

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

Навчально-науковий інститут електроенергетики
 (інститут)

Електротехнічний факультет
 (факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірвальних систем
 (повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Фліка Дениса Васильовича
 (ПІБ)

академічної групи 151М-22-1
 (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 технологічним процесом заморожування риби
 (назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	проф. Бубліков А.В.			
розділів:				
Стан питання та постановка завдання	проф. Бубліков А.В.			
Спеціальний розділ	проф. Бубліков А.В.			
Економічний розділ	ст.викл.Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф.Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірjuвальних систем
(повна назва)
_____ Бубліков А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)
« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Фліку Д.В. академічної групи 151М-22-1
(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 технологічним процесом заморожування риби _____,

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

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Вибір напрямку створення системи керування. Опис моделі об'єкта керування.	10.10.2023
Спеціальний розділ	Вибір структури системи керування та регулятора. Розрахунок параметрів регулятора. Дослідження функціонування системи керування на базі обраного регулятора. Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань.	11.11.2023
Економічний розділ	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	28.11.2023
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	28.11.2023

Завдання видано _____
(підпис керівника)

проф. Бубліков А.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

01.09.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії

14.12.2023

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Флік Д.В.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 82 с., 50 рис., 16 табл., 3 додатки, 28 джерел.

Об'єкт дослідження: Система автоматичного керування технологічним процесом заморожування риби, а саме камерою шокової заморозки Frios Winter SF-2300, з регулюванням по каналу «тиск компресора → температура випарника».

Мета роботи: підвищення ефективності керування камерою шокової заморозки, шляхом регулювання через зміну тиску компресора холодильної машини.

Принцип роботи камери шокової заморозки полягає в тому, що холодоагент під тиском 5...26 бар, в залежності від необхідної температури у випарнику, через дросельний отвір надходить у випарник, де через різке зниження тиску рідина випаровується і перетворює її в пару, яка відбирає тепло з внутрішніх стінок випарника, за рахунок чого охолоджується внутрішній простір камери шокової заморозки. Номінальна температура коливається в діапазоні 35... 12°C та залежить від технологічної карти зберігання конкретного продукту.

Основні функціональні та конструктивні властивості, що були враховані при розробці системи керування температурою в камері шокової заморозки: об'єм камери, часові параметри заморозки продукту та розморожування, кінцевими температурами заморозки та розморожування

Викладення основного матеріалу магістерської роботи ґрунтується на інформації та результатах кваліфікаційної роботи бакалавра. У роботі було висунуто критерії якості функціонування системи автоматичного керування, виконано синтез системи керування та досліджено її роботу. Розроблено людино-машиного інтерфейс для системи керування та його програмне забезпечення.

КЕРУВАННЯ, СИНТЕЗ, СИСТЕМА, ЗАМОРОЗКА, РИБА, КОМПРЕСОР, ТИСК, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ІНТЕРФЕЙС

ABSTRACT

Explanatory note: 82 pp., 50 figures, 16 tables, 3 appendices, 28 sources.

Research object: System of automatic control of the technological process of fish freezing, namely the shock freezing chamber Frios Winter SF-2300, with regulation along the "compressor pressure → evaporator temperature" channel.

The purpose of the work: increasing the efficiency of the control of the shock freezing chamber by adjusting the pressure change of the compressor of the refrigerating machine.

The principle of operation of the shock freezing chamber is that the refrigerant under a pressure of 5...26 bar, depending on the required temperature in the evaporator, enters the evaporator through the throttle hole, where due to a sharp decrease in pressure, the liquid evaporates and turns it into steam, which absorbs heat from internal walls of the evaporator, due to which the internal space of the shock freezing chamber is cooled. The nominal temperature ranges from 35 to 12°C and depends on the technological storage map of a specific product.

The main functional and design properties that were taken into account during the development of the temperature control system in the shock freezing chamber: chamber volume, time parameters of product freezing and thawing, final temperatures of freezing and thawing

The presentation of the main material of the master's thesis is based on the information and results of the bachelor's qualification work. In the paper, the quality criteria of the functioning of the automatic control system were put forward, the synthesis of the control system was performed, and its operation was investigated. A human-machine interface for the control system and its software has been developed.

CONTROL, SYNTHESIS, SYSTEM, FREEZE, FISH, COMPRESSOR, PRESSURE, SIMULATION MODEL, INTERFACE

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	7
ВСТУП	8
1 Стан питання та постановка завдання	11
1.1 Характеристика галузі	11
1.2 Технологічний процес	12
1.3 Об'єкт керування	15
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	15
1.3.2 Структура об'єкту керування	17
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	18
1.4 Структура системи керування	18
1.5 Формулювання задач дослідження	23
1.6 Висновки по розділу	24
2 Спеціальний розділ	25
2.1 Модель об'єкта керування	25
2.2 Критерії якості функціонування системи керування	30
2.3 Синтез системи керування	35
2.3.1 Модель системи керування	35
2.3.2 Структура регулятора	36
2.3.3 Оцінка якості функціонування системи керування	41
2.4 Програмне забезпечення системи керування	48
2.4.1 Цифрова модель об'єкта керування	48
2.4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	52
2.4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу	54
2.4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	57
2.5 Висновки по розділу	58
3 Економічна частина	59
3.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	59

3.2	Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	59
3.3	Витрати на програмне забезпечення	60
3.3.1	Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	60
3.3.2	Розрахунки витрат на розробку програмного продукту	62
3.4	Розрахунки експлуатаційних витрат	63
3.4.1	Амортизація основних фондів	64
3.4.2	Розрахунки річного фонду заробітної плати	64
3.4.3	Розрахунки відрахувань на соціальні заходи	65
3.4.4	Визначення річних витрат на технічне обслуговування та ремонт	65
3.4.5	Розрахунки вартості споживаної електроенергії	66
3.4.6	Визначення інших витрат	66
3.5	Висновки по розділу	67
4	Охорона праці	68
4.1	Шкідливі та небезпечні фактори	68
4.1.1	Повітря робочої зони	68
4.1.2	Вентиляція	69
4.1.3	Виробниче освітлення	70
4.1.4	Виробничий шум і вібрація	71
4.1.5	Випромінювання	73
4.1.6	Електробезпека	74
4.2	Пожежна безпека	76
4.3	Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	77
4.4	Висновки за розділом	78
	Висновки	79
	Перелік посилань	81
	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
ПЛК	–	Програмований логічний контролер
САК	–	Система автоматичного керування
СК	–	Система керування
ЛМІ	–	Людино-машиний інтерфейс
НСВ	–	Нормоване середньоквадратичне відхилення
ПК	–	Персональний комп'ютер;
АСК ТП	–	Автоматизована систему керування технологічним процесом
ППП	–	Пакет прикладних програм

ВСТУП

Актуальність теми. Рибальство – це важлива галузь виробництва, в якій виловлюють і розводять рибу та інших гідробіонтів для виробництва різноманітних продуктів [3, 29]. Риба є важливим джерелом, що забезпечує потреби людини в білковій їжі та різних елементах водного походження, що відсутні у інших продуктах тваринництва. Відомо, що в морській рибі найвищий вміст вітамінів А, В2 і D, фтору і йоду, а найголовніша її цінність – це поліненасичені жирні Омега-3 кислоти, які регулюють рівень ліпідів і холестерину в крові та попереджують розвиток порушення обміну речовин та виникнення різних захворювань, зокрема атеросклерозу. Вони позитивно впливають на роботу головного мозку, серця і кровоносних судин. У зв'язку з тим, що риба і продукти її переробки – це джерело багатьох необхідних поживних речовин для людини, то й вилов риби, її реалізація в свіжому, замороженому і консервованому вигляді у світі постійно зростають [6, 23].

Заморожування - це зниження температури продукту нижче його криоскопічної температури. Для кожного продукту температура заморожування та характер процесу заморожування специфічні, тому продукт вважається замороженим, якщо температура в глибині продукту досягла -8°C .

На сучасному рівні заморожування є основним методом консервування харчових продуктів, що швидко псуються. Харчові продукти заморожуються з метою підготовки їх до тривалого зберігання. Заморожування здійснюється в повітряному та рідких середовищах. Під час заморожування харчових продуктів значна частини вологи, яка міститься в продукті, перетворюється в лід. При цьому знижуються органолептичні показники продукту, але при правильній.

