

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики
(інститут)

Електротехнічний факультет
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Кривко Дмитра Едуардовича
(ПІБ)

академічної групи 151М-21-1
(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(офіційна назва)

на тему Синтез та дослідження системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	ст.викл. Бойко О.О.			
розділів:				
Теоретичний розділ	проф. Бубліков А.В.			
Синтез системи	проф. Бубліков А.В.			
Експериментальний розділ	ст.викл. Бойко О.О.			
Економічний розділ	ст.викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро
2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем
(повна назва)
_____ Бубліков А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)
« _____ » _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра

студенту Кривко Д.Е. академічної групи 151М-21-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(офіційна назва)

на тему Синтез та дослідження системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 13.09.2022 р. № 918-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання. Теоретичний розділ	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи. Визначення моделі об'єкта керування.	08.10.2022
Синтез системи керування	Обрання структури системи керування та регулятора. Розрахунок параметрів регулятора. Дослідження функціонування системи керування на базі обраного регулятора.	20.10.2022
Експериментальний розділ	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань.	10.11.2022
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	30.11.2022
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	30.11.2022

Завдання видано _____
(підпис керівника)

ст.викл. Бойко О.О.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.09.2022

Дата подання до екзаменаційної комісії

12.12.2022

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Кривко Д.Е.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 92 с., 60 рис., 17 табл., 3 додатків, 19 джерел.

Об'єкт дослідження: Система автоматичного керування температурою повітря холодильної камери.

Мета роботи: Синтез та дослідження системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери.

Керування температурою повітря холодильної камери здійснюється за рахунок зміни пропускної спроможності терморегулюючого вентиля холодоносія, що надходить до випарника холодильної машини. Температура повітря холодильної камери контролюється датчиком температури з діапазоном від -50 до 100°C .

Основні функціональні властивості, що були враховані при розробці системи керування температурою повітря холодильної камери є: забезпечення постійного контролю за змінами температури повітря холодильної камери, забезпечення вимог, що висувуються до системи керування, енерго- та ресурсозбереження, а також виконання заходів безпеки при роботі обслуговуючого персоналу. Робота системи керування визначається показами приладів на технологічному обладнанні.

Магістерська робота була виконана на основі інформації та результатів кваліфікаційної роботи бакалавра. У представленій роботі було висунуто вимоги до системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери, завдання, що має виконувати система, проведено синтез системи, виконано вибір регулятора та розраховані його параметри. Розроблено людино-машиного інтерфейс для системи керування та його програмне забезпечення.

СИНТЕЗ, СИСТЕМА, ХОЛОДИЛЬНА МАШИНА, ВИПАРНИК,
ТЕМПЕРАТУРА, РЕГУЛЯТОР, ЛМІ

ABSTRACT

Explanatory note: 92 p., 60 fig., 17 table, 3 appendices, 19 sources.

Object of research: System of automatic control for air temperature of refrigerating chamber.

The purpose of the work: Synthesis and research of the system of automatic control for the air temperature of the refrigerating chamber.

The air temperature of the refrigerating chamber is controlled by changing the capacity of the thermoregulating valve of the refrigerant entering the evaporator of the refrigerating machine. The air temperature of the refrigerating chamber is controlled by a temperature sensor with a range from -50 to 100°C.

The main functional properties that were taken into account during the development of the air temperature control system of the refrigerating chamber are: ensuring constant monitoring of changes in the air temperature of the refrigerating chamber, ensuring the requirements for the control system, energy and resource conservation, as well as the implementation of safety measures during the work of service personnel. The operation of the control system is determined by the readings of the devices on the technological equipment.

The master's work was performed on the basis of the information and results of the bachelor's qualification work. In the work, the requirements for the system of automatic control of the air temperature of the refrigerating chamber were determined, the tasks that the system should perform, the synthesis of the system was carried out, the selection of the regulator was carried out and its parameters were calculated. A human-machine interface for the control system and its software has been developed.

SYNTHESIS, SYSTEM, REFRIGERATOR, EVAPORATOR,
TEMPERATURE, REGULATOR, HMI

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	7
1 Стан питання та постановка завдання	10
1.1 Характеристика галузі	10
1.2 Технологічний процес	11
1.3 Об'єкт керування	13
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	13
1.3.2 Структура об'єкту керування	15
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	16
1.4 Структура системи керування	20
1.5 Формулювання задачі дослідження	24
1.6 Висновки по розділу	25
2 Теоретичний розділ	26
2.1 Модель об'єкта керування	26
2.2 Критерії якості функціонування системи керування	31
2.3 Висновки по розділу	35
3 Синтез системи керування	36
3.1 Модель системи керування	36
3.2 Структура регулятора	37
3.3 Оцінка якості функціонування системи керування	44
3.4 Висновки до розділу	51
4 Експериментальний розділ	52
4.1 Цифрова модель об'єкта керування	52
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	55
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	57
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	59
4.5 Висновки по розділу	60

	6
5 Економічна частина	61
5.1 Розрахунки капітальних витрат	61
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на утримання апаратури у споживача	62
5.3 Висновки по розділу	63
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	64
6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів	64
6.2 Інженерно-технічні заходи щодо охорони праці	64
6.3 Розрахункова частина	69
6.4 Пожежна профілактика	72
6.5 Безпека у випадку надзвичайної ситуації	74
6.6 Висновки по розділу	74
Висновки	75
Перелік посилань	77
Додаток А Програмні модулі системи керування	
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування	
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу	

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА
ВИЗНАЧЕНЬ**

ОК	–	Об'єкт керування
ЦАП	–	Цифро-аналоговий перетворювач
АЦП	–	Аналого-цифровий перетворювач
САК	–	Система автоматичного керування
СК	–	Система керування
ТРВ	–	Терморегулюючий вентиль
ЛМІ	–	Людино-машиний інтерфейс
НСВ	–	Нормоване середньоквадратичне відхилення
ПК	–	персональний комп'ютер;

ВСТУП

Актуальність теми. Парокомпресійні холодильні установки (ПКХУ) застосовують практично у всіх галузях промисловості, нині ПКХУ становлять понад 90 % загальної кількості холодильних установок.

З огляду на те, що холодильні установки є енергетичним обладнанням, скорочення споживання потужності навіть на 1-2% може дати в масштабах великих підприємств суттєвий енергетичний та економічний ефект.

Успішна експлуатація сучасних холодильних установок можлива лише за умови використання систем автоматизації їх роботи. Автоматичні пристрої значно полегшують роботу персоналу, який обслуговує холодильну установку – точно підтримують заданий температурний режим, скорочують експлуатаційні витрати, збільшують термін роботи холодильних компресорів, забезпечують захист холодильної установки від аварій. Автоматичні пристрої також підвищують продуктивність праці, покращують якість продукції, скорочують кількість обслуговуючого персоналу.

Виконання основного завдання автоматизації - підтримання температури повітря холодильної камери в необхідних межах - зводиться до того, щоб забезпечити відповідність між кількістю теплоти, що підводиться до холодильної камери і кількістю теплоти від неї. Це є **актуальною науково-технічною задачею**, розв'язання якої зводиться до автоматизації холодильної машини, що входить до складу обладнання холодильної камери, так як відведення тепла з холодильної камери здійснюється холодильною машиною і може бути забезпечене за умови її ефективної та безаварійної роботи.

Мета і задачі дослідження. Метою представленої кваліфікаційної роботи магістра є покращення ефективності функціонування системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери, для якої враховані зовнішні та внутрішні характеристики роботи холодильної установки. До основних зовнішніх характеристик відносяться параметри

навколишнього середовища та теплопритоки в холодильній камері, до внутрішніх – геометричні та теплообмінні параметри апаратів, характеристики компресора та розширювального пристрою.

Мета роботи реалізується через розв'язання таких наукових задач:

- аналіз схеми холодильної установки, технологічного процесу холодопостачання об'єкта, конструктивних особливостей окремих елементів холодильної установки, виявити позитивні сторони та недоліки схеми установки, сформулювати вимоги до розробки систем автоматизації холодильної установки
- огляд існуючі систем керування холодильними установками різних типів та їх призначення;
- розробка системи автоматичного керування, схеми та моделі керування холодильною установкою;

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування температурою повітря холодильної камери.

Предмет дослідження – моделі, методи, програмне та інформаційне забезпечення що використовуються при роботі холодильної камери.

Методи дослідження. Для дослідження існуючих систем автоматичного керування холодильними установками використано методи обчислювального експерименту, математичного моделювання технологічних процесів та імітаційного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Розроблено нову систему автоматичного керування температурою повітря холодильної камери з урахуванням особливостей перебігу технологічних процесів у холодильних установках та умов експлуатації.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Характеристика галузі

Процеси охолодження присутні у всіх без винятку галузях господарства країни і в першу чергу - це функціонування холодильної ланцюга, що забезпечує населення продуктами харчування і, відповідно, продовольчу безпеку країни.

Холодильна промисловість забезпечувала і зараз може забезпечувати формування, зберігання державних резервів і ресурсів для поставок споживачам. Одночасно ця система є одним з ключових стабілізуючих ланок ринкової інфраструктури агропромислового комплексу країни.[1]

Найважливішим завданням агропромислового комплексу є цілорічне безперервне постачання населення якісними харчовими продуктами. Проте в умовах клімату України вироблення переважної більшості продуктів має сезонний характер, тому зберегти їх харчову цінність протягом цілого року можна лише консервуванням. Вибір способу консервування залежить від властивостей продукту, міри збереження його якості та харчової цінності після зберігання та вартості способу. Для більшості продуктів як рослинного, так і тваринного походження використовують холодильне консервування. Воно дає можливість запобігти псуванню, скоротити втрати сировини та продукції за мінімальної зміни властивостей первинного продукту. [2]

Сьогодні холодильна технологія – це галузь знань і практичної діяльності, що вирішує завдання холодильного оброблення харчових продуктів, а також використання холоду для їх вироблення. Вона вивчає вплив холодильного оброблення на харчові продукти : визначає оптимальні режими холодильного оброблення з урахуванням особливостей продуктів і властивих їм змін; розробляє науково обґрунтовані методи зниження втрат маси та якості продуктів під час холодильного оброблення; розробляє нові способи холодильного оброблення харчових продуктів. [2]

Основне завдання холодильної технології – обрати найраціональніші способи та режими холодильного оброблення харчових продуктів для максимального збереження їх якості за мінімальних витрат коштів. Для цього слід мати уявлення про склад і властивості харчових продуктів, технології їх вироблення, зміни, що відбуваються у сировині та продуктах під час вироблення та зберігання.[2]

Тривалість зберігання охолоджених харчових продуктів залежить від багатьох факторів і визначається сукупною дією мікробіологічних, біохімічних, хімічних і фізичних процесів на якість продуктів. Для підвищення тривалості зберігання харчових продуктів, що швидко псуються, їх необхідно заморожувати. У заморожених харчових продуктах швидкість перебігу процесів, що впливають на якість, у багато разів менша, ніж в охолоджених. Якість харчових продуктів після заморожування не відрізняється від первісної, оскільки вони зберігають багато цінних поживних властивостей. [2]

Створення раціональних конструкцій холодильного устаткування неможливе без знань процесів, що проходять у харчових продуктах холодильного оброблення та в апаратах холодильного устаткування.

Правильне використання холодильного устаткування, дотримання потрібних режимів роботи – запорука збільшення терміну зберігання харчових продуктів, зниження втрат і випуску високоякісних кулінарних виробів, напівфабрикатів і готових страв. [2]

1.2 Технологічний процес

Охолодження продуктів харчування і збереження їх при низькій температурі дозволяють зберегти їхні природні якості і вітаміни, сповільнюють життєві процеси і зменшують втрати, збільшують терміни використання поживних властивостей молока, м'яса, риби, овочів, фруктів і т.п. У більшості випадків продукти зберігають за температурах від -2 до

+2°C (в залежності від виду продукту) при відносній вологості 80...95%. Але довгострокове зберігання вимагає більш низьких температур, до -15...-25°C.

Холодильні установки, що працюють на холодоагентах, які циркулюють в замкнутому циклі, забирають теплоту як від завантажених в них продуктів, так і від самих камер, поступово охолоджуючи їх. При цьому холодильні агенти, безперервно циркулюючи в установці, змінюють свій агрегатний стан: спочатку випаровуючись при відборі тепла з оточення, потім знову конденсуючись внаслідок віддачі поглиненої теплоти.

До складу холодильної установки входять: компресори, випарники, конденсатори, регулюючі (дросельні) вентиля, а також допоміжне обладнання: насоси для подачі холодоагенту, холодоносія, відповідні комунікаційні агрегати (система трубопроводів, арматура), запобіжні пристрої (рис. 1.1).

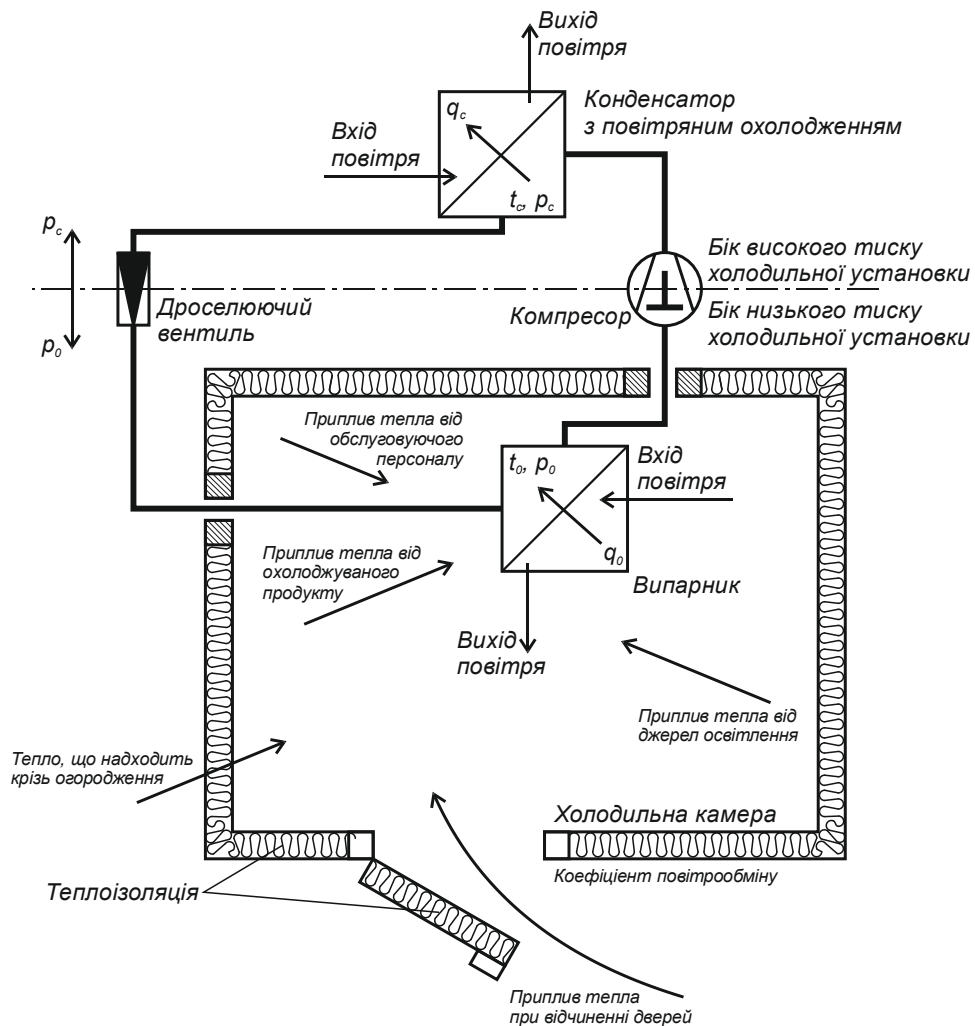


Рисунок 1.1 – Будова холодильної установки

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Середньотемпературні камери і склади забезпечують зберігання продуктів при температурах від $+10^{\circ}\text{C}$ до -5°C . Швидкомонтовані збірні холодильні камери стандартного ряду з товщиною ізоляції 80 мм призначені для зберігання продуктів при середніх ($0-7^{\circ}\text{C}$) температурах. [3]

Камери об'ємом від 4,8 м³ і висотою від 2,2 м збираються з готових замкових панелей за профілем «шип-паз» з кріпленням між собою стяжними замками, вмонтованими в ізоляцію. Модульна конструкція дозволяє змінювати обсяг і форму камери шляхом додавання стандартних панелей з кроком 562 та 1125 мм. [3]

Холодильні збірні камери використовують для зберігання охолоджених (середньотемпературні камери КХС) і заморожених (низькотемпературні камери КХН) продуктів. [3]

У камерах КХС випарники розміщені під стелею або у верхній частині бічних стін. У камерах КХН замість випарника встановлені повітроохолоджувачі. Продукти в камері розміщуються на стелажах, підлогових решітках і гачках. [3]



Рисунок 1.2 – Середньотемпературна камера КХС-2-6М [3]

З уніфікованих щитів з металевою облицюванням збирають камери корисним об'ємом 6 м³ (КХС-6), 12 м³ (КХС-12) та 18 м³ (КХС-18). Всі ці

камери мають приблизно однакову висоту (2250 мм) і глибину (2000 мм) і розрізняються тільки шириною (відповідно 2000, 3500 і 5800 мм). Камера КХС-6 (рис.1.2) має одне відділення. [3]

Ці камери, що встановлюються в підсобних приміщеннях підприємств торгівлі і громадського харчування або в виробничих цехах, збирають на місці із окремих уніфікованих щитів заводського виготовлення. [3]

Щити мають дерев'яний каркас, обшитий з двох сторін дошками чи сталевими листами, між якими розміщена теплова ізоляція із пінополістиролу товщиною 100 мм. З зовнішнього боку щити облицьовують листовою сталлю (або фанерою), а зсередини листовим алюмінієм. Щити для підлоги обов'язково поверх ізоляції покривають настилом з деревостружкової плити або з дощок (вагонки). [3]

Алюмінієва обшивка щитів для підлоги зроблена у вигляді ванни. Один щит стіни має двері. Щити з'єднують стяжними болтами. У місцях стиків герметичність досягається прокладкою профільної гуми.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики холодильних камер

Камера	Внутрішній охолоджуваний обсяг м3	Площа підлоги, м2	Маса завантажуваного продукту, кг	Температура камери, °С	Холодильний агрегат
КХС-6	6	4	600	0...+2	ФАК-1,1Е
КХС-6Ю	6	4	600	0...+2	ФАК-1,5МЗ
КХС-6Б	6	3,9	600	0...+2	ФАК-1,1Е
КХС-12	12	7	1200	0...+2	ФАК-1,5МЗ
КХС-12Ю	12	7	1200	0...+2	ФАК-1,1Е (2 агрегата)
КХС-12Б	12	6,8	1200	0...+2	ФАК-1,5МЗ
КХС-18Б	18	9,7	1800	0...+2	ИФ-56
КХН-1-8,0К	8,0	4,0	800	-18...-16	МХНК-630 (2 агрегата)
КХН-2-6См	5,7	3,9	650	-13	ВСЕ 1250 (2 агрегата)

Для отримання низьких температур в холодильних камерах, таких як збірно-розбірні камери типу КХС, застосовують герметичні середньотемпературні агрегати ПС-1250.

1.3.2 Структура об'єкту керування

Мінімальна площа будь-якої з камер не повинна бути менше 6 м². Висота камер становить 2,7-3,3 м. Для зменшення теплоприпливів в камери через стіни, що мають висоту 3,3 м або більше, у камері може бути встановлена несправжня стеля на висоті 2,5 м з пінополістарола товщиною 100 мм. Для вирівнювання за обсягом камери температури та відносної вологості, а також для видалення запахів здійснюється зміна повітря. Холодне повітря з камери викидається назовні, а тепле - через повітряний фільтр подається в камеру. За добу змінюється від двох до чотирьох обсягів повітря камери. [3]

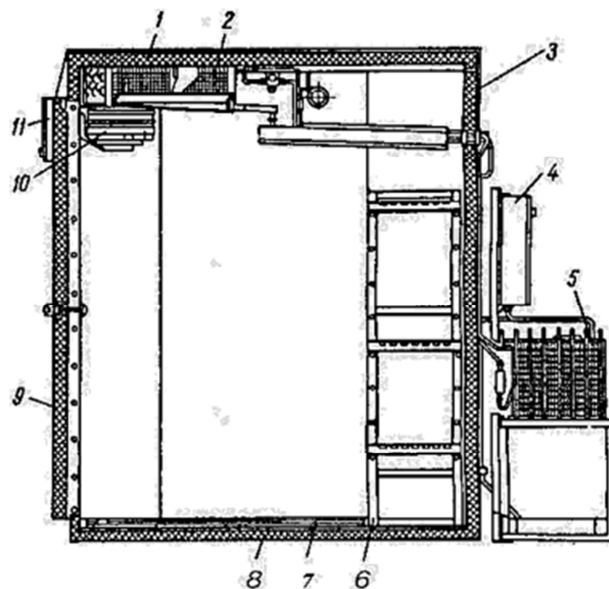


Рисунок 1.3 – Конструкція середньої холодильної камери

1 – повітроохолоджувач; 2 – терморегулюючий вентиль; 3 – панель огороження; 4 – шафа електрообладнання; 5 – холодильний агрегат; 6 – посудина для збору талої води; 7 – трубка для відведення талої води; 8 – стелаж для харчових продуктів; 9 – замок дверей; 10 – двері; 11 – пульт керування

При експлуатації холодильних камер випарники покриваються сніговою шубою. Причиною утворення снігової шуби є конденсація водяних парів. Повітря камери, проходячи через випарник, охолоджується до точки роси та з нього випадають водяні пари. Наявність снігової шуби на

випарнику – явище небажане, так як повітря, проходячи через випарник, охолоджується і осушується. [3]

При підігріві повітря продуктом його відносна вологість різко зменшується, і з продукту починає переходити волога. Відбувається усушка продукту. Снігову шубу треба періодично відтаювати. Робиться це або автоматично, або вручну. [3]

1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування

В ХМ для стабілізації режиму роботи машини і, зокрема, органу, що дроселює, підтримують тиск конденсації p_k шляхом зміни витрати або параметрів охолоджувального середовища – води або повітря.

У ряді випадків, особливо в простих машинах, підтримують не температуру об'єкту охолодження, а температуру (тиск) кипіння холодильного агента у випарнику. При такому способі об'єктом керування є випарник.

Як видно зі схеми холодильної установки, окрім пристроїв для зміни холодопродуктивності, є додаткові пристрої, що забезпечують нормальну роботу усіх вузлів машини. Найголовнішими з них є системи живлення випарників холодильним агентом.

На роботу холодильної установки постійно здійснюють вплив різні чинники.

В процесі експлуатації холодильного устаткування з метою контролю та керування здійснюється вимірювання великої кількості параметрів. Деякі з них залежать один від одного, але у реальних умовах порушення кореляції їх значень може свідчити про неправильну роботу холодильного устаткування та необхідність здійснення управляючого впливу з метою запобігання аварійної ситуації. Таким чином, важливою задачею є аналіз та виявлення параметрів, що впливають на якість керування на різних етапах та введення їх у модель.

Приведемо перелік контрольованих параметрів у таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Перелік параметрів

№	Позначення	Назва	Діапазон можливих значень	Одиниці вимір.	Параметричні залежності
	1	2	3	4	5
1	$t_{kam\ i}$	Температура в і – камері		° C	
2	$t_{kam\ j}$	Температурний режим j групи камер		° C	
3	t_{os}	Температура навколишнього середовища	$-40 < t_{os} < 45$	° C	
4	φ_{os}	Відносна вологість зовнішнього середовища	$20 < \varphi_{os} < 90$	%	
5	t_{mt}	Температура по мокрому термометру		° C	$t_{mt} = f(t_{os}, \varphi_{os})$
6	t_0	Температура кипіння холодильного агента		° C	$t_0 = t_{kam} - 10$
7	t_k	Температура конденсації		° C	$t_k = t_{mt} + \Delta t_k$
8	Δt_k	Різниця температур		° C	$\Delta t_k = t_{mt} - t_k$
9	t_n	Температура нагнітання		° C	
10	t_{vs}	Температура всмоктування		° C	
11	t_{w1}	Температура води на вході в конденсатор		° C	$t_{w1} = t_{mt} + 3$

Продовження таблиці 1.1

	1	2	3	4	5
12	t_{w2}	Температура води на виході з конденсатора		$^{\circ}\text{C}$	$t_{w2}=t_{w1}+4$
13	t_{pr}	Температура продукту		$^{\circ}\text{C}$	$t_{pr}=t_{кам}+2$
14	P_0	Тиск кипіння холодильного агента		кг с/см^2	$P_0=f(T_0)$
15	P_k	Тиск конденсації		кг с/см^2	$P_k=f(t_k)$
16	P_{vs}	Тиск всмоктування		кг с/см^2	$P_{vs}=0.95P_0$
17	P_n	Тиск нагнітання		кг с/см^2	$P_n=1.1P_k$
18	P_{mp}	Тиск у маслопроводах		кг с/см^2	
19	ΔP_m	Різниця тисків мастила до та після мастиловідсмоктувача	$\Delta P_m \geq 70$	кг с/см^2	
20	H_M	Рівень мастила в компресорі		%	$H_M = P_m$
21	H_{mo}	Рівень мастила в мастиловіддільнику	$H_{mo} \leq 50$	%	
22	H_{mzs}	Рівень мастила в мастилозаправочній посудині		%	
23	H_{ms}	Рівень мастила в мастилозбірнику	$H_{ms} \leq 50$	%	
24	H_{kd}	Рівень холодильного агента в конденсаторі	$H_{kd} \leq 10$	%	
25	H_{lr}	Рівень холодильного агента в лінійному ресивері	$20\% \leq H_{lr} < 80\%$		
26	H_{og}	Рівень холодильного агента в віддільнику рідини	$H_{og} \leq 70\%$		
27	H_{kam}	Рівень заповнення камери вантажем	$0\% \leq H_{kam} < 100\%$		
28	T_{vr}	Час виходу на режим	$T_{vr} \leq 24$		

Тиск нагнітання компресора може підвищитись вище за допустимий при пуску компресора із закритим нагнітальним вентилям, а також при порушенні роботи конденсатора. Надмірне зростання тиску може призвести до руйнування компресора, конденсатора і інших елементів сторони високого тиску.

