукту, втрату його поживної цінності та розвиток шкідливих мікроорганізмів.

Ключовими факторами, що впливають на збереження якості комбікорму, є температура та відносна вологість повітря у сховищі. Підвищена температура прискорює біохімічні реакції, такі як окислення жирів, тоді як надмірна вологість створює ідеальні умови для розвитку плісняви, грибків та шкідників. Ці процеси не тільки знижують поживну цінність продукту, але й можуть зробити його токсичним і непридатним для використання.

Традиційні методи контролю мікроклімату часто є недостатньо ефективними та потребують постійного втручання людини. У цьому контексті впровадження сучасних автоматизованих систем управління (АСУТП) стає актуальним та економічно обґрунтованим рішенням. Такі системи дозволяють забезпечити точну та безперервну підтримку заданих параметрів мікроклімату, мінімізуючи людський фактор та оптимізуючи енергоспоживання.

Метою даної дипломної роботи є розробка та обґрунтування проєкту автоматизованої системи керування, призначеної для стабілізації температури та вологості в приміщенні для зберігання комбікорму

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Технологічний процес зберігання комбікорму – це ретельно спланований і контрольований комплекс заходів, головною метою якого є збереження вихідної якості, поживної цінності та безпечності комбікорму протягом усього встановленого терміну зберігання [1,3]. Центральним елементом цього процесу є створення та постійна підтримка оптимального мікроклімату всередині приміщення, де зберігається комбікорм [1]. Цей мікроклімат характеризується двома основними параметрами: температурою повітря та його відотною вологістю.

Ці параметри мають вирішальний вплив на інтенсивність та спрямованість біохімічних реакцій, що протікають у самому комбікормі (дихання зернової маси, окислення жирів, розпад білків), а також на життєдіяльність мікроорганізмів (бактерій, грибів, плісняви) та шкідників (комах, кліщів, гризунів), які можуть призвести до псування продукту [1,3]. Наприклад, підвищена температура прискорює процеси окиснення, що призводить до втрати сухих речовин і зниження поживної цінності. Підвищена вологість створює сприятливе середовище для розвитку мікроорганізмів, що викликають пліснявіння, гниття та інші види псування.

Кінцевою метою є підтримання температури та вологості в строго визначеному діапазоні, який мінімізує ризики псування комбікорму, такі як:

- втрата поживних речовин (вітамінів, білків, жирів);
- розвиток плісняви та грибків;
- розмноження комах та кліщів;

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- злежування та утворення грудок.

Крім цього, дуже важливим є забезпечення рівномірного розподілу температури та вологості повітря по всьому об'єму приміщення. Нерівномірність може призвести до утворення локальних зон з несприятливими умовами, де комбікорм буде псуватися швидше.

Загальний вигляд об'єкту автоматизації зображений на Рис. 1.1, це приміщення площею 150 квадратних метрів, з металевими стелажми на яких зберігається близько 40 тонн готової продукції.



Рисунок 1.1 - Вигляд об'єкту автоматизації

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таблиця 1.1 – Перелік технологічних параметрів

Параметр	Номинальне значення	Допустиме відхилення
Температура повітря всередині приміщення	21..23 °C	±1 %
Температура повітря зовні	-20..40 °C	±1 %
Відносна вологість повітря	60..70 %	±1 %
Температура повітря після калорифера	26..30 °C	±1 %
Вміст CO ₂ в повітрі	1000..15000 ppm	±0.01 %
Перепад тиску на фільтрах	150..300 Па	20 Па
Перепад тиску на вентиляторах	150..300 Па	20 Па

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Розглянемо систему керування мікрокліматом, що використовується для зберігання комбікорму(Рис. 1.2) та складається з двох рівнів.

Важливими параметрами є контроль температури та вологості повітря приміщення, де зберігається комбікорм. Оскільки відносна вологість повітря в теплі сезони є вища за задану, а взимку є ще більшою, важливим є осушення повітря, що надходить [2]. Досягти уставки вологості можливо за допомогою осушувача, що керується на основі показників датчика вологості повітря встановленого в приміщенні. Уставка температури повітря досягається за допомогою підігріву повітря калорифером, на базисі датчика температури. Також в системі використовуються заслінки для повної ізоляції приміщення від зовнішнього середовища, фільтри повітря та вентилятори для примусового переміщення повітря.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значення вологості повітря в приміщенні. Виконавчим механізмом є конденсаційний осушувач.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Режимні параметри:

- Температура повітря в приміщенні;
- Температура повітря після калорифера;
- Вологість повітря в приміщенні.

Захисні параметри:

- Перепад тиску на вентиляторах;
- Вміст вуглекислого газу в повітрі;
- Перепад тиску на фільтрах.

Контрольні параметри:

- Температура повітря в приміщенні;
- Температура повітря після калорифера;
- Вологість повітря в приміщенні;
- Вміст вуглекислого газу в повітрі.

1.4 Функції АСУТП

Інформаційні функції:

- Вимірювання температури повітря в приміщенні;
- Вимірювання температури повітря після калорифера;
- Вимірювання вологості повітря в приміщенні;

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вимірювання вмісту вуглекислого газу в повітрі;
- Вимірювання температури повітря навколишнього середовища.

Керуючі функції:

- Стабілізація температури повітря в приміщенні шляхом нагріву приточного повітря електричним калорифером;
- Стабілізація вологості повітря в приміщенні шляхом осушення приточного повітря конденсаційним осушувачем.

Захисні функції:

- При перевищенні вмісту вуглекислого газу закривати заслінки та повідомляти оператора про наявність аварії.
- Сигналізувати про наявність перепаду тиску на фільтрах, що свідчить про забруднення фільтрів.
- Сигналізувати про відсутність перепаду тиску на вентиляторах, що свідчить про проблему в роботі вентиляторів.

1.5 Схема автоматизації функціональна

Схема функціональна автоматизації АСР температури та вологості в приміщенні зберігання комбікорму складається з двох повітропроводів: приточного та витяжного повітря. Повітря з вулиці надходить до рекуператора, проходячи через фільтр, змішується з повітрям, що надходить з приміщення та проходячи через фільтр та осушувач переміщується до приміщення. Повітря після рекуператора нагрівається до уставки за допомогою калорифера.

Циркуляція повітря в приміщення та з нього забезпечена двома каналними вентиляторами.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В приміщенні встановлено датчик температури та вологості повітря, на основі значень яких відбувається керування даними показниками, за допомогою електричного калорифера та конденсаційного осушувача. Додатково наявний датчик концентрації вуглекислого газу, який впливає на ізоляцію системи шляхом закриття/відкриття заслінок.

Також в системі наявні датчики перепаду тиску, що виконують захисну функцію перевірки нагнітання повітря та забрудненості фільтрів.

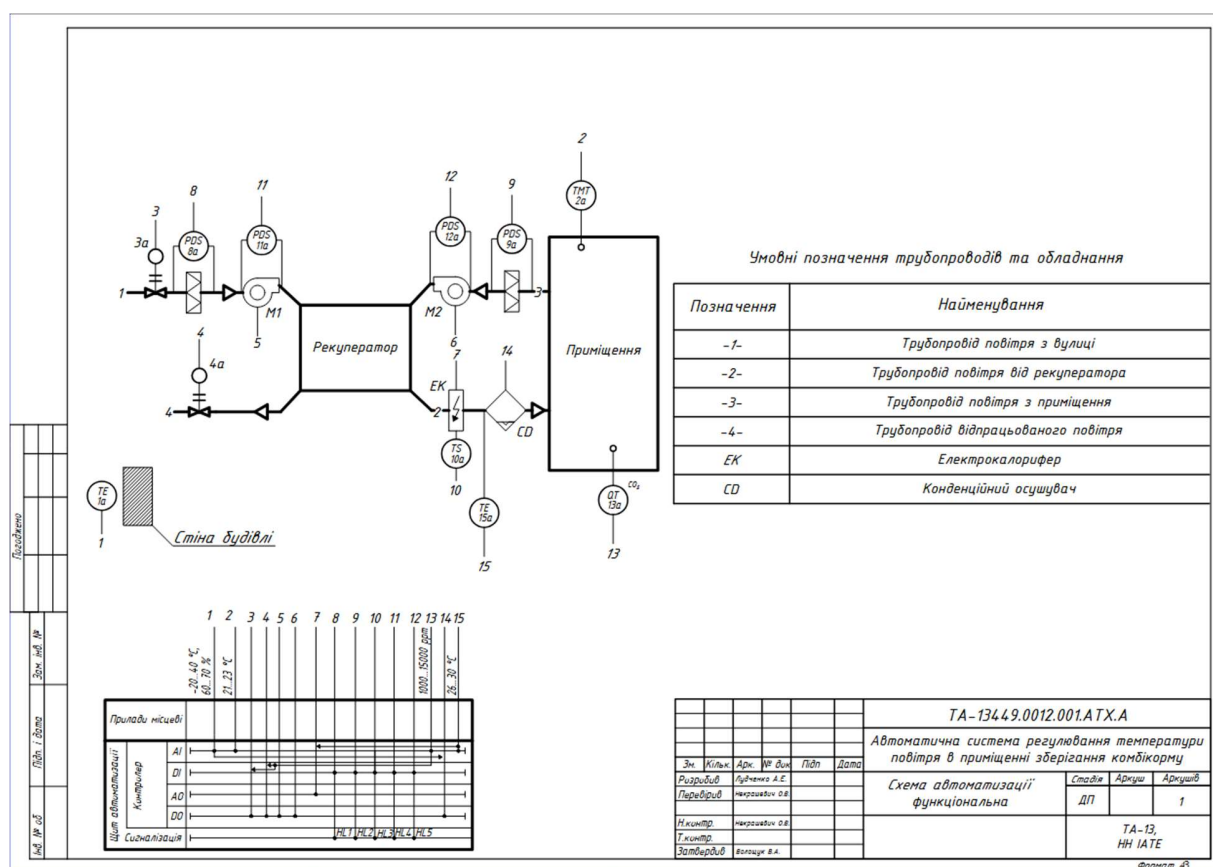


Рисунок 1.3 - Функціональна схема автоматизації

1.6 Структурна програмно-технічного комплексу

Структурна схема програмно-технічного комплексу автоматизованої системи управління технологічним процесом регулювання температури в приміщенні зберігання комбікорму представлена на Рисунку 1.4. Система

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						18

побудована за багаторівневим ієрархічним принципом, що є стандартом для сучасних АСУТП та забезпечує надійність і розподіл функцій керування.

Структура ПТК є трирівневою та включає наступні рівні автоматизації:

1. Нижній рівень (L0/польовий рівень) – цей рівень забезпечує безпосередній зв'язок з технологічним об'єктом управління – приміщенням для зберігання комбікорму. Він складається з вимірювальної апаратури та виконавчої апаратури. Вимірювальна апаратура:

- датчики температури (AFP 1000, FG6020);
- вологості (FG6020);
- перепаду тиску (LF32-05);
- концентрації CO₂ (NBL-W-CO2);
- перегріву (KPS 79).

Їх функція – безперервне вимірювання фізичних параметрів технологічного процесу та перетворення їх в електричні сигнали.

Виконавча апаратура:

- калорифер (Вентс НК 100-1,2-1 У);
- конденсаційний осушувач (Dantherm CDP 85);
- електроприводи повітряних заслінок (Belimo CM24);
- вентилятори (Вентс БУСТ 400).

2. Середній рівень (L1) – рівень контролерної автоматизації. Центральним елементом цього рівня є ПЛК Modicon TM172PBG42RI.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Верхній рівень (L2) – рівень супервізорної автоматизації. Цей рівень забезпечує людино-машинну взаємодію, моніторинг, диспетчеризацію та архівування даних.

Зв'язок між рівнями забезпечується за допомогою промислових мереж передачі даних:

- Зв'язок між рівнями L1 та L2 здійснюється через промислову мережу Industrial Ethernet з використанням протоколу Modbus TCP.
- Зв'язок на рівні L2 та інтеграція з корпоративною мережею підприємства здійснюється за допомогою стандартної мережі Ethernet за протоколом TCP/IP.

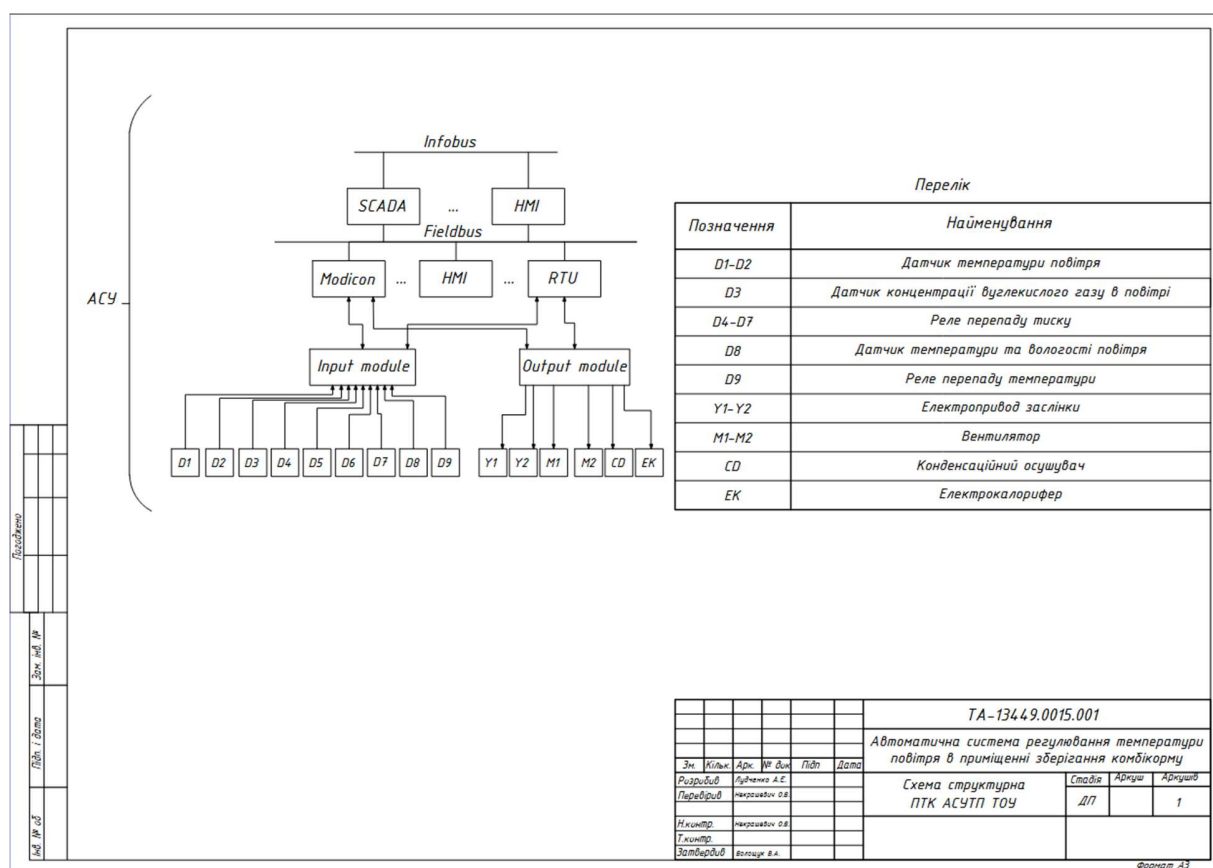


Рисунок 1.4 - Схема структурна ПТК АСУТП ТОУ

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОО

Техніко-економічна ефективність від впровадження автоматизованого технологічного комплексу для регулювання температури в приміщенні зберігання комбікорму формується за рахунок реалізації управляючих, захисних та інформаційних функцій АСУТП. Ці функції спрямовані на зниження експлуатаційних витрат, запобігання втратам продукції та підвищення загальної ефективності процесу зберігання.

1. Джерела ефективності від управляючих функцій

Управляюча функція стабілізації температури повітря в приміщенні:

- підтримання стабільної, оптимальної температури запобігає розвитку плісняви, самозігріванню та псуванню комбікорму, що безпосередньо знижує фінансові втрати від списання продукції;
- точне регулювання потужності калорифера дозволяє уникнути перегріву повітря та нераціонального споживання електроенергії, що знижує експлуатаційні витрати.

Управляюча функція стабілізації вологості повітря в приміщенні:

- підтримання вологості в заданих межах запобігає злипанню, утворенню грудок та мікробіологічному псуванню комбікорму, що зберігає його товарну вартість та якісні показники;
- автоматичне ввімкнення осушувача лише за потреби оптимізує споживання електроенергії порівняно з постійною або ручною роботою.

Управляюча функція керування вентиляцією за рівнем концентрації CO₂:

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- забезпечується необхідний повітрообмін для видалення продуктів життєдіяльності мікроорганізмів та підтримання якості повітря, що сприяє кращому зберіганню продукції;
- вентиляція "за потребою" замість постійної роботи скорочує витрати на нагрівання холодного припливного повітря в зимовий період, оскільки виключається надлишковий повітрообмін.

2. Джерела ефективності від захисних функцій

Захисна функція від перегріву ТЕН калорифера:

- своєчасне відключення калорифера запобігає його виходу з ладу, що дозволяє уникнути значних витрат на ремонт або заміну;
- запобігання пожежі є важливим елементом пожежної безпеки, запобігаючи займанню від перегрітого обладнання та унеможливлючи катастрофічні збитки від пожежі.

Захисна функція сигналізації про несправність вентилятора:

- раннє оповіщення про несправність вентилятора дозволяє оперативно провести технічне обслуговування та запобігти тривалій зупинці системи вентиляції, що могло б призвести до псування продукції;
- виявлення проблеми на ранній стадії дозволяє уникнути більш серйозного пошкодження двигуна та інших компонентів вентилятора.

Захисна функція сигналізації про забруднення фільтрів:

- сигналізація про необхідність заміни фільтра дозволяє підтримувати низький аеродинамічний опір системи, що знижує споживання електроенергії вентилятором;

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- робота вентилятора без перевантажень, спричинених забрудненими фільтрами, подовжує термін його служби.

3. Джерела ефективності від інформаційних функцій

Інформаційні функції надають персоналу дані для прийняття обґрунтованих рішень, що підвищує загальну ефективність управління.

- підвищення оперативності та ефективності роботи персоналу;
- забезпечення простежуваності та контролю якості;
- оптимізація технологічних режимів.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)

Наявні вимірювальні канали:

- ВК температури повітря навколишнього середовища(поз. 1а);
- ВК температури та вологості повітря в приміщенні(поз. 2а);
- ВК концентрації вуглекислого газу повітря в приміщенні(поз. 13а);
- ВК температури повітря після калориферу(поз. 15а).

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

ВК температури повітря навколишнього середовища складається з датчика температури повітря AFP 1000, який передає інформацію на ПЛК Modicon TM172PBG42RI.

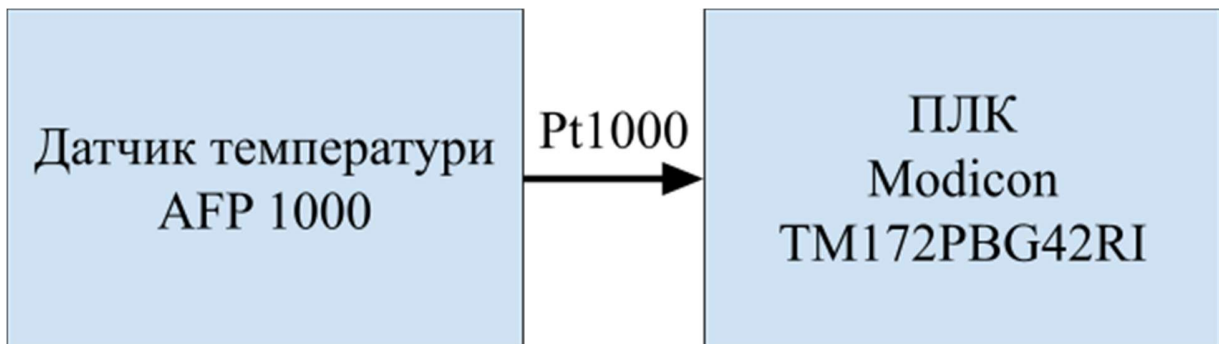


Рисунок 2.1 - ВК температури повітря навколишнього середовища

ВК температури та вологості повітря в приміщенні складається з датчика температури та вологості повітря FG6020, який передає інформацію на ПЛК Modicon TM172PBG42RI.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

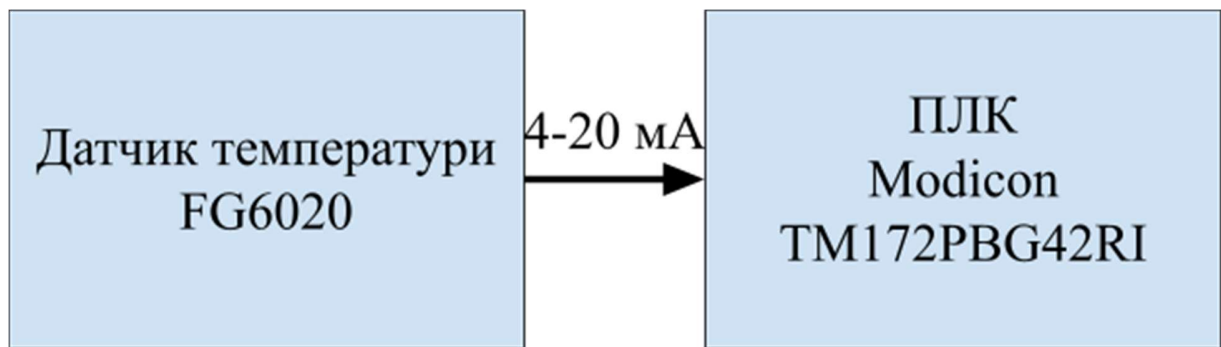


Рисунок 2.2 - ВК температури повітря в приміщенні

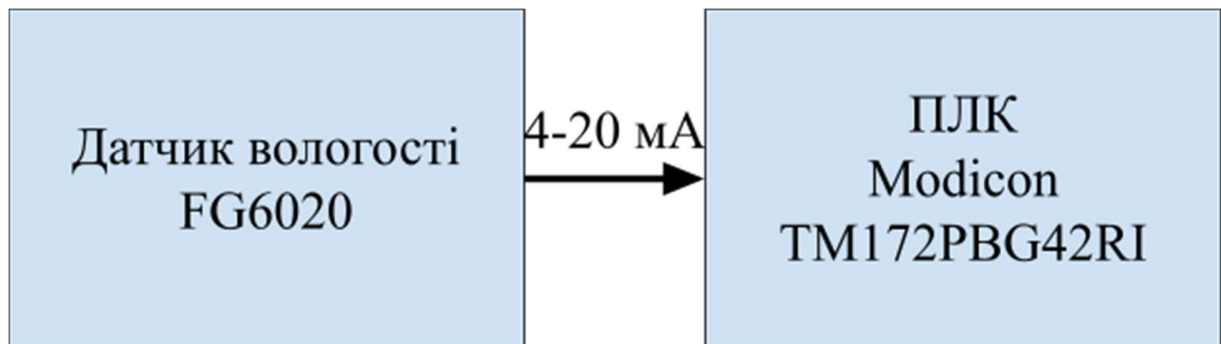


Рисунок 2.3 - ВК вологості повітря в приміщенні

ВК концентрації вуглекислого газу повітря в приміщенні складається концентрації вуглекислого газу NBL-W-CO2, який передає інформацію на ПЛК Modicon TM172PBG42RI.