Шокова заморозка – один з найбільш ефективних методів збереження харчових продуктів. Технологія швидкісної заморозки полягає у фазовому переході внутрішньоклітинної рідини в мікро-кристали льоду. Миттєва

рівномірною заморозкою дозволяє зберегти всі корисні і смакові якості продукту, зробити термін зберігання максимально довгим. Завдяки перевагам такого способу заморожування, цей метод економічно вигідний і актуальний для всіх малих і великих «харчових» підприємств.

Основне завдання – зберегти корисні властивості продукту і збільшити термін його придатності, що є одним з основних критеріїв вибору холодильного обладнання.

Камери шокової заморозки дозволяють заощадити часові та виробничі ресурси, скоротити необхідну робочу площу і підвищити якість продукції, роблячи її більш безпечною для масового споживання [16].

Таким чином, основним завданням автоматизації процесу шокової заморозки є швидке зниження температури продукту до необхідних значень, шляхом зміни температури випарника холодильної машини, що є **актуальною науково–технічною задачею**, розв'язання якої зводиться до автоматизації роботи компресора холодильної машини для забезпечення визначеного значення тиску холодоносія.

Мета і задачі дослідження. Метою представленої кваліфікаційної роботи магістра є підвищення ефективності функціонування камери шокової заморозки за рахунок зміни тиску на виході компресору та синтезу системи керування температурою випарника холодильної машини.

Мета роботи реалізується через розв'язання таких наукових задач:

- аналіз технологічного процесу заморожування риби, особливостей функціонування обладнання для заморожування продуктів харчування, визначення напрямку синтезу системи керування камерою шокової заморозки;
- розробка імітаційної моделі камери шокової заморозки, як об'єкта керування;
- визначення критеріїв якості функціонування системи керування;
- синтез системи керування камерою шокової заморозки;

- дослідження роботи імітаційної моделі системи керування камерою шокової заморозки при різних налаштуваннях регулятора;
- розробка програмного забезпечення для автоматичної системи керування камерою шокової заморозки та перевірка його функціонування.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування температурою випарника холодильної машини камери шокової заморозки.

Предмет дослідження – моделі та методи керування процесом зміни температури випарника холодильної машини камери шокової заморозки, що використовуються при заморожуванні риби, а також відповідне програмне та інформаційне забезпечення.

Методи дослідження. Для дослідження існуючих систем автоматичного керування камерою шокової заморозки використано методи обчислювального експерименту, математичного моделювання технологічних процесів та імітаційного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Вперше отримано імітаційну модель зміни температури в камері шокової заморозки на основі даних ідентифікації, що дало можливість синтезувати систему керування за каналом «тиск компресора → температура випарника»

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Характеристика галузі

Всесвітня рибна промисловість постійно збільшує об'єми вилову риби та морепродуктів, при цьому темпам прискорення світового вилову передують темп зростання населення планети, що визначає світове рибальство як галузь, яка має як активний розвиток, так і невичерпний потенціал зростання [1]. За підсумками 2019 року середньорічне споживання риби у світі на людину склало 20,9 кг (річний приріст становив приблизно 0,3 кг).

Рибна галузь, загалом, є важливою для економіки України. До неї відносяться: промисел і переробку, відтворення та охорона рибних запасів, розведення і вирощування промислової риби, племінна служба, науково-дослідне та будівельне забезпечення, галузева багаторівнева система підготовки кадрів [1].

Ефективний розвиток рибопереробної промисловості сприяє забезпеченню українців рибною продукцією на рівні фізіологічних норм споживання на душу населення, забезпечує сировинну базу для інших галузей промисловості та сприяє вирішенню проблеми зайнятості населення в Україні. На сьогоднішній день у вітчизняній рибній промисловості зайнято близько 30 тис. працівників [2].

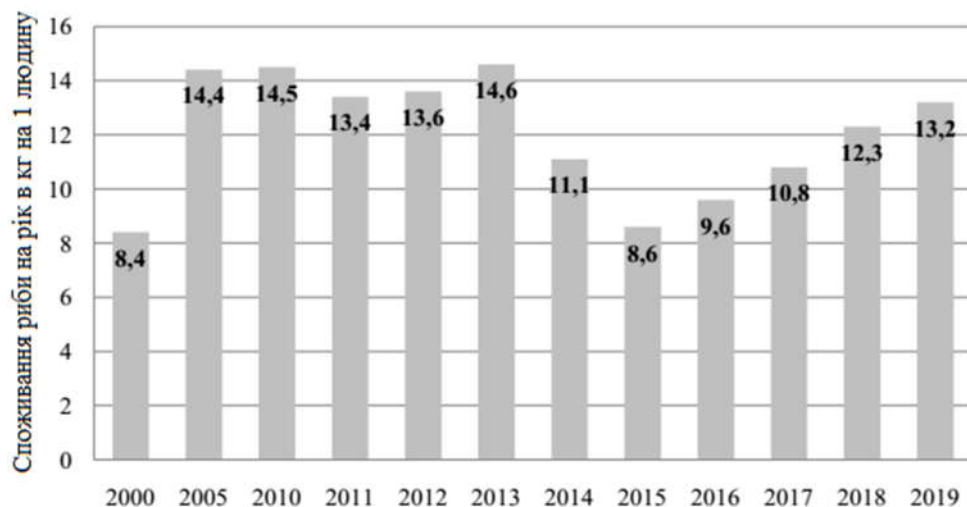


Рисунок 1.1 – Динаміка споживання риби в Україні

Станом на 2019 рік річне споживання риби та рибних продуктів в Україні становить 13,2 кг на людину [3], хоча у 1995 році цей показник становив 30 кг риби на 1 людину. Динаміку споживання риби та рибних продуктів населенням України наведено на рис.1.1.

1.2 Технологічний процес

Риба є продуктом швидкого псування. Тому, з моменту вилову до остаточної обробки, вона повинна перебувати в умовах, що гальмують розвиток автолітичних та бактеріальних процесів. Швидкоплинність цих процесів залежить від температури навколишнього середовища, а також від виду риби. Підтримуючи низьку температуру тіла свіжої риби, можна значно сповільнити процеси розкладання. Швидке охолодження риби до криоскопічної температури (при якій замерзає основна маса води) відстрочує терміни обмерзання, за яким відбуваються вже руйнівні мікробіологічні процеси. При повільному охолодженні риби темп розвитку мікробіологічних і біохімічних процесів виявляється вище темпу охолодження, тож небажані зміни у рибі можуть відбутися раніше, ніж вона встигне охолодитися.

Оскільки переробка риби та морепродуктів відбувається і на судах, які здійснюють їх вилов, і на берегових підприємствах, асортимент пристроїв заморозки широкий, а конструкції доволі різноманітні, що обумовлено необхідністю їх адаптації до тих чи інших умов. Як тільки рибу вловили, її потрібно якнайшвидше піддати низькотемпературній обробці.

Для тривалого зберігання застосовують заморожування риби. Процес заморожування риби характеризується перетворенням на лід більшої частини води, що в ній міститься.

Виділяють два основні способи заморожування риби: природний та штучний.

Природний метод – заморозка на природному холоді і заморозка з допомогою льоду і солі, тобто. Використання ендотермічної реакції. Цей спосіб не гарантує постійного ступеня інтенсивності заморожки і, як наслідок,

неможливо заморозити її рівномірно. Крім цього, спосіб із сіллю і льодом може призвести до часткового засолювання риби або псування її зовнішнього вигляду: утворення темних плям і пролежнів.

Процес штучного заморожування:

1. Охолодження у холодильних камерах від +20 до 0°C;
2. Початкова стадія заморожування. Зниження температури з 0 до -5 °С - починається замерзання вологи в харчових волокнах риби. Відбувається кристалізація 70% фракцій тіла, що охолоджується;
3. Доморожування – охолодження від -5 до -18°C;
4. Кінцевий етап заморожування:
 - стандартна технологія заморозки – від -18 до -24 °С з часом заморозки від 2,5 годин;
 - шокова повітряна заморозка - зниження температури в холодильній камері до 30-35 °С з заморожуванням до 40 хвилин;
 - миттєве рідинне заморожування в розсолі або нетоксичному холодоагенті тривалістю до 20 хвилин при товщині продукту 2-3 см. Температура холодоагенту при цьому може досягати -45°C.