Тиск всмоктування компресора може знизитись нижче норми при порушенні системи живлення випарника холодильним агентом, припиненні руху холодоносія через випарник (наприклад, при його замерзанні), а також при роботі компресора із закритим всмоктуючим вентилям. Це може призвести до порушення змащування компресора, перегрівання вбудованого електродвигуна компресора та ін.

Тиск в системі змащування компресора падає при виході з ладу масляного насоса, попаданні рідкого агента в картер компресора, недостатній кількості мастила в картері і т. д. Малий тиск в системі змащування може призвести до виходу компресора з ладу і його руйнування.

Температура нагнітання компресора підвищується при поломках нагнітальних клапанів, нещільності байпасів і порушеннях в системі охолодження сорочок компресора. Може статися перегрівання компресора і заклинювання поршнів.

Температура холодоносія у випарнику знижується при зменшенні теплового навантаження і порушенні циркуляції. Може викликати замерзання холодоносія, розморожування трубок, вихід випарника з ладу і втрату холодильного агента.

Температура обмоток вбудованого електродвигуна підвищується при пониженні температури кипіння, порушеннях системи живлення випарника, пропусках через байпас, обриві однієї з фаз живлячої напруги.

Переповнення апаратів або посудин, приєднаних до всмоктуючої сторони компресора рідким холодильним агентом, відбувається при порушенні системи живлення апаратів або посудин і виявляється за підвищенням рівня рідини або пониженням перегрівання пари.

Переповнювання апаратів або посудин призводить до роботи вологим ходом і гідравлічних ударів, які можуть зруйнувати компресор.

Аналіз роботи обладнання холодильної камери дозволяє стверджувати, що ХУ є складним об'єктом, а саме складною людинно-машинною системою.

1.4 Структура системи керування

За об'єкт керування, що розглядається в кваліфікаційній роботі, вибрано холодильну камеру та процес регулювання температури повітря в ній. Вхідним параметром при регулюванні температури повітря у холодильній камері є витрата холодильного агенту (хладон 22), що циркулює через випарник (рис. 1.1). Кількість холодильного агенту регулюється за допомогою терморегульованого вентиля (ТРВ), пропускна спроможність якого складає від 0 до 100%, де 0% - це повністю закритий вентиль і відсутність подачі холодильного агенту, а 100% - повністю відкритий вентиль і максимальна витрата холодильного агенту. Вихідним параметром для системи керування є температура повітря холодильної камери. Основними функціями досліджуваної системи керування є зменшення та стабілізація температури повітря холодильної камери на рівні -5°C . Температура вихідного продукту, що надходить до холодильної камери становить 12°C . [3]

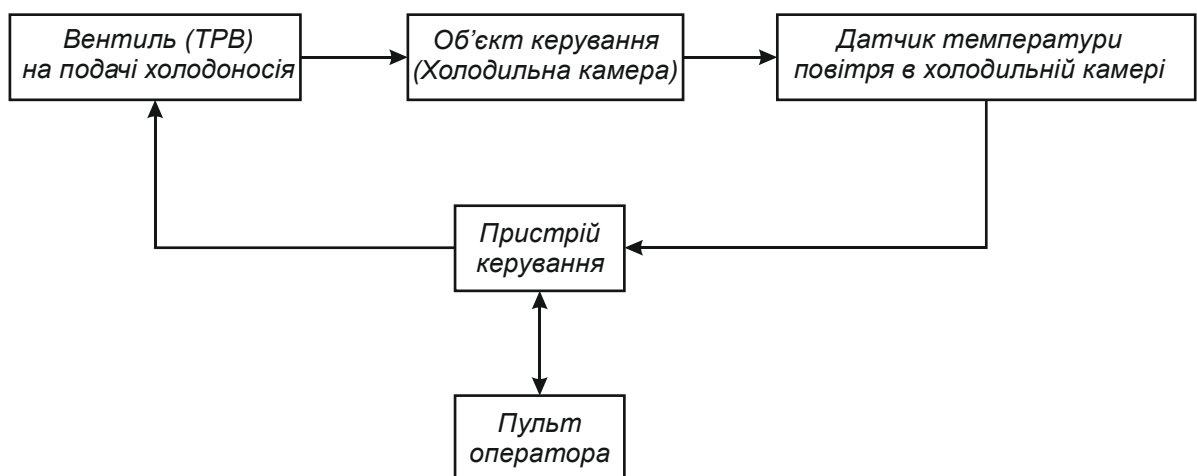


Рисунок 1.4 – Структурна схема системи керування

З огляду на це, САК температурою повітря холодильної камери повинна мати в своєму складі: датчик температури в середині камери, ТРВ, який призначений для зміни кількості холодильного агенту, який надходить до випарника, пристрій керування (контролер), який задає пропускну спроможність ТРВ зважаючи на значення температури повітря холодильної камери. Також до складу системи має входити пульт оператора, основним завданням якого є відображення перебігу процесу та який надає можливість вносити корегування до роботи САК (рис. 1.4) .

САК температурою повітря холодильної камери, що розробляється та досліджується у представленій кваліфікаційній роботі має забезпечувати задану температуру повітря холодильної камери, в межах від -20 до 20°C . Під'єднання датчика температури до пристрою керування (контролера) повинно виконуватися через стандартний заводостійкий струмовий інтерфейс 4-20 мА. Ці вимоги задовільняє термоперетворювач «У» модель 1-3 [10] (рис.1.5), з вимірювальним діапазоном від -50°C до 100°C .



Рисунок 1.5 – Термоперетворювач «У» модель 1-3

Зміна температури повітря холодильної камери здійснюється за рахунок регулювання пропускну спроможності ТРВ. (рис. 1.6)



Рисунок 1.6 – Електронний ТРВ Danfoss AKV

Пропускна спроможність ТРВ змінюється за вказівкою з контролера на основі значення температури повітря холодильної камери.

Електронні ТРВ Danfoss AKV з електроприводом призначені для впорскування холодоагенту у випарники холодильних установок.

З огляду на вимоги до САК температурою повітря холодильної камери для виконання основних функцій керування прийнято програмований логічний контролер (ПЛК) VIPA 214-2BE03 (рис. 1.7). [11]



Рисунок 1.7 – ПЛК 214-2BE03

Підключення до ПЛК термоперетворювача «Y» модель 1-3 та електронного ТРВ виконується завдяки модулю аналогового вводу/виводу VIPA 234-1BD60, що забезпечує можливість підключення чотирьох аналогових вхідних сигнали та допускає підключення виконавчих елементів до двох аналогових виходів (рис. 1.8). [11]

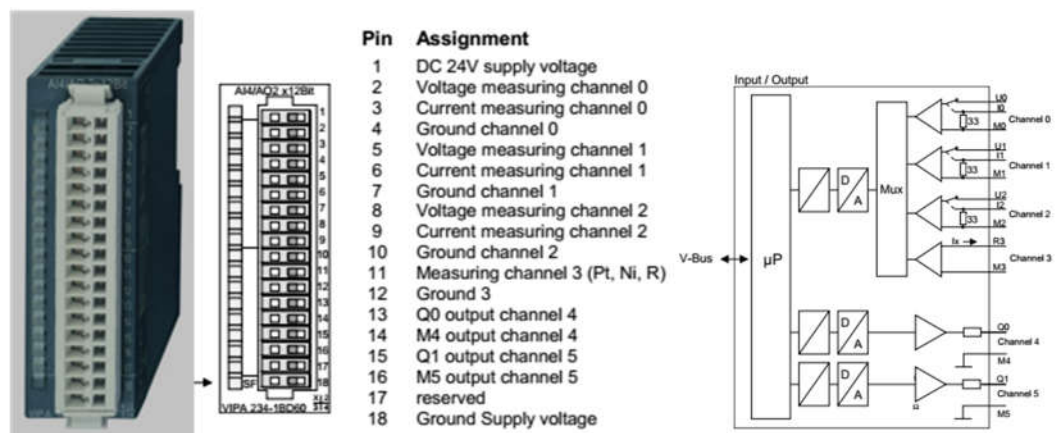


Рисунок 1.8 – Модуль VIPA 234-1BD60

Для живлення контролера було обрано джерело SPD24301 з вхідною напругою від ~ 85 до ~ 264 В та вихідною напругою $+24$ В та потужність 30 Вт (Рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Блок живлення SPD24301

На підставі вимог, що висунуті до САК температурою повітря холодильної камери і вибраного обладнання в кваліфікаційній роботі бакалавра були розроблені функціональна схема автоматизації та схема електрична принципова, наведені на рисунках 1.10 та 1.11 відповідно.

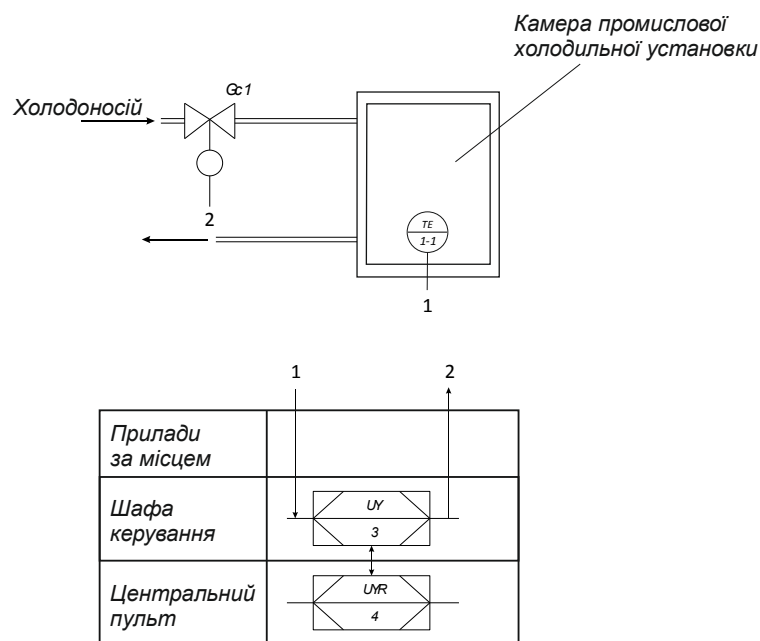


Рисунок 1.10 – Функціональна схема автоматизації

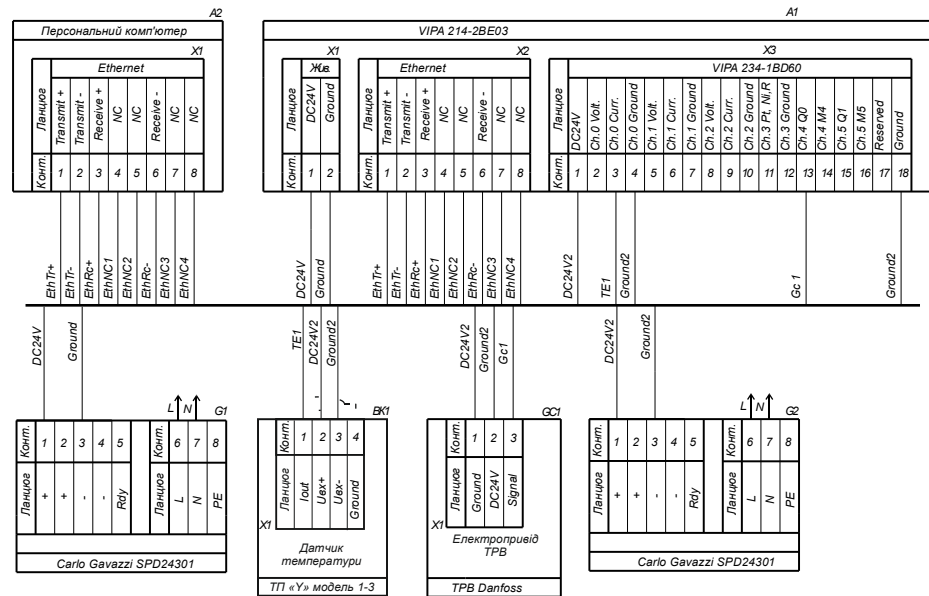


Рисунок 1.11 – Схема електрична принципова

1.5 Формулювання задачі дослідження

Метою представленої кваліфікаційної роботи магістра є покращення ефективності функціонування САК температурою повітря холодильної камери, для якої враховані зовнішні та внутрішні характеристики роботи холодильної установки.

Завданням дослідження є вивчення можливості автоматичного керування витратою холодоносія для підтримки постійної температури повітря холодильної камери.

Для забезпечення ефективного керування об'єктом – холодильною камерою, необхідно вирішити низку задач:

- розглянути можливість використання оптимального регулятора;
- вибрати метод розрахунку параметрів П, ІІ, ІІД регуляторів та вибрати найкращий з огляду на вимоги до системи керування;
- Перевірити реакцію системи керування на збурюючий вплив та дослідити систему на робастність

Врахувати основні вимоги до системи керування:

- зниження температури повітря холодильної камери до заданого рівня;

забезпечення мінімально можливих значень часу перехідного процесу та часу встановлення, коли дійсне значення потрапило у діапазон $\pm 5\%$.

1.6 Висновки по розділу

Об'єкт дослідження у кваліфікаційній роботі – це процес автоматичного керування температурою повітря холодильної камери.

Мета роботи – покращення ефективності функціонування системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери, для якої враховані зовнішні та внутрішні характеристики. До основних зовнішніх характеристик відносяться параметри навколишнього середовища та теплопритоки в холодильній камері, до внутрішніх – геометричні та теплообмінні параметри апаратів, характеристики випарника, компресора та розширювального пристрою.

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження САК температурою повітря холодильної камери, зважаючи на вимоги до якості та часу перехідного процесу, забезпечить досконале керування об'єктом та дозволить усунути або зменшити вплив існуючих недоліків.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Модель об'єкта керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра була отримана математична модель холодильної камери, як об'єкта керування. Ця модель була отримана за допомогою ідентифікації процесу, основу якого складає обробка вхідних і вихідних сигналів об'єкту керування.

Інформація про перебіг процесів, що відбувалися в холодильній камері надходила від людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ) scada zenon, що входив до складу системи дослідження роботи об'єкта керування.

ЛМІ, створений у scada zenon має можливість налаштування діапазону керуючого впливу – пропускнуєї спроможності регулюючого вентиля холодоносія і дійсного значення – температури повітря холодильної камери. Також ЛМІ дозволяє будувати зміни значень керуючого впливу та дійсного значення у вигляді трендів.

В системі дослідження роботи холодильної камери (рис 2.1) керуючий вплив – пропускнує спроможність регулюючого вентиля холодоносія, перетворюється з розрахованих одиниць – відсотку відкриття в цифрове значення з діапазоном від 0 до 27648 і через систему віддаленого вводу-виводу передається по каналу зв'язку на виконавчий пристрій – регулюючий вентиль у вигляді сигналу з діапазоном від 0 до 10В. Дійсне значення температури повітря холодильної камери вимірюється за допомогою датчика температури, з діапазоном вихідного сигналу 4..20 мА. Вихідний сигнал датчика температури перетворюється аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) системи віддаленого вводу-виводу в цифрове значення з діапазоном від 0 до 27648, що передається середовищу виконання. У середовищі виконання цей сигнал перетворюється у фізичні одиниці і візуалізується у людино-машинному інтерфейсі.



Рисунок 2.1 – Система дослідження роботи холодильної камери

Дослідження об'єкта керування виконувалося за допомогою методу активного експерименту та складалося з наступних етапів:

- отримання характеристик об'єкта: динамічної, статичної, імпульсної, а також перевірочних даних;
- аналіз отриманих характеристик – структурна та параметрична ідентифікація;
- оцінка адекватності отриманої моделі.

Динамічна характеристика (рис 2.2) була отримана наступним чином: систему дослідження перевели до початкового стану та ввімкнули систему реєстрації даних.

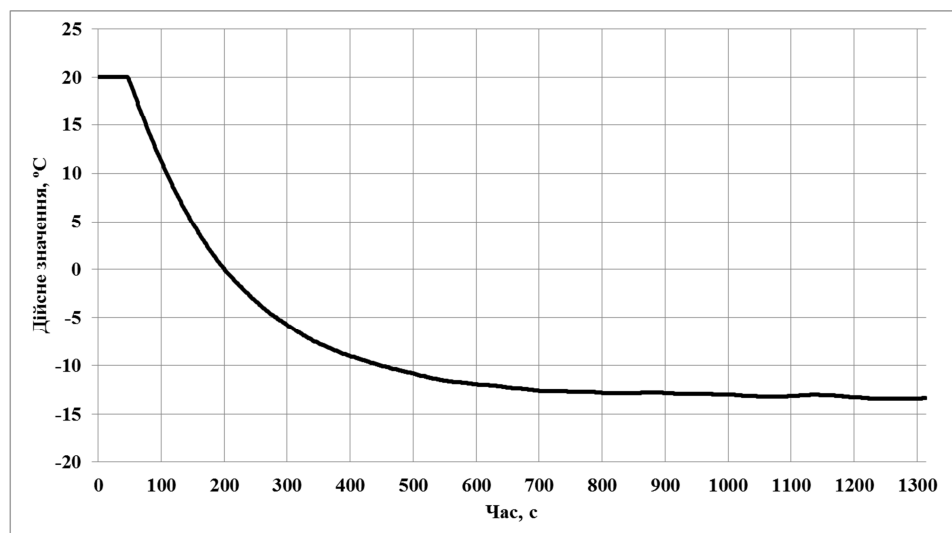


Рисунок 2.2 – Динамічна характеристика

Подали східчастий вплив зі значенням 100% відкриття регулюючого вентиля та чекали на завершення перехідного процесу, після чого вимкнули систему реєстрації даних та отримали динамічну характеристику.

Далі, подібним чином були отримані дані (рис. 2.3) для побудови статичної характеристики.

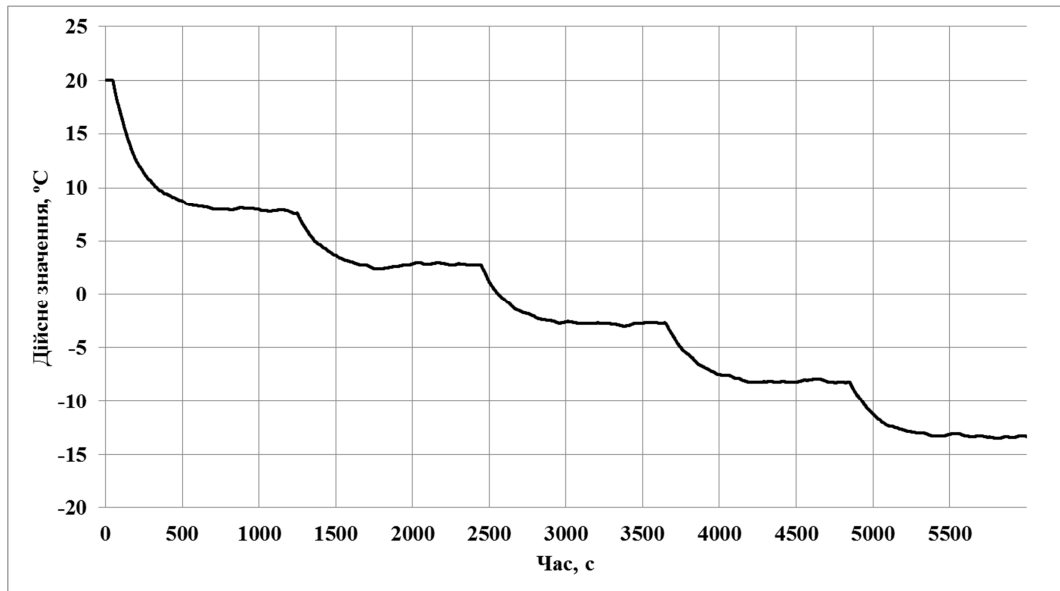


Рисунок 2.3 – Дані для побудови статичної характеристики

Імпульсна характеристика (рис. 2.4) об'єкта керування була отримана при подачі східчастого (П-подібного) впливу зі значенням 100% та подальшим встановленням 0 після досягнення сталого значення на характеристиці.

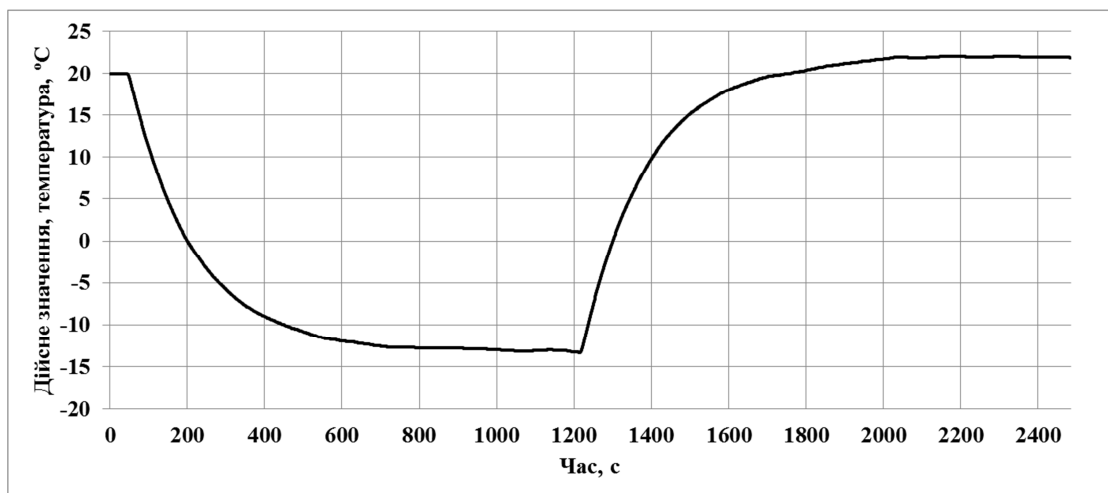


Рисунок 2.4 – Імпульсна (П-подібна) характеристика

Перевірочні данні (рис. 2.5), були отримані при подачі східчастих впливів з інтервалом у 600 секунд з випадковим значенням від 40 до 100% пропускної спроможності регулюючого вентиля.