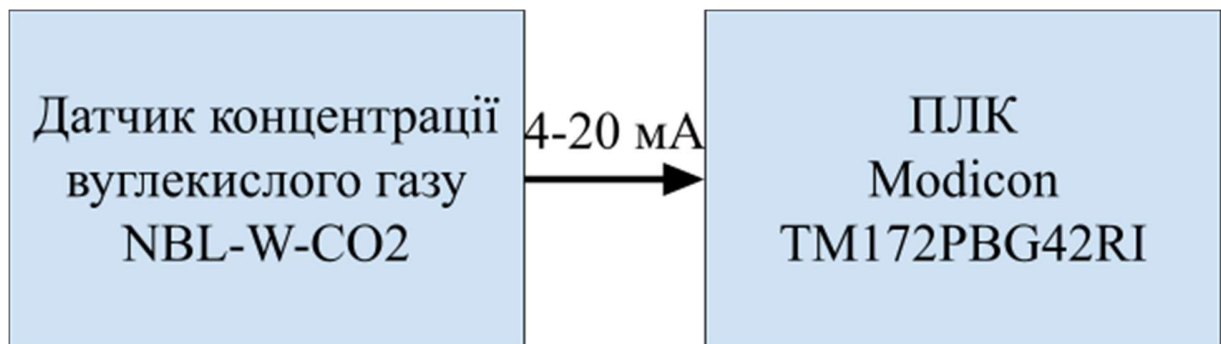


Рисунок 2.4 - ВК концентрації вуглекислого газу повітря в приміщенні

ВК температури повітря після калориферу складається з датчика температури повітря AFP 1000, який передає інформацію на ПЛК Modicon TM172PBG42RI.

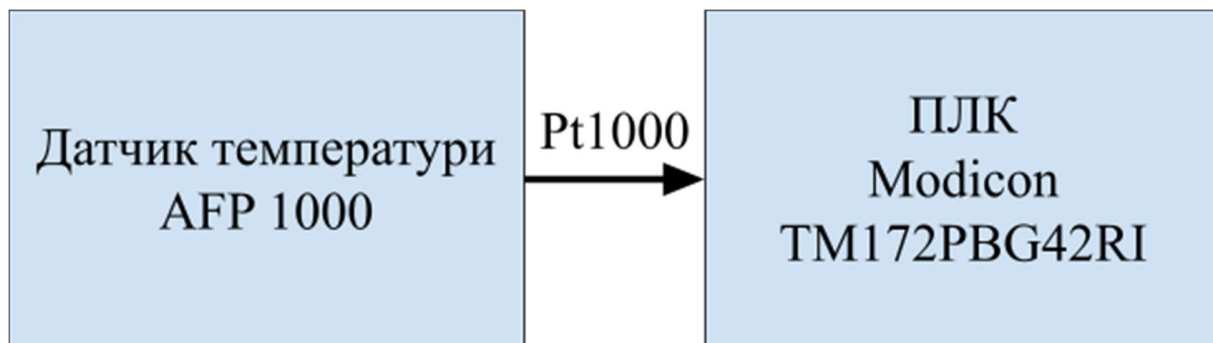


Рисунок 2.5 - ВК температури повітря після калориферу

2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів

Джерелом електроенергії для датчиків є БЖ ABLS1A24100, що подає напругу 24 В постійного струму, гарантуючи безперебійне функціонування всіх елементів системи. Усі датчики підключені до ПЛК Modicon M172, який відповідає за збирання та аналіз інформації, що надходить від них. Приєднання сенсорів до ПЛК реалізовано за допомогою різноманітних клемних з'єднань, призначених для передачі аналогових та дискретних сигналів.

Аналогові сигнали застосовуються для інтеграції таких сенсорів, як датчики концентрації вуглекислого газу, температури та вологості, що підключені до АІ-входів.

Дискретні сигнали використовуються для підключення реле перепаду тиску та датчику перегріву. Ці сенсори під'єднуються до ДІ-входів.

Деякі датчики оснащені функціями сповіщення, які підключаються до світлосигнальної арматури для наочного відображення стану системи. Це дає змогу персоналу оперативно виявляти будь-які збої в роботі обладнання та реагувати на них.

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Встановлення датчика температури повітря AFP 1000 здійснюється за допомогою 4 дюбелей (Рис. 2.6).

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

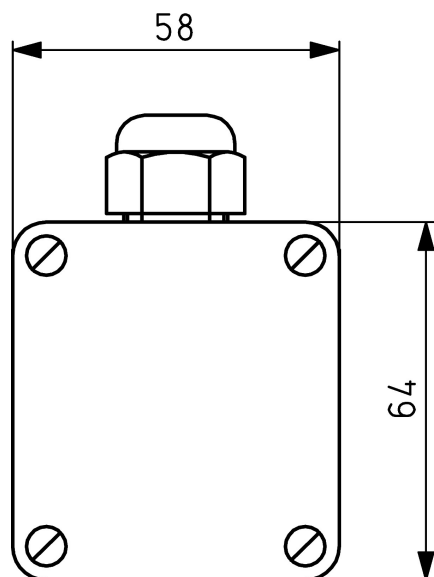


Рисунок 2.6 - Монтажна схема датчика температури повітря навколишнього середовища та температури повітря після калорифера

Встановлення датчика температури та вологості повітря FG6020 здійснюється за допомогою 2 дюбелей(Рис. 2.7).



Рисунок 2.7 - Монтажна схема датчика температури та вологості повітря FG6020

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлення датчика концентрації вуглекислого газу в повітрі NBL-W-CO2 здійснюється за допомогою вбудованих гвинтів(Рис. 2.8).

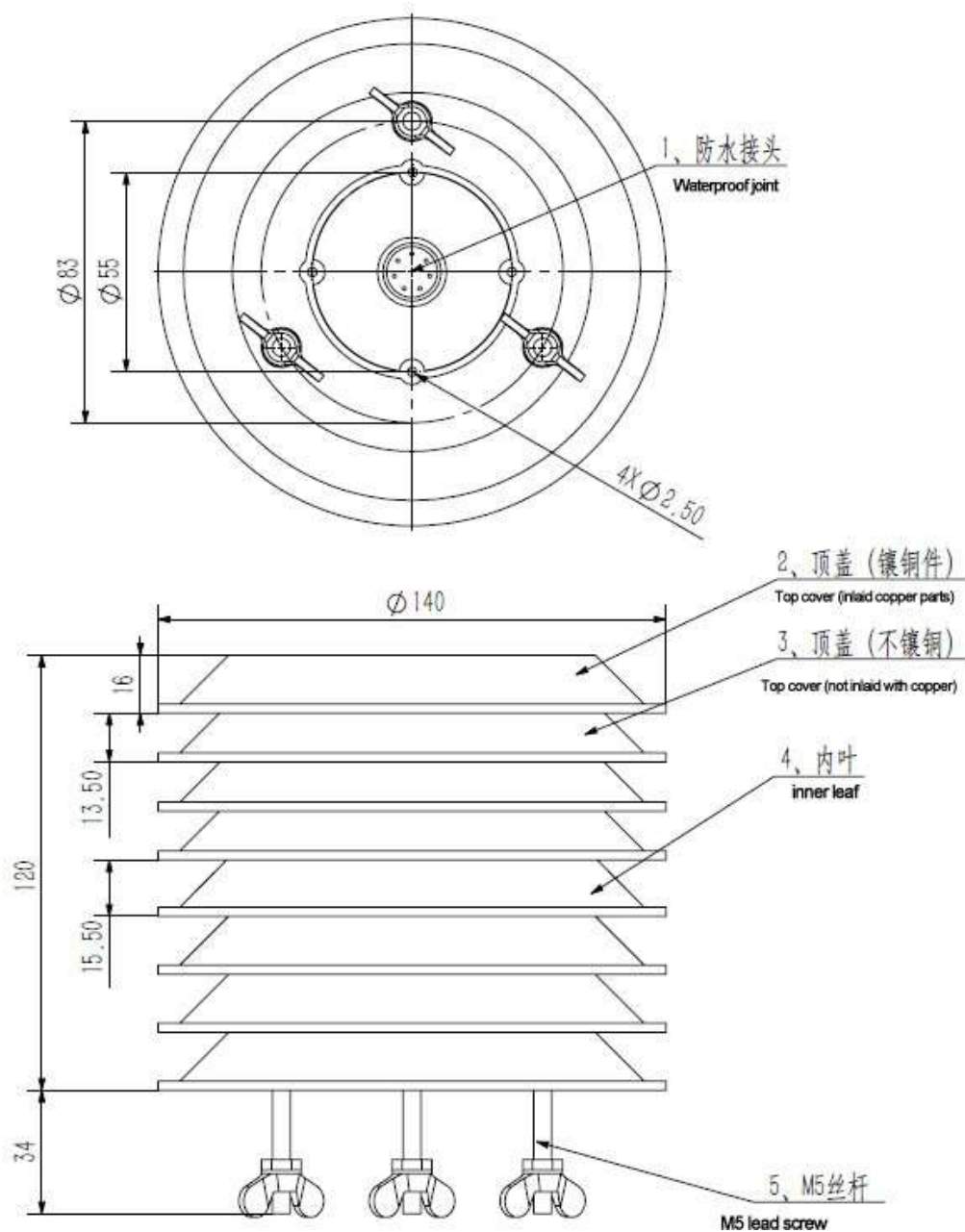


Рисунок 2.8 - Монтажна схема датчика концентрації вуглекислого газу в повітрі NBL-W-CO2

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

Однією з найпоширеніших загроз для вимірювальних каналів є електромагнітні наведення. Вони можуть спричиняти спотворення сигналів, знижувати загальну продуктивність системи та, в окремих випадках, призводити до її повного виходу з ладу. Ефективними способами нейтралізації електромагнітних перешкод є екранування провідників та заземлення давачів. Екранування реалізується шляхом покриття кабелів струмопровідним матеріалом, що захищає їх від зовнішнього електромагнітного впливу. Заземлення передбачає з'єднання корпусів давачів із землею за допомогою спеціальних провідників, що допомагає відводити небажані струми та стабілізувати електричний потенціал. Існує декілька типів кабельної продукції, спеціально розробленої для захисту від електромагнітних впливів. До них належать кабелі з мідною чи алюмінієвою оболонкою, кабелі, що містять металеву фольгу, та кабелі з суцільною металевією оболонкою. Для уникнення механічних пошкоджень та забруднення кабельних ліній під час монтажних робіт, доцільно використовувати пластикові кабельні лотки або гофровані труби.

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

Схеми структурні надійності ВК АСР температури в приміщенні зберігання комбікорму наведені на Рис. 2.9-2.13. Головне призначення схем – кількісна оцінка надійності. Вони слугують основою для розрахунку важливих показників, таких як ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов та середній час напрацювання до відмови.



Рисунок 2.9 - Схема структурна надійності ВК температури повітря навколишнього середовища

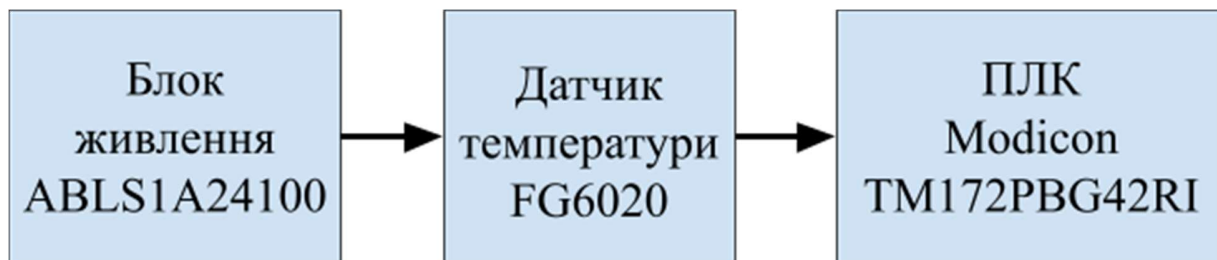


Рисунок 2.10 - Схема структурна надійності ВК температури повітря в приміщенні

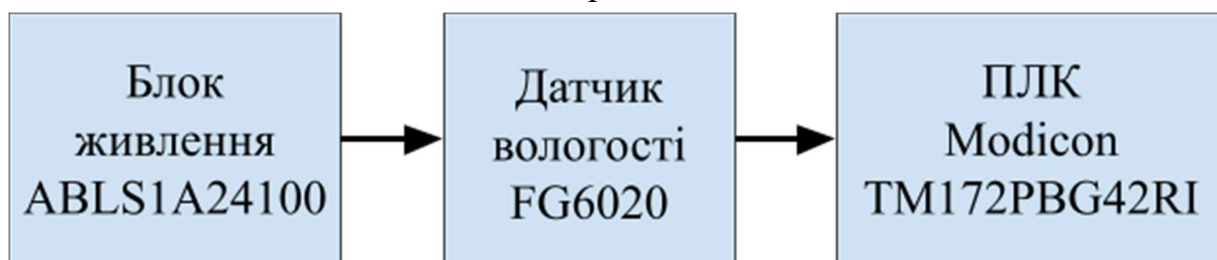


Рисунок 2.11 - Схема структурна надійності ВК вологості повітря в приміщенні

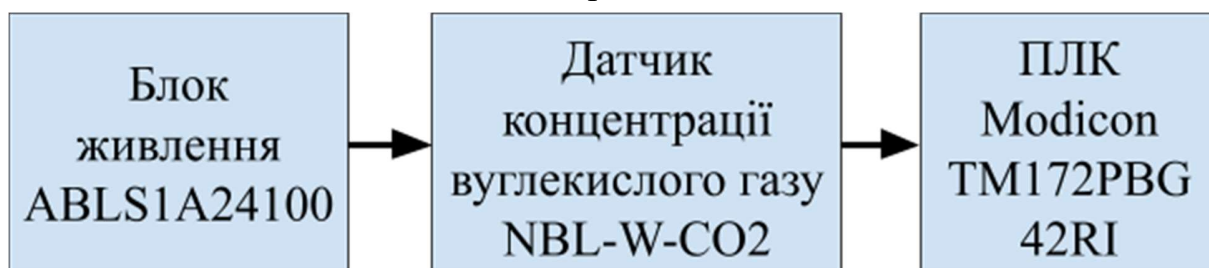


Рисунок 2.12 - Схема структурна надійності ВК концентрації вуглекислого газу повітря в приміщенні



Рисунок 2.13 - Схема структурна надійності ВК температури повітря після калориферу

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Розрахунок абсолютної похибки кожного елементу, який входить до відповідного вимірювального каналу, виконується за формулою:

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

де $\varepsilon_{\text{кл}}$ - клас точності елементу;

x_{max} , x_{min} - максимальне та мінімальне значення вимірюваної величини.

Абсолютна похибка ВК визначається за формулою:

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

де Δ_i - абсолютна похибка і-го елемента ВК.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Метрологічні розрахунки ВК АСР температури повітря

ВК	Елемент ВК	Клас точності	Діапазон вимірювання	Абсолютна похибка елемента	Абсолютна похибка ВК
1	AFP 1000	0.5	-30...+70	0.5 °C	0.500
	TM172PBG 42RI	0.01	-	0.01 °C	
2	FG6020	0.01	0...50	0.005 °C	0.007
	TM172PBG 42RI	0.01	-	0.005 °C	
3	FG6021	0.01	0...100	0.01 %	0.014
	TM172PBG 42RI	0.01	-	0.01 %	
4	NBL-W-CO 2	4	0...5000	200 ppm	200.001
	TM172PBG 42RI	0.01	-	0.5 ppm	

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

1. Інтенсивність відмов (λ) обчислюється за формулою:

$$\lambda = \frac{1}{T_{\text{ср}}}$$

де $T_{\text{ср}}$ - середнє напрацювання на відмову.

2. Загальна інтенсивність відмов для послідовної структурної схеми:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

де n - кількість послідовно з'єднаних елементів.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Середнє напрацювання на відмову ($T_{\text{ср}}$) обчислюється за формулою:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}$$

4. Середній час напрацювання на відмову для послідовної структурної схеми:

$$T_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n T_{\text{ср}i}$$

5. Ймовірність безвідмовної роботи ($P_{\delta}(\tau)$):

$$P_{\delta}(\tau) = e^{-\frac{\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{-\lambda\tau} = 1 - \frac{\tau}{T_{\text{ср}}} = 1 - \lambda\tau$$

де τ - період часу.

6. Ймовірність відновлення працездатності ($P_B(\tau)$):

$$P_B(\tau) = 1 - e^{-\frac{\tau}{T_B}}$$

де T_B - середній час відновлення працездатності, $T_{\text{дод}}$ - допустимий час функціонування відмовляємої функції АСУТП.

7. Ймовірність безвідмовної роботи з урахуванням відновлення ($P_c(\tau)$):

$$P_c(\tau) = P_{\delta}(\tau) + [1 - P_{\delta}(\tau)] \times P_B(\tau)$$

$$P_c(\tau) \geq P_{\delta}(\tau)$$

8. Коефіцієнт готовності ($K_{\text{гот}}$):

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_B}$$

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваного завдання ($P_{\text{оч}}(\tau)$):

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{гот}} P_{\delta}(\tau)$$

$$P_{\text{оч}}(\tau) \leq P_{\delta}(\tau)$$

Таблиця 2.2 - Розрахунки надійності ВК АСР температури повітря

ВК	Елемент ВК	Тсрi, год	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год	Тср, год	$P_{\delta}(\tau)$
1	ABLS1A24100	700000	1.43	258000	0.996
	AFP 1000	30000	33.33		
	TM172PBG42R I	44000	22.73		
2	ABLS1A24100	700000	1.43	277333	0.996
	FG6020	88000	11.36		
	TM172PBG42R I	44000	22.73		
3	ABLS1A24100	700000	1.43	581333	0.998
	LF32-05	100000 0	1.00		
	TM172PBG42R I	44000	22.73		
4	ABLS1A24100	700000	1.43	291667	0.997
	NBL-W-CO2	131000	7.63		
	TM172PBG42R I	44000	22.73		

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Ключові можливості, ПЛК Modicon TM172PBG42RI від Schneider Electric, первинної обробки сигналів, що надходять від вимірювальних пристроїв це:

1. 12 універсальних аналогових входів.

Первинна обробка включає типізацію вхідного сигналу, тобто, кожен вхід може бути програмно налаштований для роботи з різними типами датчиків та сигналів(термоопори, струмові сигнали та сигнали напруги).

Далі здійснюється перетворення "сирих" значень, отриманих від АЦП, у фізичні величини згідно з одиницями вимірювання. Параметри масштабування задаються на етапі програмування контролера.

Також передбачена можливість застосування програмних фільтрів для зменшення впливу шумів та згладжування вхідних аналогових сигналів.

2. 12 дискретних входів

Вони діляться на дискретні входи та високошвидкісні лічильники.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

На основі проведеного інженерного розрахунку вимірювальних каналів САР можна зробити висновок про їхню роботоздатність та відповідність вимогам для забезпечення належного контролю параметрів мікроклімату в приміщенні зберігання комбікорму.

Система включає наступні вимірювальні канали:

- ВК температури повітря навколишнього середовища (поз. 1а)
- ВК температури та вологості повітря в приміщенні (поз. 2а)
- ВК концентрації вуглекислого газу повітря в приміщенні (поз. 13а)
- ВК температури повітря після калориферу (поз. 15а)

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожен вимірювальний канал складається з відповідного первинного перетворювача, який передає інформацію на ПЛК Modicon TM172PBG42RI. Для живлення датчиків використовується блок живлення ABLS1A24100, що забезпечує стабільну напругу 24 В постійного струму.

Підключення датчиків до ПЛК реалізовано з використанням аналогових (для датчиків концентрації вуглекислого газу, температури та вологості).

Метрологічний розрахунок (Таблиця 2.1) показує, що абсолютні похибки вимірювальних каналів знаходяться в допустимих межах. Це свідчить про достатню точність вимірювань для задач регулювання.

Розрахунок надійності (Таблиця 2.2) продемонстрував високі показники середнього напрацювання на відмову та ймовірності безвідмовної роботи для всіх вимірювальних каналів. Такі значення вказують на високу надійність функціонування вимірювальних каналів протягом тривалого часу.

Для захисту від електромагнітних наведень передбачено екранування провідників та заземлення корпусів давачів. Також для захисту кабельних ліній від механічних пошкоджень та забруднень використовуються пластикові кабельні лотки та гофровані труби.

Первинна обробка даних в ПЛК Modicon TM172PBG42RI включає типізацію вхідних сигналів, перетворення "сирих" значень АЦП у фізичні величини та можливість застосування програмних фільтрів для зменшення впливу шумів, що підвищує якість та достовірність отриманих даних.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Інженерний розрахунок регульовально-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

Системи автоматичного регулювання в АСР температури в приміщенні зберігання комбікорму:

1. Одноконтурна САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму реалізує управляючу функцію стабілізації температури повітря калорифером, шляхом нагріву повітря, що надходить до приміщення;
2. Одноконтурна САР вологості повітря в приміщенні зберігання комбікорму реалізує управляючу функцію стабілізації вологості повітря осушувачем, шляхом осушення повітря, що надходить до приміщення.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

Функціональна схема одноконтурна САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму складається з датчика температури АРР 1000, ПЛК ТМ172РВР42РІ та калорифер Вентс НК 100-1,2-1 У. ПЛК порівнює поточне значення температури повітря та уставки, передаючи сигнал керування на калорифер для догріву повітря.

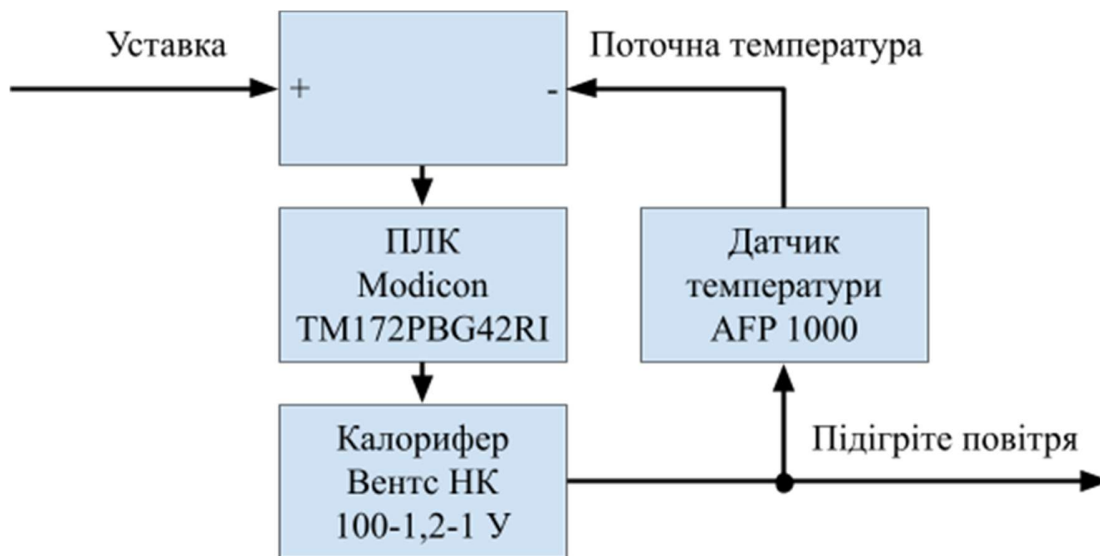


Рисунок 2.14 - Функціональна схема одноконтурної САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму

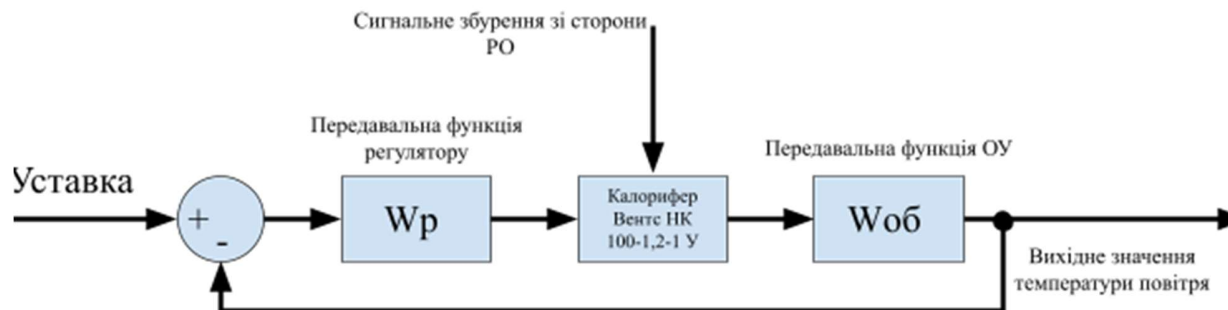


Рисунок 2.15 - Структурна схема одноконтурної САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму

2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

Структурна схема регулювального каналу одноконтурної САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму показана на Рисунку 2.16. Вона включає ФБ РЕГ, який отримує сигнали поточної температури та уставки.