Основні переваги технології шокового заморожування:

- заморожування без деформації продукту: при швидкому зниженні температури кристали льоду не встигають злитися один з одним і залишаються невеликого розміру;
- стерильність: при швидкому охолодженні більшість бактерій гине, не встигаючи впасти в анабіоз, і залишає меншу кількість продуктів життєдіяльності, ніж при стандартному заморожуванні;
- маса: через те, що заморожування відбувається швидше, висихання майже не змінює вихідну вагу продукту – при шоковому заморожуванні втрачається до 0.8% маси продукту, тоді як за традиційної це значення становить 5-10%;

- харчова цінність і смак: через малий відсоток висихання тіла, що охолоджується, його харчові та смакові характеристики зберігаються набагато краще, ніж при звичайній заморозці.



Рисунок 1.2 – Переробка риби на судах

На виробництві заморозка риби здійснюється на вертикальних або горизонтальних плиткових швидко-морозильних апаратах, які мають дещо різну конструкцію, але те ж саме призначення. Принцип їх роботи досить простий: риба розміщується в камері в палетах, поміж якими циркулює холодоагент.

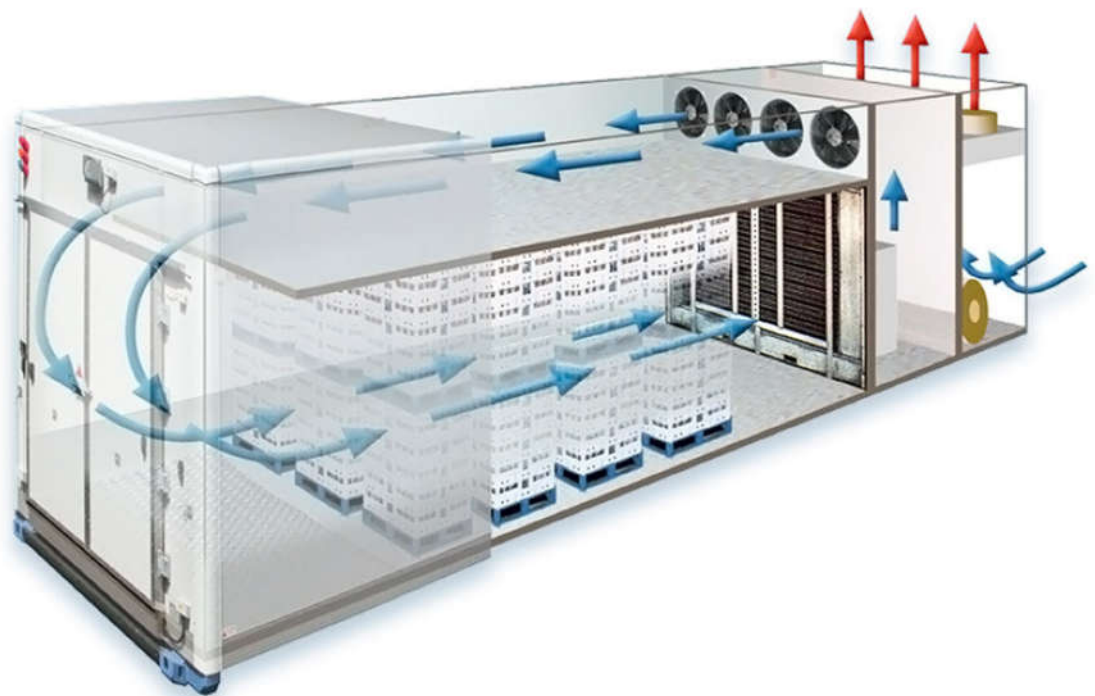


Рисунок 1.3 – Камера шокової заморозки

Таким чином, забезпечується високий ступінь теплообміну, внаслідок чого шокова заморозка відбувається дуже швидко, і тому швидкоморозильні апарати мають високу продуктивність.

Холодильна техніка в рибній промисловості будується за принципом безперервності холодильного кола. Це означає, що харчові продукти від моменту заготівлі сировини до моменту надходження до споживача перебувають під безперервним впливом холоду. Термін зберігання охолоджених продуктів головним чином залежить від якості риби-сирцю, способу і тривалості охолодження та умов зберігання [5].

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Горизонтально-плиткові апарати застосовують для заморожування філе. В таких апаратах продукт, що знаходиться між плитами, заморожується в листах. Більшість горизонтально-плиткових морозильних апаратів – пристрої періодичної дії з ручним і механізованим завантаженням і вивантаженням продукту. Деякі апарати виконуються з періодичним переміщенням блок-форм з продуктом по морозильних плитах. Горизонтально-плиткові морозильні апарати випускаються з числом плит від 6 до 21 од. Горизонтально-плиткові морозильні апарати складаються з ізольованого контуру (шафи) з дверцями, рами (каркаса), морозильних плит, гідравлічного або механічного приводу, призначеного для переміщення морозильних плит. Привід може розміщуватися у верхній або в нижній частині апарату. В деяких апаратах гідравлічний привод (гідравлічні циліндри) розміщують збоку (поряд з морозильними плитами), що дозволяє виконувати апарат компактним. Тиск підпресування на продукт підтримується постійним за допомогою спеціального клапана, який автоматично перепускає масло з гідравлічних циліндрів в місткість. Такий клапан не допускає збільшення тиску на продукт при зростанні його об'єму в процесі заморожування [5].

Горизонтально-плитковий апарат з ручним завантаженням і вивантаженням продукту (рис. 1.4) складається з ізолюваного контуру, морозильних плит, знімних щитів, двошарової штори, гідравлічних циліндрів, призначених для переміщення морозильних плит, і вертикальних колекторів, які потрібні для подачі рідкого холодильного агента в плити і відведення парорідинної суміші з них.

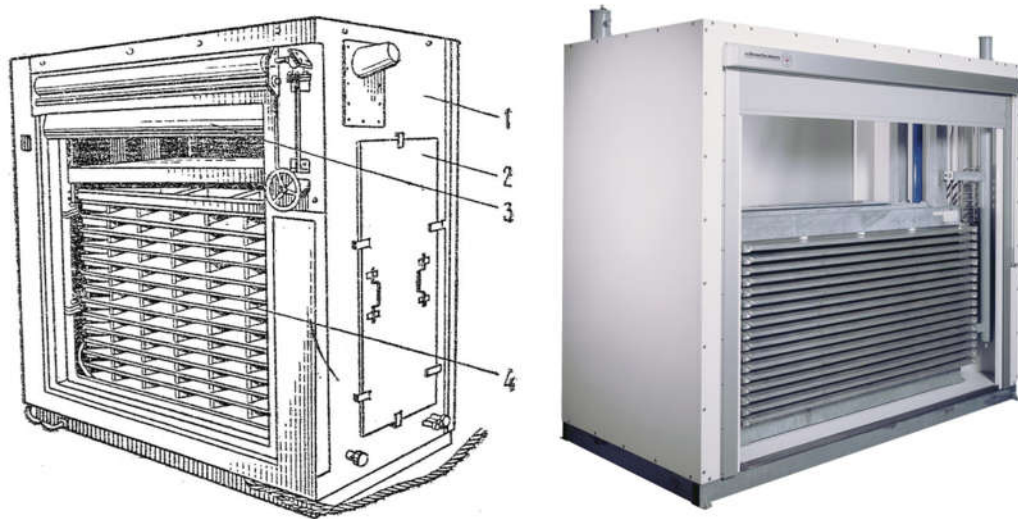


Рисунок 1.4 – Горизонтально-плитковий апарат з ручним завантаженням і вивантаженням продукту: 1 – ізолюваний контур; 2 – знімні щити; 3 – двошарова штора; 4 – морозильна плита.

На відміну від традиційного способу заморозки, камера шокової заморозки демонструє кращу холодопродуктивність з рівномірним впливом на об'єкти заморозки (всередині і зовні), запобігаючи розмноженню бактерій. Миттєва шок заморозка відмінно зберігає продукт, підтримуючи його високу якість [5].