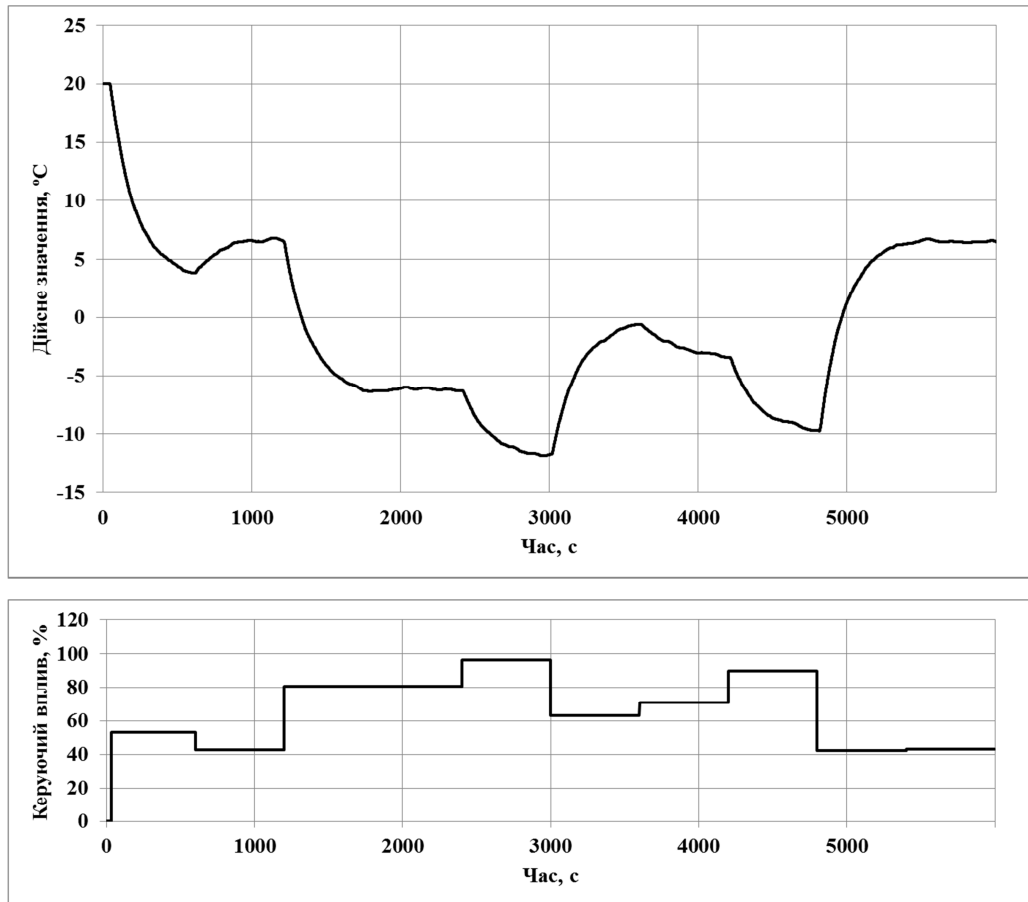


Рисунок 2.5 – Перевірочні дані

Виконавши аналіз отриманих характеристик було зроблено наступні висновки:

об'єкт керування має один виражений корінь, і модель об'єкта відповідає аперіодичній ланці першого чи більш високого порядку з запізненням;

статична характеристика, що представлена на рисунку 2.6 є лінійної. Зважаючи на це можна стверджувати, що об'єкт керування є лінійним при зміні керуючого впливу від 0 до 100%.

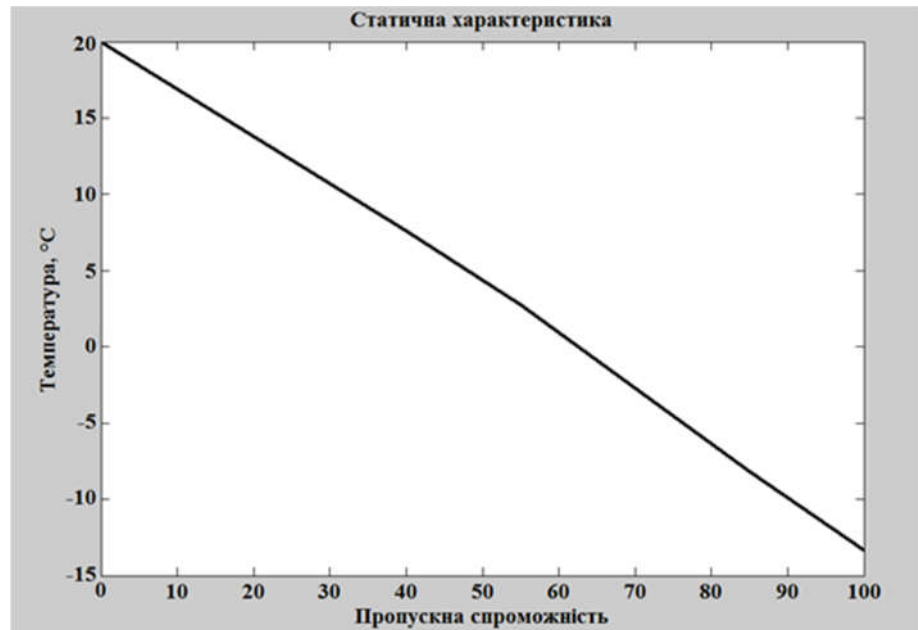


Рисунок 2.6 – Статична характеристика об'єкта керування зміна керуючого впливу – пропускну здатності регулюючого вентиля від 0 до 100% призводить до збільшення дійсного значення – температури повітря холодильної камери, а зміна керуючого впливу від 100% до 0 призводить до зменшення дійсного значення. Перевірка на симетричність показала розбіжність характеристик: 2.70 %. На підставі цього можна зробити висновок, що об'єкт має самовирівнювання і не має інтегруючих властивостей.

Таким чином дослідження об'єкта керування – холодильної камери показало що йому найбільше відповідає модель у вигляді передатної функції 1-го порядку з запізненням (рис.2.7). Результат моделювання об'єкта у математичному пакеті MATLAB/Simulink представлений на рисунку 2.8.

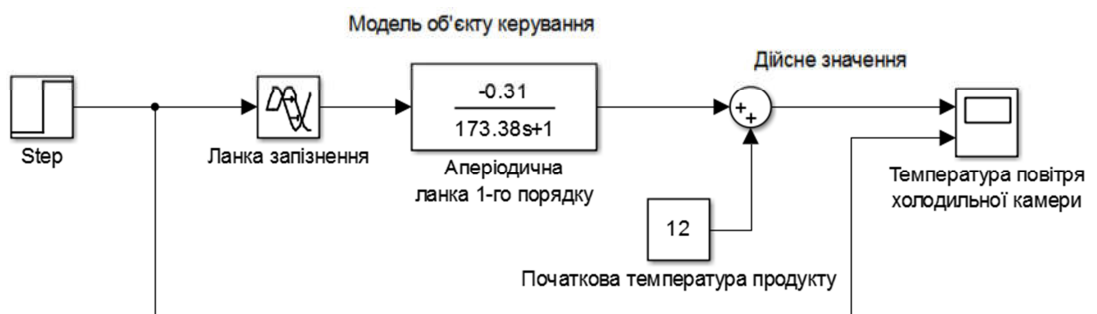


Рисунок 2.7 – Модель холодильної камери у вигляді передатної функції 1-го порядку з запізненням

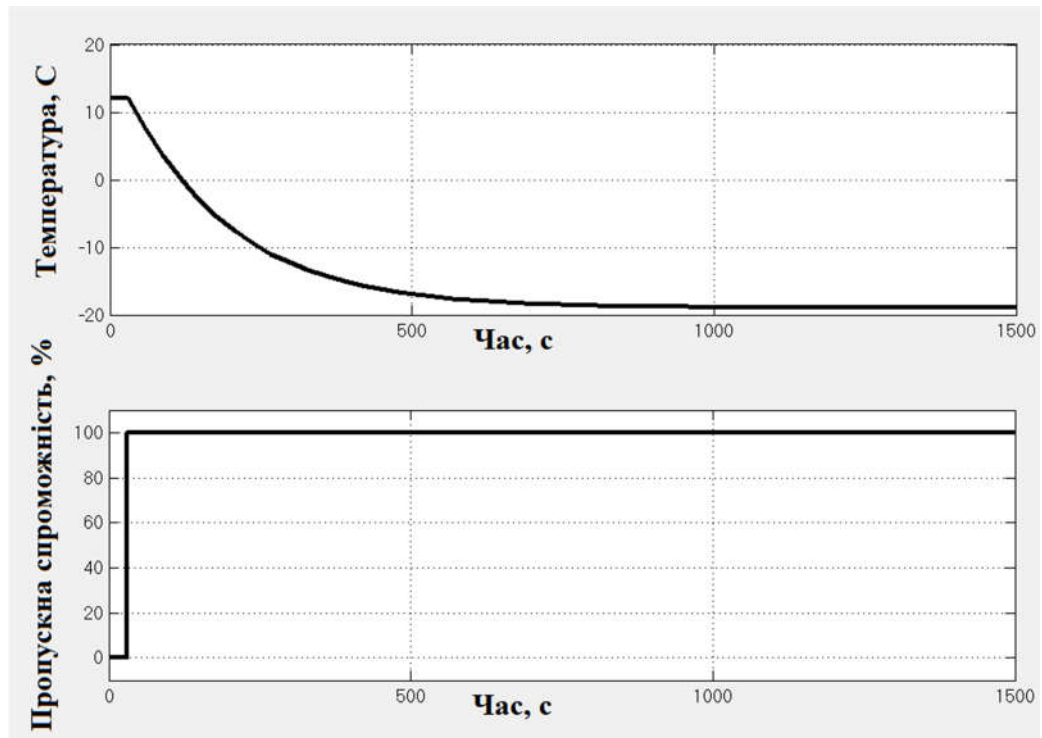


Рисунок 2.8 – Результат моделювання об’єкта у математичному пакеті MATLAB/Simulink

2.2 Критерії якості функціонування системи керування

За результатами аналізу холодильної камери, як об’єкту автоматизації можна зазначити, що під час роботи камери випадковим чином східчасто змінюється температура повітря. При цьому приймається, що шуми у сигналі з датчика мають настільки малу амплітуду, що ними можна знехтувати. А єдиним збуренням є зміна коефіцієнта теплопередачі від стінок камери, через обмерзання, що змінює коефіцієнт пропорційності у каналі регулювання, тобто коефіцієнт підсилення передаточної функції об’єкта керування. Тому, наведені критерії будуть використані для оцінки якості реакції системи на східчасту зміну уставки.

Аналіз задач автоматичного керування дозволяє звузити перелік наведених вище критеріїв якості функціонування системи. Для технологічного процесу, що розглядається, важливим є досягнення діапазону $\pm 10\%$ від заданого значення температури повітря холодильної камери якомога швидше. Таким чином, першим критерієм якості функціонування об’єкта керування є тривалість перехідного процесу при зміні температури

всередині камери – вона повинна бути якомога менше за умови перерегулювання не більше 20%.

Другим критерієм якості функціонування об'єкту керування є точність керування – статична похибка керування повинна дорівнювати нулю.

З огляду на вищезазначені вимоги до функцій системи керування, та отриманої моделі об'єкта керування (аперіодичної ланки першого порядку з запізненням), в роботі необхідно виконати дослідження системи керування на робасність – зменшення тепловідбору за рахунок намерзання вологи на стінках випарника, збільшення теплоприпливу через стінки камери, зміни властивостей продуктів, що охолоджуються в холодильній камері. Тобто при дослідженні необхідно змінити K (коефіцієнт посилення) на +10% та T (постійну часу) на +10% за рахунок змін тепловідбору.

Для моделі холодильної камери необхідно буде провести дослідження функціонування при використанні оптимального регулятора для визначення граничних показників, П, ПІ, ПІД регуляторів.

Методи, які будуть використані для дослідження поведінки системи керування і одержання параметрів для кожного з регуляторів:

– Метод Зиглера-Николса

– Метод AMIGO

При налаштуванні регулятора методом PIDTUNE, коефіцієнт посилення K необхідно вибрати таким чином, щоб співвідношення між продуктивністю і робасністю було найкращим.

Виконаємо розрахунок параметрів оптимального регулятора.

Для визначення граничних показників критеріїв якості використаємо оптимальний регулятор. Цей оптимальний регулятор має бути створений за принципом максимуму Понтрягіна.

Задамо об'єкт керування у вигляді аперіодичної ланки першого порядку із запізненням з такими параметрами:

$$K=-0.31,$$

$$T1=173.38,$$

$T_{\text{delay}}=4,6\text{с.}$

Розрахунок параметрів виконаємо, використовуючи ППП MATLAB

для створення m-функції наступного змісту:

```
function PontryaginMaximumPerformance01(K, T, xn, xk, Umin,
Umax)
%xn - початкове значення температури повітря (дійсне
значення)
%xk- кінцеве значення температури повітря
%Umin - мінімальний керуючий вплив
%Umax - максимальний керуючий вплив
fprintf('\n Об'єкт керування \n'), tf([K],[T 1])
if (xn < xk)
    U0 = Umax;
    fprintf(' Дійсне значення зростає \n\n')
else
    U0 = Umin;
    fprintf(' Дійсне значення зменшується \n\n')
end
% Розрахунок
TU1 = T * log((xn - K * U0) / (xk - K * U0));
U1 = xk / K;
fprintf('u0 = %f, u = %f, t1 = %f\n\n', U0, U1, TU1)
```

Результат виконання розрахунку:

$u_0 = 100.000000, u = 54.838710, t_1 = 137.824942$

З огляду на отриманий результат розрахунку, створимо модель у середовищі MATLAB/Simulink (рис. 2.9). Спочатку подамо керуючий вплив, що дорівнює 100% відкриття регулюючого вентиля холодоносія, та через 137,7 секунд змінити його 54,84 % відкриття регулюючого вентиля холодоносія.

Визначимо максимальні та мінімальні значення часу наростання дійсного значення (90% від уставки) та часу встановлення дійсного значення (99% від уставки) за умови використання керуючого впливу, що дорівнює 54,8% відкриття регулюючого вентиля холодоносія (рис. 2.9, 2.10) та при використанні оптимального регулятора (рис. 2.11, 2.12).

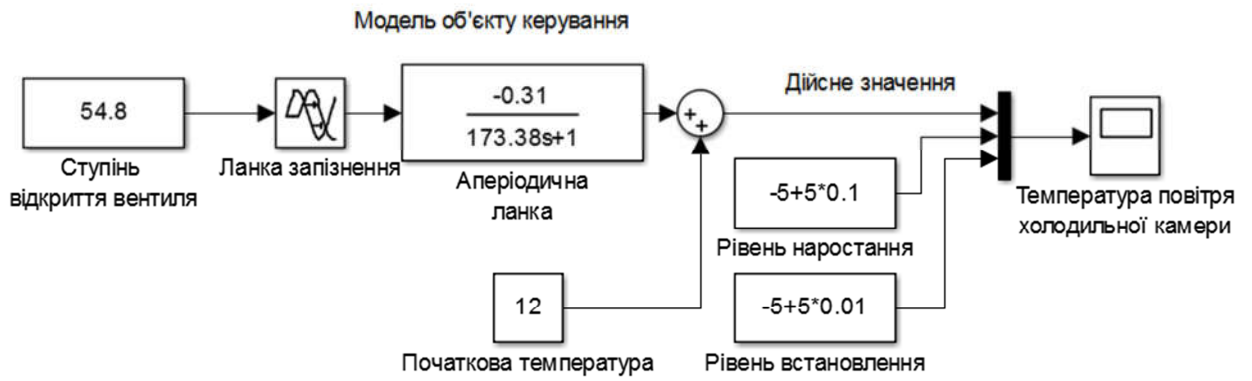


Рисунок 2.9 – Визначення максимального часу наростання та встановлення у пакеті MATLAB/Simulink

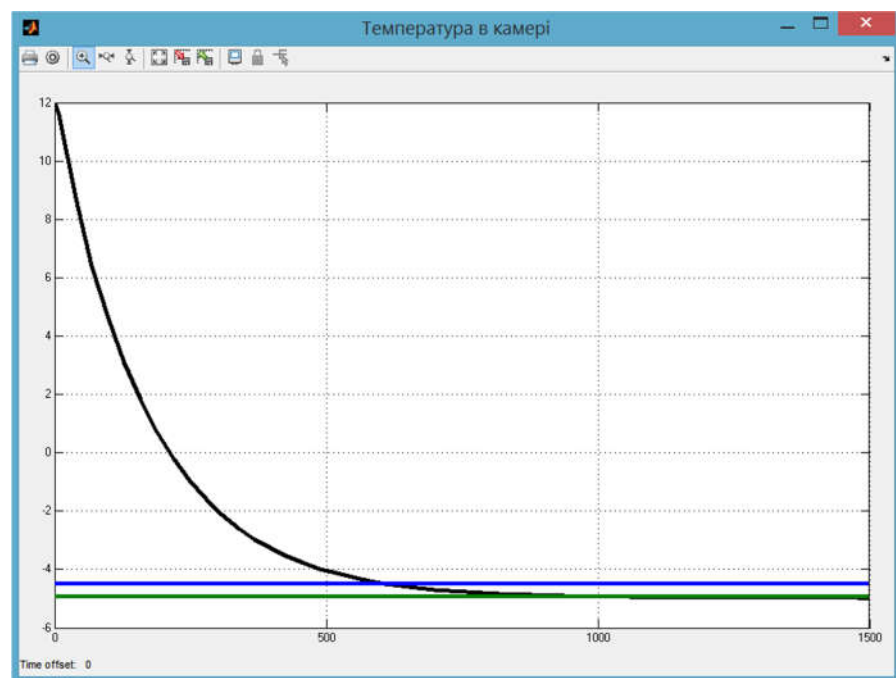


Рисунок 2.10 – Результати моделювання

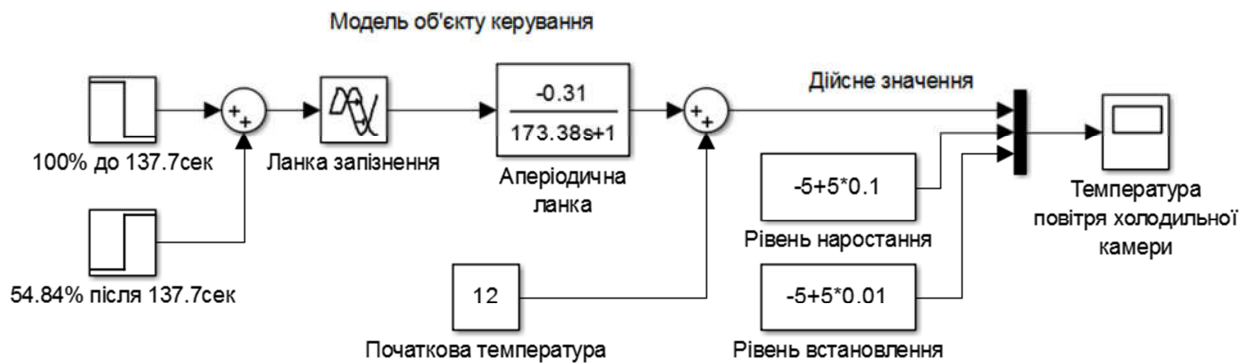


Рисунок 2.11 – Визначення мінімального часу наростання та встановлення у пакеті MATLAB/Simulink

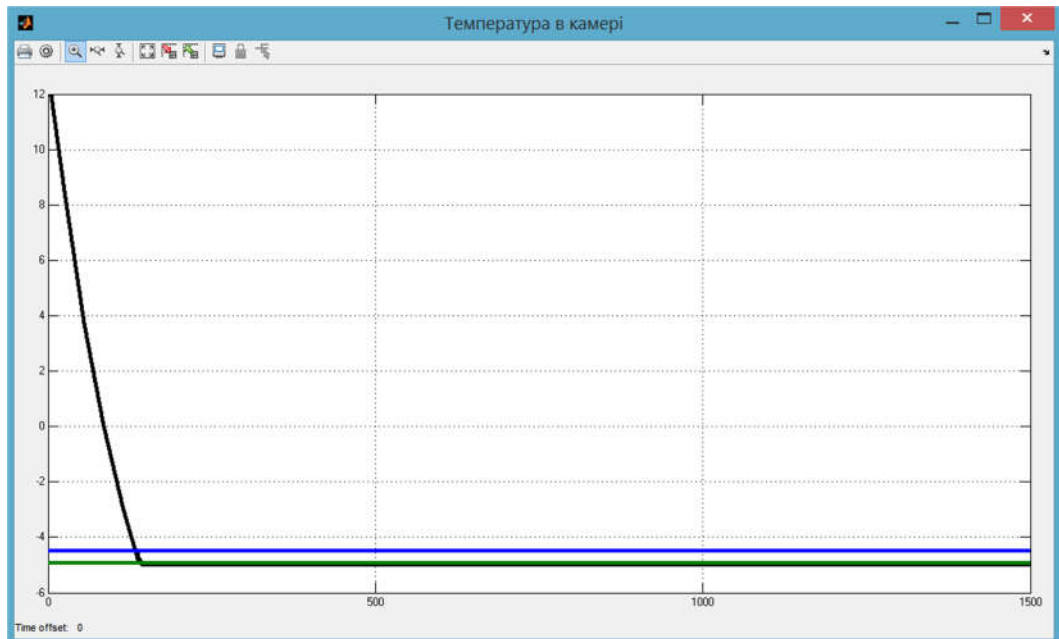


Рисунок 2.12 – Результати моделювання

Проаналізувавши отримані результати моделювання отримали наступні результати:

T_{\max} наростання = 618,5 с, T_{\min} наростання = 133.21 с,

T_{\max} встановлення = 1055 с, T_{\min} встановлення=142.14 с.

Перерегулювання відсутнє.

2.3 Висновки по розділу

В результаті виконаних розрахунків було розроблено оптимальний регулятор для керування за принципом максимуму Понтрягіна, визначено максимальні та мінімальні значення часу наростання та часу встановлення дійсного значення, яким має відповідати система керування:

T_{\max} наростання = 618,5 с, T_{\min} наростання = 133.21 с,

T_{\max} встановлення = 1055 с, T_{\min} встановлення=142.14 с.

Перерегулювання відсутнє.

Цих даних та висунутих вимог до системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери достатньо для виконання синтезу та вибору типу регулятора, з використанням зазначених методів.

3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Модель системи керування

САК температурою повітря холодильної камери може бути представлена у вигляді структурної схеми (рис. 3.1), окремими частинами якої є імітаційні моделі складових системи: пристрою керування, датчика температури, регульованого вентиля холодоносія разом з приводом та холодильної камери.

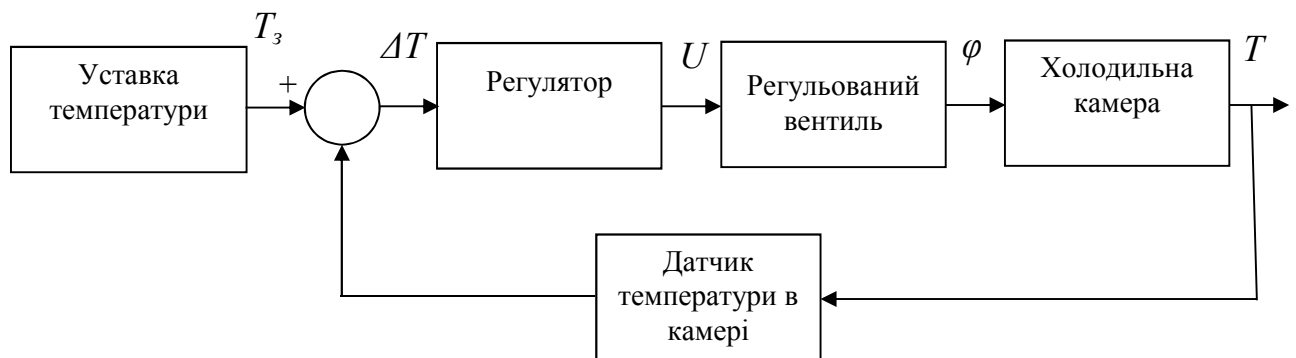


Рисунок 3.1 – Структурна схема САК температурою повітря холодильної камери

На рис.3.1 прийняті такі позначення:

T_z – задане значення температури повітря холодильної камери, уставка, °С;

T – поточна температура повітря холодильної камери, °С;

ΔT – відхилення поточного значення температури від уставки, °С;

U – сигнал керування приводом регульованого вентиля холодоносія, В;

φ – положення регульованого вентиля, %.

Аналіз роботи холодильної камер дозволяє зробити висновок щодо суттєвої інерційності ОК, тобто зміна температури (дійсного значення) з одного значення на інше виконується приблизно за 173,38с. В той же час, зміна пропускної спроможності регульованого вентиля холодоносія від 0 до 100% триває 2с. Тобто, зважаючи на суттєву інерційну складову в роботі холодильної камери в порівнянні з швидкодією регулюючого вентиля, (зміна температури в камері відбувається майже в 90 разі повільніше), можемо ігнорувати інерційність регульованого вентиля. Теж саме можна стверджувати

про датчик температури повітря холодильної камери, який також не має інерційності, бо швидкість перетворення сигналу не перевищує декілька мілісекунд.

Використовуючи результати виконання ідентифікації у кваліфікаційній роботі бакалавра передаточна функція холодильної камери може бути представлена у наступному вигляді:

$$W_{\text{ок}}(s) = \frac{-0,31}{(173,38 \cdot s + 1)} e^{-4,6s},$$

де s – оператор Лапласа.

При повністю відкритому вентилі холодоносія спостерігається температура повітря холодильної камери -19°C . Керуючий сигнал на привід 0В відповідає повністю відкритому (100%) регулюючому вентилю холодоносія. При повністю закритому вентилі холодоносія спостерігається температура 12°C (температура оточуючого середовища). Керуючий сигнал на привід вентиля холодоносія 10В відповідає повністю закритому вентилю (0%). Датчик температури повітря, що встановлений у холодильній камері, має діапазон $-50^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}$ (вихід датчика відповідно $4 \div 20$ мА).