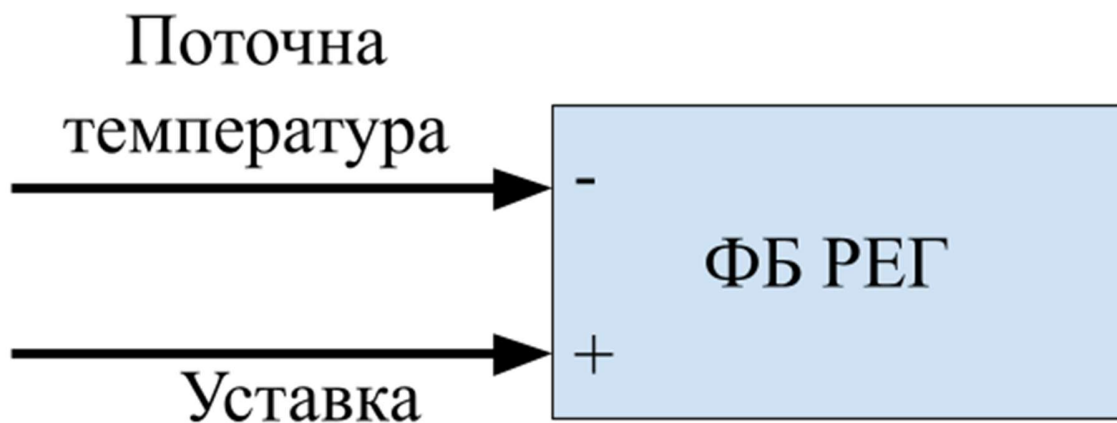


Рисунок 2.16 - Структурна схема регулювального каналу одноконтурної САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму

Структурна схема виконавчого каналу одноконтурної САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму наведена на Рисунку 2.17. Вона

складається з ЦАП ПЛК Modicon TM172PBG42RI та калорифера Вентс НК 100-1,2-1 У, який здійснює підігрів повітря.

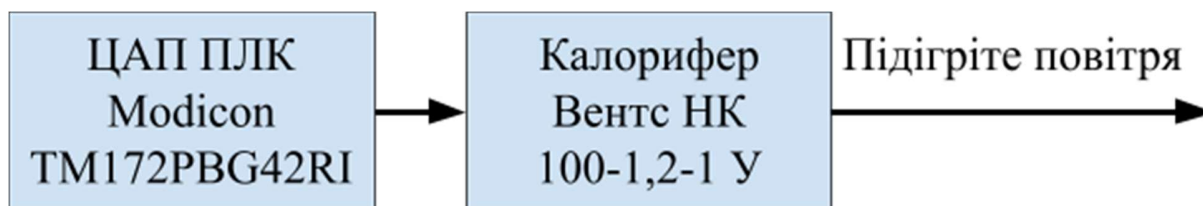


Рисунок 2.17 - Структурна схема виконавчого каналу одноконтурної САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

Структурна схема програмно-технічних засобів одноконтурної САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму представлена на Рисунку 2.18. Ця схема ілюструє взаємодію апаратних та програмних компонентів системи, датчик температури АРР 1000 передає сигнал (Pt1000) на АЦП ПЛК Modicon TM172PBG42RI. ПЛК, використовуючи ФБ РЕГ, порівнює поточну температуру з уставкою та формує керуючий сигнал. Цей сигнал через ЦАП ПЛК надходить на калорифер Вентс НК 100-1,2-1 У для підігріву повітря, що надходить від рекуператора. Дані також передаються через MQTT брокер та MQTT Subscriber до SCADA системи та SQL СУБД для моніторингу та аналізу.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

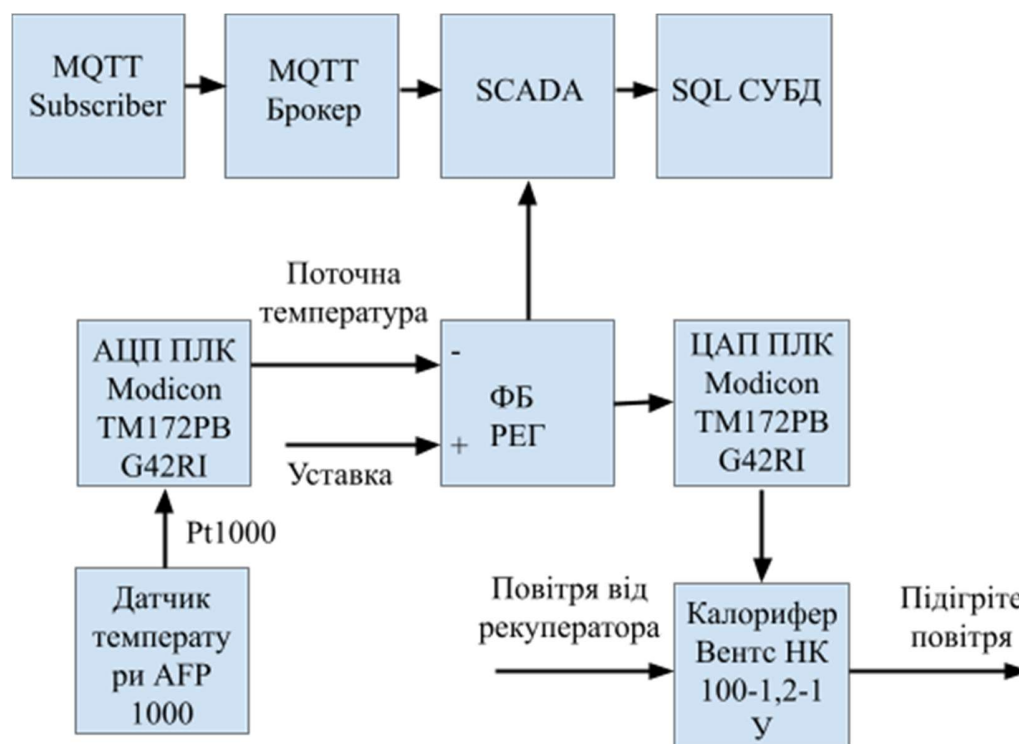


Рисунок 2.18 - Структурна схема програмно-технічних засобів одноконтурної САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

Структурна схема надійності управляючої функції одноконтурної САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму наведена на Рисунку 2.19. Вона включає послідовно з'єднаний блок живлення ABLS1A24100, датчик температури AFP 1000, ПЛК Modicon TM172PBG42RI та калорифер Вентс НК 100-1,2-1 У.

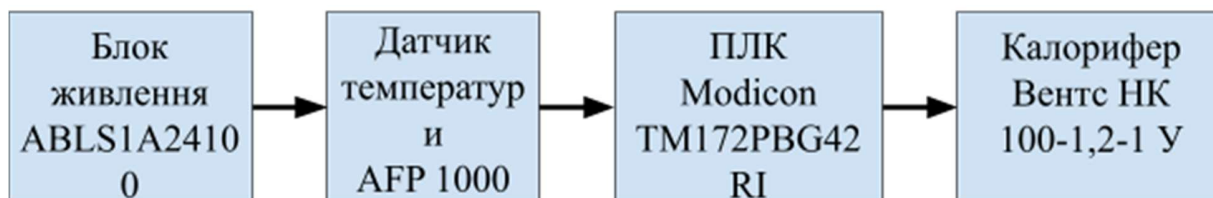


Рисунок 2.19 - Структурна схема надійності управляючої функції одноконтурної САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму

Структурна схема надійності управляючої функції одноконтурної САР вологості повітря в приміщенні зберігання комбікорму представлена на Рисунку 2.20. Ця схема також показує послідовне з'єднання блоку живлення ABLS1A24100, датчика вологості FG6020, ПЛК Modicon TM172PBG42RI та осушувача Dantherm CDP 85.

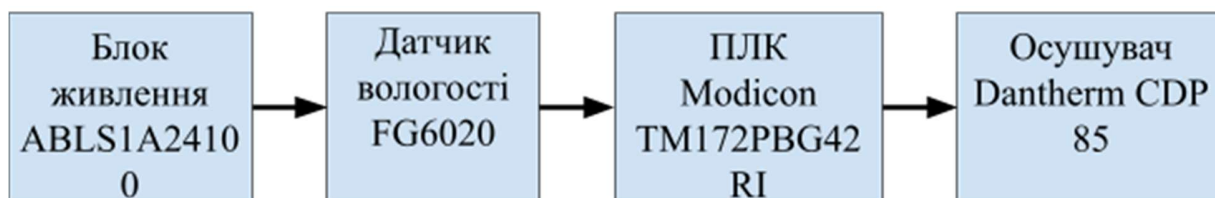


Рисунок 2.20 - Структурна схема надійності управляючої функції одноконтурної САР вологості повітря в приміщенні зберігання комбікорму

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Розрахунки надійності управляючих функцій АСР температури повітря наведені в Таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Розрахунки надійності управляючих функцій АСР температури повітря

БК	Елемент БК	Тсрi, год	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год	Тср, год	Pδ(τ)
Регулювання температури повітря що надходить до приміщення	ABLS1A24100	700000	1.43	258000	0.996
	AFP 1000	30000	33.33		
	TM172PBG42RI	44000	22.73		
	Калорифер Вентс НК 100-1,2-1 у	44000	22.73		
Регулювання вологості повітря що надходить до приміщення	ABLS1A24100	700000	1.43	54000	0.981
	FG6020	88000	11.36		
	TM172PBG42RI	44000	22.73		
	Осушувач Dantherm CDP 85	30000	33.33		

2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління

Передавальна функція об'єкту управління:

$$W(p) = \frac{0.35e^{-65p}}{550p + 1}$$

Побудуємо перехідні характеристики, за даними передавальної функції.



Рисунок 2.21 - Структурна схема об'єкта управління

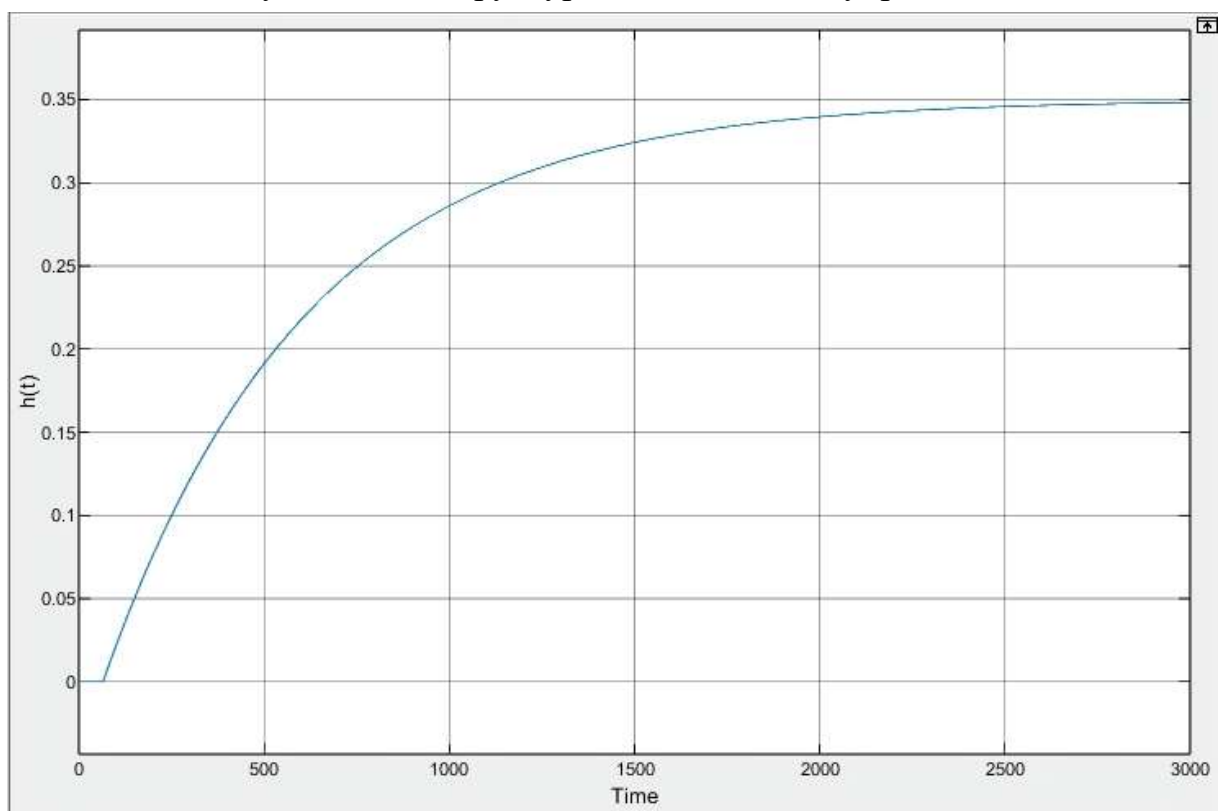


Рисунок 2.22 - Перехідна характеристика ОУ

2.2.8 Розрахунок регуляторів САР

Проведемо розрахунок для ПІ-регулятора, який має суттєві переваги, порівняно з ПД-регулятором. Відсутність диференціальної складової усуває проблеми, пов'язані з її чутливістю до високочастотних шумів, що могло б спричинити зайве "напруження" системи та небажані

перехідні процеси. Це робить ПІ-регулятор більш стійким та надійним в реальних умовах експлуатації.

Порівняно з П-регулятором, ПІ-регулятор завдяки інтегральній складовій здатен повністю усувати статичну помилку. П-регулятор часто залишає невелику, але постійну помилку між бажаним та фактичним значенням регульованої величини. Інтегральна складова накопичує цю помилку з часом і коригує вихідний сигнал регулятора доти, доки помилка не стане нульовою, що забезпечує вищу точність регулювання.

Для визначення оптимальних параметрів ПІ-регулятора будуть використані два методи. Перший – це метод розширеної амплітудно-фазової характеристики (РАФХ). Другий – експрес-метод, для перехідного процесу з 20% перерегулюванням, якому відповідає $\Psi = 0.9$, $m = 0.366$.

Експрес-метод

Обрахунок експрес-методу:

$$K_{\pi} = \frac{0,7T_{об}}{K_{об} \tau_{об}} = \frac{0,7 \times 550}{0,35 \times 65} = 16.92$$

$$T_i = 0,7T_{об} = 385$$

$$K_i = \frac{K}{T_i} = 4,39 \times 10^{-2}$$

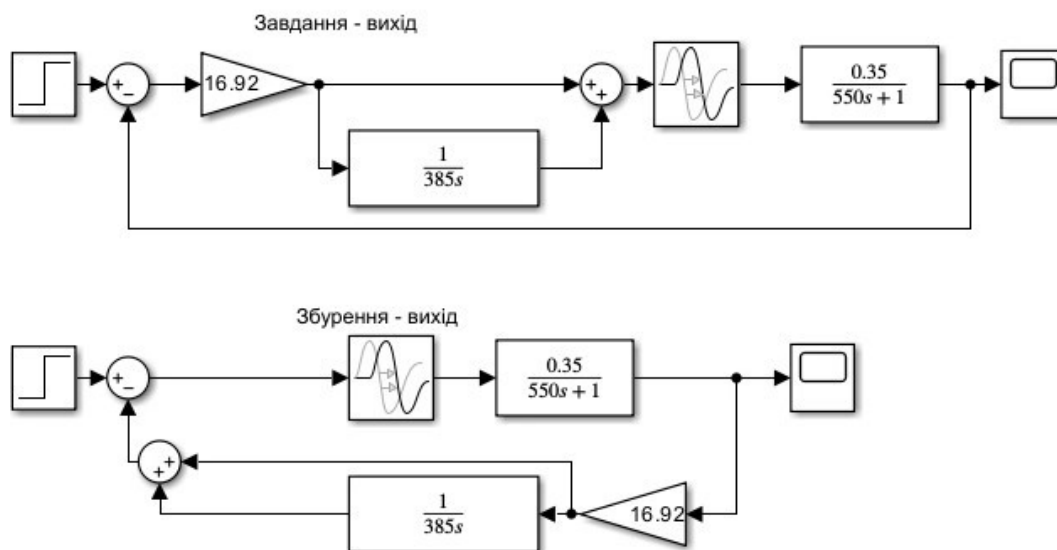


Рисунок 2.23 - Структурна схема САУ з ПІ-регулятором за каналом «завдання-вихід» за експрес-методом

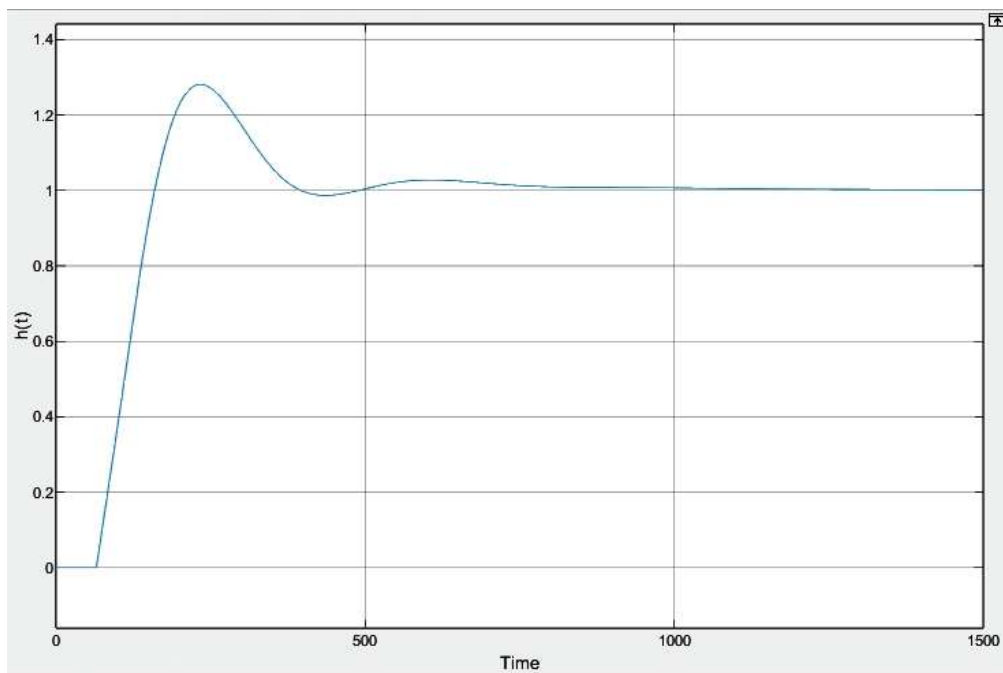


Рисунок 2.24 - Графік перехідного процесу САУ з ПІ-регулятором за каналом «завдання-вихід» за експрес-методом

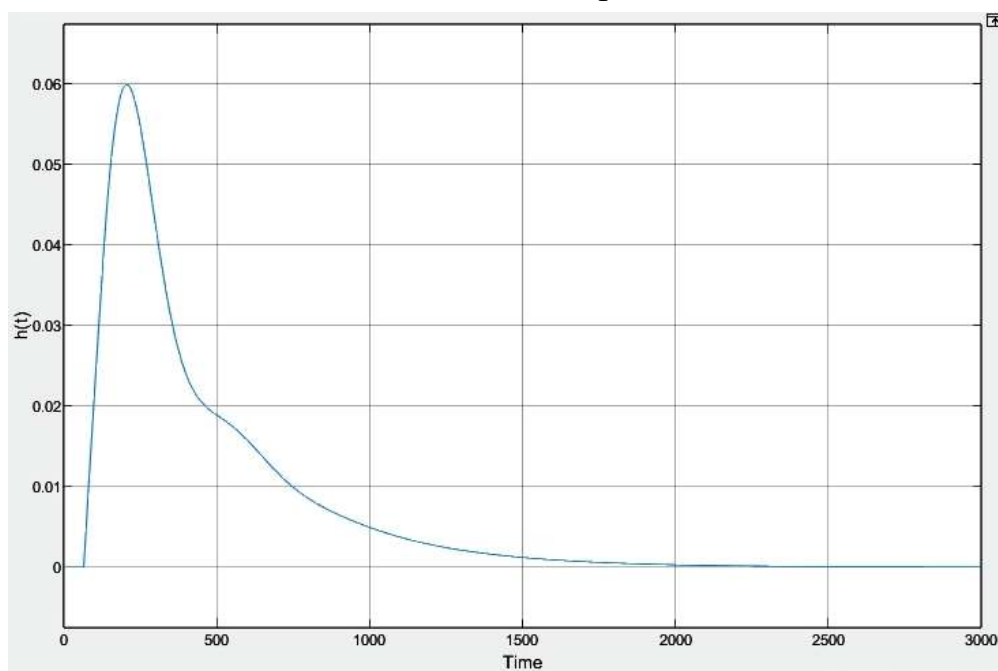


Рисунок 2.25 - Графік перехідного процесу САУ з ПІ-регулятором за каналом «збурення-вихід» за експрес-методом