В бакалаврській роботі було розглянуто камеру шокової заморозки Frios Winter SF-2300. Технологічне обладнання Frios Winter SF модульного типу застосовується для швидкого заморожування м'яса, риби, ягід, фруктів, овочів, напівфабрикатів та іншої продукції харчової промисловості.

В таблиці 1.1 наведені основні параметри камери шокової заморозки Frios Winter SF-2300.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики камери шокової заморозки Frios Winter SF-2300 [5]

Тип технологічного процесу	Параметри
Споживана потужність, кВт	120
Кількість замороженої продукції, кг/год	2300
Температура всередині камери, °С	-30..-32 (min -36)
Цикл заморозки, хв	від 30
Температура навколишнього середовища, °С	-25...+40
Кількість палет, од	24
Габаритні розміри палети, мм	1200x800x1900
Вага продукції на палеті, кг	50...750
Габаритні розміри камери, мм	11200x1400x3220
Габаритні розміри компресорного агрегату, мм	3000x1400x2350

1.3.2 Структура об'єкту керування

У загальному вигляді структурна схема холодильного апарату показана на рисунку 1.5. Основними складовими частинами апарату є:

- конденсатор, розташований поза апаратом 1;
- термостатична-регулюючий розширювальний клапан 2 (ТРК), який є дросельним пристроєм;
- випарник, розташований всередині холодильника 3;
- компресор, який отримує енергію з електричної мережі 4.

Холодоагент - циркулюючий в системі, це речовина з певними фізичними характеристиками.

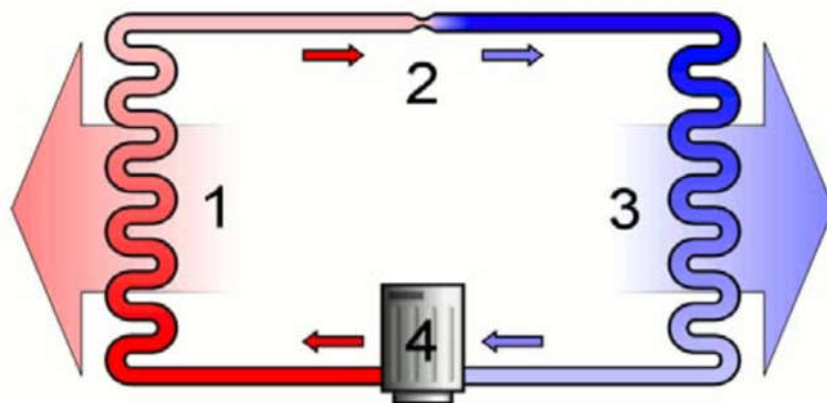


Рисунок 1.5 - Структурна холодильного апарату

1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування

Холодоагент під тиском через дросельний отвір (капілярний або ТРК) надходить у випарник, де через різке зниження тиску рідина випаровується і перетворює її в пару. При цьому холодоагент бере тепло з внутрішніх стінок випарника, за рахунок чого охолоджується внутрішній простір холодильника. Компресор висмоктує холодоагент у вигляді пари з випарника, стискає його, за рахунок чого підвищується температура холодоагенту і штовхає його в конденсатор [5].

У конденсаторі холодоагент, нагрітий в результаті стиснення, охолоджується, віддаючи тепло зовнішньому середовищу, і конденсується, тобто перетворюється в рідину. Процес повторюється знову. Так, в конденсаторі холодоагент під впливом високого тиску конденсується і переходить в рідкий стан, виділяючи тепло, а в випарнику, під впливом низького тиску, кипить і перетворюється в газоподібне, що поглинає тепло.

Термостатичний клапан (ТРК) необхідний для створення необхідної різниці тиску між конденсатором і випарником, при якому відбувається цикл теплообміну. Вона дозволяє правильно (найбільш повно) заповнити внутрішній обсяг випарника киплячим холодоагентом. Прохідна секція ТПВ змінюється в міру зниження теплового навантаження на випарник, в міру зниження температури в камері зменшується кількість циркулюючого холодоагенту. Капіляр є аналогом ТРК. Він не змінює свій поперечний переріз, а дроселює певну кількість холодоагенту, в залежності від тиску на вході і виході капіляра, його діаметра і типу холодоагенту.

При досягненні необхідної температури датчик температури відкриває електричний ланцюг і компресор зупиняється. При підвищенні температури (через зовнішніх факторів) датчик знову включає компресор.

1.4 Структура системи керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра [5], в якості об'єкту керування, було вибрано камеру шокової заморозки Frios Winter SF-2300. В мінімальній конфігурації системи керування мають контролюватися наступні параметри:

Вхідні сигнали:

- температура випарнику камери, °С -36...-12;
- температура радіатора, °С 5...80;
- температура навколишнього середовища, °С 5...+40;
- вага продукції на палетах, кг 1200...18000;
- тиск фреону у випарнику, бар -0,2...5;
- тиск фреону з компресора, бар 5...26;

Вихідні сигнали керування:

- двигун компресор, В /кВт ~380 / ~120;
- вентилятор охолодження радіатора, В /кВт ~380 / ~12.

Слід окремо відзначити, що для організації економічної роботи камери шокової заморозки Frios Winter SF-2300 треба забезпечити регулювання потужності компресора, тобто забезпечити «інверторний» режим компресора – застосувати для його роботи частотний перетворювач. Роботою камери шокової заморозки Frios Winter SF-2300 керує програмований логічний контролер. Принцип роботи об'єкту керування полягає в тому, що холодоагент під тиском через дросельний отвір (капілярний або ТРК) надходить у випарник, де через різке зниження тиску рідина випаровується і перетворює її в пару. При цьому холодоагент бере тепло з внутрішніх стінок випарника, за рахунок чого охолоджується внутрішній простір холодильного апарату [5].

Компресор висмоктує холодоагент у вигляді пари з випарника, стискає його, за рахунок чого підвищується температура холодоагенту і штовхає його в конденсатор.

У конденсаторі холодоагент, нагрітий в результаті стиснення, охолоджується, віддаючи тепло зовнішньому середовищу, і конденсується, тобто перетворюється в рідину. Процес повторюється знову. Так, в конденсаторі холодоагент під впливом високого тиску конденсується і переходить в рідкий стан, виділяючи тепло, а в випарнику, під впливом низького тиску, кипить і перетворюється в газоподібне, що поглинає тепло.

При досягненні необхідної температури компресор зменшує продуктивність, а при підвищенні температури навпаки - компресор підвищує свою продуктивність [5].

Вентилятори охолодження радіатора обмежують температуру його нагріву на рівні 60 °С.

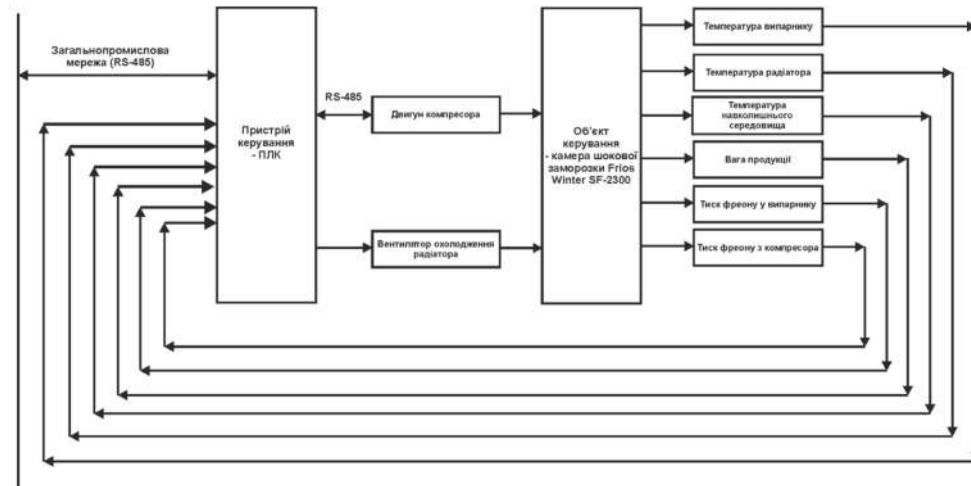


Рисунок 1.6 – Структурна схема системи керування

Датчики температури навколишнього середовища, ваги продукції на палетах, тиску фреону у випарнику і тиску фреону з компресора забезпечують необхідної інформацією систему керування з метою організації заданої за технологічними параметрами роботи з урахуванням можливої економічної роботи технологічного обладнання.