3.2 Структура регулятора

Основними завданнями регулятора у САК є спостереження за значенням вихідного параметру (дійсним значенням) об'єкта керування, розрахунок значення вхідного параметру (керуючого впливу) та формування сигналу на виконавчий пристрій. Робота регулятора здійснюється відповідно вимог до САК і якості її роботи.

В представленій у магістерській роботі системі автоматичного керування температурою повітря холодильної камери однією з вимог є підтримка температури повітря на рівні -5°C . Другою вимогою є відсутність статичної помилки, тобто вона має дорівнювати нулю. Також необхідно щоб зміни температури повітря холодильної камери були монотонними. Рівень перерегулювання не має перевищувати 20 %, що згідно

з заданим значенням температури створює діапазон від -4°C до -6°C і становить 2°C .

У бакалаврській роботі було з'ясовано, що холодильна камера є лінійним об'єктом, має структурну стійкість та самовирівнюється. Для керування подібними об'єктами у промисловості зазвичай використовуються ПІД-регулятори.

За результатами виконаної ідентифікації були отримані наступні параметри моделі об'єкта керування: постійна часу $T=173,38\text{с}$ та час запізнення $\tau=4,6\text{с}$. Тобто, співвідношення τ/T складає $4,6/173,38=0,026$.

З огляду на співвідношення τ/T , у САК температурою повітря холодильної камери, може бути використаний ПІД-регулятор, або один з його різновидів: П-, ПІ-, ПІД-регулятор.

Для отримання параметрів П, ПІ, ПІД-регуляторів використаємо методи Зиглера-Николса та AMIGO про які згадувалось раніше (розд. 2.2).

Холодильна камера відповідає моделі у вигляді аперіодичної ланк 1-го порядку з запізненням та має такі параметри:

$$K = - 0.309, T = 173.38, \tau = 4.6$$

Розрахуємо параметри регуляторів по методу Зиглера-Николса:

Для пропорційного (П) регулятора

$$K_p = 125.916$$

Для пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора

$$K_p = 113.324, T_i = 13.462$$

Для пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора

$$K_p = 151.099, T_i = 8.975, T_d = 2.244, N = 10.000$$

Таблиця 3.1 – Параметри П, ПІ, ПІД-регуляторів отримані за методом Зиглера-Николса

	K_p	T_i	$T_d=K_d$	T_f	N
П	125.916				
ПІ	113.324	13.462			
ПІД	151.099	8.975	2.244	0.2244	10

Розрахуємо параметри регуляторів по методу AMIGO

Для П-регулятора

$$K_p = 37.775$$

Для ПІ-регулятора

$$K_p = 41.488, T_i = 46.034$$

Для ПІД-регулятора

$$K_p = 57.307, T_i = 28.944, T_d = 2.227, N = 10.000$$

Таблиця 3.2 – Параметри П, ПІ, ПІД-регуляторів отримані за методом AMIGO

	K_p	T_i	$T_d=K_d$	T_f	N
П	37.775				
ПІ	41.488	46.034			
ПІД	57.307	28.944	2.227	0.2227	10

Використовуючи параметри регуляторів, що розраховані методами Зиглера-Николса та AMIGO, побудуємо моделі системи керування температурою повітря холодильної камери у пакеті MATLAB/Simulink, перевіримо та порівняємо їх роботу.

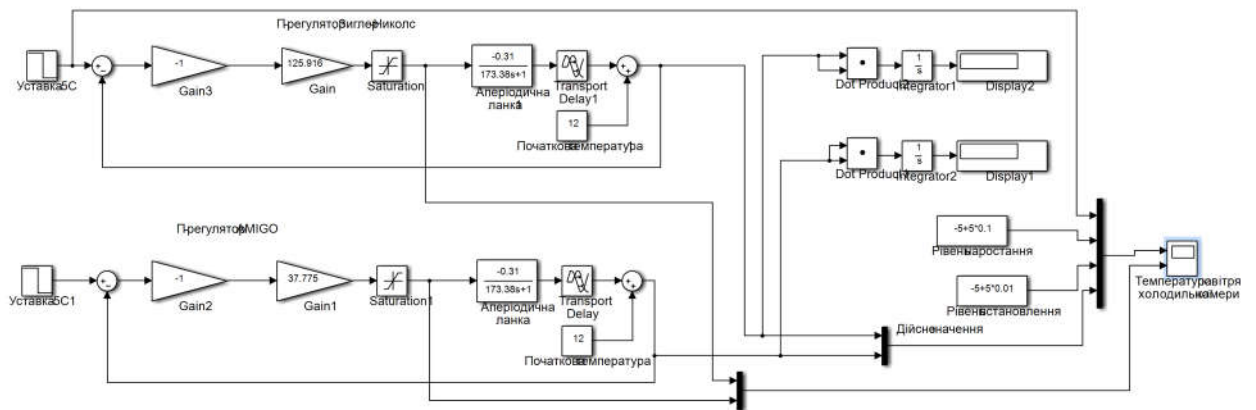


Рисунок 3.2 – САК температурою повітря холодильної камери з П-регулятором

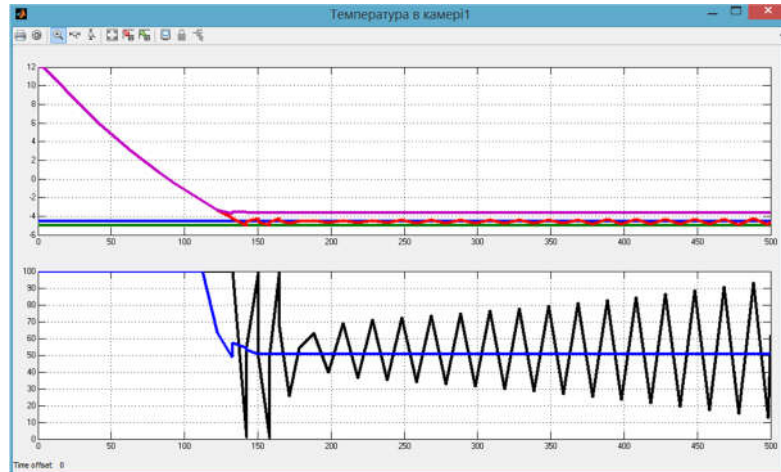


Рисунок 3.3 – Графіки перехідних процесів при моделюванні САК з П-регулятором

Таблиця 3.3 – Критерії оцінки П-регулятора

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	°C	%	
								10^4
1	Зиглера-Николса	136.4		141.7		-	-	1.222
2	AMIGO	-	-	-	-	-	-	0.9409

Розглянувши отримані результати при моделювання САК з П-регуляторами, можна стверджувати, що при використанні П-регулятора, виникає значна статична помилка, що не задовільняє вимогам до системи керування.

На наступному етапі дослідження виконаємо аналіз ПІ-регулятор, властивістю якого є наявність інтегруючої складової, яка має можливість зменшити статичну помилку.

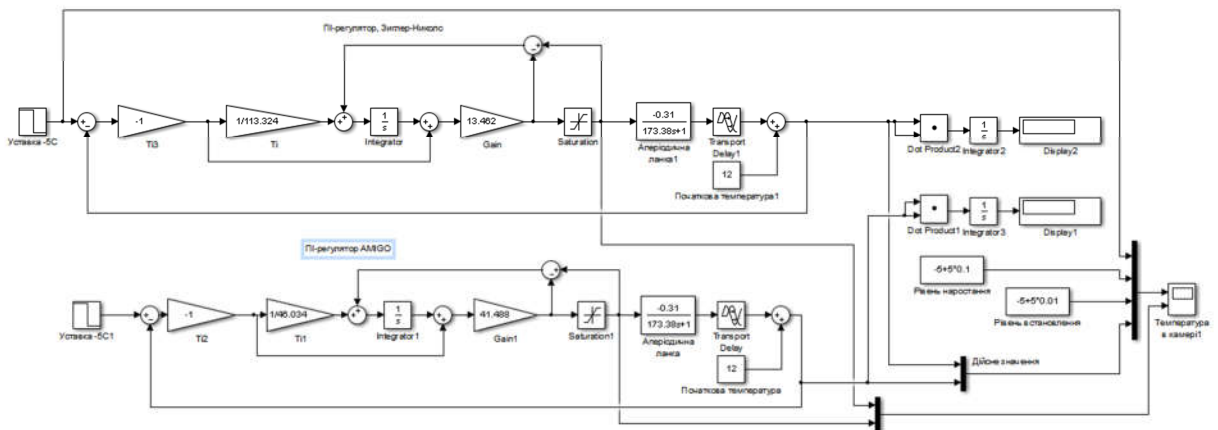


Рисунок 3.4 – САК температурою повітря холодильної камери

з ПІ-регулятором

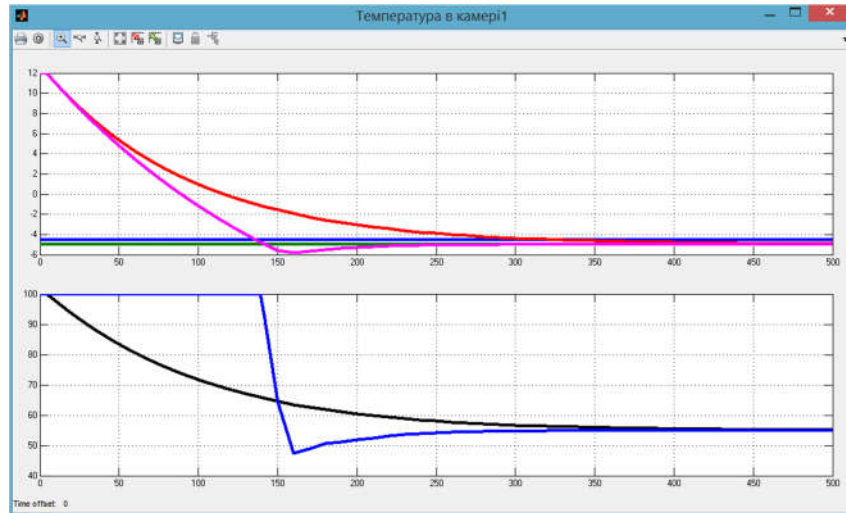


Рисунок 3.5 – Графіки перехідних процесів при моделюванні САК з ПІ-регулятором

Таблиця 3.4 – Критерії оцінки ПІ-регулятора

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	°С	%	
								10^4
1	Зиглера-Николса	321		620		-	-	1.09
2	AMIGO	136.4		141.9		-	-	1.407

Розглянувши отримані результати при моделювання САК з ПІ-регуляторами, можна стверджувати, що при використанні ПІ-регулятора, виникають великі неузгодженості у перехідному процесі та повільний вихід ОК на значення уставки.

У наступному етапі дослідження проаналізуємо роботу системи з ПІД-регулятором, властивістю якого є наявність диференційної складової може компенсувати недоліки системи з ПІ-регулятором.

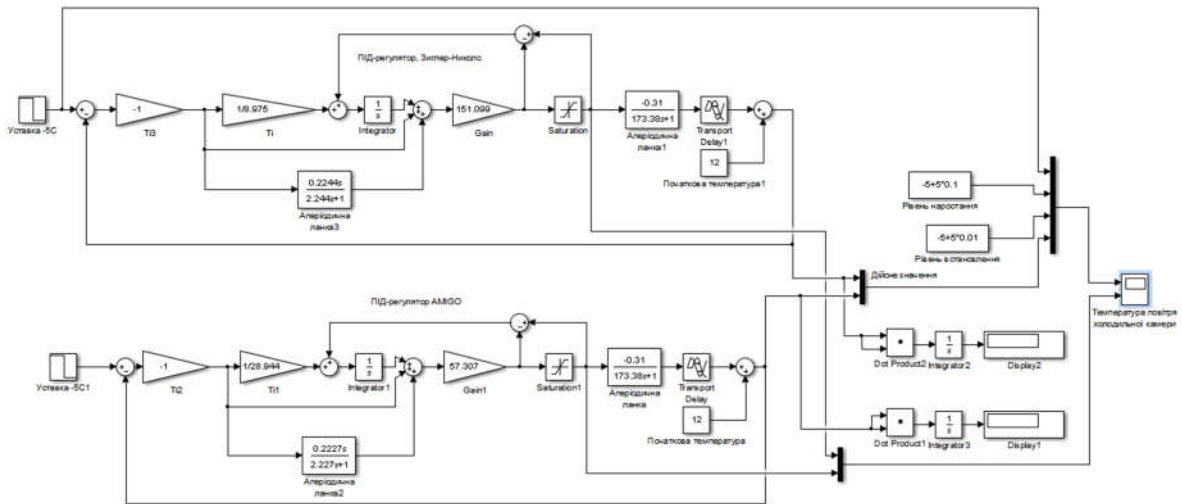


Рисунок 3.6 – САК температурою повітря холодильної камери з ПІД-регулятором

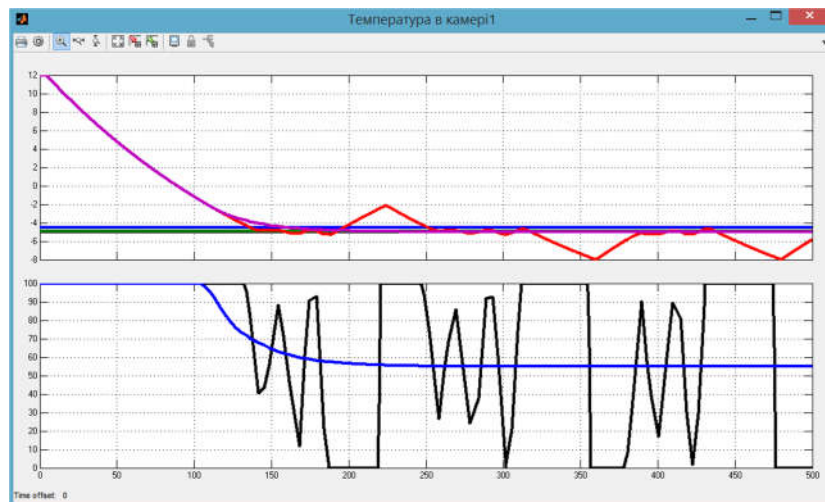


Рисунок 3.7 – Графіки перехідних процесів при моделюванні САК з ПІД-регулятором

Таблиця 3.5 – Критерії оцінки ПІД-регулятора

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка 10^4
		с	%	с	%	°C	%	
1	Зиглера-Николса	136.3		158,5		3	-	1.539
2	AMIGO	160		225		-	-	1.333

Розглянувши отримані результати при моделювання САК з ПІД-регуляторами, можна стверджувати, що при використанні ПІД-регулятора система має більш відповідні характеристики, порівняно з використанням П- та ІІ-регуляторів.

Спробуємо отримати кращі значення критеріїв якості, виконавши налаштування регулятора власноруч.

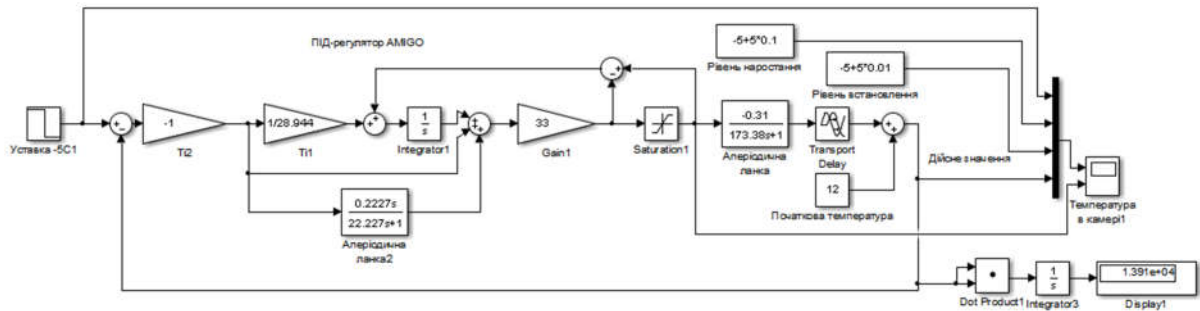


Рисунок 3.8 – Модель САК після додаткових налаштувань

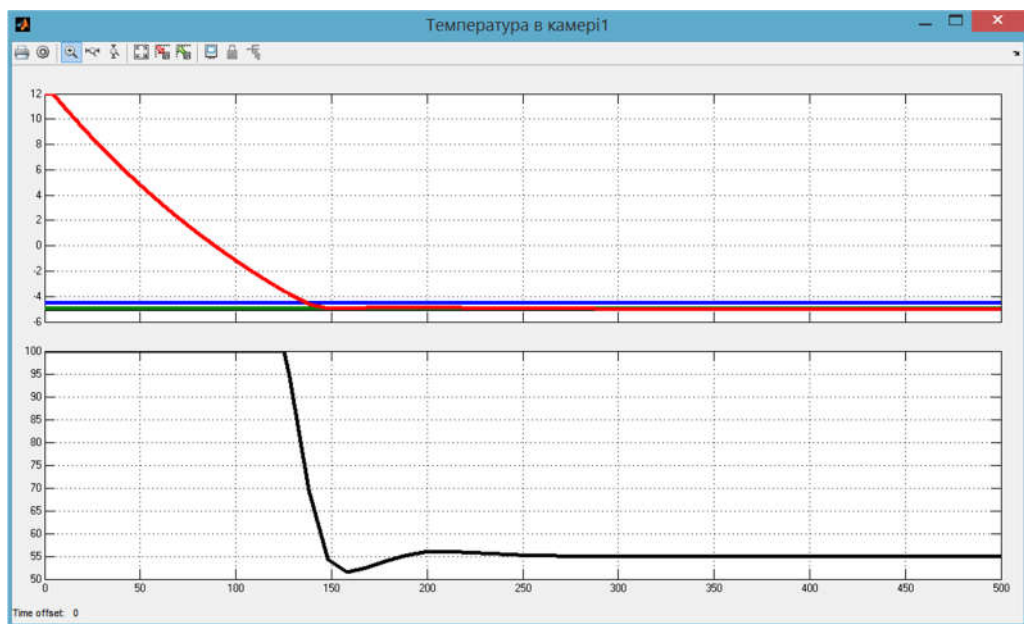


Рисунок 3.9 – Графіки перехідних процесів при моделюванні скорегованої САК

Таблиця 3.6 – Критерії оцінки ПІД-регулятора

Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
с	%	с	%	°C	%	10^4
136.75		147.23		-	-	1.354

За результатами моделювання САК можна стверджувати, що скореговані власноруч параметри регулятора показали більш прийнятний результат, і в подальшому будемо використовувати ПІД-регулятор з отриманими параметрами:

$$K_p=33, T_i=28,944, T_d=22,227, T_f=0,2227$$

3.3 Оцінка якості функціонування системи керування

Для подальших досліджень використаємо модель системи керування, що представлена на рисунку 3.10:

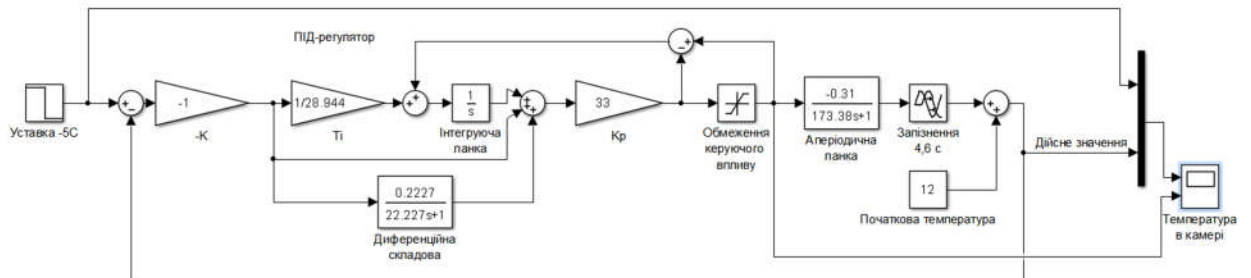


Рисунок 3.10 – Модель САК після додаткових налаштувань

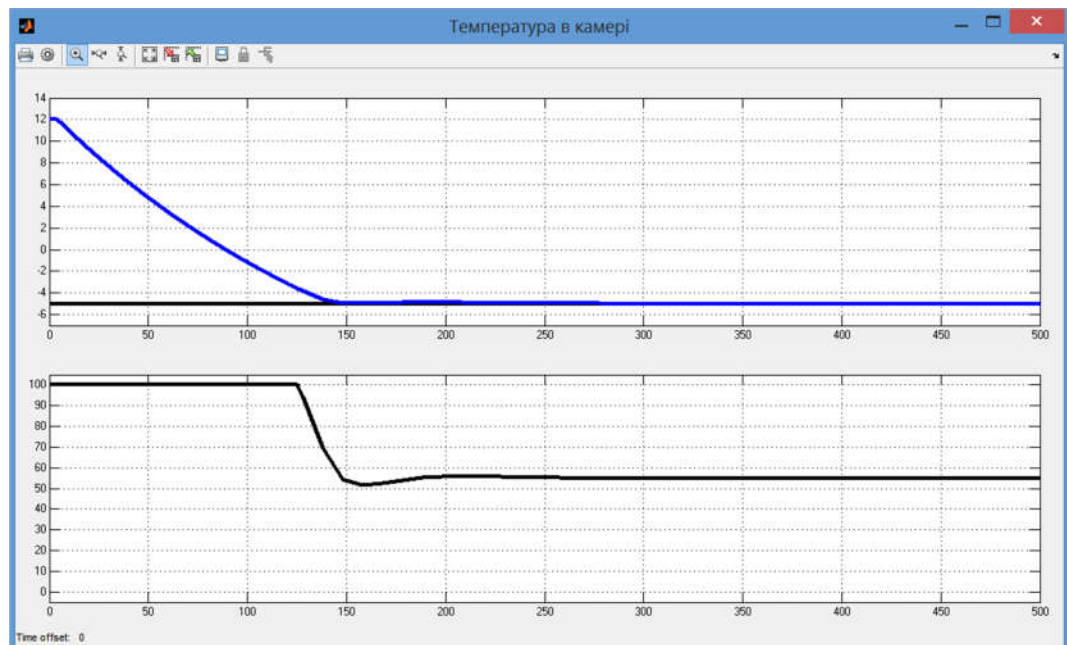


Рисунок 3.11– Результати моделювання

Перевіримо роботу САК температурою повітря холодильної камери, імітуючи зміни умов роботи технологічного обладнання, та дослідимо систему керування на робастність і розглянемо реакцію на додаткові збурення. Зміни в умовах роботи холодильної камери можуть виникнути через обмерзання стінок випарника, що зменшує коефіцієнт тепловідбору. А також, суттєво впливають на роботу системи властивості продуктів, що зберігаються у камері.

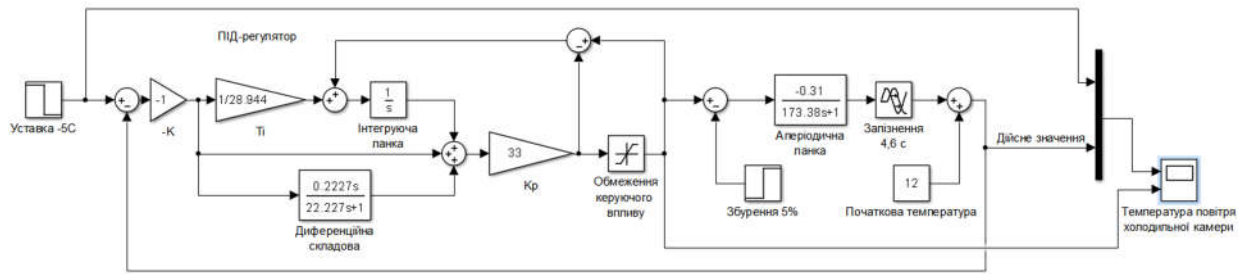


Рисунок 3.12 – Перевірка роботи САК при наявності збурення

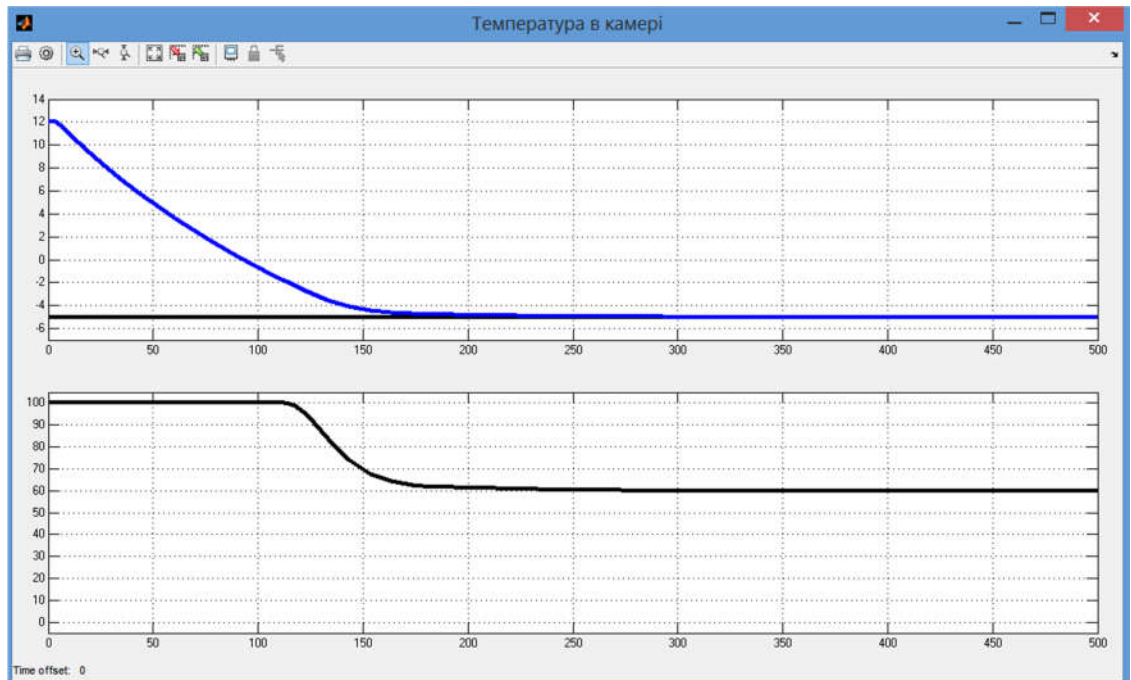


Рисунок 3.13 – Результати перевірки

Перевірка реакції САК температурою повітря холодильної камери на збурення була виконана додаванням впливу-збурення (5%) до входу об'єкта через 200с після запуску системи керування. Отримані результати перевірки (рис. 3.13) свідчать, що наявність подібного збурення не впливає значною мірою на роботу системи.