Метод РАФХ

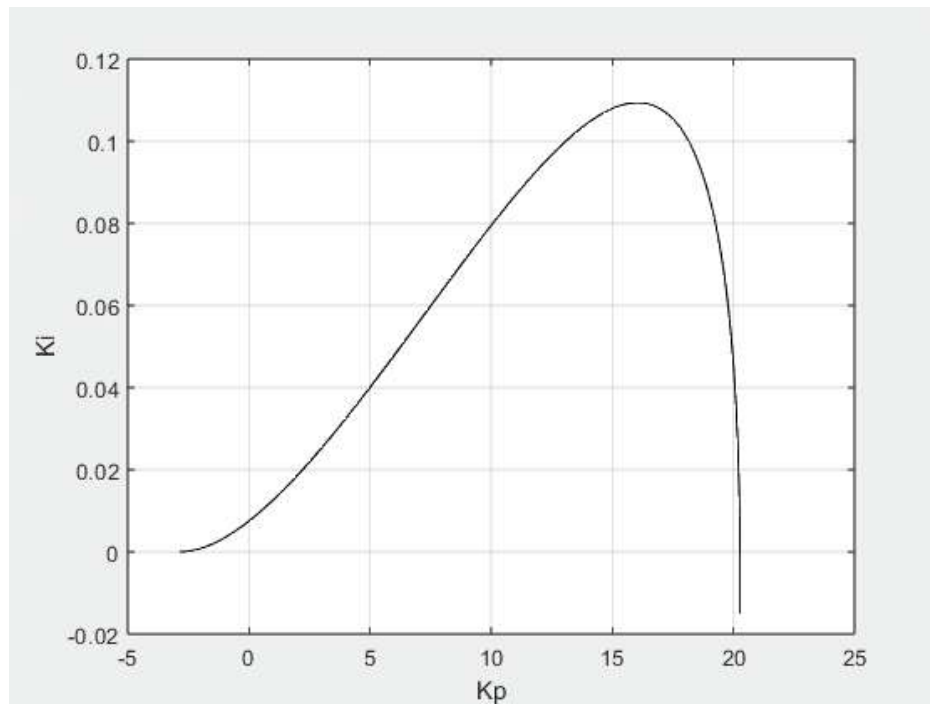


Рисунок 2.26 - Крива заданого степеня коливальності еквівалентного об'єкта

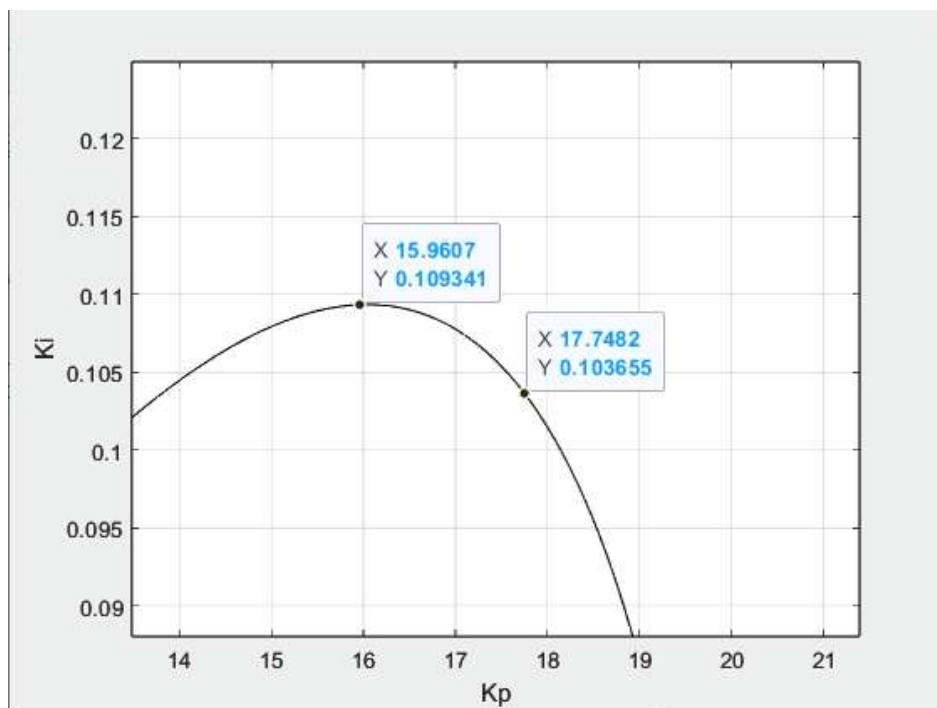


Рисунок 2.27 - Крива заданого степеня коливальності еквівалентного об'єкта з позначеними точками

$$K_{\pi} = 17,7482$$

$$T_i = 0,103655$$

$$K_i = \frac{K_{\pi}}{T_i} = \frac{17,7482}{0,103655} = 171,22$$

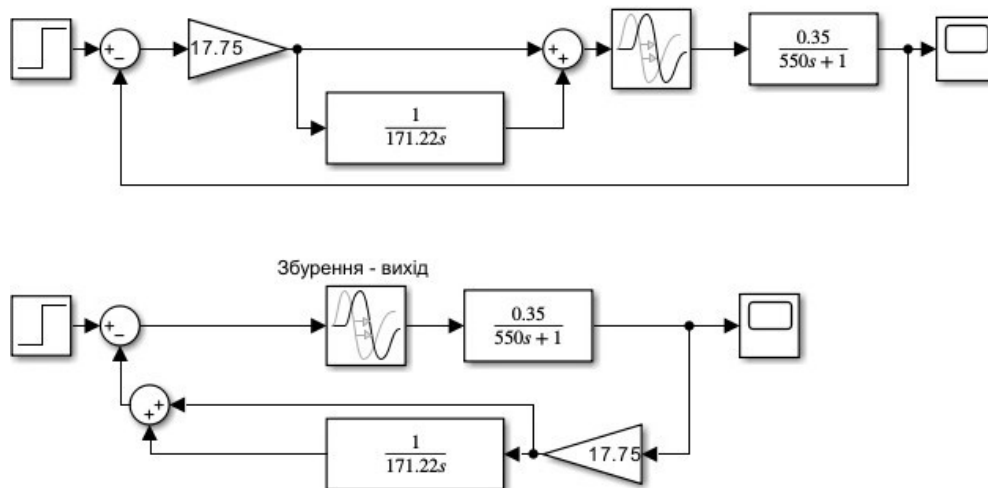


Рисунок 2.28 - Структурна схема САУ з ПІ-регулятором за каналом «завдання-вихід» за методом РАФХ

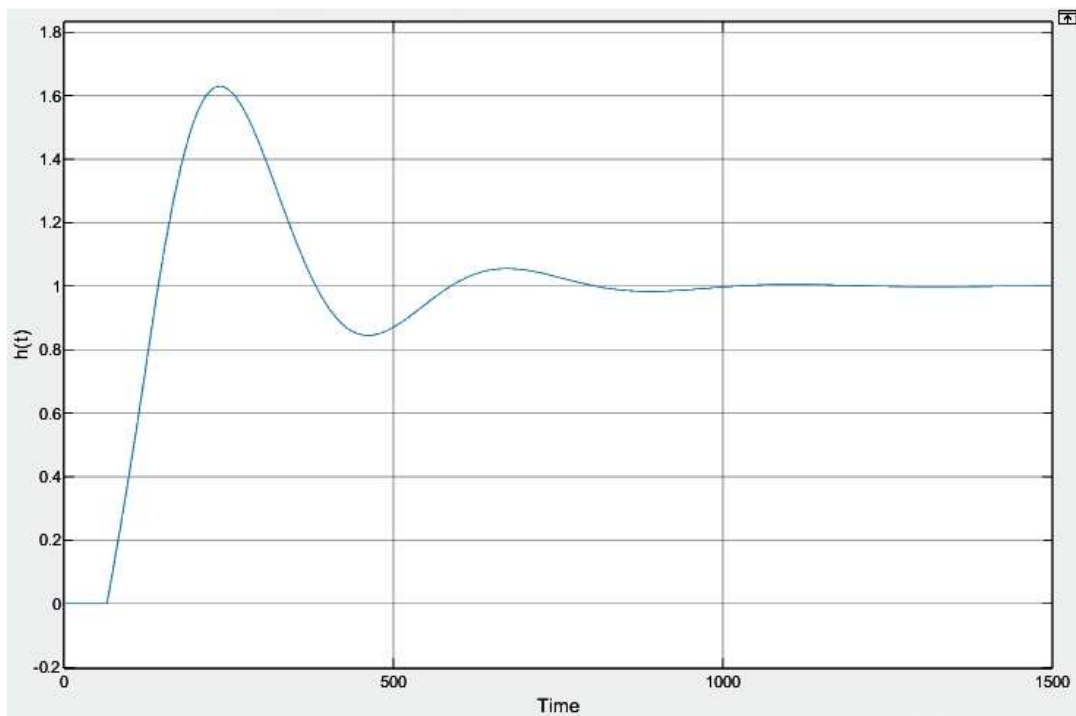


Рисунок 2.29 - Графік перехідного процесу САУ з ПІ-регулятором за каналом «завдання-вихід» за методом РАФХ

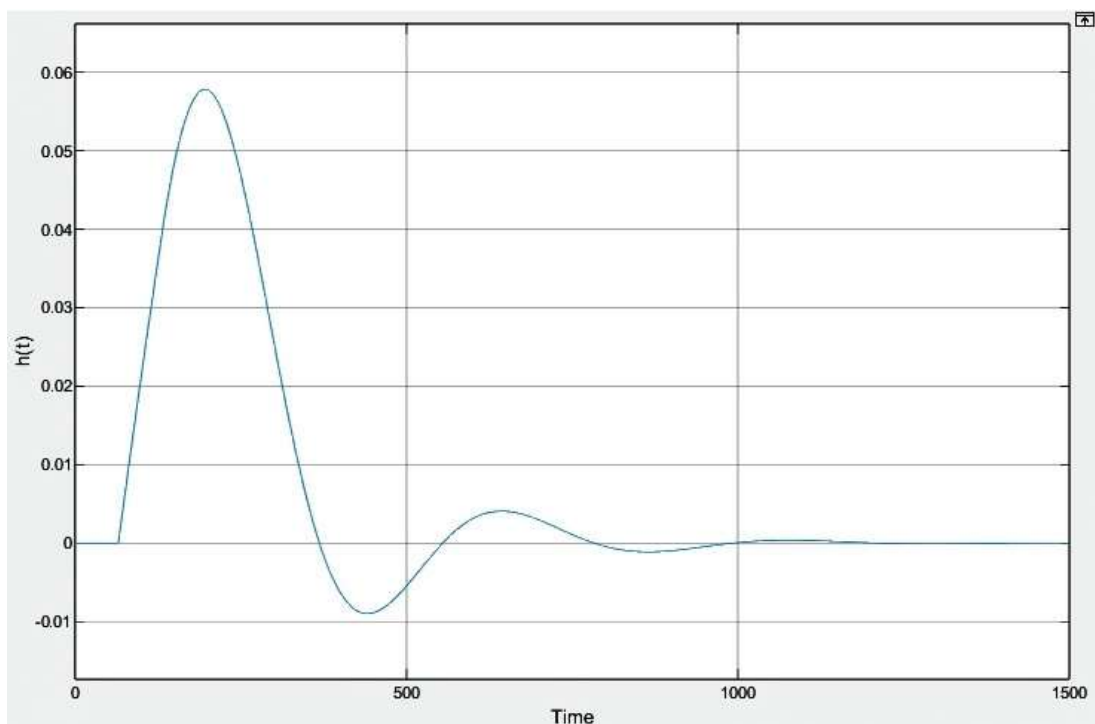


Рисунок 2.30 - Графік перехідного процесу САУ з ПІ-регулятором за каналом «збурення-вихід» за методом РАФХ

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Відповідно до отриманих даних, які наведені в Таблиці 2.4, показники якості для системи, отримані за допомогою експрес методу є набагато кращими, ніж отримані за методом РАФХ. Для дослідження оберемо саме параметри отримані за допомогою методу 20% перерегулювання.

Таблиця 2.4 - Показники якості за експрес-методом та методом РАФХ

Показник якості	Канал "завдання-вихід"		Канал "збурення-вихід"	
	Експрес-метод	РАФХ	Експрес-метод	РАФХ
Статична похибка , $\Delta_{ст}$	0	0	0	0
Динамічна похибка , $\Delta_{дин}$	0,281	0,63	0,06	0,058
Перерегулювання $\sigma, \%$	28,1	63	0	15,521
Степінь затухання ψ	0,9	0,912	1	0,929
Час перехідного процесу $t_{пп,с}$	481	991	1178	700

2.2.9 Функціональне моделювання САР

Проведемо аналіз чутливості САР режимного параметру до параметричних збурень. Для дослідження девіація параметрів обрана близько 10%.

Варіація параметра Коб

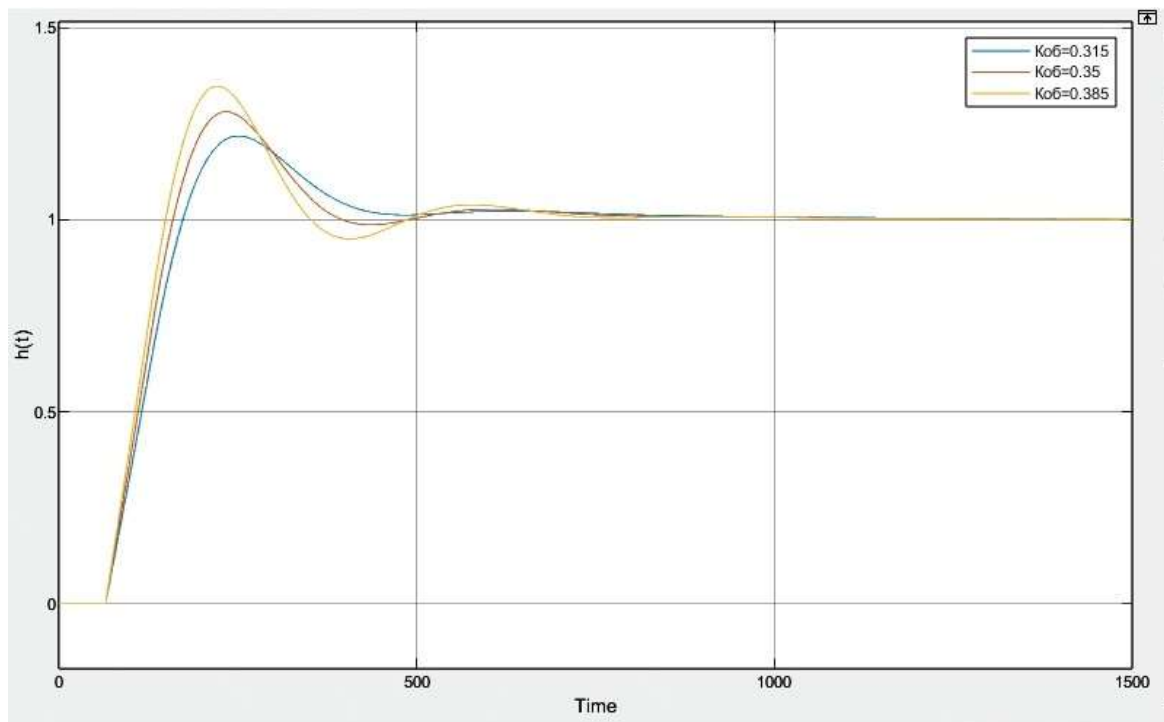


Рисунок 2.31 - Графік перехідних процесів за каналом «завдання-вихід» ($K_{об} = \text{var}$)

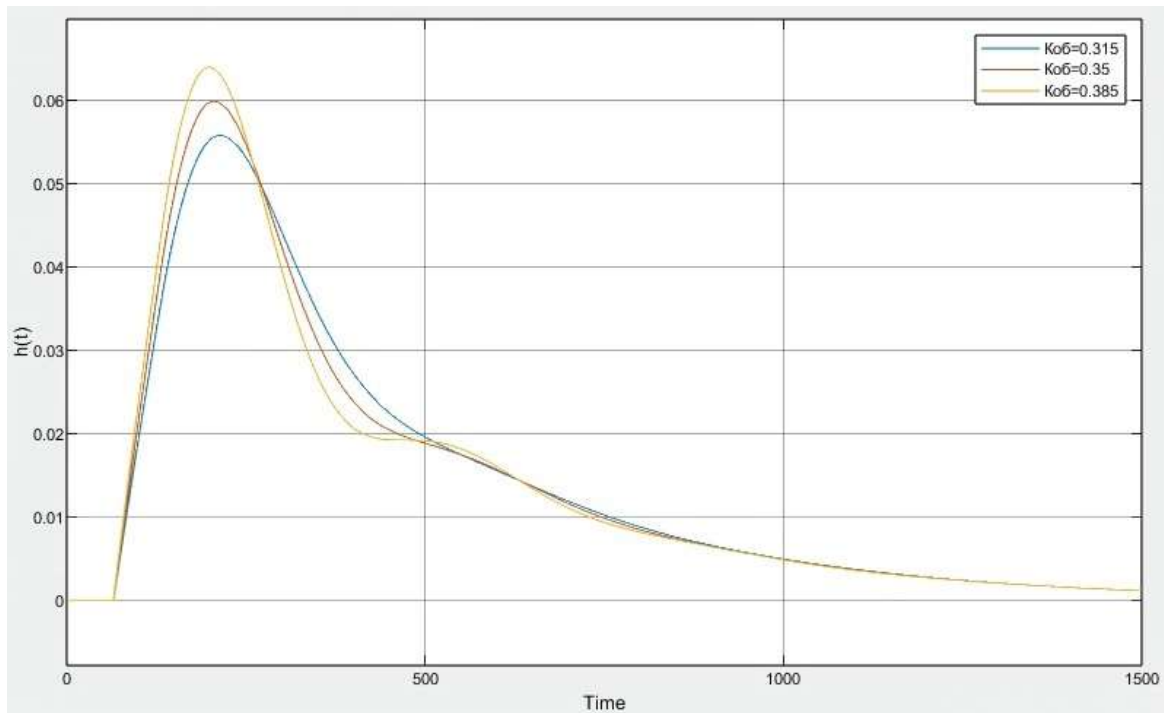


Рисунок 2.32 - Графік перехідних процесів за каналом «збурення-вихід» ($K_{об} = \text{var}$)

Таблиця 2.5 - Прямі показники якості за експрес-методом при $K_{об} = var$

Показник якості	Канал "завдання-вихід"			Канал "збурення-вихід"		
	$K_{об} = 0.315$	$K_{об} = 0.35$	$K_{об} = 0.385$	$K_{об} = 0.315$	$K_{об} = 0.35$	$K_{об} = 0.385$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,218	0,281	0,348	0,059	0,06	0,064
Перерегулювання $\sigma, \%$	21,8	28,1	34,8	0	0	0
Степінь згасання ψ	0,894	0,9	0,888	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}, c$	395	479	480	1139	1179	1219

Коефіцієнт чутливості за каналом "завдання-вихід" за експрес-методом при $K_{об} = var$:

$$K_{чут} = \left| \frac{\frac{0.281 - 0.218}{0.281}}{\frac{0.315 - 0.35}{0.35}} \right| = 2.242$$

Коефіцієнт чутливості за каналом "збурення-вихід" за експрес-методом при $K_{об} = var$:

$$K_{чут} = \left| \frac{\frac{0.06 - 0.059}{0.06}}{\frac{0.315 - 0.35}{0.35}} \right| = 0.167$$

Варіація параметра $T_{об}$

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

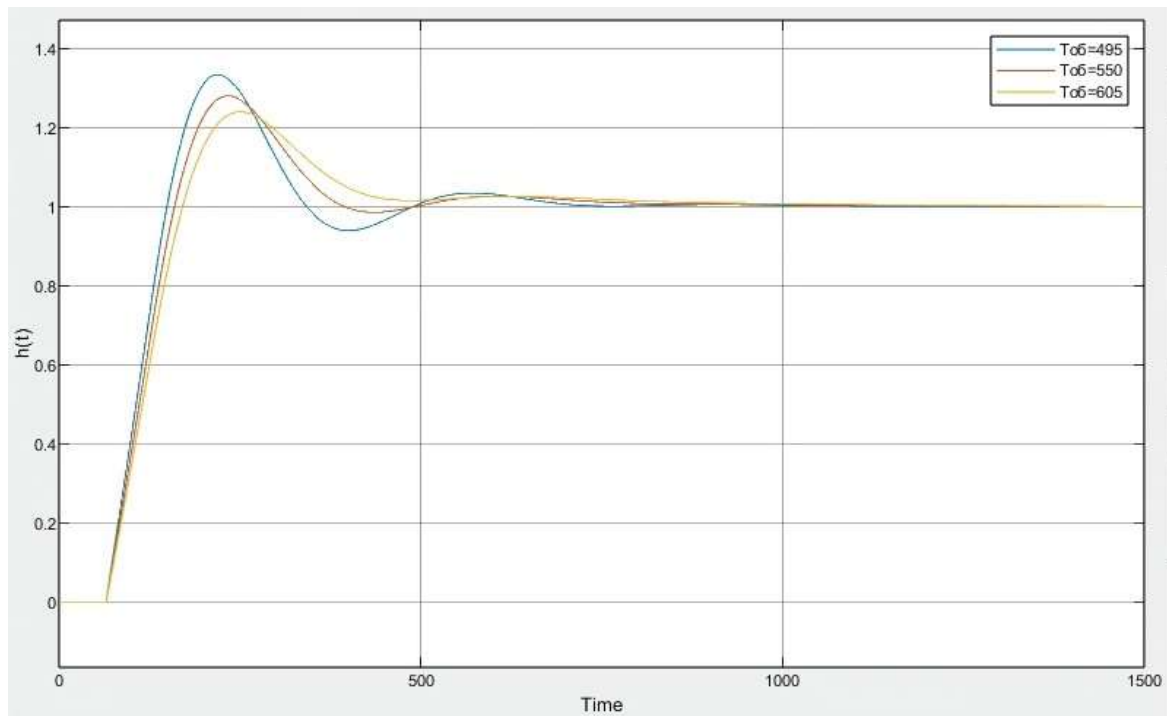


Рисунок 2.33 - Графік перехідних процесів за каналом «завдання-вихід» ($T_{об} = var$)

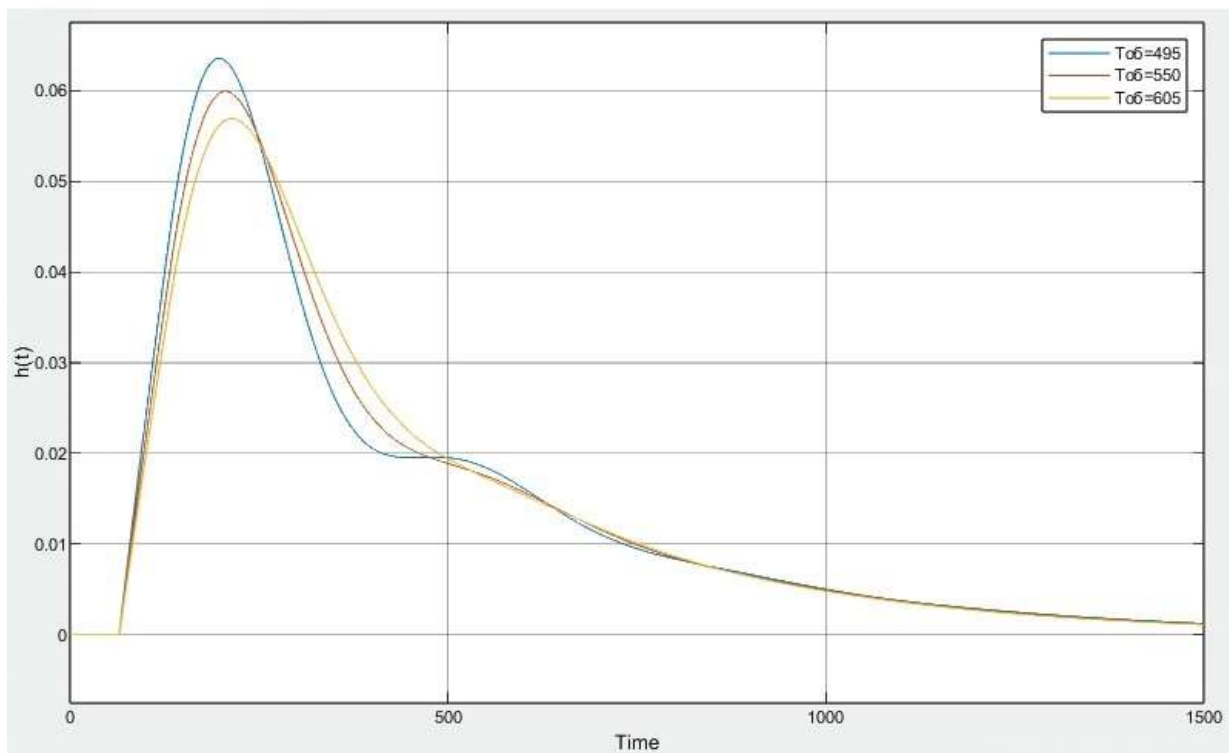


Рисунок 2.34 - Графік перехідних процесів за каналом «збурення-вихід» ($T_{об} = var$)