Система керування має підтримувати задану за технологічними параметрами температуру -36...-12 °С в зоні заморожування/розморожування риби у камері Frios Winter SF-2300. Таким чином система керування має два канали керування:

– «діаметр термостатично-регульованого клапана (ТРК) → температура випарника»;

– «тиск компресора → температура випарника».

Роботою камерою шоквої заморозки Frios Winter SF-2300 керує автоматичний регулюючий прилад, який має автоматично підтримувати вихідні параметри за усіма каналами керування.

За технічними вимогами до технологічного процесу необхідно вимірювати температуру у випарнику у діапазоні -36...-12 °С, радіаторі –

діапазон $5...80\text{ }^{\circ}\text{C}$, навколишньому середовищі – діапазон $5...+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, для чого було використано однаковий тип датчика температури, що охоплює необхідний діапазон вимірювання $-36...80\text{ }^{\circ}\text{C}$, модель Т.ХА-420-Кл1-1 (рис. 1.7) та має межі вимірювання $-50..100\text{ }^{\circ}\text{C}$, з перетворювачем стандартного струмового сигналу $4...20\text{ mA}$.



Рисунок 1.7 – Датчик температури Т.ХА-420-Кл1-1

Для вимірювання ваги продукції на палетах у діапазоні $1\ 200...18\ 000\text{ kg}$ було використано цифровий датчик ваги НВМ С16і3-С3-30t [5]. Датчик ваги НВМ С16і3-С3-30t має стандартний канал зв'язку RS-485 з протоколом MODBUS для підключення до програмованого логічного контролера, та струмовий сигнал $4...20\text{ mA}$.



Рисунок 1.8 – Датчик ваги НВМ С16і3-С3-30t

Для вимірювання тиску фреону у випарнику у діапазоні $0,2...5\text{ bar}$ та фреону з компресору у діапазоні $5...30\text{ bar}$ був використаний датчик тиску серії MBS 3000 з відповідними діапазонами вимірювання (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Датчик тиску серії MBS 3000

Датчик тиску має відповідно два стандартний вихід 4...20 мА для підключення до програмованого логічного контролера [5]

Для приводу компресору у дію використовується асинхронний трифазний електропривід, потужністю 120 кВт. Згідно з завданням, система керування повинна реалізовувати плавне регулювання зміни тиску. Таким чином керування електроприводом повинно бути лінійним (безперервним) – треба забезпечувати пропорційне керування. Для керування електроприводом обрано трифазний частотний перетворювач FRECON FR500A-4T-110G/132P-H, що розрахований на потужність 130,0 кВт з аналоговим входом 4...20 мА, та RS-485 (рис. 2.5) [20].



Рисунок 1.10 – Частотний перетворювач FRECON FR500A-4T-110G/132P-H

Трифазний двигун вентилятора охолодження радіатора потужністю 12 кВт має дискретний тип керування. Тому для його управління використаємо трифазне твердотільне реле змінного струму Jotta SSR 25DA, 480 В змінного струму, з керуванням 0...10 В постійної напруги, яке будемо використовувати у дискретному режимі керування [5].

Для узгодження роботи обладнання системи керування камерою шокової заморозки Frios Winter SF-2300, було вибрано програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33 з модулями аналогового вводу та дискретного виводу.

Для системи керування камерою шокової заморозки Frios Winter SF-2300 в кваліфікаційній роботі бакалавра були розроблені функціональна

схема автоматизації, яка наведена на рисунку 1.11 та схема електрична принципова, рисунок 1.12.

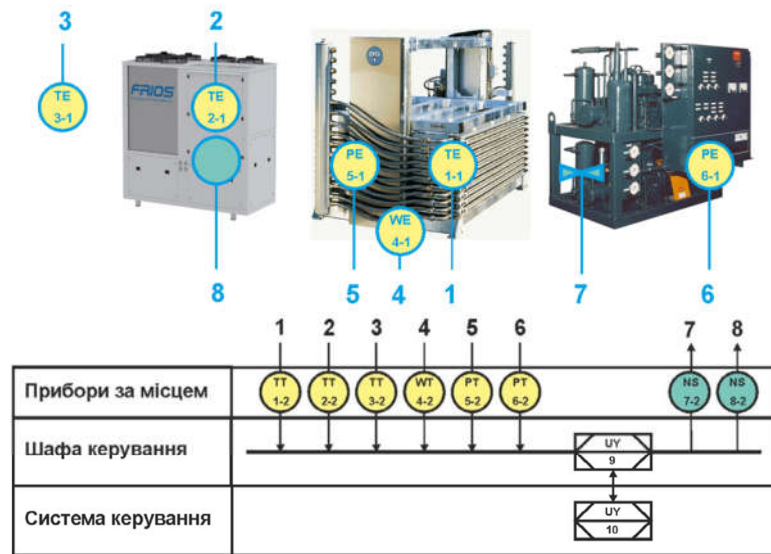


Рисунок 1.11 – Функціональна схема автоматизації системи керування камерою шокової заморозки Frios Winter SF-2300

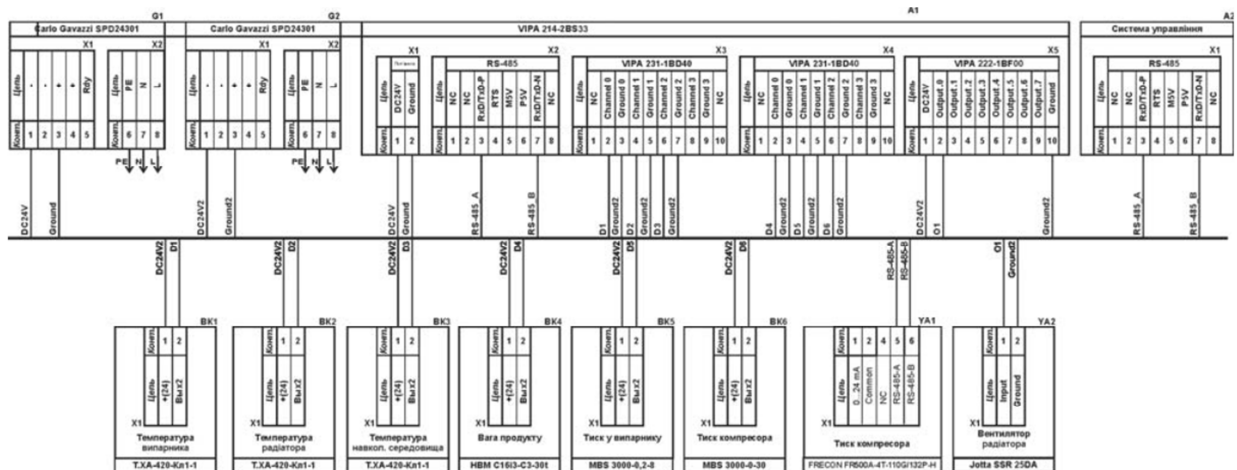


Рисунок 1.12 – Схема електрична принципова системи керування

1.5 Формулювання задач дослідження

Метою кваліфікаційної роботи магістра є покращення ефективності роботи камерою шокової заморозки та синтезу системи керування температурою випарника за рахунок зміни тиску компресора холодильної машини.

Мета роботи реалізується через розв'язання таких наукових задач:
аналіз технологічного процесу заморожування риби;

розробити комп'ютерну імітаційну модель камери шокової заморозки, як об'єкта керування;

дослідити залежність між технологічними параметрами камери шокової заморозки за допомогою імітаційної моделі та визначити параметри регулятора для системи керування;

синтезувати систему керування температурою випарника для підвищення ефективності роботи камери шокової заморозки.

1.6 Висновки по розділу

В розділі виконано:

аналіз проблем в риболовній промисловості;

розглянуто технологічний процес заморожування риби, як метод збереження органолептичних якостей продукту;

розглянуто особливості роботи камери шокової заморозки та представлено технічні засоби автоматизації, використані при проектуванні системи керування процесом заморожування риби.