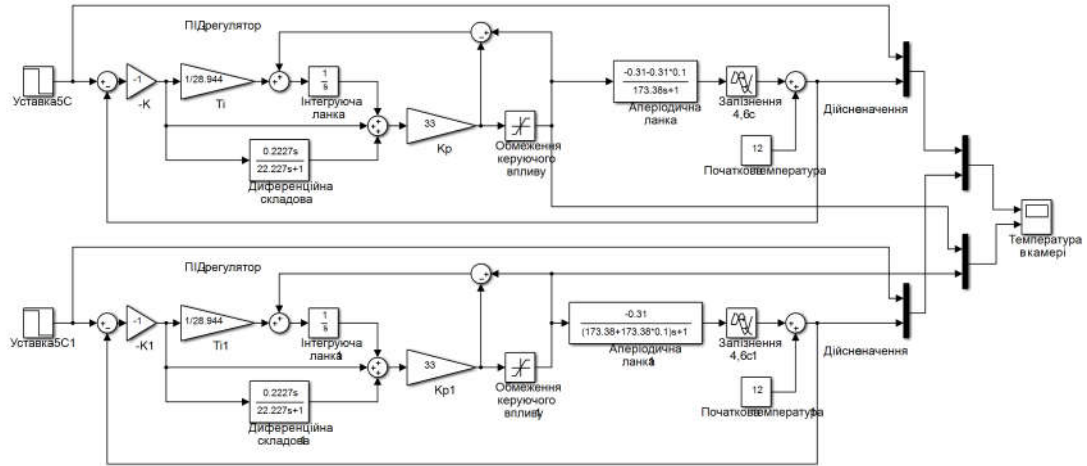


Рисунок 3.14 – Пперевірка САК на робасність

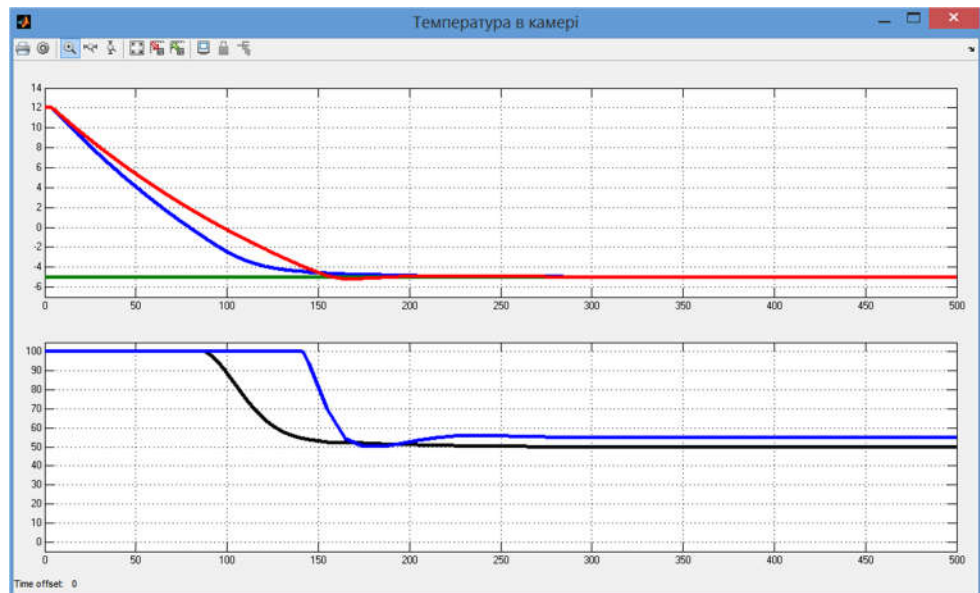


Рисунок 3.15 – Результати перевірки

Для того, щоб виконати перевірку моделі САК на робасність параметри об'єкта були змінені: у першому випадку коефіцієнт підсилення K зменшили на 10%, у другому – збільшили постійну часу T на 10%. Результати перевірки (рис. 3.15) свідчать, що при подібних змінах система буде виконувати відповідні функції згідно до висунутих вимог.

Дослідимо, чи є залежності між значеннями параметрів регулятора та якістю роботи системи.

Перевіримо, як вплинуть зміни значень інтегральної T_i та диференціальної T_d складових регулятора на $\pm 20\%$ на критерії якості системи керування та визначимо межі діапазону для побудови залежностей.

Таблиця 3.7 – Дані для побудови залежності від зміни T_i при $T_d=20$

T_i При $T_d=20$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
23,15	136,5	0,68	142,3	0,02	0,32	6,40
26,05	136,65	0,71	143,8	0,18	0,19	3,80
28,94	136,8	0,74	146,1	0,43	0,05	1,00
31,83	137,22	0,83	238	10,50	0	0,00
34,73	138,58	1,11	249,5	11,76	0	0,00

Використовуючи дані таблиці 3.7 побуємо графіки зміни критеріїв якості системи керування, від зміни значення інтегральної складової регулятора при $T_d = 20$.

Таблиця 3.8 – Дані для побудови залежності критеріїв від зміни T_i при $T_d=22,23$

T_i При $T_d=22,23$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
23,15	136,55	0,6882	142,26	0,0131	0,33	6,6
26,05	136,68	0,7150	144	0,2037	0,16	3,2
28,94	136,74	0,7274	147,23	0,5575	0	0
31,83	136,77	0,7335	243	11,0487	0	0
34,73	139,8	1,3579	290	16,1974	0	0

Використовуючи дані таблиці 3.8 побуємо графіки зміни критеріїв якості системи керування, від зміни значення інтегральної складової регулятора при $T_d = 22,23$.

Таблиця 3.9 – Дані для побудови залежності від зміни T_i при $T_d=24,45$

T_i При $T_d= 24,45$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
23,15	136,62	0,7026	142,73	0,0646	0,26	5,2
26,05	136,67	0,7129	144,74	0,2848	0,15	3
28,94	136,72	0,7232	146,59	0,4874	0,03	0,6
31,83	137,75	0,9355	280	15,1019	0	0
34,73	139,42	1,2796	300	17,2929	0	0

Використовуючи дані таблиці 3.9 побуємо графіки зміни критеріїв якості системи керування, від зміни значення інтегральної складової регулятора при $T_d = 24,45$.

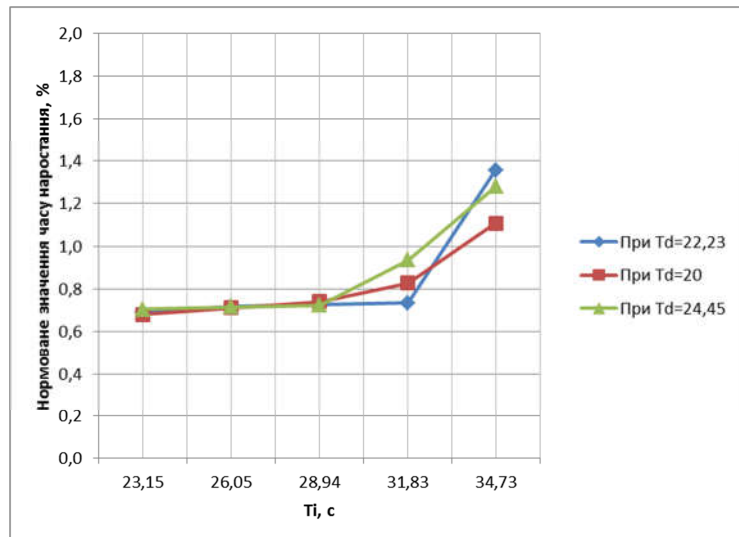


Рисунок 3.16 – Вплив зміни Ті на час наростання

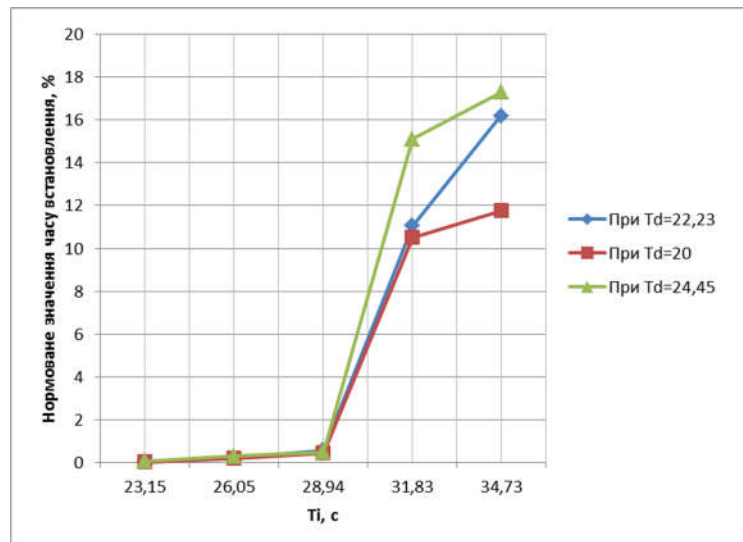


Рисунок 3.17 – Вплив зміни Ті на час встановлення

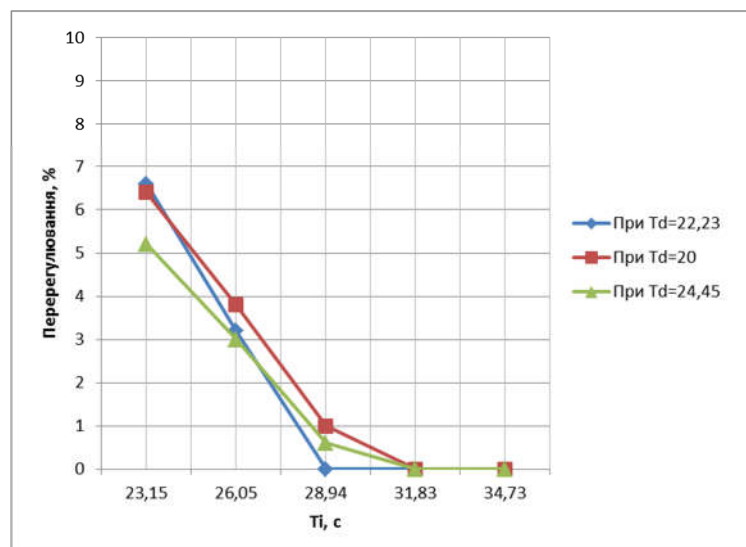


Рисунок 3.18 – Вплив зміни Ті на значення перерегулювання

Таблиця 3.10 – Дані для побудови залежності від зміни T_d при $T_i=26,05$

Td при $T_i=26,05$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
17,78	136,68	0,7150	144,74	0,2848	0,15	3
20	136,65	0,7088	143,8	0,1818	0,19	3,8
22,23	136,68	0,7150	144	0,2037	0,16	3,2
24,45	136,67	0,7129	144,74	0,2848	0,15	3
26,68	136,68	0,7150	144,73	0,2837	0,15	3

Використовуючи дані таблиці 3.10 побуємо графіки зміни критеріїв якості системи керування, від зміни значення диференційної складової регулятора при $T_i = 26,05$.

Таблиця 3.11 – Дані для побудови залежності критеріїв від зміни T_d при $T_i=28,94$

Td при $T_i=28,94$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
17,78	136,73	0,73	146,22	0,45	0,058	1,16
20	136,73	0,73	146,15	0,44	0,05	1,00
22,23	136,75	0,73	147,23	0,56	0	0,00
24,45	136,74	0,73	146,59	0,49	0,03	0,60
26,68	136,74	0,73	146,5	0,48	0,032	0,64

Використовуючи дані таблиці 3.11 побуємо графіки зміни критеріїв якості системи керування, від зміни значення диференційної складової регулятора при $T_i = 28,94$.

Таблиця 3.12 – Дані для побудови залежності критеріїв від зміни T_d при $T_i=31,83$

Td при $T_i= 31,83$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
17,78	137,34	0,85	229	9,52	0	0,00
20	137,22	0,83	238	10,50	0	0,00
22,23	136,77	0,73	243	11,05	0	0,00
24,45	137,75	0,94	280	15,10	0	0,00
26,68	137,33	0,85	255	12,36	0	0,00

Використовуючи дані таблиці 3.12 побудуємо графіки зміни критеріїв якості системи керування, від зміни значення диференційної складової регулятора при $T_i = 31,83$.

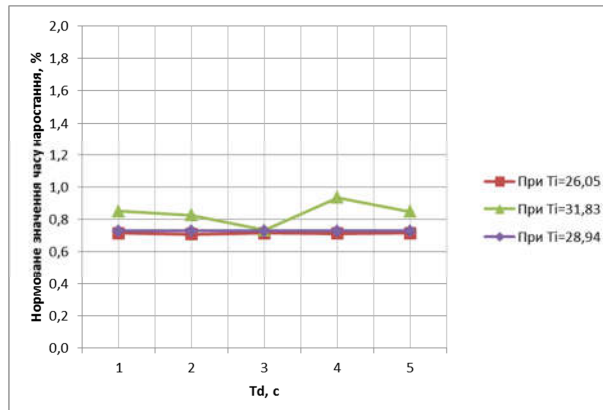


Рисунок 3.19 – Вплив зміни T_d на час наростання

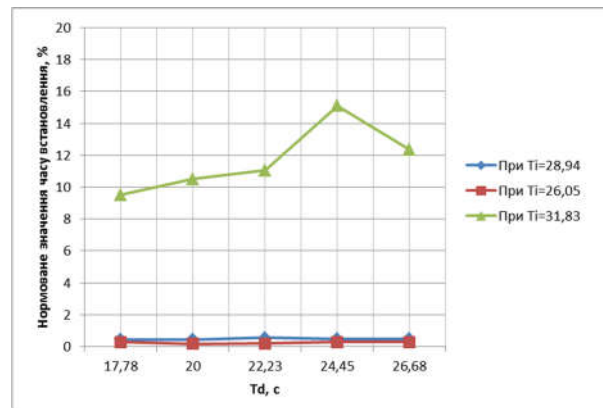


Рисунок 3.20 – Вплив зміни T_d на час встановлення

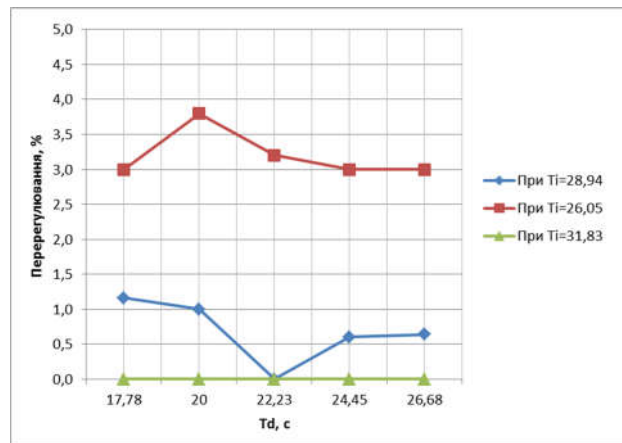


Рисунок 3.21 – Вплив зміни T_d на значення перерегулювання

Використавши отримані залежності зміни критеріїв якості функціонування САК температурою повітря холодильної камери, можемо сформулювати правила для покращення налаштувань регулятора:

1. Пошук найкращого значення T_i з урахуванням вимог можна виконати наступним шляхом: отримане при розрахунках значення T_i змінити з кроком 10-15% (в представленому випадку 2,5-3), та з'ясувати напрям зміни T_i в бік збільшення. В разі якщо при переході в обидві сторони час встановлення став менше, то на цьому відрізку знаходиться точка екстремуму. Після знаходження відрізка з екстремумом часу встановлення починаємо зменшувати T_i , при цьому меншим буде і крок зміни.
2. Для диференційної складової регулятора T_d найбільш відповідним є діапазон значень від 17 до 32 – найменшому значенню відповідають результати що найкраще узгоджуються з критеріями висунутими до системи.

3.4 Висновки до розділу

Проведене дослідження та розрахунки дали можливість отримати модель системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери, обґрунтувати вибір структури регулятора та його параметри: ПІД-регулятор $K_p=33$, $T_i=28,944$, $T_d=22,227$, $T_f=0,2227$.

Виконано оцінку роботи системи згідно з висунутими критеріями - наявність збурень та зміна параметрів моделі не впливає значною мірою на роботу системи.

Отримано відповідність якості роботи системи керування до критеріїв: час наростання, час встановлення та величини перерегулювання, від значень диференціальної та інтегральної складових регулятора.

Результати виконаних досліджень та розрахунків будуть використані в експериментальному розділі при розробці програмного забезпечення та інтерфейсу користувача.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Одним із завдань кваліфікаційної роботи магістра є розробка програмного забезпечення та інтерфейсу користувача (людино-машиного інтерфейсу) для САК температурою повітря холодильної камери. Розробка має бути виконана в *scada zenon 7.10*.

Результатом виконання розділу синтезу є неперервна модель САК температурою повітря холодильної камери, яка задовольняє сформульованим критеріям якості. Ця модель представлена на рисунку 4.1.

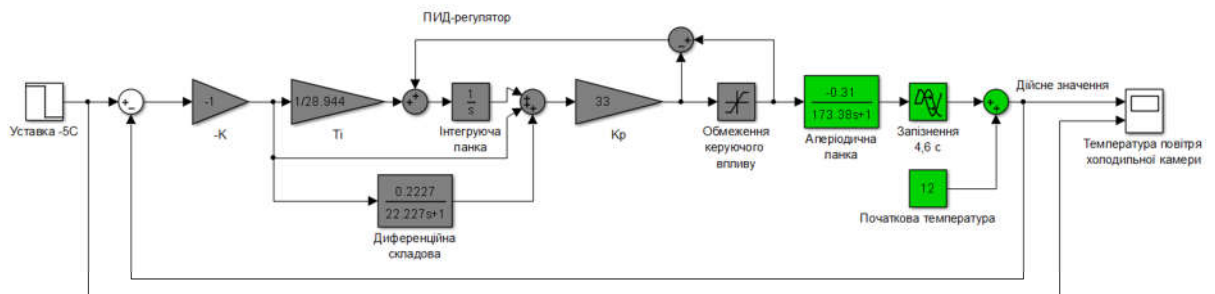


Рисунок 4.1 – Неперервна модель САК температурою повітря холодильної камери

Розробка програмного забезпечення буде складатися з наступних етапів:

- замінемо усі неперервні елементи моделі системи керування на цифрові;
- поділемо модель на модель регулятора (сірий колір) та модель об'єкта керування (зелений колір);
- перетворимо цифрові моделі на програмний код для програмних модулів.

На початку необхідно визначитися з часом дискретизації для моделі системи керування, який, в першу чергу, необхідний для реалізації регулятора. Час дискретизації має бути в 10 разів менше найбільшої постійної часу об'єкта керування – 173,38с.

$$cycle = T_{max}/10,$$

де T_{max} - найбільша постійна часу об'єкта керування.

Крім того, час дискретизації має бути більшим ніж:

$$cycle = T_{max}/200$$

З огляду на те, що цикл ПЛК VIPA 214-2BE03 становить 100мс, що в математичному пакеті MATLAB/Simulink відповідає значенню "Sample time" 0.1 с.

Перетворення неперервних елементів моделі САК до цифрової форми виконаємо у середовищі ППП Matlab.

Для розглянутого об'єкта керування:

```
>> tfz = c2d(tf([1], [173.38 1]), 0.1);
b = [tfz.num{1}(2)];
a = [1, tfz.den{1}(2)];
fprintf('b0 = %0.14f, a0 = %0.14f\n\n', b(1), a(2));
b0 = 0.00057660149472, a0 = -0.99942339850528
```

Ланка запізнення

```
>> tfz = c2d(tf([1], 'ioDelay', 4.57), 0.1);
delayLength = tfz.ioDelay ;
fprintf('Delay_length = %0.3f\n\n', delayLength);
Delay_length = 46.000
```

Для регулятора:

```
>> c2d(tf([0.2227 0],[22.27 1]), 0.1)
ans =
0.01 z - 0.01
-----
z - 0.9955
Sample time: 0.1 seconds
```

Discrete-time transfer function.

Отримана модель САК в цифровому вигляді представлена на рисунку 4.2.

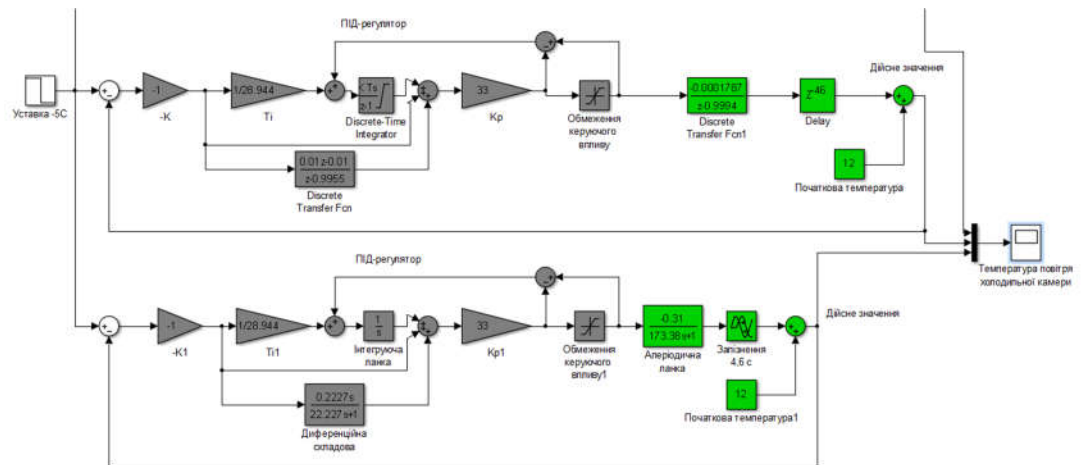


Рисунок 4.2 – Цифрова (вверху) та неперервна (внизу) моделі САК

Відповідність отриманої моделі САК в цифровому вигляді до безперервної моделі може бути оцінена за НСВ (нормоване середньоквадратичне відхилення) яке не має перевищувати 10%.

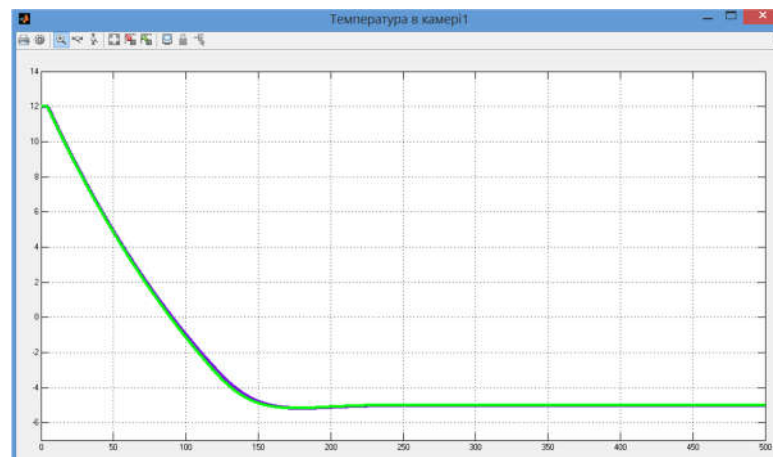


Рисунок 4.3 – Результати моделювання безперервної та цифрової САК

Для оцінки результатів моделювання цифрової та безперервної моделей, скористаємось можливостями математичного пакету MATLAB:

```
>> goodnessOfFit(ModD, ModC, 'NRMSE') * 100.0
```

```
ans =
```

```
98.7052
```

Цифрова модель САК відповідає безперервній моделі на 98,7%.