Таблиця 2.6 - Прямі показники якості за експрес-методом при $T_{об} = var$

Показник якості	Канал "завдання-вихід"			Канал "збурення-вихід"		
	$T_{об} = 495$	$T_{об} = 550$	$T_{об} = 605$	$T_{об} = 495$	$T_{об} = 550$	$T_{об} = 605$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,335	0,281	0,241	0,064	0,06	0,059
Перерегулювання $\sigma, \%$	33,5	28,1	24,1	0	0	0
Степінь згасання ψ	0,893	0,900	0,888	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}, c$	472	479	485	1174	1179	1184

Коефіцієнт чутливості за каналом "завдання-вихід" за експрес-методом при $K_{об} = var$:

$$K_{чут} = \left| \frac{\frac{0,281 - 0,335}{0,281}}{\frac{495 - 550}{550}} \right| = 2.922$$

Коефіцієнт чутливості за каналом "збурення-вихід" за експрес-методом при $K_{об} = var$:

$$K_{чут} = \left| \frac{\frac{0,06 - 0,064}{0,06}}{\frac{495 - 550}{550}} \right| = 1.922$$

Варіація параметра $t_{об}$

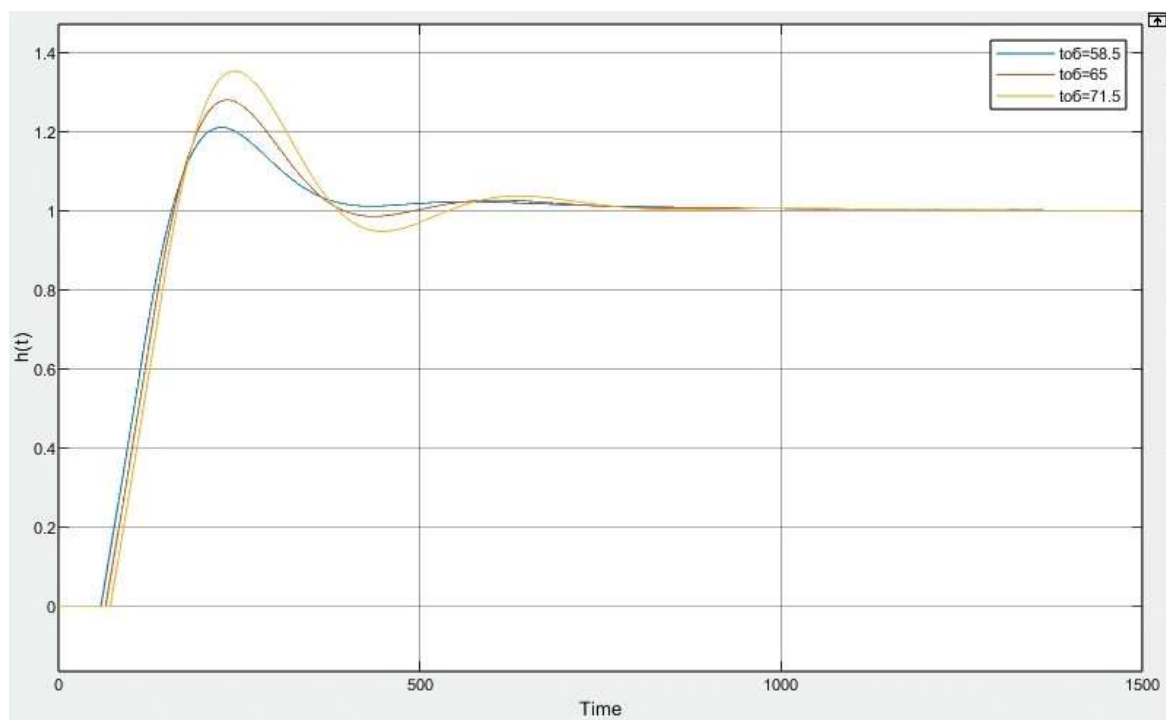


Рисунок 2.35 - Графік перехідних процесів за каналом «завдання-вихід» ($t_{об} = \text{var}$)

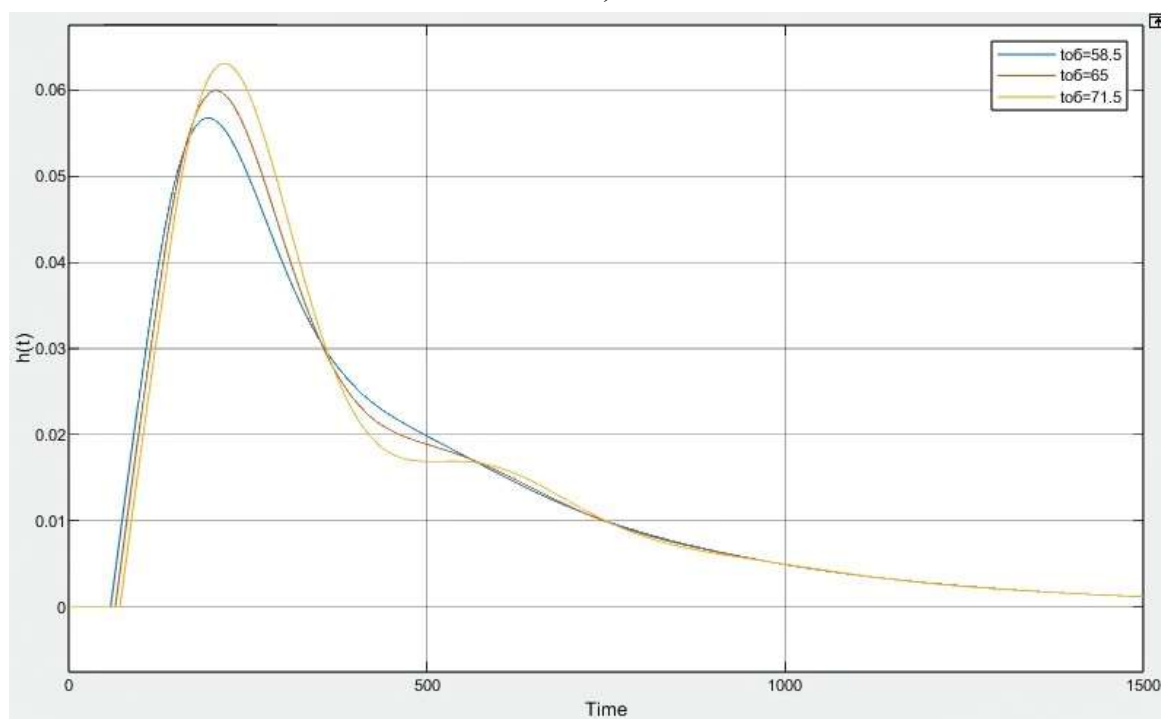


Рисунок 2.36 - Графік перехідних процесів за каналом «збурення-вихід» ($t_{об} = \text{var}$)

Таблиця 2.6 - Прямі показники за експрес-методом при $t_{об} = var$

Показник якості	Канал "завдання-вихід"			Канал "збурення-вихід"		
	$t_{об} = 58.5$	$t_{об} = 65$	$t_{об} = 71.5$	$t_{об} = 58.5$	$t_{об} = 65$	$t_{об} = 71.5$
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0,211	0,281	0,354	0,057	0,06	0,063
Перерегулювання $\sigma, \%$	21,1	28,1	35,4	0	0	0
Степінь згасання ψ	0,886	0,9	0,893	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}, c$	340	479	529	1197	1179	1158

Коефіцієнт чутливості за каналом "завдання-вихід" за експрес-методом при $K_{об} = var$:

$$K_{чут} = \left| \frac{\frac{0.211-0.281}{0.281}}{\frac{58.5-65}{65}} \right| = 2.491$$

Коефіцієнт чутливості за каналом "збурення-вихід" за експрес-методом при $K_{об} = var$:

$$K_{чут} = \left| \frac{\frac{0.057-0.06}{0.06}}{\frac{58.5-65}{65}} \right| = 0.5$$

Система є чутливою до параметричних збурень, адже майже за усіма каналами коефіцієнт чутливості більше одиниці.

2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР

Проведений аналіз та розрахунки свідчать про те, що розроблені регульовально-виконавчі канали САР температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму є роботоздатними та здатні забезпечити виконання поставлених завдань з регулювання.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР температури показав високі показники: середнє напрацювання на відмову склало 258000 годин, а ймовірність безвідмовної роботи 0.996. Ці значення свідчать про високу надійність спроектованого регулювально-виконавчого каналу.

Для забезпечення необхідної якості регулювання температури повітря було обрано ПІ-регулятор, параметри якого $K_p = 16.92 \text{ кВт/}^\circ\text{C}$, $T_i = 385\text{с}$. В порівнянні з результатами отриманими за допомогою методу РАФХ, дані параметри мають найкращий час перехідного процесу, при цьому маючи малу девіацію по іншим прямим показникам.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ОПИС ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ ПРОЕКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

Опис схеми функціональної автоматизації ТОУ наведений в підрозділі 1.5 ПЗ ДПБ.

3.2 Схема структурна ПТК

Опис схеми структурної ПТКЗА наведений в підрозділі 1.6 ПЗ ДПБ.

3.3 Схема принципова електрична АСР

Схема принципова електрична розкриває повний склад апаратури автоматизації, що розміщена в щиті керування, та деталізує всі електричні з'єднання між елементами системи.

Живлення щита керування здійснюється від однофазної мережі змінного струму напругою ~230В, 50Гц. Вхідне живлення подається на автоматичний вимикач QF1, який забезпечує загальний захист всієї схеми. Від QF1 напруга розподіляється на силові кола та на блок живлення ABLS1A24100. Блок живлення GB1 перетворює напругу ~230В АС на стабілізовану напругу 24В DC, яка використовується для живлення ПЛК Modicon TM172PBG42RI, всіх вимірювальних датчиків та кіл керування проміжних реле та контакторів. Силові кола виконавчих пристроїв живляться безпосередньо від мережі ~230В через окремі автоматичні вимикачі та контактори.

Аналогові датчики з вихідним сигналом 4-20 мА (датчик температури та вологості FG6020, датчик CO₂ NBL-W-CO2) підключаються до аналогових входів ПЛК за двопровідною схемою.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Термометри опору Pt1000 (датчики температури AFP 1000) підключаються до спеціалізованих аналогових входів ПЛК, призначених для роботи з RTD.

Дискретні датчики типу "сухий контакт" (датчик перегріву ТК50, датчики перепаду тиску LF32-05) підключаються до дискретних входів ПЛК. На один контакт датчика подається сигнал +24В DC, а інший контакт з'єднується з входом DI контролера. Замикання або розмикання контакту датчика сигналізує ПЛК про зміну стану об'єкта (перегрів електрокалорифера або забруднення фільтра).

Керування виконавчою апаратурою, яка є потужним споживачем (калорифер), здійснюється опосередковано. Дискретний вихід ПЛК подає сигнал на котушку керування проміжного реле. Силові контакти контактора К1, у свою чергу, замикають або розмикають силове коло живлення ~230В, що подається на нагрівальні елементи калорифера.

Призначення елементів схеми:

- QF1-QF6(автоматичні вимикачі). Забезпечують захист електричних кіл від струмів короткого замикання та перевантажень;
- GB1(блок живлення). Формує стабільну напругу 24В DC для кіл керування та датчиків;
- A1(програмований логічний контролер). Центральний пристрій керування, що реалізує всю логіку роботи системи;
- К1-К2(проміжні реле/контактори). Використовуються для гальванічної розв'язки та комутації потужних навантажень слабкострумовими сигналами з ПЛК;

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ХТ1, ХТ2(клемні блоки). Призначені для надійного та впорядкованого підключення всіх зовнішніх кабелів (датчиків, виконавчих механізмів, живлення) до апаратури щита;
- НЛ1-НЛ5(світлосигнальна арматура). Встановлена на дверцятах щита для візуальної індикації станів системи.

Проходження сигналу від давача до регулюючого органу:

1. Датчик температури АРР 1000 змінює свій опір пропорційно до температури повітря;
2. Цей сигнал надходить на аналоговий вхід ПЛК, де перетворюється на цифрове значення температури;
3. Процесор ПЛК в рамках ПД-алгоритму порівнює поточне значення температури із заданим та обчислює необхідний керуючий вплив;
4. Відповідно до результату обчислення, ПЛК передає керуючий вплив на калорифер в рамках сигналу 0...10В через аналоговий вихід.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

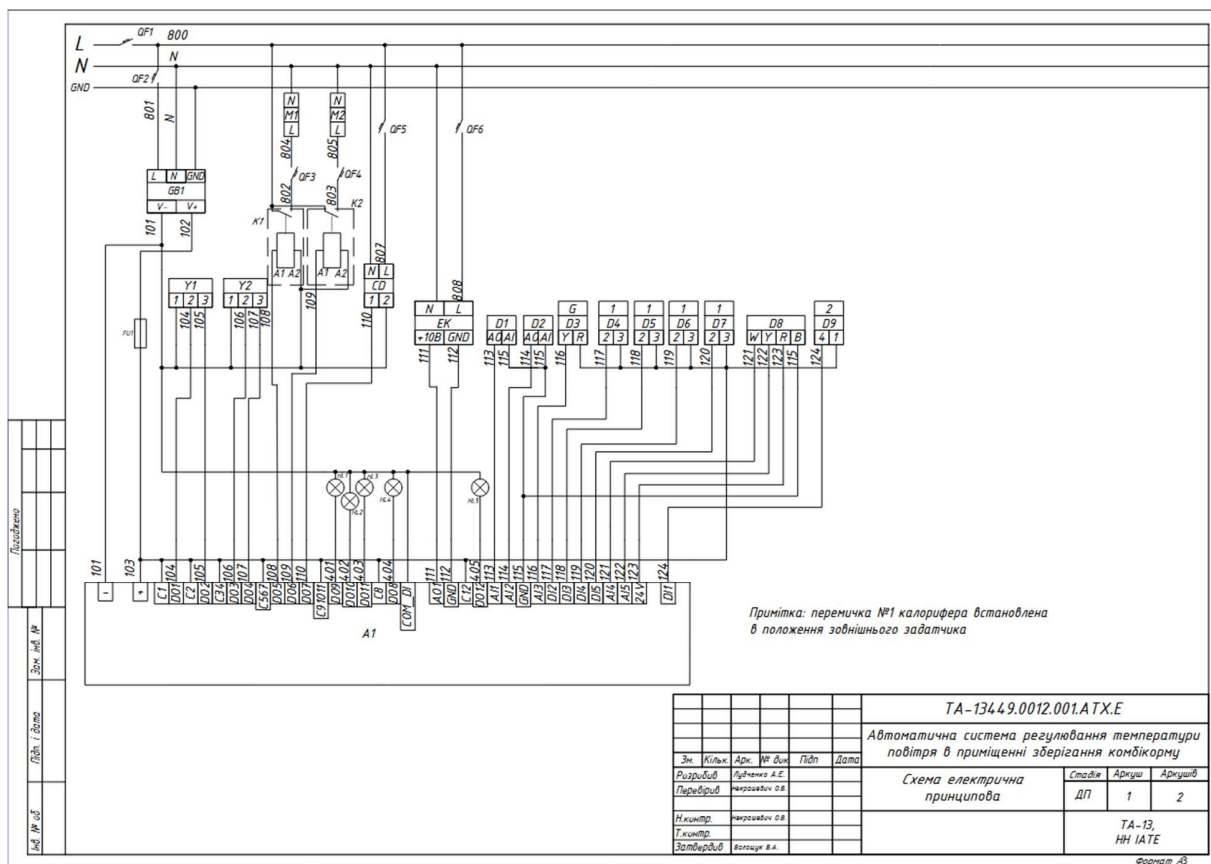


Рисунок 3.1 - Схема принципова електрична АСР

3.4 Креслення загального виду щита

Монтаж апаратури всередині щита здійснюється на DIN-рейки, а світлосигнальна арматура кріпиться на дверцятах. Для організації проводів застосовуються кабель-канали розміром 16x25 мм. Порядок монтажу включає встановлення DIN-рейок та кабель-каналів, кріплення на DIN-рейки основного обладнання, такого як ПЛК, блок живлення, автоматичні вимикачі, реле та запобіжник. Далі монтуються клемники, в нижній частині щита, та світлосигнальна апаратура на дверцята, після чого виконується прокладання внутрішніх електричних з'єднань в кабель-каналах.

При розробці креслення загального виду щита були враховані ергономічні вимоги до розташування апаратури. Для забезпечення

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	60

ТА-13449.0012.001.АТХ.П

Розташування клемників також відповідає ергономічним вимогам. Вони розміщуються переважно в нижній частині щита для зручного підключення зовнішніх кабелів. Для чіткого розмежування використовуються різні типи клем: ХТ1 для силових кіл (4 мм²) та ХТ2 для кіл керування та сигнальних кіл (1.5 мм²). Навколо клемних блоків забезпечено достатньо простору для прокладання та підключення проводів. Розміщення клем враховує безпечний доступ та запобігання випадковому контакту з струмоведучими частинами.

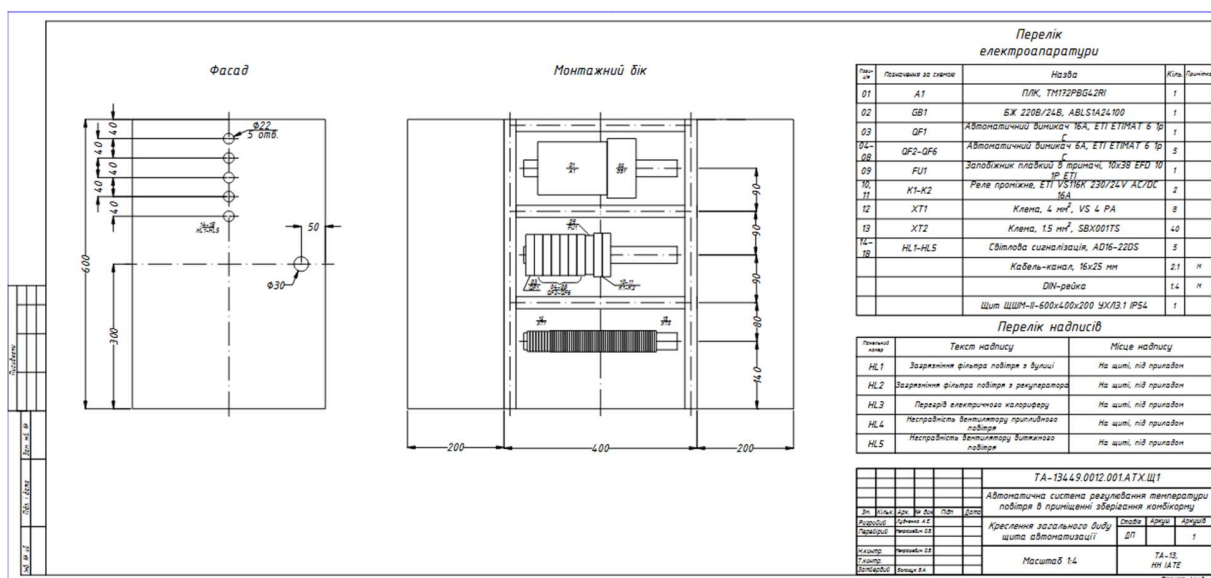


Рисунок 3.2 - Креслення загального виду щита АСР

3.5 Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)

Схема монтажна щита є ключовим документом для підключення щита автоматизації. Її основне призначення надати інструкцію для монтажника щодо виконання всіх внутрішніх електричних з'єднань між елементами, встановленими всередині щита керування. Вона демонструє підключення зазначені на схемі принциповій електричній, але в рамках щита автоматизації.

Згідно з таблицею, реалізується підключення всіх ключових компонентів системи. До них належать ПЛК Modicon TM172PBG42RI, що є центральним елементом керування, та блок живлення ABLS1A24100, який формує напругу 24В DC для живлення ПЛК та датчиків. Документ деталізує підключення захисної апаратури, автоматичних вимикачів QF1-QF6, та комутаційної апаратури, зокрема проміжних реле K1-K2, які використовуються для керування виконавчими механізмами. Усі зовнішні кабелі від датчиків та виконавчих пристроїв підключаються до щита через клемні блоки XT1 та XT2, а візуальна індикація стану системи забезпечується сигнальними лампами HL1-HL5.

Документ описує маршрутизацію провідників для всіх типів сигналів. Деталізовано підключення вимірювальних приладів до аналогових та дискретних входів контролера, включаючи датчики температури (AFP 1000, FG6020), вологості, тиску (LF32-05) та концентрації CO₂ (NBL-W-CO2). Також таблиця з'єднань містить повну інформацію для підключення виконавчої апаратури, такої як вентилятори, електроприводи, калорифер та осушувач, до виходів ПЛК через відповідні клеми.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

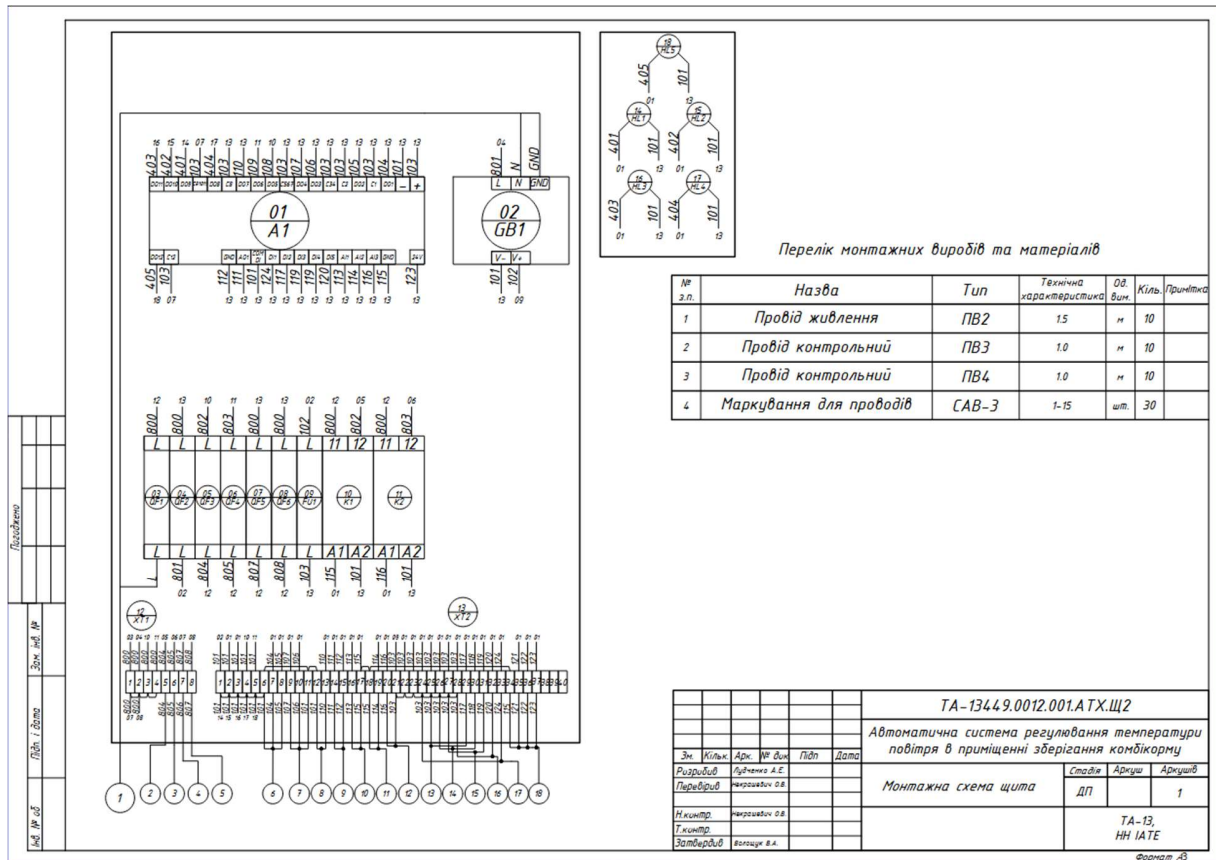


Рисунок 3.3 - Схема монтажна щита АСР

3.6 Схема зовнішніх з'єднань

На схемі з'єднань та підключень зовнішніх проводок для автоматизованої системи регулювання температури в приміщенні зберігання комбікорму показано підключення всіх польових пристроїв до щита керування.