Окреслено напрямок підвищення ефективності процесу керування температурою випарника за рахунок зміни тиску компресора холодильної машини та запропоновано виконати синтез системи керування.

2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Модель об'єкта керування

У кваліфікаційній роботі [5], в якості об'єкту керування, обрана камера шокової заморозки Frios Winter SF-2300 з метою побудови системи керування за обраним каналом «тиск компресора → температура випарника».

Холодоагент під тиском 5...26 бар, в залежності від необхідної температури у випарнику, через дросельний отвір (капілярний або ТРК) надходить у випарник, де через різке зниження тиску рідина випаровується і перетворює її в пару. При цьому холодоагент бере тепло з внутрішніх стінок випарника, за рахунок чого охолоджується внутрішній простір холодильної камери [5].

Номінальний режим температури в зоні заморожування для плиткового апарату з технологічного обладнання Frios Winter SF-2300 може бути в діапазоні $-35...-12^{\circ}\text{C}$, що залежить від технологічної карти зберігання конкретного продукту [5].

Таким чином, попередньо можна стверджувати, що тиск фреону з компресора у 5 бар створе охолодження у випарнику у -12°C , а відповідно тиск бар – температуру -35°C .

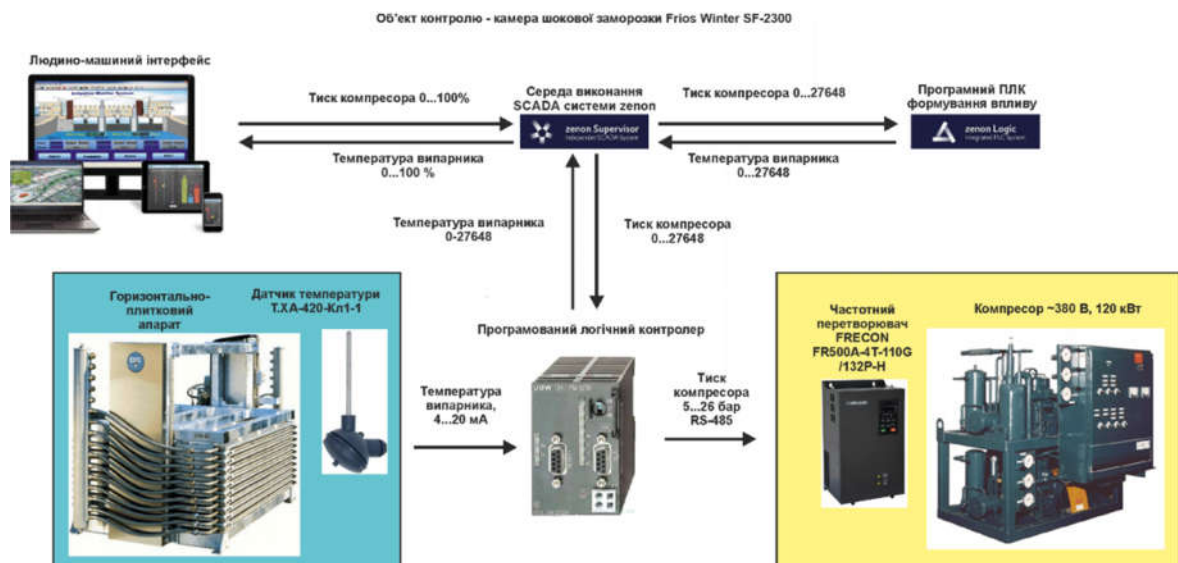


Рисунок 2.1 – Система дослідження роботи камери шокової заморозки

З огляду на вище сказане, для визначення параметрів в моделі об'єкту керування за керуючий вплив обрано перепад тиск з компресора, а дійсним значенням - температура у камері шокової заморозки (опосередковано через температуру випарника) [5].

Згідно зі структурною схемою, система дослідження може формувати керуючий вплив, в якості якого виступає перепад тиск компресора у межах діапазону 5...26 бар(кг/см²), тобто фактичне регулювання здійснюється у діапазоні 0...21 бар(кг/см²) (0...100 %), за рахунок якого виконується охолодження випарника [5].

Можливий діапазон температур випарника -35...-12°C.

Програмований логічний контролер виконує керування активним експериментом з метою отримання необхідних даних для побудови математичної моделі камери шокової заморозки Frios Winter SF-2300 за обраним каналом - «тиск компресора → температура випарника» [5].

Зв'язок між програмованим логічним контролером та персональним комп'ютером зі SCADA системою zenon також реалізується за допомогою інтерфейсу RS-485.

В процесі ідентифікації камери шокової заморозки, як об'єкта керування, що виконувалась методом активного експерименту, була отримана наступна інформація: динамічна характеристика, данні для побудови статичної характеристики, реакція об'єкту на П-подібний керуючий вплив, перевірочні данні [5].

Динамічна характеристика об'єкта була отримана наступним чином: систему дослідження перевели до початкового стану - керуючий сигнал 0 бар (0 %). Після досягнення усталеного режиму – температура -12 °C, керуючий сигнал було встановлено на 21 бар (100 %) [5]. Після досягнення усталеного режиму – кінцевої температури -36 °C експеримент було закінчено (рис 2.2).

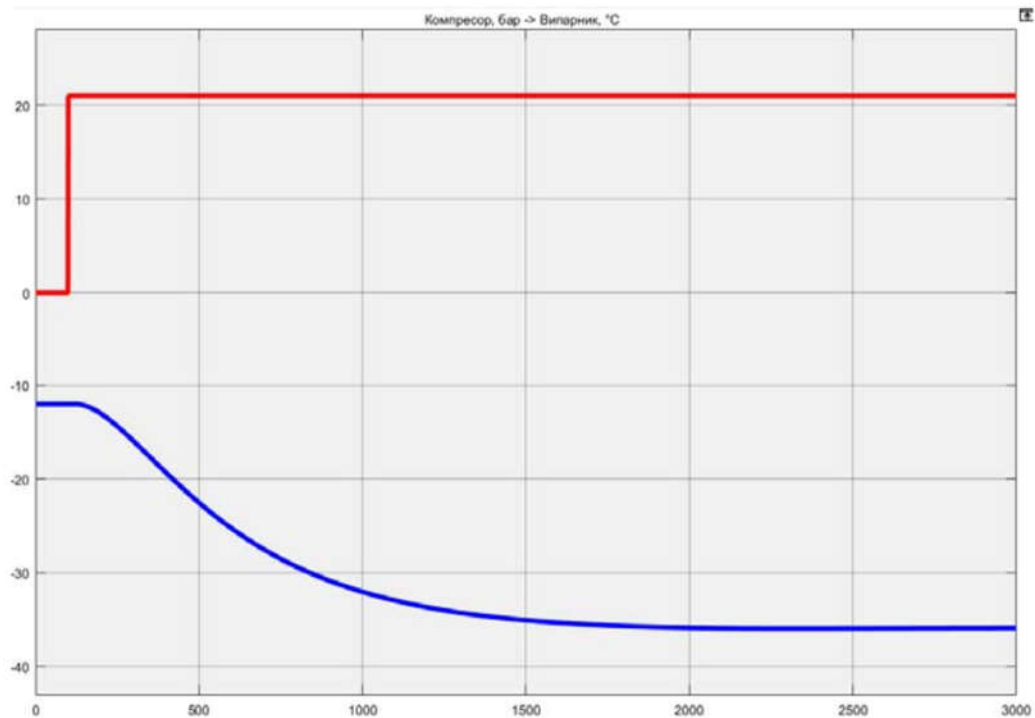


Рисунок 2.2 – Динамічна характеристика [5]

Далі, подібним чином, послідовно змінюючи керуючий вплив, було отримано дані для побудови статичної характеристики (рис. 2.3).