З огляду на результат перевірки відповідності цифрова модель САК температурою повітря холодильної камери може використана для розробки програмного забезпечення ЛМІ та перевірки його функціонування.

На наступному етапі поділимо модель САК на два блоки: Controller – блок, що містить регулятор та Object – блок, що містить безпосередньо об'єкт керування.

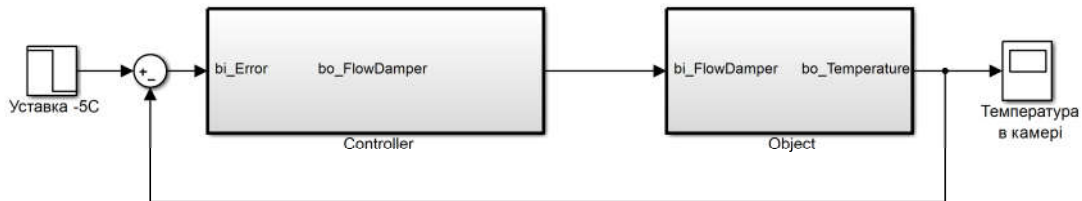


Рисунок 5.4 – Модель САК, поділена на два блоки

Отримані блоки, за допомогою вбудованих функцій пакету MATLAB, були перетворені на програмні модулі на мові “Structured text”, відповідно стандарту МЕК 61131-3. Використовуючи програмні модулі Controller та Object, далі буде розроблено ПЗ для ЛМІ у scada zenon.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмний код, що описує САК виконується у scada zenon для програмного ПЛК zenon Logic.

ПЗ регулятора безпосередньо буде міститися у програмному ПЛК zenon Logic, а ПЗ самого об'єкта керування може бути використане для того щоб перевірити як буде функціонувати САК та ПЗ об'єкта керування буде інтегроване до драйвера “S7 TCP32–VIPA300S”, який створено у scada zenon.

Для драйвера “S7 TCP32–VIPA300S” має бути встановлений режим «програмної симуляції». Час оновлення має бути встановленим рівним часу дискретизації 100мс.

State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area ...	Signal ar...	Measuring r...	Mea...	Start offset	Start i...	Identificatio
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Temperature	C	S7TCP32 - VIPA300S	UINT	27648	0	100.0	-50...	0	0	
	Flow_damper	%	S7TCP32 - VIPA300S	UINT	27648	0	100.00	0.00	0	0	

Рисунок 4.5 – Перелік змінних об'єкта керування

На основі тексту програми, що був отриманий з ППП MATLAB було створено функціональний блок користувача – “Object_Cold”. Текст програми надано в додатку Б.

Виклик блоку “I_Object” буде виконуватись в тілі основної програми, (рис. 4.6).

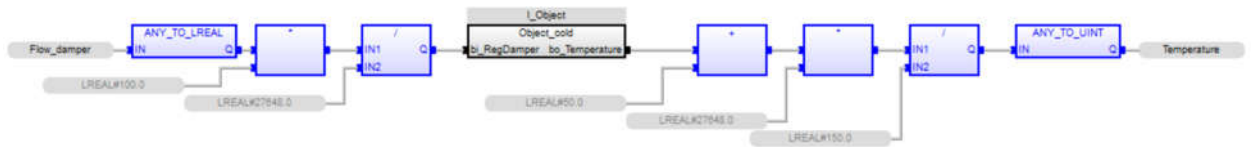


Рисунок 4.6 – Основна програма об’єкта керування

До входу блоку “I_Object” (об’єкт керування) подається значення пропускної спроможності вентилі ТРВ “Flow_damper”. З виходу цього блока надходить дійсне значення (поточна температура), що записується до змінної “Temperature”. Означені змінні блоку “I_Object” – “Flow_damper” та “Temperature” належать до глобальних та використовуються в scada zenon.

Згідно завдання, ПЗ регулятора має виконуватись в scada zenon на програмному ПЛК zenon Logic. З цією метою, в scada zenon, було створено проект zenon Logic з назвою “Controller”. Для створення зв’язку із scada zenon були додані необхідні змінні (рис. 4.7).

State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area ...	Signal ar...	Measuring r...	Mea...	Start offset	Start I...	Identificatio
	Controller/Global/Temperature	C	STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	27648	0	100.0	-50...	0	0	
	Controller/Global/SetPoint	C	STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	27648	0	100.0	-50...	0	0	
	Controller/Global/Flow_damper	%	STRATONNG - zenon Logic: Controller	UINT	27648	0	100.00	0.00	0	0	

Рисунок 4.7 – Перелік змінних регулятора

Виклик блоку «Controller_Cold» буде виконуватись в основному тілі програми, (рис. 4.8).

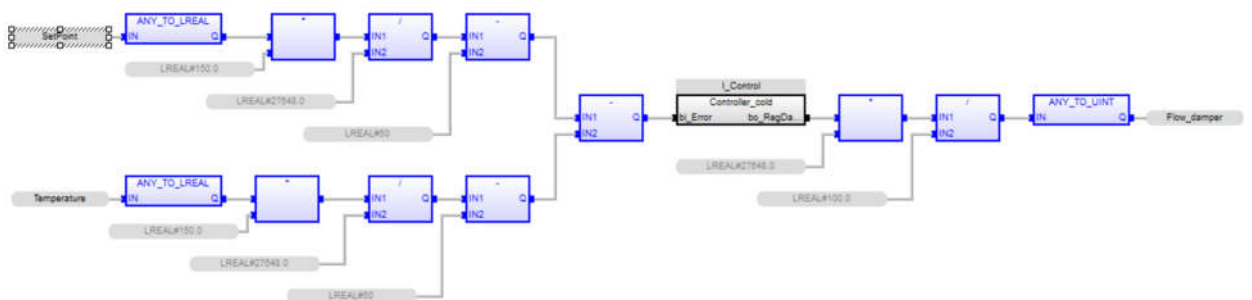


Рисунок 4.8 –Програма “Controller”

Використовуючи тексту програми з ППП MATLAB створено функціональний блок користувача “Controller_cold”. Текст програми представлено в дод. Б.

На вході блоку розраховується значення похибки при роботі системи керування, тобто різниця між значенням уставки “Set_Point” та значенням параметру “Temperature” (-50...100°C). Вихід блоку являє собою керуючий вплив, значення якого відповідає змінній “Flow_damper” (керуючий вплив на регульований вентиль 0-100%).

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

ПЗ ЛМІ складається з декількох вікон (дод. В): інформація, технологічний об’єкт, зміну температури повітря холодильної камери, списки подій та тривоги. Зважаючи на те, що ЛМІ містить декілька зображень, то необхідно використати два окремих шаблони, на одному з яких мають бути розташовані кнопки перемикачів вікон, а інший шаблон буде містити зображення самих вікон.

На основі шаблону “ButtonScreenFrame” було створено вікно з кнопками зміни основного зображення. У цьому вікні розміщені часи, дата, кнопки зображені “Інформація”, “Об’єкт”, “Моніторинг”, “Історія тривоги” (Інформаційний список тривоги), “Список подій” (Хронологічний список подій). Також у цьому вікні розташовані кнопка “Оновити”, що необхідна для оновлення ЛМІ в разі внесення змін та кнопка “Вихід”, натискання на яку завершує роботу людино-машинного інтерфейсу.

Згідно завдання при розробці ЛМІ було створено зображення – “Об’єкт” (рис. 4.10).

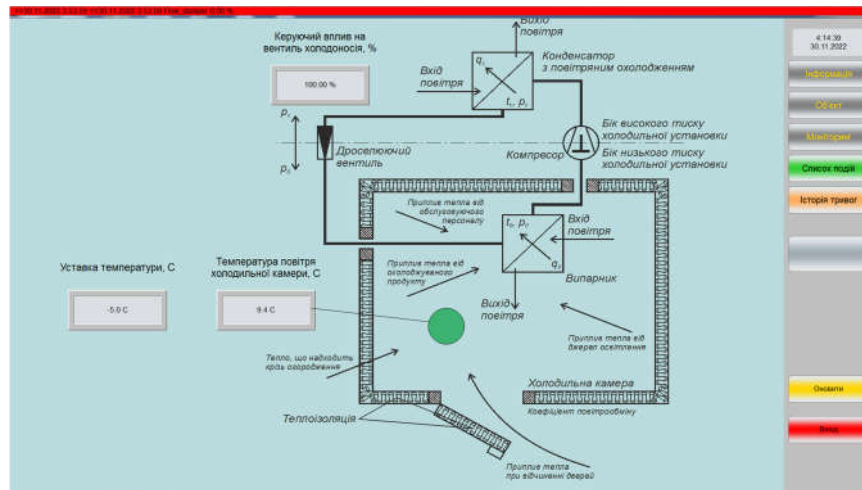


Рисунок 4.10 – Зображення “Об’єкт”

На зображенні “Об’єкт” представлено основне обладнання холодильної камери.

Для спостереження за зміною температури повітря холодильної камери створене зображення розширеним трендом (рис. 4.11). Також у цьому вікні відображається зміна уставки температури та пропускна спроможність регулюючого вентиля.

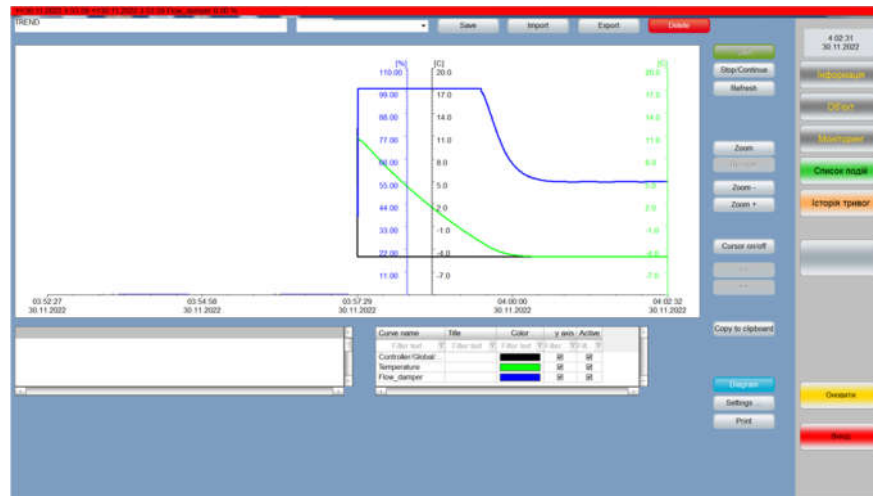


Рисунок 4.11 – Вікно розширеного тренду зміни температури повітря холодильної камери

Для створення хронологічного списку подій був використаний шаблон типу “Chronologic event list” (рис. 4.12). У цьому вікні можна бачити події які виникають при роботі САК температури повітря холодильної камери.

Під час перевірки було встановлено, що робота системи керування виконується згідно до моделі САК у ППП Matlab/Simulink.

Відображення кривої зміни температури повітря холодильної камери (рис 4.15) співпадає з результатами моделювання безперервної та цифрової САК на рисунку 4.3.



Рисунок 4.15 – Крива зміни температури повітря холодильної камери

4.5 Висновки по розділу

Неперервна модель САК температурою повітря холодильної камери була перетворена у цифрову форму. В цифровій моделі виокремлені два блоки: блок об'єкта керування та блок регулятора, на основі яких отримано програмний код на мові «Structured Text».

Програмний код блоків об'єкта керування та регулятора використано для розробки ПЗ САК для програмного ПЛК у zenon Logic, зі складу scada zenon.

У scada zenon розроблено ЛМІ, що складається з інформаційних вікон про сам об'єкт керування – холодильну камеру, зміну температури повітря холодильної камери, список подій та тривоги.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У кваліфікаційній роботі магістра розглядається економічна доцільність розробки та дослідження системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери. При розробці системи запропоновано використовувати програмований логічний контролер VIPA, датчик температури та керований електрорегулюючий вентиль холодоносія (Розділ 1).

5.1 Розрахунки капітальних витрат

Основні статті капітальних витрат на придбання встаткування при впровадженні САК температурою повітря холодильної камери наведено в таблиці 5.1.

$$K = K_z + K_{тр} + K_{мн}, \quad (5.1)$$

де K_z – витрати на придбання встаткування,

$K_{тр}$ – витрати на транспортування;

$K_{мн}$ – на монтаж і налагодження системи керування.

Таблиця 5.1 – Капітальні витрати, грн. (<http://www.svaltera.ua/catalog/697/>)

№ п/п	Найменування статей витрат	Кіл. шт.	Вартість за ед. товару, грн.	Загальна вартість, грн.	Транспортні витрати, грн. «Нова пошта»
1	ПЛК VIPA 214-2BE03	1	12627,4	12627,4	350
2	Блок живлення SPD24301 (30Вт)	3	1250,0	3750,0	200
3	Регулятор подачі холодоносія	1	1582,0	1582,0	200
4	Датчик температури	1	878,0	878,0	80
5	НМІ панель керування	1	6 349,0	6 349,0	600
	Разом			25186,4	1430

Демонтаж старого устаткування, транспортування і монтаж нового обладнання виконується залученою організацією "МонтажНаладка". Витрати на демонтаж, пуск і налагодження системи складаються з витрат на заробітну плату монтажника електрообладнання та інженера, в обов'язки яких входить даний вид роботи. Роботу виконують протягом 4 днів. В фонд заробітної плати включена преміальна надбавка в 20%.

Таблиця 5.2 - Витрати на демонтаж, пуск і налагодження системи

№	Найменування професії	Розряд	Кіл-ть людей	Тариф (грн/день)	Кіл. днів	Фонд зар. плати (грн)
1	Монтажник ел.обл.	6	1	320	4	1280
2	Інженер	5	1	300	4	1200
	Разом:					2480
	ЄСВ (22%):					545,6
	Усього:					3025,6

Капітальні витрати на придбання, транспортування та налагодження обладнання складають:

$$K = 25186,4 + 1430 + 3025,6 = 29642 \text{ грн}$$

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на утримання апаратури у споживача

Таблиця 5.3 - Витрати на ремонт обладнання

№	Найменування професії	Розряд	Кіл-ть людей	Тариф (грн/год)	Кіл. годин	Фонд зар. плати (грн)
1	Слюсар	6	1	40	168	6720
2	Інженер-електронщик	-	1	45	168	7560
	Разом:					14280
	ЄСВ (22%):					3141,6
	Усього:					17421,6

За допомогою лінійного способу обчислюємо амортизацію обладнання:

$$A = P_{\text{ст}} * N_a / 100\%, \quad (5.2)$$

де $P_{\text{ст}}$ – початкова коштовність обладнання,

N_a – норма амортизації

Маємо:

$$A = 29642 * 20 / 100 = 5928,4 \text{ грн} \quad (5.3)$$

Вартість електроенергії розраховується виходячи з того, що вартість 1 кВт год = 1,80 грн та загальна потужність блоків живлення 60Вт:

$$V_{\text{ел}} = Z_p * V_{1\text{кВт}}, \quad (5.4)$$

де Z_p – річні витрати електроенергії,

$V_{1\text{кВт}}$ – вартість 1кВт електроенергії

Маємо:

$$V_{\text{ел}} = 60 * 8 * 250 * 1.80 = 216 \text{ грн} \quad (5.5)$$

Таблиця 5.4 - Кошторис річних витрат на утримання і експлуатацію нового обладнання

Найменування статей витрат	Сума (грн у рік)
Амортизація обладнання (20%)	5928,4
Поточний ремонт	17421,6
Витрати на електроенергію	216
Разом	23566

5.3 Висновки по розділу

Виходячи з розрахунків, видно, капітальні витрати склали 29642грн, експлуатаційні витрати 23566грн. Таким чином, впровадження нового обладнання та його експлуатація є дуже коштовними в матеріальному плані, але необхідними, оскільки використання нової системи керування дозволить підвищити якість зберігання продуктів харчування в холодильній камері.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів

У кваліфікаційній роботі досліджується системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери. У якості об'єкта, для якого розглядаються шкідливі фактори й заходи, щодо охорони праці взяте приміщення, у якому розташовується промислова холодильна установка.

Перелік шкідливих і небезпечних факторів наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Характеристика небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Джерела небезпечних і шкідливих факторів	Найменування виникаючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів	Характеристика небезпечних і шкідливих факторів
Робоча зона	підвищена запиленість повітря в робочій зоні	ПДК = 10 мг/м ³
Промислова холодильна установка	занизька температура поверхні встаткування	-25°C
	Фреон у системі охолодження	Можливість викиду в атмосферу
	підвищене значення напруги в електричному колі	380 В

6.2 Інженерно-технічні заходи щодо охорони праці

Для забезпечення усунення травмування кінцівок та інших частин тіла, промислова холодильна установка повинна мати:

контрольно-вимірювальні прилади (датчики температури, датчики тиску, термометри і ін.) звукові сигналізатори в випадку аварій;

редукційні клапани та відвідники конденсату;

прилади автоматичного регулювання живлення та пристрої автоматики безпеки.

За ступенем небезпеки поразки людей електричним струмом приміщення в якому знаходиться промислова холодильна установка належить до категорії «Особливо небезпечне приміщення». Ознакою небезпеки є - струмопровідна підлоги (залізобетонні), пил. [17]

Для електропостачання приміщення підведена трифазна чотирипровідна електрична мережа частотою 50 Гц і напругою 380/220В с заземленої нейтраллю. Використання цієї схеми трифазної мережі обумовлене наявністю споживачів на лінійну (насоси подачі води в самій котельні) і фазну напругу (силове й освітлювальне навантаження в приміщенні операторської)[17]

Основні технічні способи й засобу захисту від поразки електричним струмом, використовувани в приміщенні:

– захист від ураження електричним струмом здійснюється по системі TN-C-S – система TN, у якій нульовий захисний РЕ й нульового робітник N провідники сполучені в один провідник у якийсь частині мережі, звичайно починаючи від джерела живлення, а надалі виконані роздільно; [18]

– проведення періодичного випробування опору ізоляції електромережі в приміщенні;

– ізоляція струмоведучих частин;

– контроль і профілактика ушкодження ізоляції;

– установлені елементи, що відключають устаткування від мережі, коли доступні дотику частини виробу виявляються під напругою – ПЗВ, диференціального типу.

– електропроводи укладені в труби.

На основі аналізу проектного технологічного процесу й устаткування встановлені травмонебезпечні зони, а також потенційно небезпечні робочі параметри.

Заходи, що забезпечують дотримання нормативних параметрів мікроклімату в холодний і теплий періоди року включають конструкцію будинків з відповідною теплоізоляцією й опалення (у холодний період).

Для зниження температури повітря в приміщенні цеху й зменшення теплового опромінення робітників у технологічному приміщенні використовується теплоізоляція пастеризаційної установки за допомогою кожуха, що екранує.

Внаслідок шкідливого впливу парів фреону на організм людини необхідно дотримувати ТБ і інструкцію з обслуговування машин і апаратів із фреоновим охолоджувачем. При пуску й зупинці апаратів потрібно дотримуватися встановленого порядку відкривання й закривання вентилів. З появою запаху фреону слід закрити рідинний фреоновий вентиль, виключити з роботи встаткування й усунути витік фреону. [3]

У випадку прориву фреону потрібно надягти протигаз, який передбачений на кожному робочому місці, виключити апарат, перекрити вентиль і повідомити механіка.

При отруєнні фреоном-22 потерпілий повинен бути виведений на свіже повітря. Необхідно звільнити потерпілого від одягу, що стискує подих, забруднену фреоном одяг зняти, надати потерпілому повний спокій.

Рекомендується у всіх випадках отруєння фреоном вдихати кисень протягом 30-45 хв, зігріти хворого (обкласти грілками). Рідкий фреон, потрапляючи на шкіру, може викликати обморожування, а потрапляючи в очі — ушкодити їх. [3]

При обмороженні, викликаному влученням рідкого фреону на шкіру:

- обережно розтирати обморожена ділянка стерильною ватяною кулькою або марлевою серветкою до появи чутливості й почервоніння шкіри;
- після відновлення кровообігу й чутливості обтерти обморожене місце спиртом і накласти пов'язку із чистого бинта;

- якщо на тілі утворювалися пухирці, то шкіру не можна розтирати, а накрити обморожене місце пов'язкою із чистого бинта й направити потерпілого до лікаря;

- при великих поразках обморожених місць не торкати, накласти стерильну пов'язку й негайно направити потерпілого до лікаря.

При влученні фреону в очі промити очі струменем води кімнатної температури під невеликим тиском, закапати в очі стерильне вазелінове масло; негайно звернутися до лікаря.

У приміщенні фреонової рефрижераторної установки перебуває аптечка для надання першої долікарської допомоги потерпілому, містить нашатирний спирт, соду харчову, мазь Вишневського або пеницилінову мазь, йод, бинт, вату, темні захисні окуляри «консерви», кисневу подушку з киснем. [3]

Надійний захист у разі виникнення небезпечної ситуації повинна забезпечувати система автоматичного захисту (САЗ). У найпростішому варіанті САЗ складається з датчика-реле (реле захисту), який контролює величину параметра і виробляє сигнал при досягненні її граничного значення, і пристрою, що перетворює сигнал реле захисту в сигнал зупинки, який прямує в систему керування. [3]

На холодильних установках великої потужності САЗ виконують так, щоб після спрацьовування реле захисту автоматичний пуск елемента, що відмовив без усунення викликала зупинку причини був неможливий. На невеликих холодильних установках, наприклад на підприємствах торгівлі, де аварія не може привести до тяжких наслідків, немає постійного обслуговування, об'єкт включається автоматично, якщо величина підконтрольного параметра повертається в допустиму область. [3]

Різновидом захисту можна вважати блокування, коли, наприклад, компресор може бути включений тільки якщо включений хоча б один водяний насос, що подає воду в конденсатор, і розсолу насос для систем з проміжним хладоносієм.

Найбільше число видів захисту мають компресори, по-скільки з досвіду експлуатації 75% всіх аварій на холодильних установках відбуваються саме з ними.

Число параметрів, контрольованих САЗ, залежить від типу, потужності компресора і виду холодильного агенту.

Види захисту компресорів:

- від неприпустимого підвищення тиску нагнітання - передбачає порушення щільності з'єднань або руйнування елементів;
- неприпустимого зниження тиску всмоктування - запобігає підвищення навантаження на сальник компресора, вспінювання масла в картері, замерзання холодоносія в випарнику (реле високого і низького тиску, оснащують практично всі компресори);
- зменшення різниці тисків (до і після насоса) в масляної системі - запобігає аварійний знос тертьових деталей і заклинювання механізму руху компресора, реле різності тисків контролює різницю тисків на боці нагнітач і всмоктування масляного насоса;
- неприпустимого підвищення температури нагнітання – передбачає порушення режиму змащення циліндра і аварійний знос деталей, що труться;
- підвищення температури обмоток вбудованого електродвигуна герметичних і без сальних холодових компресорів - запобігає перегріванню обмоток, заклинювання ротора і роботу на двох фазах;
- гідравлічного удару (попадання рідкого холодильного агенту в порожнину стиснення) - запобігає серйозну аварію поршневого компресора: порушення щільності, а іноді і руйнування.

Види захисту інших елементів холодильної установки:

- від замерзання холодоносія - запобігає розриву труб випаровувачу;
- переповнення лінійного ресивера - оберігає від зниження ефективності конденсатора в результаті заповнення частини його обсягу рідким холодильним агентом;

- спорожнення лінійного ресивера - запобігає прорив газу високого тиску в випарну систему і небезпека гідравлічного удару.

Запобігання аварійній ситуації забезпечує захист від неприпустимою концентрації аміаку в приміщенні, що може призвести до виникнення пожежі та вибух. Концентрація аміаку (максимум 1,5 г / м³, або 0,021% за обсягом) в повітрі контролюється газоаналізатором.

6.3 Розрахункова частина

Вихідні дані для розрахунку занулення в електромережі напругою 380 / 220В. Номінальна потужність компресора холодильної камери 32 кВА. Як захист застосовані плавкі запобіжники. Довжина провoda, що під'єднано до трансформатора – 80 м. Потужність трансформатора підстанції 400 кВА.

Визначимо перетин нульового провoda, що задовольняє умові спрацювання максимального струмового захисту.