Підключення вимірювальних приладів охоплює:

- датчики температури зовнішнього повітря та повітря після калорифера АРР 1000;
- датчик температури та вологості у приміщенні FG6020;
- датчик концентрації CO₂ NBL-W-CO₂;
- реле перепаду тиску на фільтрах та вентиляторах LF32-05;

- датчик перегріву калорифера KPS 79.

Прокладання кабелів від щита до польових пристроїв здійснюється в пластикових кабельних лотках або гофрованих трубах для захисту від механічних пошкоджень.

Також тут відображено підключення виконавчої апаратури через силові кабелі:

- електрокалорифера;
- конденсаційного осушувача;
- вентиляторів.

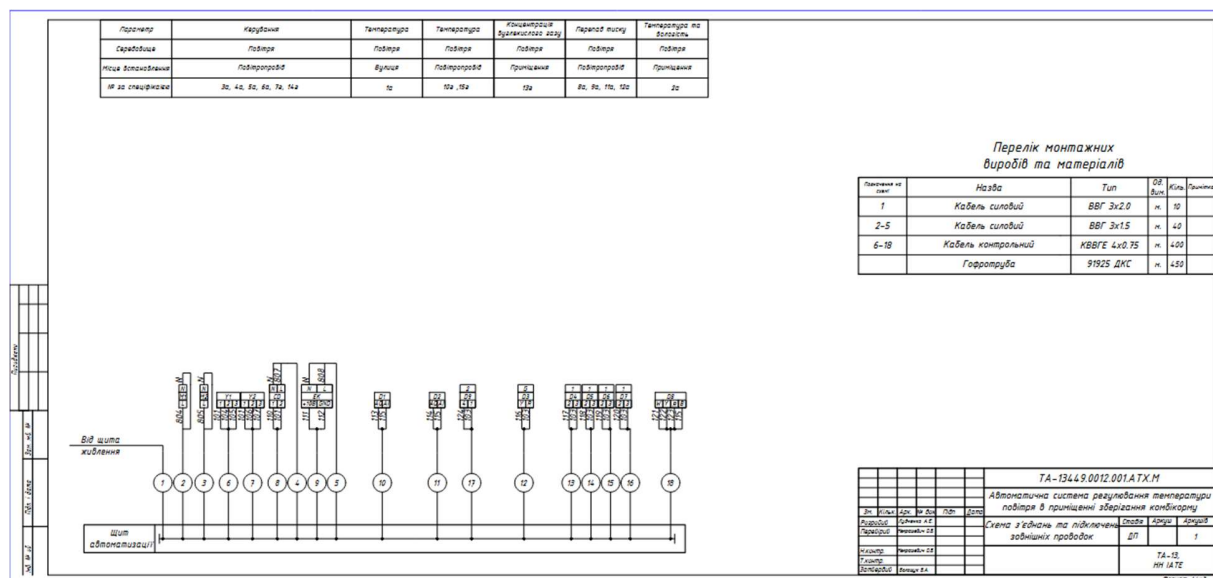


Рисунок 3.4 - Схема зовнішніх з'єднань АСП

3.7 Специфікація обладнання

Вимірювальна апаратура:

- Danfoss (Данія) - глобальний лідер у виробництві компонентів для систем опалення, вентиляції, кондиціонування та промислової автоматизації. Випускає широкий спектр датчиків, термостатів (як термореле KPS 79) та регуляторів.

- Alre (Німеччина) - спеціалізується на розробці та виробництві приладів для регулювання температури та керування системами опалення й кондиціонування. У проєкті представлений датчиком температури AFR 1000.
- Belimo (Швейцарія) - провідний світовий виробник електроприводів для повітряних заслінок (Belimo C24) та регулюючих клапанів для систем опалення, вентиляції та кондиціонування.
- ECOCONTROL (Україна/Китай) - виробник і постачальник засобів автоматизації. У проєкті компанія постачає диференційні манометри (LF32-05) та щитове обладнання.
- Jeanoko, NiuBal, CNAOM - вузькоспеціалізовані азіатські виробники датчиків (температури, вологості, CO2) та світлосигнальної арматури.

Виконавча апаратура та електрообладнання:

- VENTS (Україна) - один із найбільших світових виробників вентиляційного обладнання. Пропонує повний спектр продукції для систем вентиляції, від побутових вентиляторів до складних промислових установок. У проєкті використані вентилятори БУСТ 400 та калорифер НК 100-1,2-1 У.
- Dantherm (Данія) - відомий виробник професійного обладнання для осушення, опалення та вентиляції. У специфікації представлений конденсаційним осушувачем CDP 85.
- ETI (Словенія) - виробник широкого асортименту електротехнічної продукції, включаючи автоматичні вимикачі (ETIMAT 6), запобіжники та реле.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Legrand (Франція) - світовий фахівець у галузі електричних та інформаційних систем будівель. У проєкті представлений маркувальними системами САВ-3.
- Sokol, Ital Techno, Amperok (Україна/Східна Європа) - виробники та постачальники кабельно-провідникової продукції та монтажних виробів (гофротруба).

Програмно-технічні засоби автоматизації:

- Schneider Electric (Франція) - глобальний експерт у галузі управління енергією та автоматизації. Компанія пропонує комплексні рішення, включаючи програмовані логічні контролери(ТМ172PBG42RI).

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

У цьому підрозділі детально описується процес розробки програмного забезпечення для ПЛК Modicon TM172PBG42RI з використанням середовища розробки CODESYS. Розроблена програма реалізує логіку керування автоматичною системою регулювання температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму, включаючи обробку сигналів від датчиків, реалізацію алгоритмів ПД-регулювання, керування виконавчими пристроями, такими як калорифер, та обмін даними з системою візуалізації, алармування.

Об'явлення змінних:

PROGRAM PLC_PRG

VAR

DO11 : BOOL; (* Дискретний вихід для управління лампочкою *)

AI4 : REAL; (* Значення для першого аналогового входу кімнатного датчика *)

AO1 : REAL; (* Значення для аналогового виходу калориферу *)

TypeOfInputSignal : INT := 1; (* Тип сигналу, 1 = Pt1000 *)

TypeOfOutputSignal : INT := 1; (* Тип сигналу, 1 = 0-10В *)

InsideSensorUpperLimit : INT := 70; (* Верхня межа для внутрішнього сенсора *)

InsideSensorLowerLimit : INT := -30; (* Нижня межа для внутрішнього сенсора *)

LowerSignalValue : REAL := 0; (* Мінімальне значення сигналу для перетворення, % *)

UpperSignalValue : REAL := 100; (* Максимальне значення сигналу для перетворення, % *)

Setpoint : REAL := 21.0; (* Уставка температури *)

Hysteresis : REAL := 1.5; (* Гістерезис *)

TimeBeforeAlarm : TIME := T#2M; (* Затримка перед індикацією *)

ManualValue : REAL; (* Значення для ручного управління, якщо включено ручний режим *)

IsManual : BOOL; (* Біт, що вказує на ручний режим управління, якщо TRUE, використовуються значення ручного управління *)