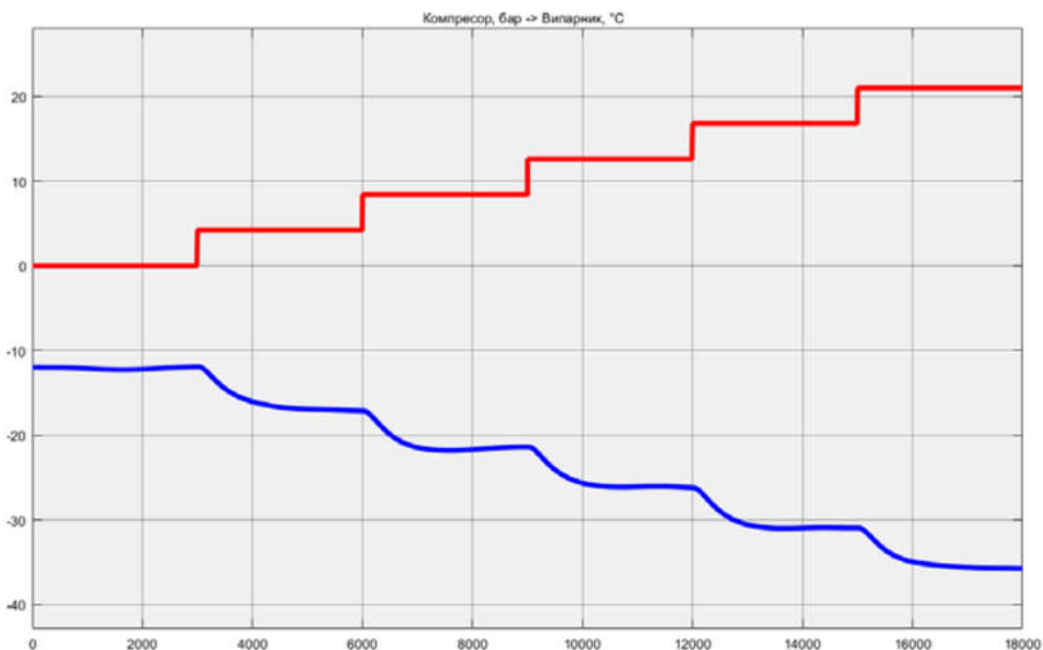


Рисунок 2.3 – Дані для побудови статичної характеристики [5]

Імпульсна характеристика об'єкта керування була отримана при подачі П-подібного впливу зі значенням 21 бар (100 %) та подальшим встановленням 0 після досягнення сталого значення на характеристиці (рис.2.4).

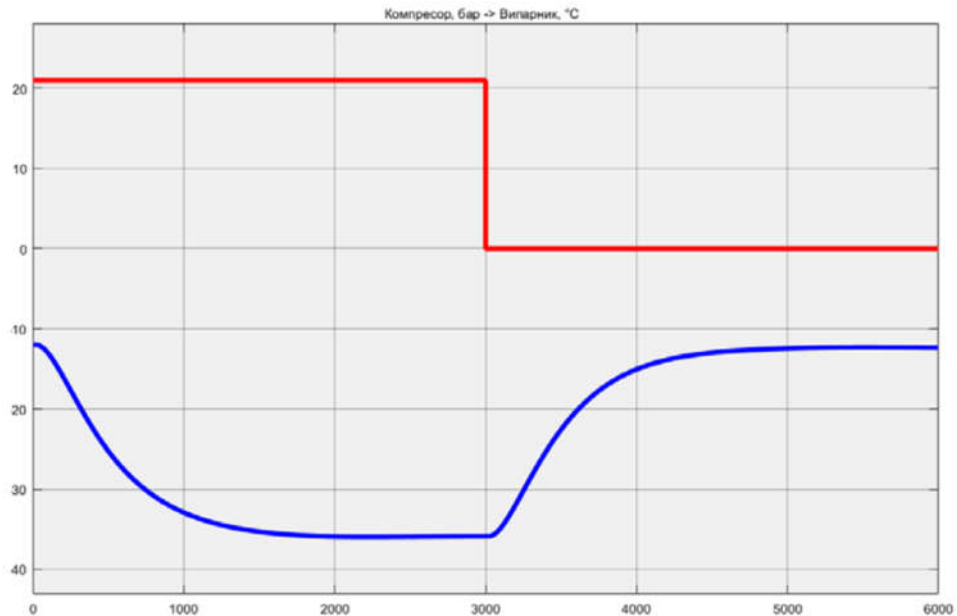


Рисунок 2.4 – Імпульсна (П-подібна) характеристика [5]

Для отримання перевірочних даних (рис.2.5), було встановлено керуючий вплив на значення 0,0 бар (0%). Після досягнення усталеного режиму було встановлено керуючий вплив на випадкову в діапазоні 0,0...21 бар (0...100%), з інтервалом зміни близько 100 с, а сама реєстрація відбувалася протягом 22000 с [5].

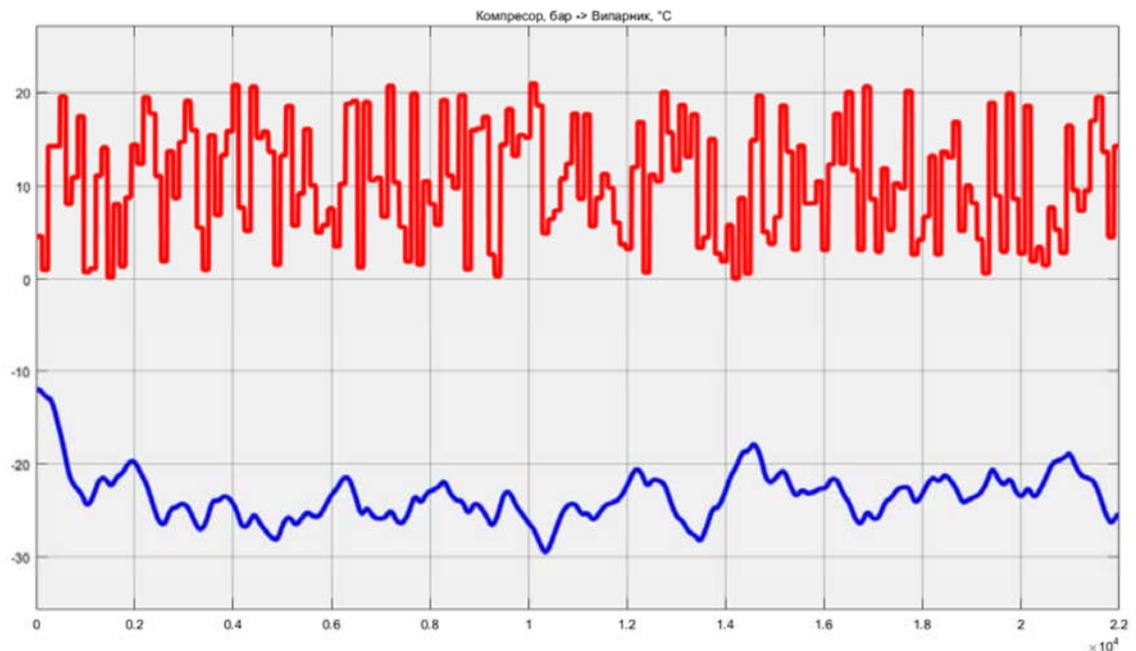


Рисунок 2.5 – Перевірочні дані [5]

Виконавши аналіз отриманих характеристик було зроблено наступні висновки:

об'єкт має запізнення ≈ 25 с, що обумовлено інерційністю датчика температури;

модель об'єкта керування може бути представлена аперіодичною ланкою другого чи вищого порядку із запізненням;

статична характеристика є лінійною у всьому діапазоні дослідження і об'єкт керування також є лінійним;

на підставі аналізу реакції об'єкту на П-подібний вплив зробили висновок, що об'єкт не має інтегруючих властивостей і є об'єктом з самовирівнюванням.