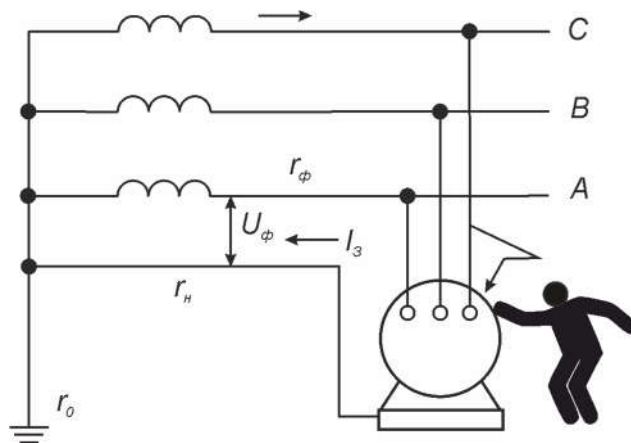


Рисунок 6.1 - Принципова електрична схема занулення

Розрахунок на здатність, що відключає ведеться за формулою:

$$K \cdot I_{НОМ} \leq I_K = \frac{U_\phi}{\frac{Z_m}{3} + \sqrt{(R_\phi + R_H)^2 + (X_\phi + X_H + X_n)^2}} \quad (6.1)$$

де K - коефіцієнт кратності струму, що приймається в залежності від типу захисту електроустановки (при захисті плавкими запобіжниками $K = 3$);

$I_{НОМ}$ - номінальний струм вставки запобіжника або струм спрацьовування автоматичного вимикача, А, що приймається у відповідності до вимог ПУЕ;

I_K - величина струму однофазного короткого замикання, А;

Z_m - модуль опору трансформатора, Ом, [16 табл. 4.5];

U_ϕ - фазна напруга, В;

R_ϕ, R_H - активні опори фазного і нульового провідників відповідно, Ом;

X_ϕ, X_H - внутрішні індуктивні опору фазного і нульового провідників відповідно, Ом;

X_Π - зовнішнє індуктивний опір петлі фаза-нуль, Ом (для кабельних ліній X_Π можна приймати рівним 0).

Визначимо номінальний струм:

$$I_{ДВ.Н} = \frac{S_{ДВ}}{\sqrt{3} \cdot U_\phi} \quad (6.2)$$

$$I_{ДВ.Н} = \frac{32 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 48,6 \text{ А}$$

Визначимо номінальний струм плавкої вставки запобіжника

$$I_{ПЛ.ПР} = \frac{I_{ДВ.П}}{2,5} \quad (6.3)$$

де $I_{ДВ.П}$ – пусковий струм компресора холодильної установки, А (в залежності від умов пуску $I_{ДВ.П} = (5 \div 8) I_{ДВ.Н}$)

звідси

$$I_{ПЛ.ПР} = \frac{7 \cdot 48,6}{2,5} = 136 \text{ А}$$

Найбільше найближче стандартне значення номінального струму плавкої вставки становить 160А.

При цьому нульовий провідник повинен забезпечувати проходження струму короткого замикання більше або дорівнює:

$$I_{кз} \geq k \cdot I_{пл.пр} = 3 \cdot 160 = 480 \text{ А.}$$

В якості з'єднувача між силовим трансформатором і компресором холодильної установки застосовується кабель силовий марки АВРГ - з алюмінієвими жилами, з ізоляцією з гуми, в оболонці з ПВХ пластику.

Для мідних і алюмінієвих проводів внутрішнє індуктивне опір провідників можна прийняти рівним 0. У зв'язку з тим що з'єднання виробляється електрокабелем то X_n буде дорівнювати 0.

Перетин фазного проводу приймаємо по ПУЕ виходячи з допустимих тривалих струмів навантаження. Для нашого випадку $S_{ф.пр.} = 35 \text{ мм}^2$

Визначаємо опір фазного проводу:

$$R_{\phi} = \frac{\rho \cdot l}{S_{\phi}} \quad (6.4)$$

$$R_{\phi} = \frac{0,026 \cdot 80}{35} = 0,06 \text{ Ом}$$

де ρ – питомий опір провідника, для алюмінію $\rho = 0,026 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

Переріз нульового захисного провідника приймаємо у відповідності до вимог ПУЕ виходячи з того, щоб його повна провідність повинна бути не менше 50% повної провідності фазного провідника, тобто $1/Z_n \geq 0,5 1/Z_{\phi}$, або $Z_n \leq 2 Z_{\phi}$. Для мідних та алюмінієвих проводів X_{ϕ} і X_n становлять близько 0,0156 Ом/км і ними можна знехтувати. При цьому поперечний переріз нульового захисного провідника S_n визначимо за умовою $R_n \leq 2 R_{\phi}$, тобто якщо фазний і нульовий захисний провідники виготовлені з одного металу, то $S_n \geq 0,5 S_{\phi}$. Приймаємо найближче більше стандартне переріз нульового провідника.

$$S_n \geq \frac{0,026 \cdot 80}{2 \cdot 0,06} = 17,3 \text{ мм}^2$$

Прийmemo $S_n = 25 \text{ мм}^2$.

Визначаємо опір нульового проводу:

$$R_n = \frac{0,026 \cdot 80}{25} = 0,08 \text{ Ом}$$

Наближене розрахункове значення повного опору Z_m визначаємо по таблиці 4.5 [16] виходячи з потужності трансформатора і схеми з'єднання обмоток. У нашому випадку $Z_m = 0,195$ Ом.

Після наступних перетворень розрахункова формула набуде вигляду:

$$I_K = \frac{U_\phi}{\frac{Z_m}{3} + R_\phi + R_H} \quad (6.5)$$

$$I_K = \frac{380}{\frac{0,195}{3} + 0,06 + 0,08} = 1854A$$

Так як $1854A > 480A$, що відповідає заданим умовам розрахунка.

6.4 Пожежна профілактика

Забезпечення пожежної безпеки є складовою виробничої та іншої діяльності посадових осіб і працівників підприємства, отже вся відповідальність за забезпечення пожежної безпеки на підприємстві покладається на його власника та керівника.

Керівник підприємства, розробляючи організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні, призначає відповідальних осіб за пожежну безпеку окремих територій, ділянок, зон, об'єктів, споруд, будівель та їх частин, технологічного та інженерного устаткування, а також за утримання й експлуатацію засобів протипожежного захисту. [3]

Приміщення, де встановлена промислова холодильна установка має систему пожежної безпеки, спрямовану на запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожежі, в тому числі їх вторинних проявів на необхідному рівні.

Будівля в цілому відноситься до категорії Г приміщень з вибухопожежної та пожежної небезпеки (негорючі речовини та матеріали в розжареному та гарячому стані, процес підігріву та обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор або полум'я; горючі

гази, рідини та тверді речовини, які нагріваються або використовуються як паливо). [3]

Запобігання пожежі повинне досягатися запобіганням утворення горючого середовища і (або) запобіганням виникнення в займистому середовищі (або внесення до неї) джерел займання.

Для гасіння пожежі в приміщеннях такого типу, використовують воду, повітряно-механічну піну, порошки, або пар. Воду, як основний засіб для гасіння більшості горючих матеріалів, у вогнище пожежі можна подавати за допомогою звичайних пожежних стволів, а розпорошувати - через спеціальні стовбури розпилювачі або головки спринклерних або дренчерних установок пожежогасіння. [3]

Джерелом водопостачання в приміщенні, де знаходяться холодильні камери є внутрішній протипожежний водопровід, обладнаний пожежними кранами з рукавами і стволами.

Відстань між гідрантами 50 - 120 м один від одного. Гідрантом з пожежної колонкою є водозабірний пристрій, що встановлюється на водопровідній мережі і призначений для відбору води при гасінні пожежі.

Гідранти не повинні заважати евакуації людей. Для підвищення напору в мережі під час пожежі біля пожежного крану встановлюють кнопки-пускачі пожежних насосів-підвищувачів. Внутрішній протипожежний водогін перевіряють не менше 1 разу на рік. Пожежний рукав повинен бути постійно приєднаний до крана та ствола. Один раз в 6 місяців необхідно проводити перебортовку рукавів на нову складку. Вентиль водопровідної мережі повинен легко відкриватися. Всі пожежні крани повинні бути пронумеровані і мати номер, нанесений фарбою на дверцята шафки, а також номер виклику пожежної охорони.

Щодо використання вогнегасників, вони повинні бути призначені для локалізації та гасіння пожежі на початковій стадії її розвитку.

Для своєчасного виявлення спалаху в приміщенні є теплові сповіщувачі ДОТЕС - 2 шт., сповіщувачі полум'я ІПЕС-ІК - 2 шт., сповіщувач

димової оптико-електронний ПДЕС - 1 шт. Для сповіщення про пожежу передбачений телефонний зв'язок, організовано ДПД з чисел ІТП. Встановлено внутрішній пожежний водопровід і чотири пожежних крана. [3]

6.5 Безпека у випадку надзвичайної ситуації

Безпека людини, її життя і здоров'я визнані Конституцією України найвищими соціальними цінностями. Кожний громадянин України має конституційне право на безпечне для життя і здоров'я довкілля.

Убезпечення та захист населення, об'єктів економіки і національного надбання від негативних наслідків надзвичайних ситуацій залишається невід'ємною частиною державної політики національної безпеки і державного будівництва, однією з найважливіших функцій центральних органів виконавчої влади, місцевих державних адміністрацій та органів місцевого самоврядування. [19]

Потужний промисловий розвиток Дніпропетровської області призвів до значних антропогенних порушень та зростання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій.

Дніпропетровська область є одним з найбільш техногенно та екологічно небезпечних регіонів України. Вона посідає друге місце в Україні за наявними чинниками ризику виникнення надзвичайних ситуацій.

Висновки за результатами аналізу виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру свідчать про зростання динаміки виникнення надзвичайних ситуацій та надзвичайних подій на території області. [19]

6.6 Висновки по розділу

На основі аналізу шкідливих та небезпечних факторів, що мають місце при роботі холодильної камери були розроблені інженерно-технічні заходи для усунення цих факторів або зменшення їх впливу на обслуговуючий персонал. Також розглянуто питання пожежної профілактики.

ВИСНОВКИ

Об'єкт дослідження у кваліфікаційній роботі – це процес автоматичного керування температурою повітря холодильної камери.

Мета роботи – покращення ефективності функціонування системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери, для якої враховані зовнішні та внутрішні характеристики.

В роботі виконано аналіз технологічного процесу охолодження продуктів та розглянуто роботу об'єкта автоматизації – холодильної машини.

Відповідно до вимог до системи керування виконаний вибір апаратного забезпечення системи керування. САК температурою повітря холодильної камери побудована на базі ПЛК VIPA 214-2BE03

Розроблено оптимальний регулятор для керування за принципом максимуму Понтрягіна, визначено максимальні та мінімальні значення часу наростання та часу встановлення дійсного значення, яким має відповідати система керування:

Цих даних та висунутих вимог до системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери достатньо для виконання синтезу та вибору типу регулятора.

Виконано оцінку роботи системи згідно з висунутими критеріями - наявність збурень та зміна параметрів моделі не впливає значною мірою на роботу системи.

Отримано відповідність якості роботи САК температури повітря холодильної камери до критеріїв: час наростання, час встановлення та величини перерегулювання, від значень диференціальної та інтегральної складових регулятора.

На основі неперервної моделі САК температурою повітря холодильної камери створена цифрова модель системи керування. В цифровій моделі виокремлені дві підсистеми: об'єкта керування та регулятора, на основі яких отримані програмні модулі на мові програмування Structured Text.

В scada zenon розроблено ЛМІ, що складається з вікон відображення інформації про об'єкт керування, зміну температури повітря холодильної камери, хронологічний список подій та інформаційний список тривоги.

Капітальні витрати склали 29642грн, експлуатаційні витрати 23566грн. Таким чином, впровадження нового обладнання та його експлуатація є дуже коштовними в матеріальному плані, але необхідними, оскільки використання нової системи керування дозволить підвищити якість зберігання харчових продуктів.

На основі аналізу шкідливих та небезпечних факторів, що мають місце при роботі обладнання холодильної камери були розроблені інженерно-технічні заходи для усунення цих факторів або зменшення їх впливу на обслуговуючий персонал. Також розглянуто питання пожежної профілактики та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тенденції розвитку холодильної промисловості в Україні: [сайт]. Режим доступу: <https://jak.koshachek.com/articles/tendencii-rozvitku-holodilnoi-promislovosti.html> (дата звернення: 10.10.2022). – назва з екрана.
2. Холодильна техніка та технологія харчової промисловості : традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : науководопоміжний бібліографічний покажчик двома мовами 1960-2020 рр. / упоряд. Т. П. Фесун ; Наук.-техн. б-ка ; Нац. ун-т харч. технологій. – Київ, 2020. – 211 с. Режим доступу: http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32096/1/refrigeration_equipment.pdf (дата звернення: 12.10.2022). – назва з екрана.
3. Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра на тему: «Автоматизація промислових холодильних установок» здобувача вищої освіти Кривко Дмитра Едуардовича академічної групи 151-17-1, НТУ «Дніпровська політехніка» 2021. – 67с. Режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/158790/%D0%9A%D0%A0%D0%9A%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BA%D0%BE.pdf> (дата звернення: 01.10.2022). – назва з екрана.
4. Положення про навчально-методичне забезпечення освітнього процесу Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» / Укладачі: Ю.О. Заболотна, Є.А. Коровяка, В.О. Салов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018. – 23 с.
5. Положення про організацію атестації здобувачів вищої освіти НТУ «Дніпровська політехніка» / Укладачі: Ю.О. Заболотна, О.О. Конопльова, В.О. Салова , В.О. Салов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018. – 40 с.
6. Стандарт вищої освіти України. Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень. Ступінь вищої освіти бакалавр. Спеціальність 151

- Автоматизації та комп'ютерно-інтегровані технології. МОН України. – Київ. – 2018. – 17 с.
7. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [чинний від 2017-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 27 с.
 8. ДСТУ 1.5:2015. Правила розроблення. Викладання та оформлення національних нормативних документів оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [чинний від 2017-02-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 61 с.
 9. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [Уведено вперше ; чинний від 2016-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 17 с.
 10. ТОВ «ТЕРА» Термоперетворювач «У» модель 1-3 [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://ao-tera.com/yt4-20-model-1-3>.
 11. Компанія СВ АЛЬТЕРА. System 200V Модульная система управления [Електроний ресурс] – Режим доступу: https://vipa.com.ua/pdf/products/control-systems/200v/signal-modules-analog/НВ97Е_SM-AIO_12-32.pdf
 12. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного керування для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 107 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
 13. Атестація здобувача вищої освіти. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра студентами галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології / В.В. Ткачов, А.В. Бубліков та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Електрон. Текст. Дані – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 41 с. – Режим

доступу: https://aks.nmu.org.ua/ua/Doc/151_DP_MAGISTR.pdf (дата звернення: 15.10.2020). – назва з екрана.

14. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату” - К.: МОЗ України, 2000.
15. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.
16. Охорона праці в галузі. Методичні вказівки та контрольні завдання для студентів заочної форми навчання усіх спеціальностей /Уклад.: О.О. Яворська, С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко, Д.І. Радчук, В.В. Марченко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 34 с.
17. Третьяков О. В. Охорона праці : навч. посіб. с тест. комплексом на CD / О. В. Третьяков, В. В. Зацарний, В. Л. Безсонний ; за ред. К. Н. Ткачука. - К. : Знання, 2010.- 167 с.+ CD
18. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. ДП "УкрНДНЦ", Київ, 2016. – 110с.
19. Офіційний веб-сайт - Дніпропетровська обласна рада. Регіональну цільову програму захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, забезпечення пожежної безпеки Дніпропетровської області на 2021 – 2025 роки. – Режим доступу: <https://oblrada.dp.gov.ua/rishennia/%D0%BF%D1%80%D0%BE-%D1%80%D0%B5%D0%B3%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%B%D1%8C%D0%BD%D1%83-%D1%86%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D0%B2%D1%83-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D1%83-%D0%B7%D0%B0%D1%85-2/> (дата звернення: 12.11.2022). – назва з екрана

Додаток А

Програмні модулі системи керування

A.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: Model_D_subsystem.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Model_D_subsystem/Object"
*
* Model name                : Model_D_subsystem
* Model version             : 1.47
* Model creator             :
* Model last modified by   :
* Model last modified on   : Wed Nov 16 04:38:02 2022
* Model sample time        : 0s
* Subsystem name           : Model_D_subsystem/Object
* Subsystem sample time    : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on     : Wed Nov 16 13:29:48 2022
*
* Target IDE selection     : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included      : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Object
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Flow_Damper: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Temperature: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn3_states: LREAL;
    Delay1_DSTATE: ARRAY [0..45] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay1' *)
        FOR i := 0 TO 45 DO
            Delay1_DSTATE[i] := 0.0;
        END_FOR;

```



```

        (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay1'
*)
        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)
        DiscreteTransferFcn3_states := 0.0;
        SS_STEP:

        (* Outport: '<Root>/bo_Temperature' incorporates:
        * Constant: '<S1>/Початкова температура суміші2'
        * Delay: '<S1>/Delay1'
        * Sum: '<S1>/Sum10' *)
        bo_Temperature := Delay1_DSTATE[0] + 12.0;

        (* Update for Delay: '<S1>/Delay1' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3'
*)
        FOR k := 0 TO 44 DO
            Delay1_DSTATE[k] := Delay1_DSTATE[k + 1];
        END_FOR;
        Delay1_DSTATE[45] := -0.0001787 *
DiscreteTransferFcn3_states;
        (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay1' *)

        (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn3' incorporates:
        * Update for Inport: '<Root>/bi_Flow_Damper' *)
        DiscreteTransferFcn3_states := bi_Flow_Damper - (-0.9994
* DiscreteTransferFcn3_states);
    END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

A.2 Модуль регулятора

```

(*)
*
* File: Model_D_subsystem.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Model_D_subsystem/Controller"
*
* Model name           : Model_D_subsystem
* Model version        : 1.47
* Model creator        : students
* Model last modified by : Dima
* Model last modified on  : Wed Nov 16 04:38:02 2022
* Model sample time    : 0s

```

```

* Subsystem name                :
Model_D_subsystem/Controller
* Subsystem sample time        : 0.1s
* Simulink PLC Coder version    : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on         : Wed Nov 16 13:28:41 2022
*
* Target IDE selection          : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included           : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Controller
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Flow_Damper: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE: LREAL;
    DiscreteTransferFcn2_states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_Kp2: LREAL;
    rtb_u: LREAL;
    DiscreteTransferFcn2_tmp: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
            DiscreteTransferFcn2_states := 0.0;
            (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator:
'<S1>/Discrete-Time Integrator1' *)
            DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := 0.0;
        SS_STEP:

            (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2'
incorporates:
            * Gain: '<S1>/-K2'
            * Inport: '<Root>/bi_Error' *)
            DiscreteTransferFcn2_tmp := ( -bi_Error) - (-0.9955 *
DiscreteTransferFcn2_states);
            (* DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1'
*)
            IF DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE >= 3.03 THEN
                DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := 3.03;
            ELSIF DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE <= 0.0 THEN
                DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := 0.0;
            END_IF;
            (* Gain: '<S1>/Kp2' incorporates:
            * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1'
            * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2'

```

```

* Gain: '<S1>/-K2'
* Inport: '<Root>/bi_Error'
* Sum: '<S1>/Sum14' *)
rtb_Kp2 := (((0.01 * DiscreteTransferFcn2_tmp) + (-0.01
* DiscreteTransferFcn2_states)) +
(DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE + ( -bi_Error))) * 33.0;

(* Saturate: '<S1>/Обмеження керуючого впливу2' *)
IF rtb_Kp2 >= 100.0 THEN
    rtb_u := 100.0;
ELSIF rtb_Kp2 > 0.0 THEN
    rtb_u := rtb_Kp2;
ELSE
    rtb_u := 0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S1>/Обмеження керуючого впливу2'
*)

(* Outport: '<Root>/bo_Flow_Damper
' *)

bo_Flow_Damper := rtb_u;
(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn2' *)
DiscreteTransferFcn2_states := DiscreteTransferFcn2_tmp;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time
Integrator1' incorporates:
* Gain: '<S1>/-K2'
* Gain: '<S1>/Ti2'
* Inport: '<Root>/bi_Error'
* Sum: '<S1>/Sum12'
* Sum: '<S1>/Sum13' *)
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := (((rtb_u - rtb_Kp2) +
(0.034549474847982313 * ( -bi_Error))) * 0.1) +
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE;
IF DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE >= 3.03 THEN
    DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := 3.03;
ELSIF DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE <= 0.0 THEN
    DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := 0.0;
END_IF;
(* End of Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-
Time Integrator1' *)
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

Додаток Б

Програмне забезпечення системи керування

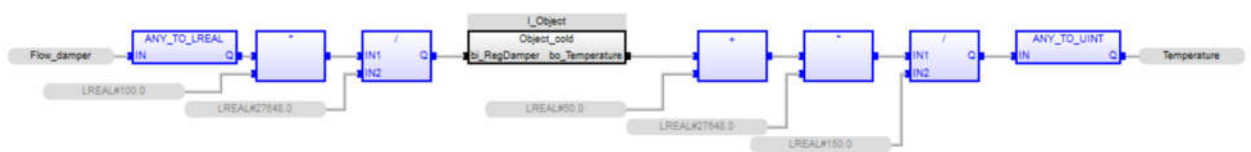
Б.1 Програмне забезпечення об'єкта керування

Б.1.1 Список програм

[FBD] Main_Object (* Основна програма *)

[ST] Object_cold (* Об'єкт керування *)

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Користувацький функціональний блок

(* Output: '<Root>/bo_Temperature' incorporates:

* Constant: '<S1>/Початкова температура продукту'

* Delay: '<S1>/Delay1'

* Sum: '<S1>/Sum6' *)

$bo_Temperature := Delay1_DSTATE[0] + LREAL\#12.0;$

(* Update for Delay: '<S1>/Delay1' incorporates:

* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)

FOR k := 0 TO 44 DO

$Delay1_DSTATE[k] := Delay1_DSTATE[k + 1];$

END_FOR;

$Delay1_DSTATE[45] := LREAL\#-0.0001787 *$

DiscreteTransferFcn1_states;

$DiscreteTransferFcn1_states := bi_RegDamper - (LREAL\#-0.99942339850528 * DiscreteTransferFcn1_states);$

Б.1.4 Перелік змінних

Name	Type	Prop...	Dim.	Attrib.	Syb.	Init value
Object_cold ("Object")						
bi_RegDamper	LREAL			IN	<input type="checkbox"/>	
bo_Temperature	LREAL			OUT	<input type="checkbox"/>	
DiscreteTransferFcn1_states	LREAL				<input type="checkbox"/>	
Delay1_DSTATE	LREAL		[0..45]		<input type="checkbox"/>	
k	DINT				<input type="checkbox"/>	
i	DINT				<input type="checkbox"/>	
Global variables						
RETAIN variables						

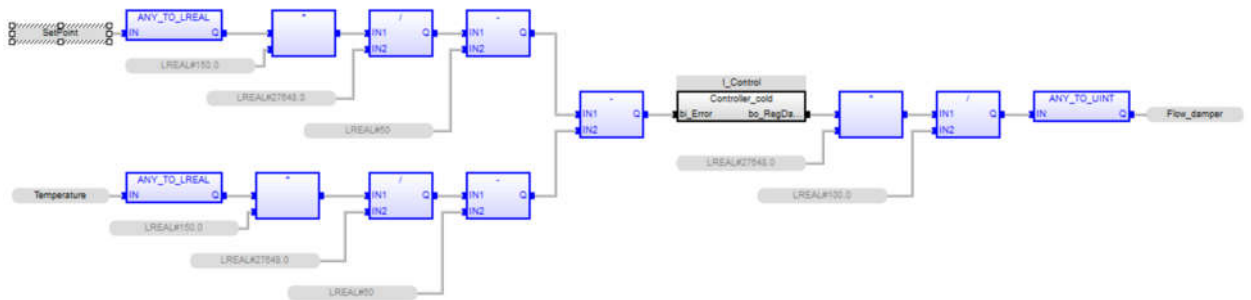
Б.2 Програмне забезпечення регулятора

Б.2.1 Список програм

[FBD] Main_Controller (* Основна програма *)

[ST] Controller_cold (* Контролер *)

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Користувачський функціональний блок

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' incorporates:

- * Gain: '<S1>/-K2'
- * Inport: '<Root>/bi_Error' *)

DiscreteTransferFcn2_tmp := (-bi_Error) - (LREAL#0.9955 * DiscreteTransferFcn2_states);

(* DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1' *)

```
IF DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE >= LREAL#3.03 THEN
  DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := LREAL#3.03;
ELSIF DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE <= LREAL#0.0 THEN
  DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := LREAL#0.0;
END_IF;
```

(* Gain: '<S1>/Kp2' incorporates:

- * DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1'
- * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2'
- * Gain: '<S1>/-K2'
- * Inport: '<Root>/bi_Error'
- * Sum: '<S1>/Sum14' *)

rtb_Kp2 := (((LREAL#0.01 * DiscreteTransferFcn2_tmp) + (LREAL#-0.01 * DiscreteTransferFcn2_states)) + (DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE + (-bi_Error))) * LREAL#33.0;

(* Saturate: '<S1>/Обмеження керуючого впливу2' *)