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

ADC_0: ADC;
DAC_0: DAC;
TemperatureRegulation_0: TemperatureRegulation;(* Блок для
регулювання температури*)
END_VAR

```

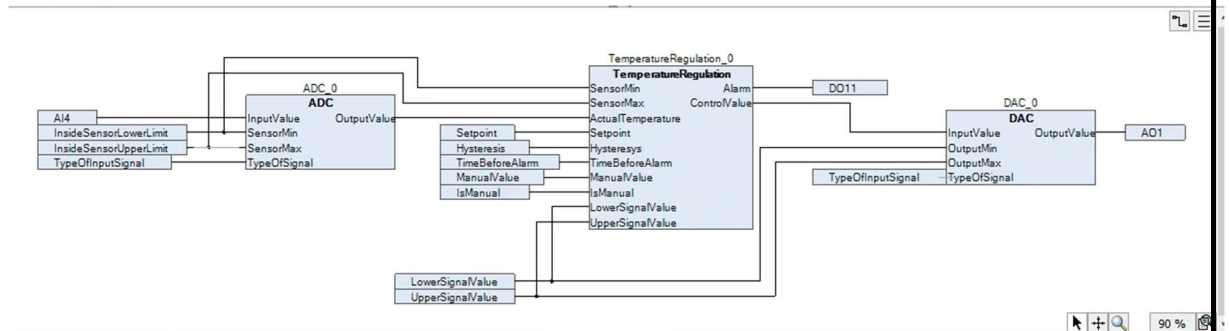


Рисунок 4.1 - Реалізована програма регулювання

Блок алармування перевіряє вихід значення за межі та повідомляє про наявність проблеми підсвічуючи лампочку HL1.

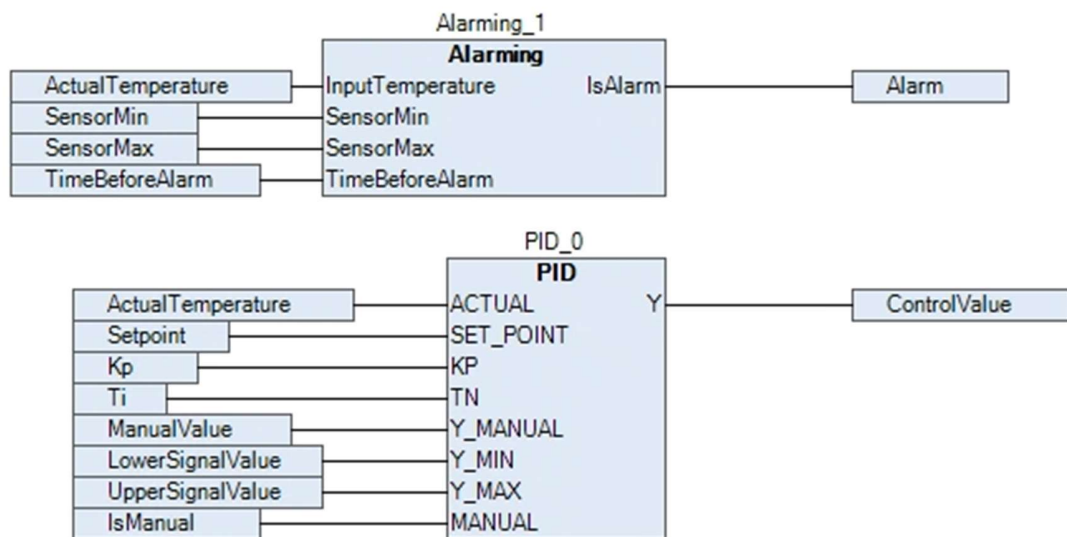


Рисунок 4.2 - Внутрішня побудова блоку регулювання

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

Ключовим елементом верхнього рівня АСУТП є SCADA-система, розроблена на платформі Indusoft Web Studio. Вона слугує інструментом для

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

оператора, забезпечуючи наочне представлення інформації. Функціонал системи охоплює візуалізацію процесів у реальному часі, архівування даних для подальшого аналізу, відображення динаміки параметрів у вигляді графіків та оперативне сповіщення про аварії.

Вікно Menus дозволяє швидко переходити на різні розділи SCADA-системи.

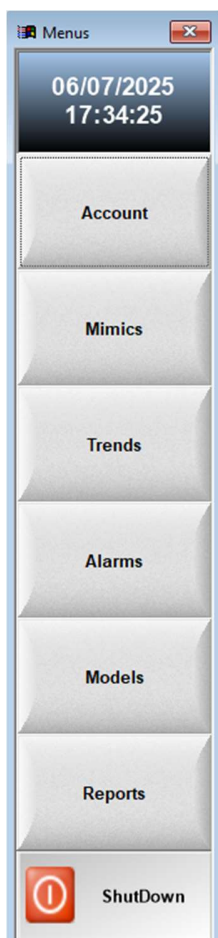


Рисунок 4.3 - Зовнішній вигляд вікна Menus

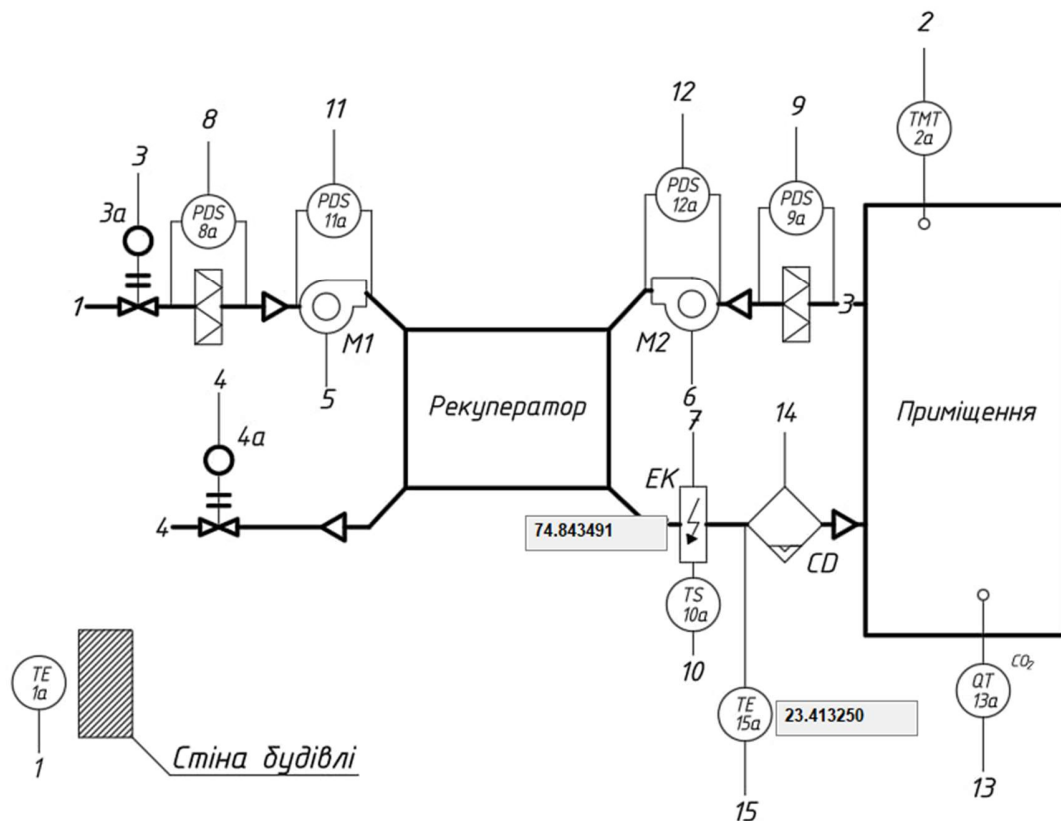


Рисунок 4.4 - Зовнішній вигляд вікна Mimics

Вікно Alarms дозволяє відслідковувати появу позаштатних ситуацій в системі за допомогою відслідковування подій пов'язаних з системою.

Tag Name	Message	Comment	Value	Event Time
Open Screen:alarms...			0	06/08/2025 22:25:01
Open Screen:reports...			0	06/08/2025 22:25:00
Open Screen:trends...			0	06/08/2025 22:25:00
Open Screen:models...			0	06/08/2025 22:25:00
Close Screen:reports...			0	06/08/2025 22:24:59
Close Screen:trends...			0	06/08/2025 22:24:59
Close Screen:mimics...			0	06/08/2025 22:24:59
Close Screen:menus...			0	06/08/2025 22:24:59
Close Screen:models...			0	06/08/2025 22:24:59
Open Screen:reports...			0	06/08/2025 22:24:59
Open Screen:trends...			0	06/08/2025 22:24:59
Open Screen:models...			0	06/08/2025 22:24:59
Close Screen:reports...			0	06/08/2025 22:24:59
Close Screen:trends...			0	06/08/2025 22:24:59
Close Screen:mimics...			0	06/08/2025 22:24:59

Activation TL...	Tag Name	Message	Ack Time	Comment	Display ...	Group	Type	Value
06/08/2025 22:23:56	Codesys...				15.003915	Group 001	Lo	15.003915
06/08/2025 22:23:56	Codesys...				5.007596	Group 001	LoLo	5.007596
06/08/2025 22:19:15	Codesys...				17.007330	Group 001	Deviation	17.007330

Activation TL...	Tag Name	Message	Comment	Display ...	Group	Type	Value
06/08/2025 22:23:56	Codesys...			1.000001	Group 001	Lo	1.000001
06/08/2025 22:23:56	Codesys...			1.000001	Group 001	LoLo	1.000001
06/08/2025 22:19:15	Codesys...			12.780962	Group 001	Lo	12.780962
06/08/2025 22:19:15	Codesys...			12.780962	Group 001	Deviation	12.780962
06/08/2025 22:15:33	Codesys...			7.236251	Group 001	Lo	7.236251
06/08/2025 22:15:33	Codesys...			7.236251	Group 001	Deviation	7.236251
06/08/2025 21:44:17	Codesys...			0.000000	Group 001	Deviation	0.000000
06/08/2025 21:44:17	Codesys...			0.000000	Group 001	LoLo	0.000000
06/08/2025 21:44:17	Codesys...			0.000000	Group 001	Lo	0.000000
06/08/2025 14:31:17	Codesys...			0.000000	Group 001	LoLo	0.000000
06/08/2025 14:31:17	Codesys...			0.000000	Group 001	Lo	0.000000
06/08/2025 14:31:17	Codesys...			0.000000	Group 001	Deviation	0.000000
06/08/2025 03:00:00	Codesys...			0.000000	Group 001	Deviation	0.000000
06/08/2025 03:00:00	Codesys...			0.000000	Group 001	LoLo	0.000000

Рисунок 4.5 - Зовнішній вигляд вікна Alarms

Вікно Trend дозволяє побачити в динаміці роботу усієї системи регулювання за допомогою механізму відслідковування параметрів.

					Арк.
					70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТА-13449.0012.001.АТХ.П

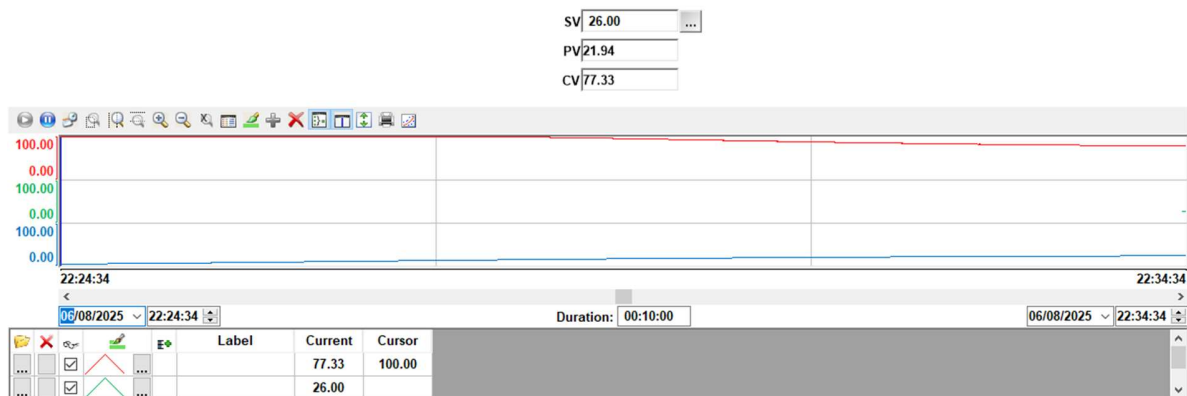


Рисунок 4.6 - Зовнішній вигляд вікна Trends

РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

Полігон імітаційного моделювання АТК ТОУ є комплексом програмних засобів для відтворення роботи систем управління. Його архітектура об'єднує Indusoft WebStudio для візуалізації, Matlab Simulink для розробки логіки управління, та OPC-технології (CoDeSys) для обміну даними. Безпосередню симуляцію процесу за заданими алгоритмами виконує модуль Control Object Simulation.

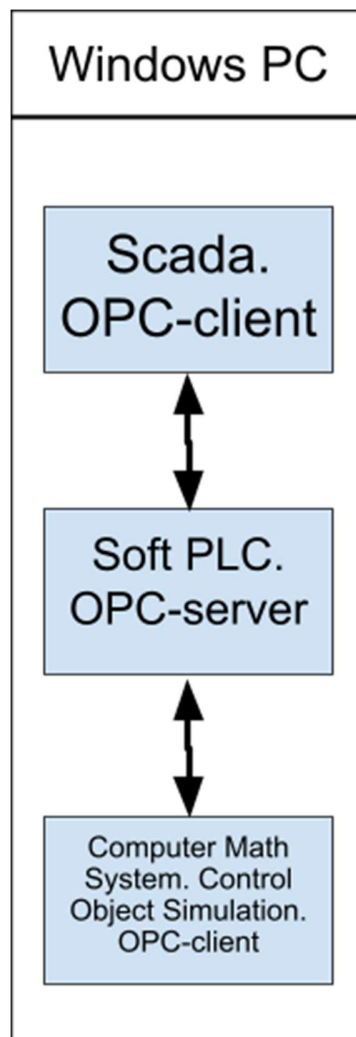


Рисунок 5.1 - Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК
ТОУ

5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

Ця схема демонструє процес функціонального моделювання, де модель технічного об'єкта управління, створена в середовищі Matlab Simulink, інтегрується з реальними системами. OPC-клієнт забезпечує обмін даними між моделлю в Simulink та OPC-серверами, що представляють фізичне обладнання. Це дозволяє аналізувати роботу моделі в умовах, наближених до реальних, і на основі цього вдосконалювати систему управління.

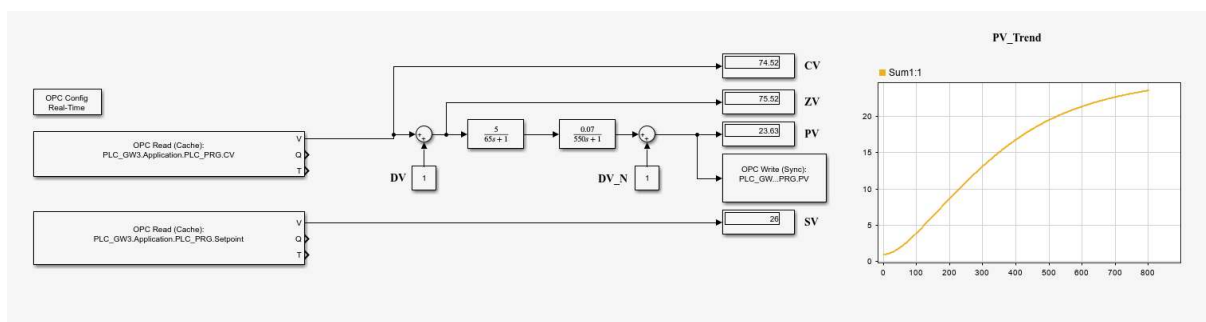


Рисунок 5.2 - Схема функціонального моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys

Керування температурою повітря в приміщенні зберігання комбікорму реалізовано за допомогою ПЗ, розробленого в середовищі CoDeSys. В основі системи лежить одноконтурний принцип автоматичного регулювання, де ПД-регулятор взаємодіє з виконавчим механізмом(калорифером) для підтримки заданої температури.

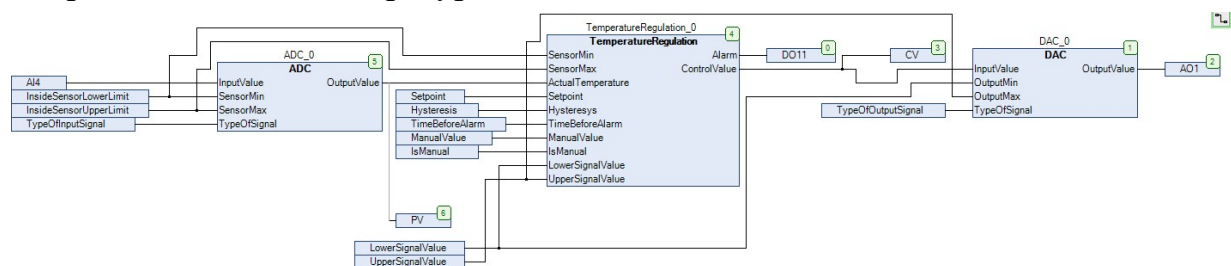


Рисунок 5.3 - Схема контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys

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

Вікно Mimics дозволяє побачити наочно показники датчиків системи на схемі системи регуляції.

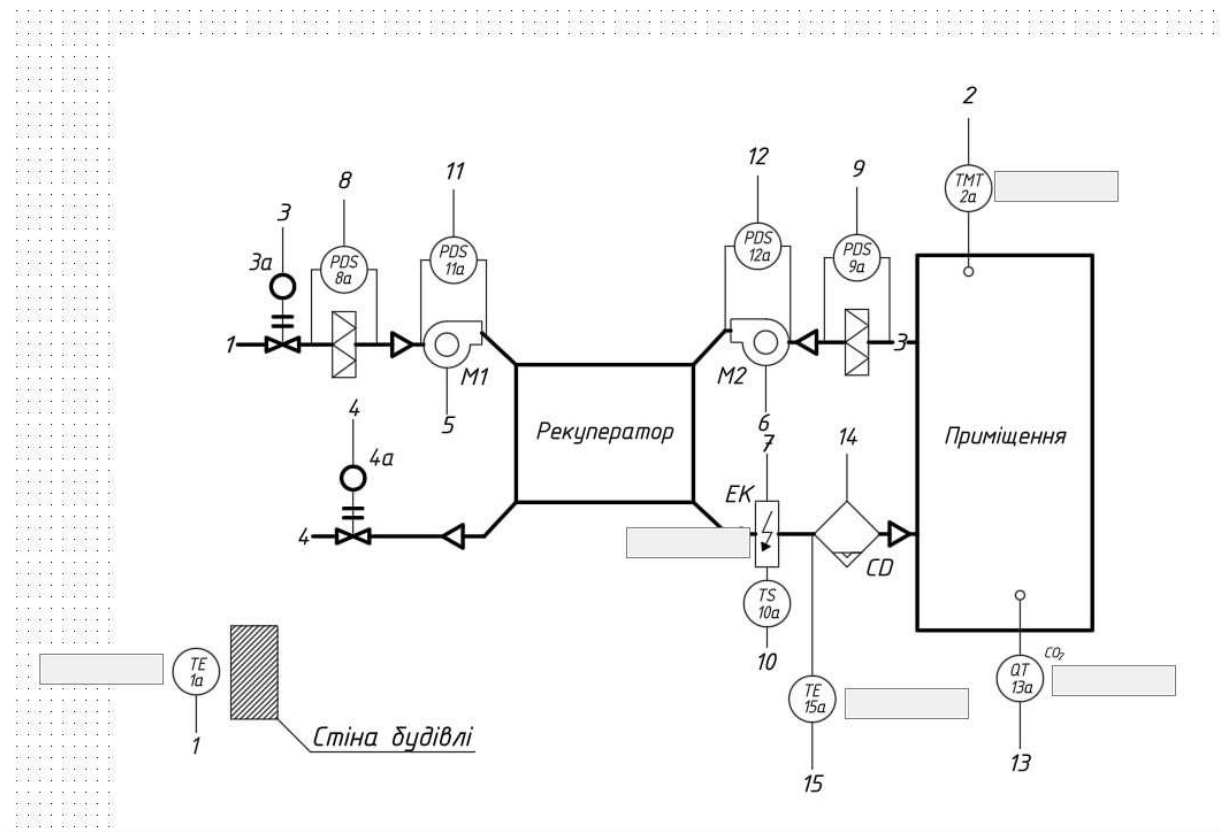


Рисунок 5.5 - Зовнішній вигляд вікна Mimics

Зовнішній вигляд та опис вікна Menus, Alarms та Trends наведений в розділі 4.2 ДПБ(Рис. 4.3 ,Рис. 4.5 та Рис. 4.6).

5.5 Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio

Вікно Report дозволяє автоматичне збереження даних системи в певний проміжок часу, а також створення або доповнення поточних звітів про роботу системи.

					ТА-13449.0015.001.АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

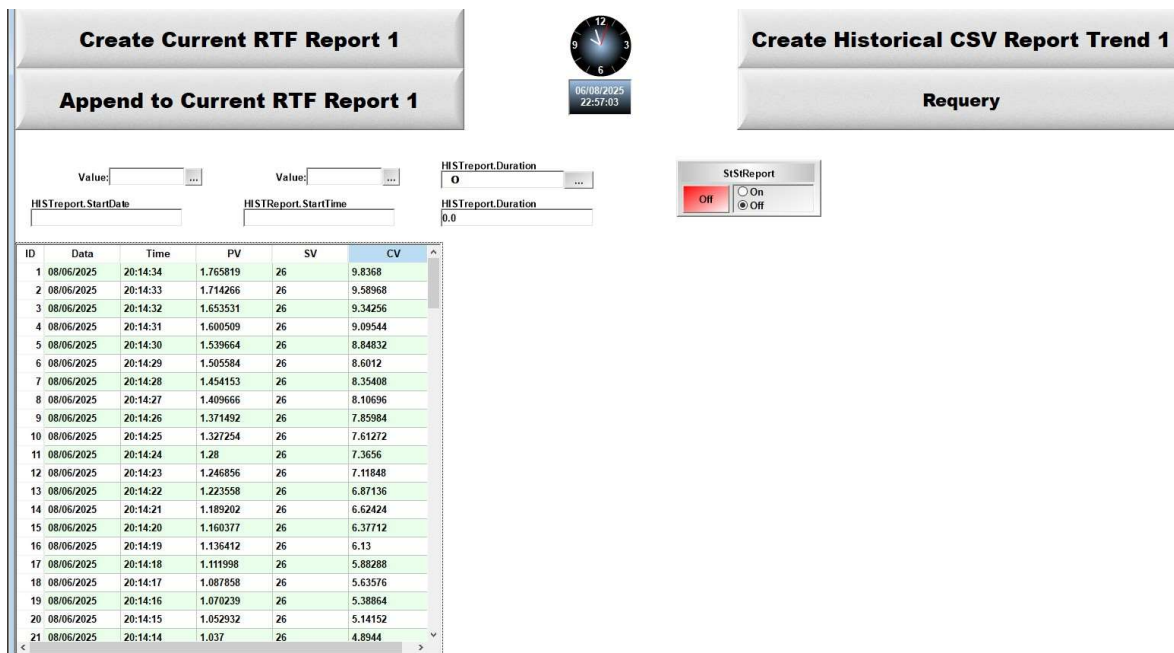


Рисунок 5.8 - Зовнішній вигляд вікна Reports

5.6 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

В Matlab Simulink створено функціональну модель, що імітує теплову інерцію калорифера та приміщення. Ця модель отримує від регулятора керуючий сигнал (CV) і на його основі розраховує, як змінюватиметься температура (PV).

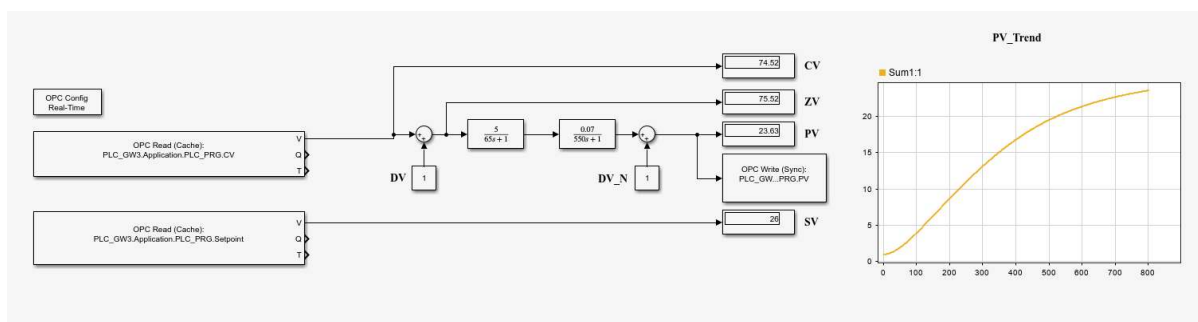


Рисунок 5.9 - Симуляція ОУ в СКМ Matlab Simulink

Логіка самого регулятора реалізована в CoDeSys за допомогою функціональних блоків. Контролер приймає змодельовану температуру (PV), порівнює її з бажаною уставкою (SV) і обчислює керуючий сигнал (CV) для підтримки заданого режиму.

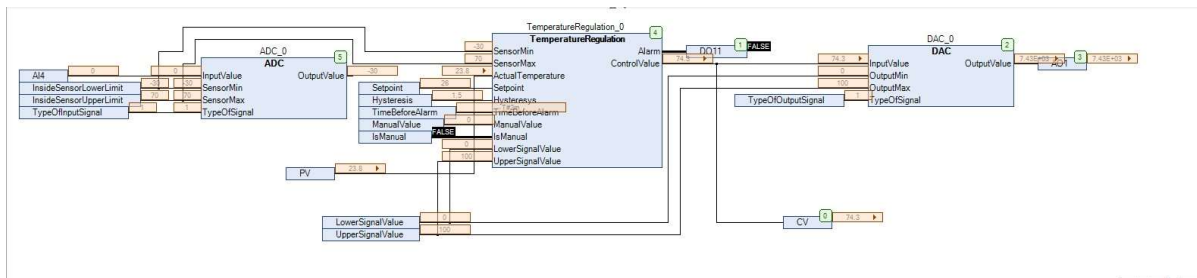


Рисунок 5.10 - Симуляція контролерної функціональності CAP в софтіПЛК CoDeSys

Для оператора весь процес візуалізується в InduSoft Web Studio. На екрані відображається мнемосхема системи, ключові показники (поточна й задана температура), графіки процесу та елементи для керування, наприклад, для зміни уставки.

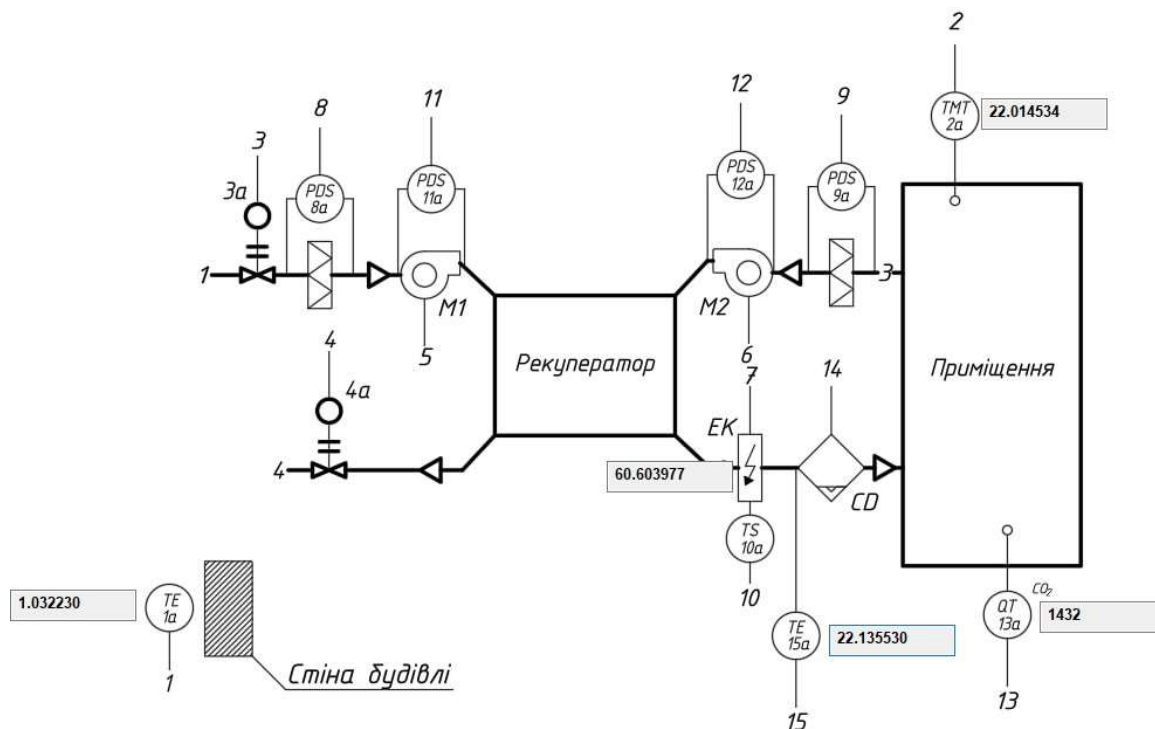


Рисунок 5.11 - Вигляд вікна Mimics в рантаймі

Обмін даними між моделлю в Simulink та контролером в CoDeSys, а також SCADA в WebStudio, відбувається в реальному часі через OPC-сервер.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Вступна частина

Забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці є пріоритетним завданням на всіх етапах життєвого циклу будь-якого об'єкта чи системи, що відповідає фундаментальним принципам законодавства України про охорону праці та міжнародним стандартам.

Об'єктом розгляду є автоматизована система управління технологічним процесом, призначена для підтримки заданих температурних параметрів у приміщенні, де зберігається комбікорм. До складу системи входить щит автоматизації ЩШМ-11 зі ступенем захисту IP54, програмований логічний контролер Modicon TM172PBG42RI, різноманітні датчики та виконавчі пристрої, ключовим з яких є калорифер Вентс НК 100-1,2-1 У.

Експлуатація даної системи передбачає виконання обслуговуючим персоналом таких робіт, як візуальний огляд обладнання, моніторинг технологічних параметрів за показаннями приладів, періодичне технічне обслуговування компонентів системи та, за потреби, виконання ремонтних робіт.

Характерними особливостями об'єкта, що впливають на розробку рішень з охорони праці, є:

- Наявність електрообладнання, що працює під напругою 220В (силові кола) та 24В (кола керування).
- Специфіка середовища приміщення зберігання комбікорму, де можлива присутність органічного пилу та горючих матеріалів (комбікорм, ізоляція кабелів).

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Функціонування нагрівального елемента (калорифер Вентс НК 100-1,2-1 У).

Основними потенційно небезпечними та шкідливими виробничими факторами на даному об'єкті є:

- Ризик ураження електричним струмом.
- Вплив несприятливих параметрів мікроклімату (температура, вологість, швидкість руху повітря).
- Можлива наявність органічного пилу від комбікорму в повітрі робочої зони.
- Пожежна небезпека зумовлена наявністю горючих матеріалів та електрообладнання як потенційного джерела займання.

В даному розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи, спрямовані на забезпечення безпечної експлуатації розробленої АСУТП, створення належних санітарно-гігієнічних умов праці, а також забезпечення пожежної та вибухобезпеки на об'єкті, згідно з вимогами чинних нормативних документів.

6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки праці при експлуатації системи

Безпечна експлуатація автоматизованої системи регулювання температури повітря досягається комплексом технічних рішень та організаційних заходів, спрямованих на запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням. Ці рішення охоплюють безпеку роботи з обладнанням, організацію робочих місць та електробезпеку.

Загальні заходи безпеки експлуатації обладнання:

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Конструкція щита автоматизації ІЦШМ-11 забезпечує захист від доступу до рухомих та струмоведучих частин.
2. Калорифер Вентс НК 100-1,2-1 У має захисні решітки на вході та виході повітря для запобігання контакту з нагрівальними елементами та вентилятором.
3. Передбачено маркування органів управління та сигналізації на щиті автоматизації для запобігання помилковим діям персоналу.
4. Під час проведення технічного обслуговування та ремонту обладнання повинно бути повністю знеструмлене з видимим розривом електричного кола, та вжиті заходи проти помилкового ввімкнення.
5. Використання справного інструменту та пристосувань під час обслуговування.
6. Забезпечення достатнього простору для безпечного доступу до щита автоматизації та калорифера для огляду та обслуговування.
7. Проходи біля обладнання повинні бути вільними та не захаращеними.
8. При виконанні робіт з обслуговування на висоті (якщо таке передбачається) необхідно використовувати справні драбини або інші засоби підйому.

Електрообладнання АСУТП використовує напругу 220В для силових кіл (щит живлення, калорифер) та 24В для кіл керування ПЛК Modicon TM172PBG42RI та живлення датчиків. Приміщення для зберігання комбікорму може бути класифіковане як приміщення з підвищеною небезпекою або особливо небезпечне (наприклад, "пилові" або "вогкі" згідно з ПУЕ), що вимагає посиленних заходів захисту. Система живлення – трифазна мережа 380/220В з глухозаземленою нейтраллю (застосована система захисного заземлення TN-S).

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комплекс заходів з електробезпеки розроблено відповідно до вимог "Правил улаштування електроустановок" (ПУЕ-2017), ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів", та ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту» і ДСТУ EN 60204-1 "Безпечність машин. Електрообладнання машин".

Для захисту від прямого дотику до струмоведучих частин все основне електрообладнання розміщується всередині суцільного металевого корпусу щита ЩШМ-11 зі ступенем захисту IP54, що запобігає випадковому дотику до струмоведучих частин та захищає від пилу та бризок води, а всі струмоведучі частини всередині щита мають надійну ізоляцію, а доступ до них обмежується дверцятами щита, що замикаються на ключ.

Захист від непрямого дотику реалізується шляхом застосування системи захисного заземлення TN-C-S: приєднання всіх металевих неструмоведучих частин обладнання, які можуть опинитися під напругою (корпус щита ЩШМ-11, корпус двигуна вентилятора калорифера), до захисного «РЕ»-провідника. Це створює шлях малого опору для струму замикання на землю (однофазне коротке замикання), що призводить до спрацювання автоматичних вимикачів та швидкого відключення пошкодженої ділянки.

Для живлення всіх датчиків та кіл керування ПЛК Modicon TM172PBG42RI використовується напруга 24В постійного струму. Ця напруга подається від спеціалізованого блока живлення ABLS1A24100, що забезпечує гальванічну розв'язку від мережі 220В. Напруга до 120В постійного струму вважається безпечною наднизькою напругою і значно знижує ризик важкого ураження струмом. Автоматичні вимикачі забезпечують захист відповідних силових та керуючих кіл, запобіжник захищає вторинні кола керування.

Організаційні заходи електробезпеки:

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Допуск до робіт з монтажу, налагодження, ремонту та обслуговування електрообладнання АСУТП тільки осіб, які мають відповідну професійну підготовку, пройшли медичний огляд, навчання та перевірку знань з питань охорони праці та електробезпеки і мають відповідну групу з електробезпеки (не нижче III).
2. Проведення всіх видів інструктажів (вступного, первинного на робочому місці, повторного, позапланового, цільового) з реєстрацією у відповідних журналах.
3. Розробка та затвердження інструкцій з охорони праці для відповідних видів робіт та професій (наприклад, для оператора АСУТП, для електромеханіка з обслуговування системи).
4. Забезпечення персоналу необхідними справними та випробуваними електрозахисними засобами (діелектричні рукавички, калоші/боти, килимки, інструмент з ізолюючими рукоятками, покажчики напруги) та контроль за їх правильним використанням і зберіганням.
5. Проведення періодичних оглядів, випробувань та вимірювань параметрів електроустановок (опір ізоляції, опір заземлювального пристрою, перевірка ланцюга "фаза-нуль") та захисних засобів.

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

Вихідні положення

Умови праці персоналу, що обслуговує АСУТП, характеризуються періодичним перебуванням у приміщенні зберігання комбікорму та біля щита автоматизації. Роботи включають візуальний контроль, зняття показань

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приладів, технічне обслуговування. Важливо забезпечити відповідність параметрів виробничого середовища санітарно-гігієнічним нормам для збереження здоров'я та високої працездатності персоналу.

6.2.1. Мікроклімат робочої зони

Підтримання оптимальних параметрів мікроклімату в робочій зоні є критично важливим для запобігання втомі та збереження здоров'я персоналу. Ці параметри (температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря) нормуються ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень". Роботи з обслуговування АСУТП класифікуються як легкі фізичні роботи, категорія Іа (витрати енергії до 139 Вт).

Таблиця 6.1 - Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для категорії робіт Іа згідно ДСН 3.3.6.042-99

Період року	Категорія робіт	Температура повітря (°C)	Відносна вологість (%)	Швидкість руху повітря, м/с (не більше)
Холодний період	Легка Іа	Опт: 22-24	Опт: 40-60	Опт: 0,1
Теплий період	Легка Іа	Опт: 23-25	Опт: 40-60	Опт: 0,1

Проектована АСУТП безпосередньо впливає на температурний режим у приміщенні зберігання комбікорму, сприяючи створенню більш стабільних умов. Щит автоматизації ЩШМ-11 має ступінь захисту IP54, що захищає внутрішні компоненти від пилу та вологи, забезпечуючи їх стабільну роботу та запобігаючи перегріву через забруднення.

Для приміщення, де встановлено щит управління та де може перебувати персонал, для підтримки нормованих параметрів повітряного середовища передбачається:

1. Облаштування ефективної загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції, розрахованої згідно з ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування". Це дозволить видаляти надлишки тепла (зокрема від щита автоматизації), вологи та можливі шкідливі речовини.
2. Теплоізоляція нагрітих поверхонь обладнання (наприклад, корпусу калорифера, якщо його температура перевищує 45°C у місцях можливого дотику).
3. Регулярний контроль параметрів мікроклімату.

6.2.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично-допустимими концентраціями шкідливих речовин згідно з ДСТУ EN 482:2022. В умовах експлуатації АСУТП у приміщенні зберігання комбікорму можливими забруднювачами повітря є

ГДК для рослинного та тваринного пилу, що становить 4 мг/м³ (алерген) та двоокис вуглецю (CO₂), який може накопичуватися внаслідок дихання персоналу та біологічних процесів у комбікормі. Датчик NBL-W-CO₂

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє контролювати його рівень. ГДК для CO₂ у повітрі робочої зони – 9 г/м³ (0,5% об'ємних).

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ДСТУ EN 482:2022 проектом та експлуатаційними заходами передбачено:

1. Ефективна робота загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції для розбавлення концентрацій пилу та газів до ГДК.
2. Регулярне вологе прибирання приміщень та обладнання для запобігання накопиченню пилу.
3. Герметизація обладнання, де можливо, для зменшення пилоутворення.
4. Забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту органів дихання (респіратори) при виконанні робіт, пов'язаних із підвищеним пилоутворенням (наприклад, при завантаженні/вивантаженні комбікорму, очищенні обладнання).
5. Періодичний лабораторний контроль стану повітряного середовища.

6.2.3. Виробниче освітлення

Приміщення, де встановлено щит АСУТП та де може працювати персонал, повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 "Природне і штучне освітлення".

Природне освітлення нормується коефіцієнтом природної освітленості (КПО, е, %). Для робіт, пов'язаних з контролем показань приладів та обслуговуванням обладнання (наприклад, розряд зорової роботи IV – середньої точності), при боковому освітленні нормативне значення КПО (еН) становить 1,0-1,5 %. Для забезпечення нормативного КПО передбачено:

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Наявність віконних прорізів достатньої площі, орієнтованих переважно на північ або північний схід для уникнення прямого сонячного світла та перегріву.
2. Регулярне очищення скла вікон від забруднень (не рідше 2 разів на рік).
3. Світле фарбування стін та стелі для кращого відбиття світла.

Штучне освітлення нормується мінімальною освітленістю на робочій поверхні (ЕН, лк). Для зазначеного розряду зорової роботи (IV) при загальній системі освітлення з використанням люмінесцентних або світлодіодних ламп нормативна освітленість становить 200-300 лк. Для забезпечення нормативних значень ЕН передбачено:

1. Застосування системи загального рівномірного освітлення з використанням енергоефективних світлодіодних або люмінесцентних світильників із захистом від стробоскопічного ефекту.
2. Світильники повинні мати відповідний ступінь захисту (IP) для умов приміщення (наприклад, IP54 у пильних та вологих зонах).
3. Регулярне очищення світильників та своєчасна заміна ламп, що вийшли з ладу.
4. Можливе використання місцевого освітлення (наприклад, переносні лампи) при виконанні точних ремонтних робіт, з дотриманням вимог електробезпеки.

6.2.4. Виробничий шум

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку", нормуються допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот або рівні звуку в дБА. Для робіт з обслуговування

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АСУТП (робота, що не потребує особливої концентрації уваги, але пов'язана з контролем) допустимий рівень звуку на постійних робочих місцях не повинен перевищувати 80 дБА, а в зонах періодичного перебування – згідно з характером виконуваних робіт (для щитових приміщень – близько 50-60 дБА). Джерелами шуму можуть бути:

1. Вентилятор калорифера Вентс НК 100-1,2-1 У.
2. Системи загальнообмінної вентиляції.
3. Робота іншого технологічного обладнання в приміщенні.

Очікувані рівні шуму від калорифера та щита автоматизації не повинні перевищувати санітарні норми, оскільки сучасне обладнання проектується з урахуванням шумових характеристик. Для забезпечення допустимих параметрів шуму передбачено:

1. Використання обладнання з низькими шумовими характеристиками.
2. Своєчасне технічне обслуговування рухомих частин обладнання (вентилятори) для запобігання підвищенню шуму через знос.
3. При необхідності, встановлення калорифера та іншого шумного обладнання на віброізолюючі основи або застосування шумопоглинаючих кожухів.
4. Розміщення щита автоматизації в зоні з мінімальним впливом шуму від іншого обладнання.
5. Періодичний контроль рівнів шуму на робочих місцях.

6.2.5. Виробничі вібрації

Відповідно до ДСН 3.3.6.039-99 "Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації", нормуються допустимі величини

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

віброшвидкості або віброприскорення. Джерелами вібрації може бути вентилятор калорифера Вентс НК 100-1,2-1 У та інше обладнання з рухомими частинами.

Очікується, що рівні вібрації від проектованої системи будуть незначними та не перевищуватимуть допустимих норм.

Для зменшення дії вібрацій передбачено:

1. Балансування обертових частин обладнання (вентилятор калорифера).
2. Встановлення обладнання на віброізолюючі прокладки або фундаменти.
3. Своєчасне технічне обслуговування для запобігання підвищенню вібрації через дисбаланс або знос.

6.2.6. Виробничі випромінювання

В умовах експлуатації АСУТП основними можливими видами неіонізуючих випромінювань є електромагнітні поля промислової частоти (50 Гц) від силового електрообладнання та, можливо, радіочастотні ЕМП від компонентів ПЛК або безпроводних датчиків. Щит автоматизації ЩШМ-11, маючи металевий корпус, забезпечує екранування внутрішніх ЕМП.

Параметри, що нормуються для ЕМП 50 Гц – напруженість електричного поля (кВ/м) та індукція магнітного поля (мкТл) згідно ДСанПіН 3.3.6.096-2002.

Очікується, що рівні ЕМП від обладнання АСУТП не перевищуватимуть гранично допустимих рівнів на робочих місцях персоналу.

Технічні рішення щодо попередження шкідливого впливу:

1. Раціональне розміщення електрообладнання.
2. Використання екранованих кабелів для сигнальних ліній.
3. Заземлення металевих корпусів обладнання, включаючи щит автоматизації, що також сприяє зниженню ЕМП.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.3 Пожежна безпека та профілактика

Об'єкт зберігання комбікорму, де функціонує АСУТП, характеризується наявністю горючих матеріалів (комбікорм, пил комбікорму, ізоляція кабелів, компоненти обладнання) та потенційних джерел запалювання, якими може бути несправне електрообладнання або порушення правил експлуатації. Пожежа можлива за одночасної наявності горючої речовини, окислювача та джерела запалювання. Заходи пожежної безпеки розроблені згідно з Кодексом цивільного захисту України, НАПБ А.01.001-2014 "Правила пожежної безпеки в Україні".

Вихідні дані

Горючі речовини та матеріали:

1. Комбікорм (тверда горюча речовина, здатна утворювати горючий пил).
Пил комбікорму при певних концентраціях у повітрі ($\text{НКМПП} < 65 \text{ г/м}^3$) може бути вибухонебезпечним.
2. Ізоляція електричних кабелів та проводів (полімерні матеріали).
3. Елементи корпусу та внутрішні компоненти електронного обладнання.

Приміщення зберігання комбікорму, де можливе утворення горючого пилу в кількостях, здатних утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні суміші, може бути віднесено до категорії **В (пожежонебезпечна)**.

Клас зони за НПАОП 40.1-1.32-01 "Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок" **П-Па** (тверді горючі речовини). Електрообладнання, що встановлюється в таких зонах, повинно мати відповідний рівень вибухозахисту або ступінь захисту оболонки (IP). Щит ЩШМ-11 має IP54. На вхідних дверях виробничих приміщень повинні бути позначені категорія приміщення та клас зони за вибухопожежною та пожежною безпекою.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Ці заходи спрямовані на унеможливлення утворення горючого середовища та/або джерел запалювання.

1. Регулярне прибирання приміщень та обладнання від пилу комбікорму та інших горючих відкладень для запобігання формуванню вибухонебезпечних концентрацій та шарів пилу.
2. Підтримка параметрів мікроклімату (вологості), що знижують здатність пилу до зависання та самозаймання.
3. Максимально можливе використання негорючих та важкогорючих матеріалів в конструкціях та оздобленні.
4. Застосування електрообладнання (включаючи щит ІЩМ-11) зі ступенем захисту оболонки не нижче IP54, що обмежує можливість контакту горючого пилу з нагрітими елементами та іскрінням всередині оболонки.
5. Прокладання кабельно-провідникової продукції з ізоляцією та оболонкою, що не поширюють горіння, та вибір перерізу провідників відповідно до струмових навантажень для уникнення перегріву.
6. Захист електричних кіл від струмів короткого замикання та перевантажень автоматичними вимикачами (QF1-QF6) та запобіжниками (FU1), що запобігає перегріву провідників та іскрінню.
7. Калорифер Вентс НК 100-1,2-1 У оснащений двома вбудованими термостатами захисту від перегріву (основний з автоматичним перезапуском на 50°C та аварійний з ручним перезапуском на 90°C), що забезпечує його автоматичне відключення при досягненні небезпечної температури. Це критично важливо, оскільки електричні нагрівальні прилади є поширеними джерелами займання. Датчик KPS 79 є частиною цієї системи захисту.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Належне виконання контактних з'єднань для уникнення їх перегріву та іскріння.
9. Заборона куріння та використання відкритого вогню у приміщенні зберігання комбікорму та поблизу нього, за винятком спеціально відведених та обладнаних місць.
10. Використання іскробезпечного інструменту при роботах у вибухонебезпечних зонах (якщо такі визначені).
11. Контроль температури поверхонь обладнання, щоб вона не перевищувала 80% від температури самозаймання навколишніх горючих матеріалів (особливо пилу).
12. Захист від статичної електрики шляхом заземлення металевих частин обладнання.
13. Заходи щодо запобігання самозайманню комбікорму (контроль вологості, температури, аерація).

6.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Ці заходи спрямовані на виявлення пожежі, обмеження її розповсюдження, забезпечення умов для її ліквідації та безпечної евакуації людей.

1. Визначення необхідного ступеня вогнестійкості будівельних конструкцій приміщення згідно з ДБН В.1.1-7-2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва".
2. Розміщення щита автоматизації на конструкціях з негорючих матеріалів.
3. Обладнання приміщення автоматичною системою пожежної сигналізації (АСПС) з димовими та/або тепловими пожежними сповіщувачами, відповідно до ДСТУ EN 54-1:2022 та ДБН В.2.5-56:2014 "Системи протипожежного захисту". АСПС повинна

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечувати раннє виявлення пожежі та передачу сигналу на пульт пожежної охорони або відповідальній особі.

4. Наявність системи оповіщення людей про пожежу та управління евакуацією (СОУЕ).
5. Обладнання приміщення первинними засобами пожежогасіння згідно з нормами належності. Рекомендуються:
 - Порошкові вогнегасники (наприклад, ВП-5, ВП-9) для гасіння пожеж класу А (горіння твердих речовин, таких як комбікорм) та Е (електрообладнання під напругою до 1000 В).
 - Вуглекислотні вогнегасники (наприклад, ВВК-3,5, ВВК-5) переважно для гасіння електрообладнання під напругою (клас Е) та там, де використання порошку небажане.
6. Розміщення вогнегасників на видних та легкодоступних місцях, на пожежних щитах.
7. Забезпечення доступу до джерел зовнішнього протипожежного водопостачання.
8. Наявність та утримання у вільному стані евакуаційних шляхів та виходів відповідно до ДБН В.1.1-7-2016.
9. Розробка та вивішування на видних місцях планів (схем) евакуації людей на випадок пожежі.
10. Встановлення знаків пожежної безпеки згідно з ДСТУ ISO 6309 та ДСТУ EN ISO 7010.
11. Призначення відповідальних осіб за пожежну безпеку на об'єкті.
12. Проведення регулярних інструктажів (вступного, первинного, повторного, позапланового, цільового) та навчань з питань пожежної безпеки та дій у разі виникнення пожежі для всього персоналу.
13. Розробка інструкцій про заходи пожежної безпеки для приміщення.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14.Регулярний огляд та технічне обслуговування систем протипожежного захисту та первинних засобів пожежогасіння.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						92
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.4 Висновки до розділу

Комплексний підхід до питань охорони праці при розробці та експлуатації автоматизованої системи регулювання температури повітря в приміщенні зберігання комбікорму є запорукою створення безпечних та здорових умов для обслуговуючого персоналу.

Реалізація передбачених проектом технічних заходів, таких як застосування сертифікованого електрообладнання із відповідним ступенем захисту корпусу (IP54 для ЩШМ-11), впровадження багаторівневої системи захисту від ураження електричним струмом (захисне занулення, використання БННН 24В), забезпечення теплового захисту калорифера за допомогою датчика KPS 79 та вбудованих термостатів, а також виконання вимог щодо підтримання нормативних параметрів мікроклімату, освітлення, шуму, вібрації, складу повітря, пожежної та вибухобезпеки, суттєво знижує потенційні виробничі ризики.

Ефективність цих заходів значно підвищується за умови їх поєднання з чітко регламентованими організаційними заходами, що включають професійну підготовку персоналу, проведення регулярних інструктажів та навчань з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки, забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального та колективного захисту, а також здійснення постійного контролю за дотриманням правил безпеки та справністю обладнання.

Тільки таке поєднання продуманих технічних рішень та суворих організаційних заходів дозволить мінімізувати ймовірність виникнення нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, забезпечуючи надійну, ефективну та безпечну експлуатацію спроектованої автоматизованої системи управління технологічним процесом протягом усього терміну її служби.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						93
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Техніко-економічна ефективність автоматизації ТОУ полягає в підвищенні ціни продукції за рахунок підвищення її якості та зниження втрат внаслідок поганих умов зберігання. Для техніко-економічного розрахунку необхідно підрахувати загальну вартість усього обладнання використаного в проекті(Таблиця 7.1).

Таблиця 7.1 - Таблиця вартості обладнання на створення АСК

№	Назва обладнання	Виробник/М арка	Ціна за одиницю	Кількість	Вартість
1	Датчик температури з омічним вихідним сигналом	Alre/AFP 1000	2000	2	4000
2	Датчик температури та вологості	Jeanoko/FG60 20	3800	1	3800
3	Світлова сигналізація червоного кольору	CNAOM/AD 16-22DS	30	5	150
4	Дифманометр з дискретним вихідним сигналом	ECOCONTR OL/LF32-05	738	4	2952
5	Датчик концентрації CO ₂	NiuBal/NBL-W-CO2	30594.86	1	30594.86
6	Термореле з дискретним вихідним сигналом	Danfoss/KPS 79	18000	1	18000
7	Програмований логічний контролер	Schneider/TM 172PBG42RI	23521.54	1	23521.54
8	Вентилятор	VENTS/БУС Т 400	9701	2	19402
9	Калорифер	VENTS/HK 100-1,2-1 У	25000	1	25000
10	Конденсаційний осушувач	Dantherm/CD P 85	30000	1	30000
11	Заслінка повітропроводу з електроприводом	Belimo/CM24	5000	2	10000
12	Клема 4 мм ²	ETI/VS 4 PA	34	8	272
13	Клема 1,5 мм ²	Stilma/SBX00 1TS	15	40	600
14	Кабель-канал 16×25	Епіцентр/Expert	50	2.1	105

Кінець Таблиці 7.1.

15	DIN-рейка	ЧП Ворон/С45	74	1.4	103.6
16	Автоматичний вимикач 16А	ETI/ETIMAT 6 1p C	178	1	178
17	Автоматичний вимикач 6А	ETI/ETIMAT 6 1p C	197	5	985
18	Блок живлення 220В/24В	Schneider/AB LS1A24100	5000	1	5000
19	Запобіжник плавкий	ETI/10x38 EFD 10 1P	131	1	131
20	Реле проміжне	ETI/VS116K 230/24V AC/DC	855	2	1710
21	Щит ЩПМ-II-600x500x200	ECOCONTR OL/e.mbox.pr o...	3700	1	3700
22	Маркування для проводів	Legrand/CAB -3	76	30	2280
23	Гофротруба	Amperok/919 25 ДКС	16	450	7200
24	Кабель силовий 3x2,5	Sokol/BBГ 3x2,5	44	10	440
25	Кабель силовий 3x1,5	Sokol/BBГ 3x1.5	35	40	1400
26	Кабель контрольний 4x0,75	Ital Techno/KBB ГЕ4x0.75	26	400	10400
27	Провід живлення ПВ2	Sokol/ПВ2x1. 5	20	10	200
28	Провід живлення ПВ3	Sokol/ПВ3x1. 0	16	10	160
29	Провід живлення ПВ4	Sokol/ПВ4x1. 0	20	10	200
				Загалом:	202485

Враховуючи особливості об'єкта автоматизації допустимий термін окупності $T_{ок}^* = 3$ роки. Визначити капітальну вартість впровадження АСК $\Delta K_{авт}$, тис. грн. за формулою:

$$\Delta K_{авт} = V_{об} + V_{пр} + V_{т} + V_{м} + V_{пн}$$

Вартість на проектування, розробку алгоритмів управління та програмування системи верхнього рівня $V_{пр}$, тис. грн (взято приблизно 5% від загальної вартості з Таблиці 7.1):

$$V_{пр} = 202485 \cdot 0,05 = 10124 \text{ грн}$$

Витрати на пакування та транспортування $V_{т}$, тис. грн (взято приблизно 3% від загальної вартості з Таблиці 7.1):

$$V_{т} = 202485 \cdot 0,03 = 6074 \text{ грн}$$

Витрати на монтаж складових системи $V_{м}$, тис. грн (взято приблизно 20% від загальної вартості з Таблиці 7.1):

$$V_{м} = 202485 \cdot 0,2 = 40497 \text{ грн}$$

Витрати на виконання пусконаладжувальних робіт $V_{пн}$, тис. грн (взято приблизно 10% від загальної вартості з Таблиці 7.1):

$$V_{пн} = 202485 \cdot 0,1 = 20248 \text{ грн}$$

$$\Delta K_{авт} = 279428 \text{ грн}$$

Визначимо додаткові витрати на обслуговування системи $\Delta B_{авт}$ за формулою:

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

- додаткові витрати на електроенергію B_e , тис.грн/рік;

$$B_e = C_e \cdot T \cdot N = 0,006 \cdot 8760 \cdot 3,600 = 189,216 \text{ тис.грн/рік}$$

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						96
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- витрати на реновацію (амортизаційні відрахування) V_a , тис.грн/рік (взято приблизно 20% від капітальної вартості);

$$V_a = 0,2 \cdot \Delta K_{авт} = 0,2 \cdot 279428 \text{ грн} = 55885 \text{ грн/рік}$$

- витрати на поточний ремонт і обслуговування системи V_p , тис.грн/рік (взято приблизно 50% від капітальної вартості);

$$V_p = 0,5 \cdot \Delta K_{авт} = 0,5 \cdot 279428 \text{ грн} = 139714 \text{ грн/рік}$$

- додаткові витрати на зарплату експлуатаційного персоналу V_z , тис.грн/рік.

$$V_z = V_{zp} \cdot T \cdot n = 15 \cdot 12 \cdot 1 = 180 \text{ тис. грн/рік}$$

$$\Delta B_{авт} = B_e + V_a + V_p + V_z = 565 \text{ тис. грн/рік}$$

$$E_k = 700 \text{ тис. грн/рік}$$

Розрахуємо економічний ефект E_f за формулою:

$$E_f = \Delta U - E_n \cdot \Delta K_{авт}$$

$$\Delta U = E_k - \Delta B_{авт} = 700 - 565 = 135 \text{ тис. грн/рік}$$

$$E_f = 279428 / 135000 = 163,085 \text{ тис. грн/рік}$$

Термін окупності - 2.1 роки.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						97
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було досягнуто основної мети — розроблено та обгрунтовано проект сучасної автоматизованої системи керування (АСУТП), призначеної для підтримання оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні для зберігання комбікорму.

Розроблена трирівнева структура АСУТП, що включає польовий (L0), контролерний (L1) та супервізорний (L2) рівні, є сучасною та надійною. Центральним елементом системи обрано програмований логічний контролер (ПЛК) Modicon TM172PBG42RI, що забезпечує реалізацію всіх функцій керування.

Метрологічний розрахунок показав, що абсолютні похибки вимірювальних каналів знаходяться в допустимих межах, що гарантує необхідну точність для задач регулювання.

Розрахунок надійності продемонстрував високі показники, зокрема середній час напрацювання на відмову для основного контуру регулювання температури складає 258000 годин, а ймовірність безвідмовної роботи протягом року — 0.996. Це свідчить про високу експлуатаційну надійність спроектованої системи.

Для керування температурою було обрано та розраховано ПІ-регулятор, а аналіз показав, що параметри, отримані за експрес-методом ($K_P=16.92$, $T_i=385\text{с}$), забезпечують найкращу якість перехідного процесу з мінімальною девіацією. Аналіз чутливості підтвердив робастність системи до зміни параметрів об'єкта.

У проекті розроблено комплексні заходи з охорони праці, пожежної та електробезпеки. Передбачено використання обладнання в захисному корпусі (IP54) та системи заземлення, що мінімізує виробничі ризики.

Доведено економічну доцільність. Техніко-економічний розрахунок підтвердив ефективність впровадження системи. При капітальних вкладеннях у розмірі 279 428 грн та річному економічному ефекті в 163 085 грн, термін окупності проекту становить 2.1 роки.

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сухина А. Хранение зерна: все под контролем. Журнал «Пропозиція», №10, 2018. Режим доступу: <https://propozitsiya.com/hranenie-zerna-vse-pod-kontrolem>
2. Ef. Kaloudis.The Intelligent Silo. Miller Magazine. 2020. Режим доступу: <https://millermagazine.com/english/the-intelligent-silo/>
3. Як правильно зберігати комбікорм. ПП Кійко. Режим доступу: <https://kijko.com.ua/kak-pravilno-hranit-kombikorm/>
4. Електропривід Belimo CM24. Режим доступу: <https://vents-shop.com.ua/elektroprivd-belimo-cm24-uk/>
5. Канальний вентилятор Вентс БУСТ 400. Режим доступу: <https://vents-shop.com.ua/ventilyator-vents-bust-400-uk/>
6. Конденсаційний осушувач повітря Dantherm CDP 85. Режим доступу: <https://watermart.ua/uk/osushitel-vozduha-s-vodoohlazhdaemym-kondensatorom-dantherm-cdp-75.html>
7. Електрокалорифер Вентс НК 100-1,2-1 У. Режим доступу: <https://vents-shop.com.ua/elektricheskij-nagrevatel-nk-100-1-2-1-u/>
8. Терморезистор Alre AFP 1000. Режим доступу: <https://alre.de/en/produkte/outdoor-temperature-sensor-pt1000/>
9. Датчик концентрації вуглекислого газу NiuBol NBL-W-CO2. Режим доступу: <https://www.niubol.com/static/upload/file/20240512/NBL-W-CO2%20Carbon-Dioxide-Sensor-Instruction-Manual-5000ppm.pdf>
10. Реле перепаду тиску Есоcontrol LF32-05. Режим доступу: <https://iq-climat.com.ua/ua/p1650728390-lf32-rele-perepada.html>
11. Датчик температури та вологості Jeanoko FG6020. Режим доступу: <https://www.amazon.com/Temperature-Transmitter-Waterproof-Detection-Greenhouse/dp/B0CSK1M774>
12. Реле температури Danfoss KPS 79. Режим доступу: <https://elektrologistik.com.ua/ua/p2025005132-rt50-rele-temperature.html>

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						99
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Програмований логічний контролер Schneider Modicon TM172PBG42RI.
Режим доступу:
<https://www.se.com/ua/uk/product/TM172PBG42RI/%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80-%D0%BC172-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2-%D0%B1%D0%B5%D0%B7-%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D1%8E-42-i-o-eth-2-rs485-%D0%B7-%D1%96%D0%B7%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%94%D1%8E/>
14. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. Режим доступу:
<https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf>
15. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>
16. ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту. Режим доступу:
https://dnaop.com/html/60856_2.html
17. ДСТУ EN 60204-1. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68394
18. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Режим доступу:
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>
19. ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування". Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152
20. ДСТУ EN 482:2022 Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин. Режим

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=112734

21.ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2

22.ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48147

					ТА-13449.0012.001.АТХ.П	Арк.
						101
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		