```
IF rtb_Kp2 >= LREAL#100.0 THEN
  rtb_u := LREAL#100.0;
```

```

ELSIF rtb_Kp2 > LREAL#0.0 THEN
  rtb_u := rtb_Kp2;
ELSE
  rtb_u := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S1>/Обмеження керуючого впливу2' *)

(* Output: '<Root>/bo_Flow_Damper ' *)
bo_RegDamper := rtb_u;

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
DiscreteTransferFcn2_states := DiscreteTransferFcn2_tmp;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1'
incorporates:
  * Gain: '<S1>/-K2'
  * Gain: '<S1>/Ti2'
  * Inport: '<Root>/bi_Error'
  * Sum: '<S1>/Sum12'
  * Sum: '<S1>/Sum13' *)
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := (((rtb_u - rtb_Kp2) +
(LREAL#0.034549474847982313 * (-bi_Error))) * LREAL#0.1) +
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE;
IF DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE >= LREAL#3.03 THEN
  DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := LREAL#3.03;
ELSIF DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE <= LREAL#0.0 THEN
  DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator1' *)

```

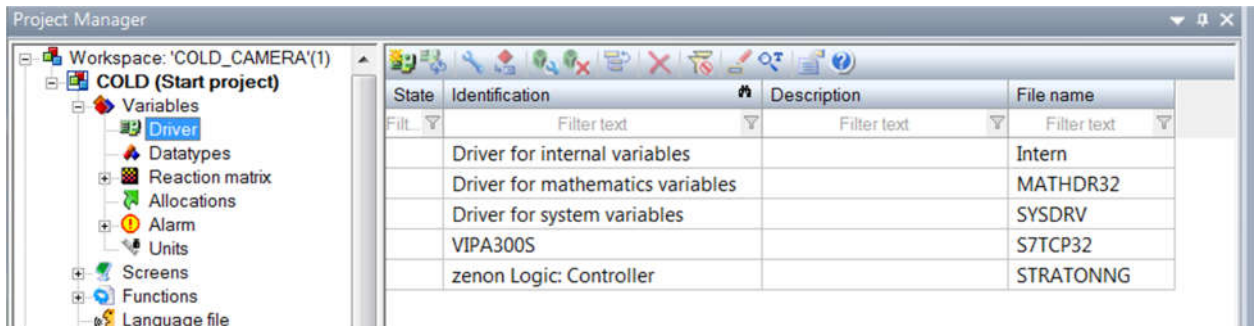
Б.2.4 Перелік змінних

Name	Type	Dim.	Attrib.	Syb.	Init value	User G
Controller_cold (*Controller from Matlab*)						
bi_Error	LREAL		IN	<input type="checkbox"/>		
bo_RegDamper	LREAL		OUT	<input type="checkbox"/>		
Filter_DSTATE	LREAL			<input type="checkbox"/>		
Integrator_DSTATE	LREAL			<input type="checkbox"/>		
rtb_u_d	LREAL			<input type="checkbox"/>		
rtb_Sum	LREAL			<input type="checkbox"/>		
rtb_FilterCoefficient	LREAL			<input type="checkbox"/>		
Global variables						
RETAIN variables						

Додаток В

Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

В.1 Драйвера



Project Manager

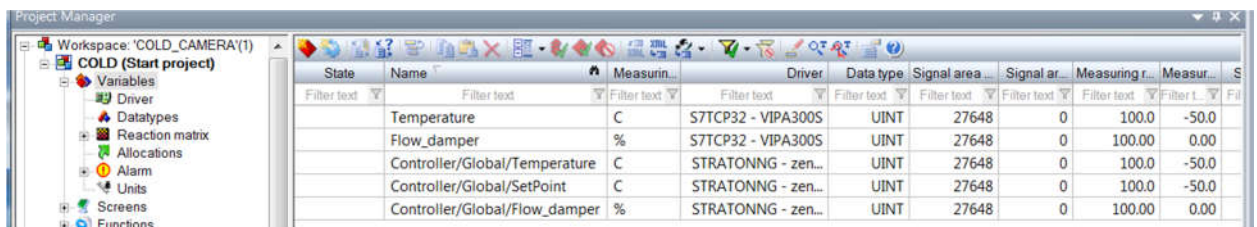
Workspace: 'COLD_CAMERA'(1)

COLD (Start project)

- Variables
 - Driver
 - Datatypes
 - Reaction matrix
 - Allocations
 - Alarm
 - Units
- Screens
- Functions
- Language file

State	Identification	Description	File name
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA300S		S7TCP32
	zenon Logic: Controller		STRATONNG

В.2 Перелік змінних



Project Manager

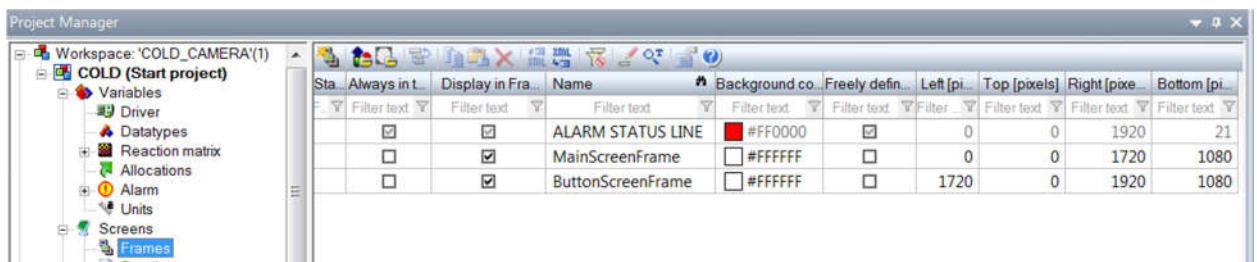
Workspace: 'COLD_CAMERA'(1)

COLD (Start project)

- Variables
 - Driver
 - Datatypes
 - Reaction matrix
 - Allocations
 - Alarm
 - Units
- Screens
- Functions

State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area...	Signal ar...	Measuring r...	Measur...
	Temperature	C	S7TCP32 - VIPA300S	UINT	27648	0	100.0	-50.0
	Flow_damper	%	S7TCP32 - VIPA300S	UINT	27648	0	100.00	0.00
	Controller/Global/Temperature	C	STRATONNG - zen...	UINT	27648	0	100.0	-50.0
	Controller/Global/SetPoint	C	STRATONNG - zen...	UINT	27648	0	100.0	-50.0
	Controller/Global/Flow_damper	%	STRATONNG - zen...	UINT	27648	0	100.00	0.00

В.3 Шаблони зображень



Project Manager

Workspace: 'COLD_CAMERA'(1)

COLD (Start project)

- Variables
- Datatypes
- Reaction matrix
- Allocations
- Alarm
- Units
- Screens
- Frames

Sta	Always in t...	Display in Fra...	Name	Background co...	Freely defin...	Left [pi...	Top [pixels]	Right [pixe]	Bottom [pi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ALARM STATUS LINE	#FF0000	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	1920	21
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	MainScreenFrame	#FFFFFF	<input type="checkbox"/>	0	0	1720	1080
	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ButtonScreenFrame	#FFFFFF	<input type="checkbox"/>	1720	0	1920	1080



V.4 Функції

Project Manager

Workspace: 'COLD_CAMERA(1)

COLD (Start project)

Sta	Name	Type	Parameter
	Function 0	Exit Runtime	
	Function 1	Reload project online	changed objects
	Function 2	Screen switch	Monitoring (Standard)
	Function 3	Screen switch	Technology (Standard)
	Function 4	Screen switch	HSP (Standard)
	Function 5	Screen switch	Information (Standard)
	Function 6	Screen switch	IST (Alarm Message List)
	Function 7	Screen switch	HSP (Chronological Event List) - [*][*]-[T,Rel:0d,1h,0m,0s]
	Function 8	Alarm Message List active	
	Function 9	Screen switch	Trend (Extended Trend) - TREND[HD]

V.5 Зображення

Project Manager

Workspace: 'COLD_CAMERA(1)

COLD (Start project)

State	Visible under CE	Name	Screen type	Frame	Background color	Start function	End function
	<input checked="" type="checkbox"/>	Technology	Standard	MainScreenFrame	#BADCDE	< no function...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	ButtonScreen	Standard	ButtonScreenFrame	#C0C0C0	< no function...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	Information	Standard	MainScreenFrame	#C0C0C0	< no function...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	Trend	Extended Trend	MainScreenFrame	#7D9EC0	< no function...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	Monitoring	Standard	MainScreenFrame	#7D9EC0	< no function...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	IST	Alarm Messag...	MainScreenFrame	#FF6820	< no function...	< no functi...
	<input checked="" type="checkbox"/>	HSP	Chronological ...	MainScreenFrame	#009300	< no function...	< no functi...

Information - COLD x

Міністерство освіти і науки України
 Національний технічний університет
 «Дніпровська політехніка»
 Навчально-науковий інститут електроенергетики

Електротехнічний факультет

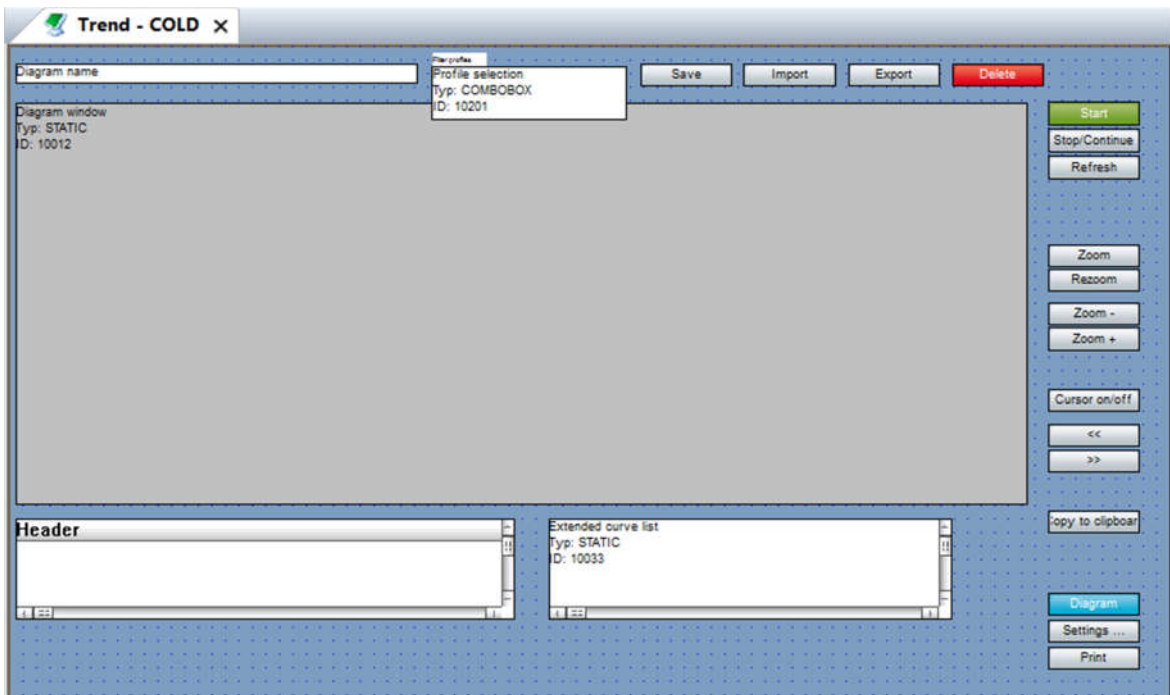
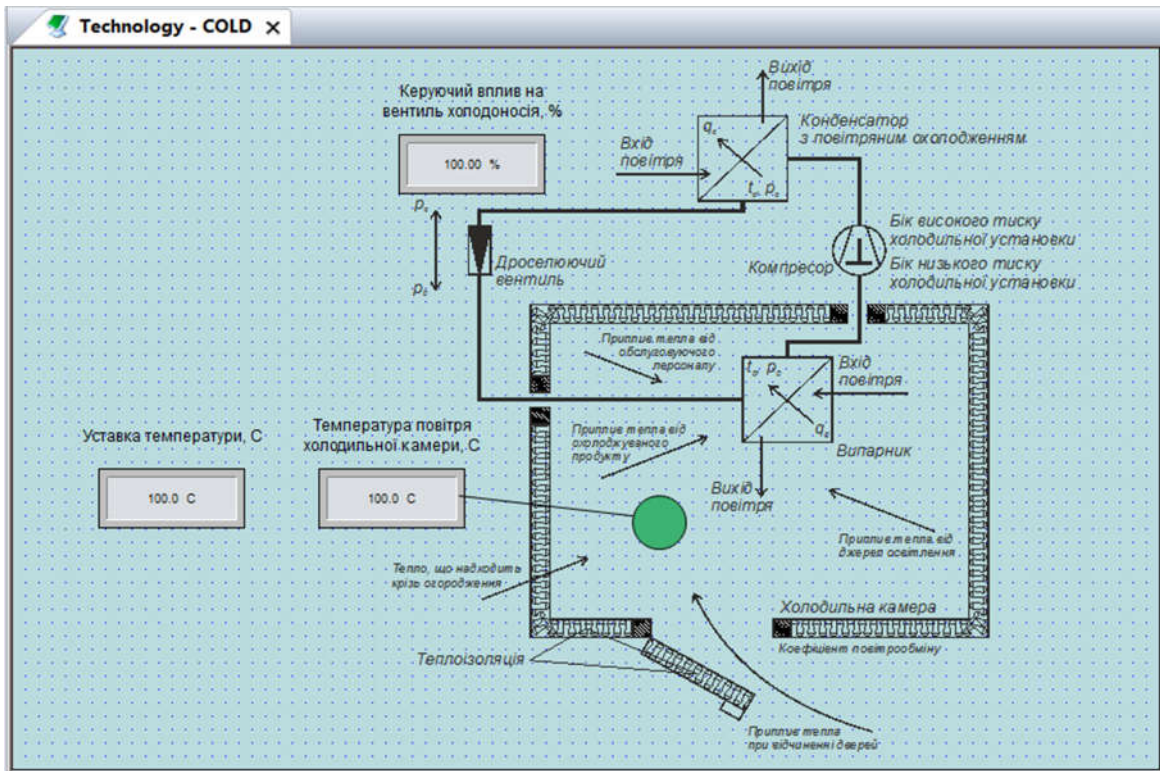
Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

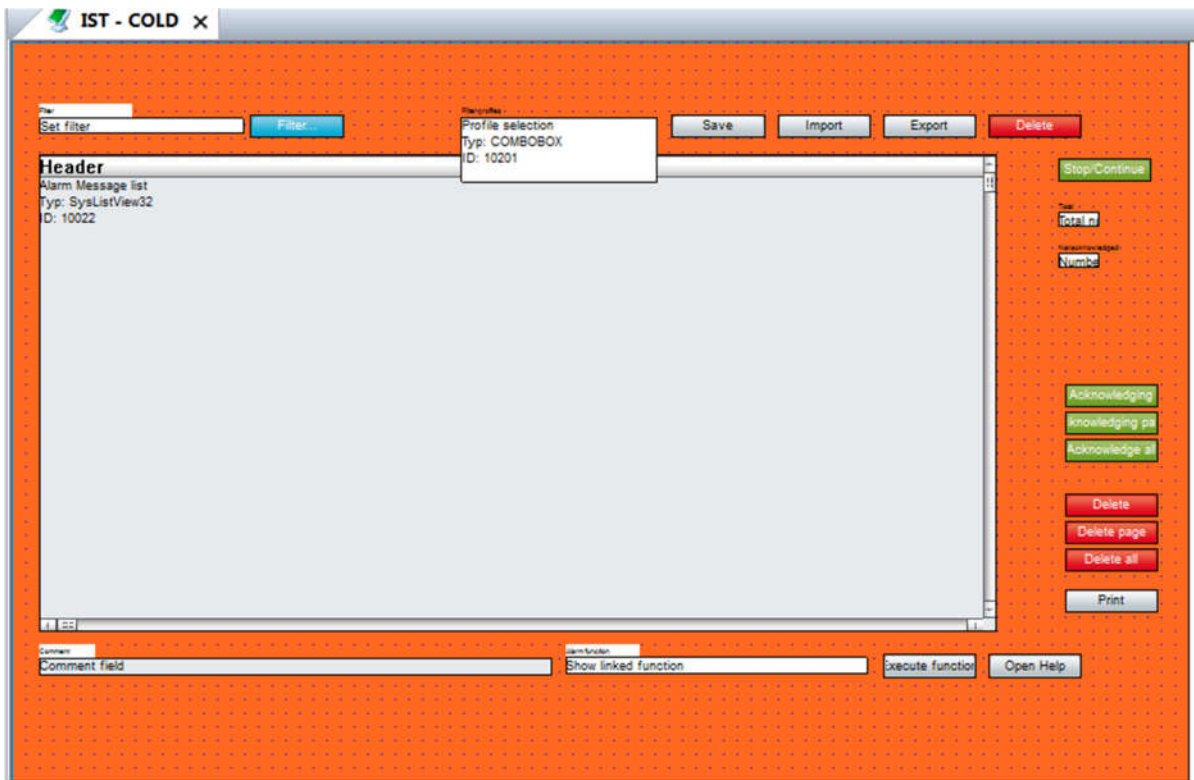
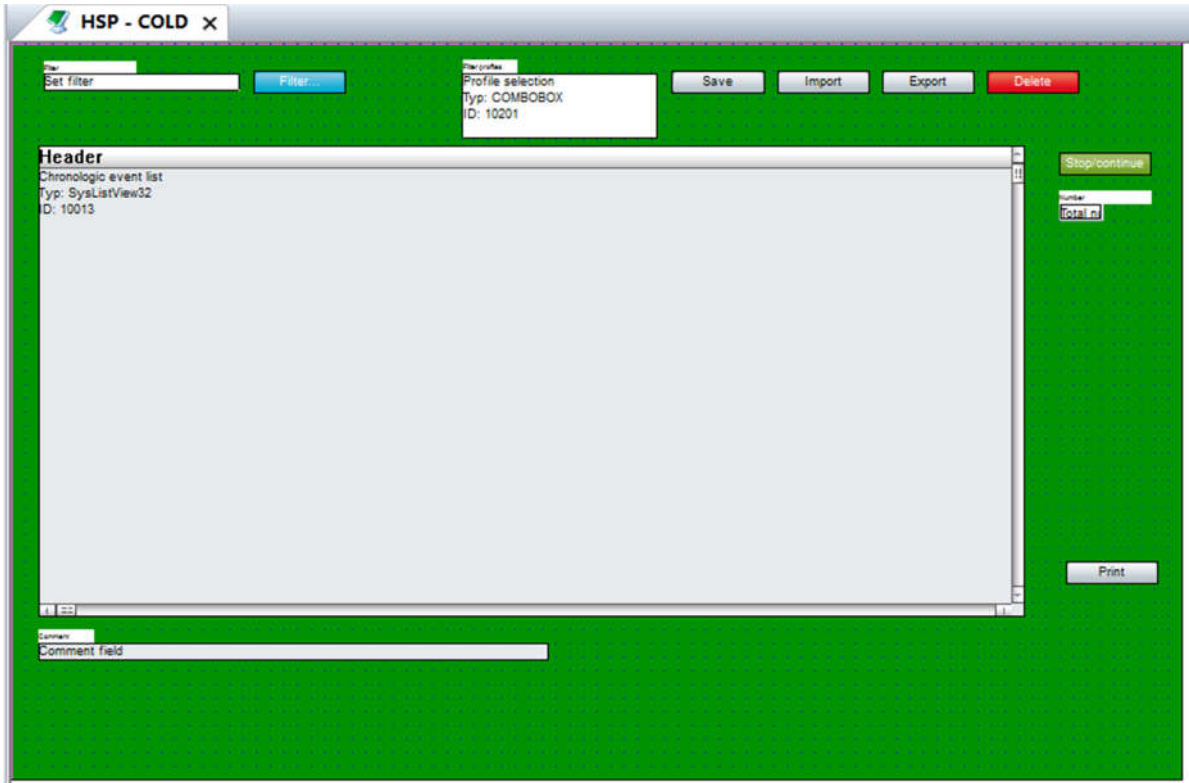
ЛЮДИНО-МАШИНИЙ ІНТЕРФЕЙС
 до кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Кривко Димтра Едуардовича
 академічної групи 151М-21-1
 спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 на тему Синтез та дослідження системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери

керівник кваліфікаційної роботи ст. викл. Бойко О.О.

Дніпро
 2022





ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра
на тему: “Синтез та дослідження системи автоматичного керування
температурою повітря холодильної камери”
здобувача вищої освіти академічної групи 151м-21-1
Кривко Дмитра Едуардовича

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеня магістра відповідає основній меті – перевірці знань та ступеню підготовки здобувача вищої освіти за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано відповідно до вимог стандартів та методичних рекомендацій повністю.

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження САК температурою повітря холодильної камери, зважаючи на вимоги до якості та часу перехідного процесу, забезпечить досконале керування об’єктом та дозволить усунути або зменшити вплив існуючих недоліків.

У першому розділі проаналізовано технологічний процес, структура об’єкта керування та вимоги до його функціонування. Розглянуто апаратне забезпечення системи керування, її функціонування та сформульовані задачі дослідження системи керування.

У другому розділі розроблено оптимальний регулятор для керування за принципом максимуму Понтрягіна, визначено максимальні та мінімальні значення часу наростання та часу встановлення дійсного значення, яким має відповідати система керування.

У третьому розділі отримана модель системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери, обґрунтовано вибір структури регулятора та його параметри. Виконано оцінку роботи системи згідно з висунутими критеріями - наявність збурень та зміна параметрів моделі не впливає значною мірою на роботу системи.

У четвертому розділі розроблено програмне забезпечення та інтерфейс користувача.

П’ятий та шостий розділи присвячені розрахунку вартості розробленої системи керування та аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації системи керування температурою повітря холодильної камери.

При вирішенні завдань у розділах кваліфікаційної роботи здобувач вищої освіти підтвердив компетенції ЗК1 «Здатність проведення досліджень

на відповідному рівні»; СК3 «Здатність застосовувати методи моделювання та оптимізації для дослідження та підвищення ефективності систем і процесів керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами»; СК6 «Здатність застосовувати сучасні методи теорії автоматичного керування для розроблення автоматизованих систем управління технологічними процесами та об'єктами»; СК7 «Здатність застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для розв'язання складних задач і проблем автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій» та інші.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі достатня.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню магістра заслуговує оцінки _____ балів при відповідному захисті, а здобувач Кривко Д.Е. присвоєння кваліфікації “магістр” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Керівник кваліфікаційної роботи, _____ Бойко О.О.
ст.викл, к.т.н.

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра
на тему: “Синтез та дослідження системи автоматичного керування
температурою повітря холодильної камери”
здобувача вищої освіти академічної групи 151м-21-1
Кривко Дмитра Едуардовича

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеня магістра відповідає основній меті – перевірці знань та ступеню підготовки здобувача вищої освіти за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано відповідно до вимог стандартів та методичних рекомендацій повністю.

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження САК температурою повітря холодильної камери, зважаючи на вимоги до якості та часу перехідного процесу, забезпечить досконале керування об’єктом та дозволить усунути або зменшити вплив існуючих недоліків.

В роботі проаналізовано технологічний процес, структура об’єкта керування та вимоги до його функціонування. Розглянуто апаратне забезпечення системи керування, її функціонування та сформульовані задачі дослідження системи керування. Розроблено оптимальний регулятор для керування за принципом максимуму Понтрягіна, визначено максимальні та мінімальні значення часу наростання та часу встановлення дійсного значення, яким має відповідати система керування. Отримана модель системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери, обґрунтовано вибір структури регулятора та його параметри. Виконано оцінку роботи системи згідно з висунутими критеріями - наявність збурень та зміна параметрів моделі не впливає значною мірою на роботу системи. Розроблено програмне забезпечення та інтерфейс користувача.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі достатня.

В цілому кваліфікаційна робота ступеню магістра заслуговує оцінки _____ балів при відповідному захисті, а здобувач Кривко Д.Е. присвоєння кваліфікації “магістр” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

Рецензент _____

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувачем кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем

_____ Бубліковим А.В.

«_____» _____ 2022 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі магістра на тему “Синтез та дослідження системи автоматичного керування температурою повітря холодильної камери ”, здобувача вищої освіти, групи 151м-21-1, Кривко Дмитра Едуардовича.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає 76 сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichек.com>”. Рівень запозичень у роботі складає _____ %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Нормоконтролер,
асистент,

(підпис)

Славінський Д.С.

(дата)