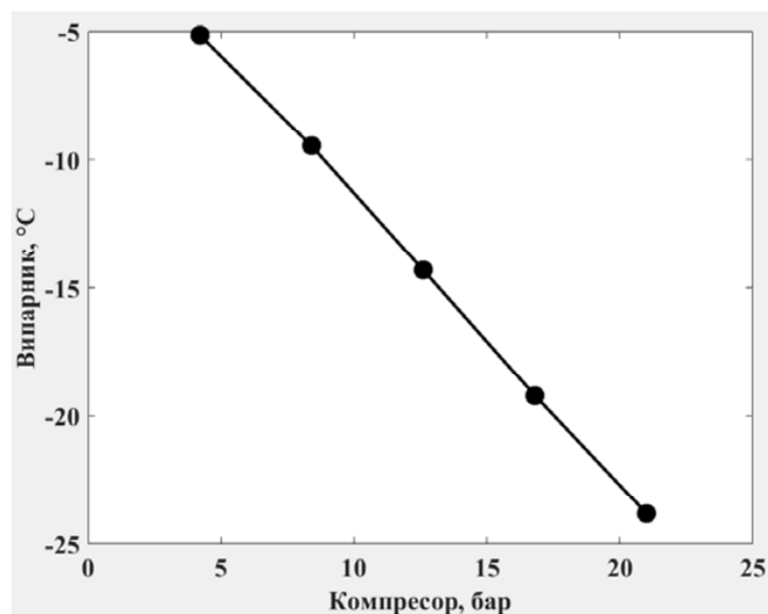


Рисунок 2.6 – Статична характеристика об'єкта керування [5]

Таким чином, дослідження об'єкта керування – камери шокової заморозки [5] показало що йому найбільше відповідає модель у вигляді передатної функції другого порядку із запізненням (рис.2.7). Результат моделювання об'єкта у ППП MATLAB представлено на рисунку 2.8.

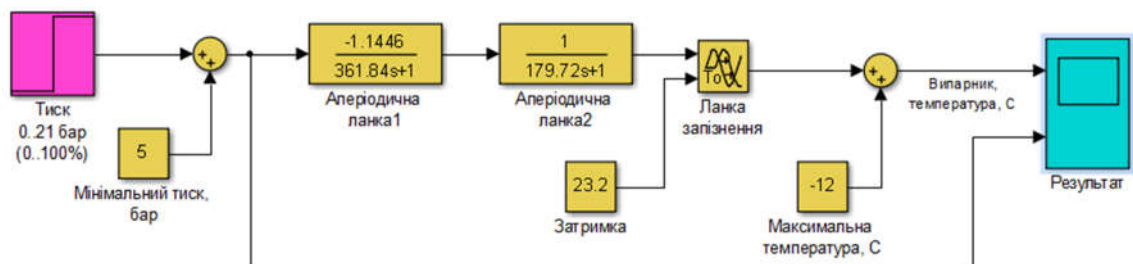


Рисунок 2.7 – Комп'ютерна імітаційна модель камери шокової заморозки [5]

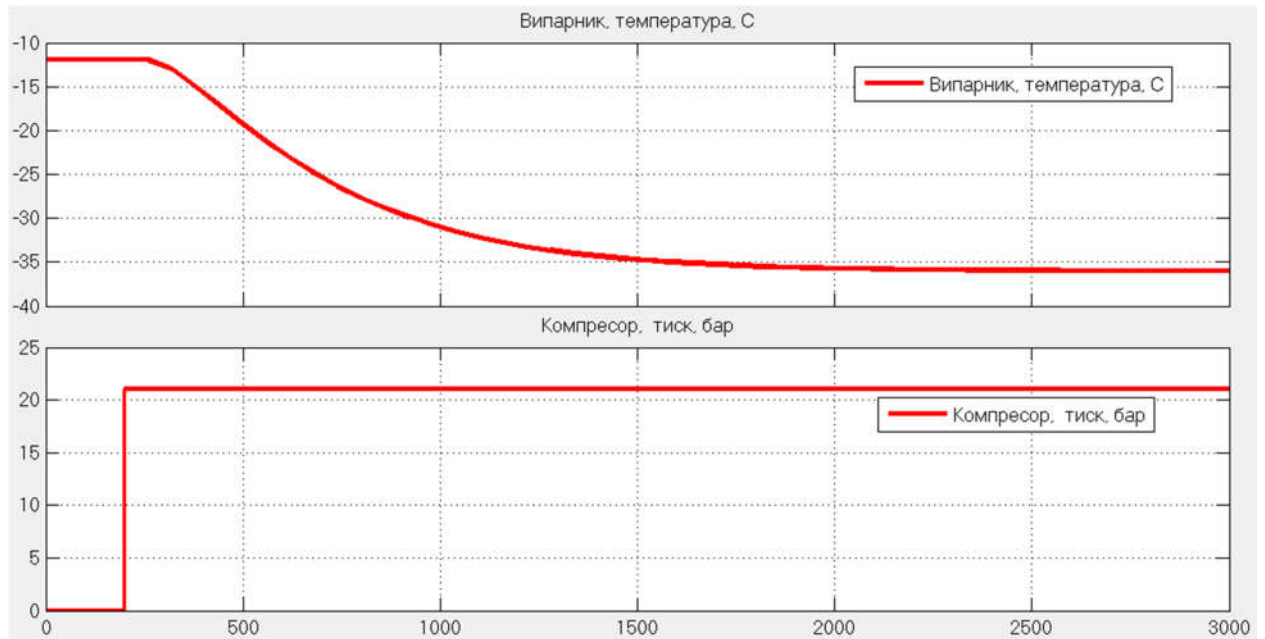


Рисунок 2.8 – Результат моделювання об'єкта у ППП MATLAB [5]

2.2 Критерії якості функціонування системи керування

Аналіз результатів отриманих при ідентифікації камери шокової заморозки, як об'єкту керування, показав, що під час роботи камери випадковим чином змінюється температура. Для камери збуренням є зміна коефіцієнта теплопередачі, що впливає на коефіцієнт підсилення у передатній функції [5].

З огляду на опис технологічного процесу заморожування риби в камері шокової заморозки, важливим є знаходження температури в межах діапазону $\pm 10\%$ від потрібного значення та досягнення цього значення якомога швидше. Тобто, першим і основним критерієм якості функціонування системи керування є час перехідного процесу, при умові виконання другого критерію - перерегулювання температури не має перевищувати 20%.

Третім критерієм якості функціонування системи керування температурою в камері шокової заморозки є точність керування, тобто відсутність статичної похибки керування.

Зважаючи на згадані критерії якості функціонування системи керування, та отриманої моделі об'єкта керування у вигляді двох аперіодичних ланок 1-го порядку з запізненням, додатково необхідно дослідити систему керування на

робасність. Тобто при дослідженні необхідно збільшити коефіцієнт посилення K та постійну часу T_1 на 10% через можливі зміни тепловідбору.

Використовуючи комп'ютерну імітаційну модель камери шокової заморозки має бути досліджене функціонування системи керування при використанні оптимального регулятора для визначення граничних показників П, ПІ, ПІД регуляторів. ПІ регулятор є кращим рішенням для об'єктів 1-2го порядків з затримкою, а також має здатність компенсувати статичну помилку за її наявності. Проте ПІД регулятор може показати кращі результати.

Для дослідження реакції системи керування та визначення параметрів кожного типу регулятора будуть використані наступні методи:

- метод Циглера-Никольса, або ZN (Ziegler-Nichols);
- метод Астера-Хугланда або AMIGO

Метод ZN або метод незагасаючих коливань, застосовний для налаштування систем автоматичного регулювання з об'єктом управління, передатна функція якого задана поліномами довільних ступенів. Згідно з методом спочатку визначаються значення критичного коефіцієнта передачі K_u і постійної критичної часу T_u , при яких система знаходиться на межі стійкості. Перевагою методу Циглера-Никольса є його простота, а основним недоліком – неврахування вимог до запасу стійкості.

Метод AMIGO (Приблизна оптимізація коефіцієнта передачі інтегрального регулятора при m -зв'язках) - модифікація формули налаштування Циглера-Никольса, що може базуватися на знанні нормалізованого посилення або нормалізованого часу затримки процесу. Ці евристичні уточнення, якщо їх включити, дадуть значне покращення продуктивності автонастроювачів.

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

Існує об'єкт керування - виражений аперіодичною ланкою другого порядку з затримкою з такими параметрами:

$K=1.1446;$

$T1=361.84;$

$T2=179.72;$

$T_{delay}=23.2c.$

Розрахуємо моменти перемикання оптимального регулятора за допомогою пакета MATLAB:

```
%Діапазон розрахунку відповідає більший постійній часу
if (T1 > T2)
    t2=0 : T1 / 1000.0 : T1 * 3;
else
    t2=0 : T2 / 1000.0 : T2 * 3;
end
if (xn < xk)
    U0 = Umax;
    U1 = Umin;
    fprintf('Виконується збільшення дійсного значення \n\n')
else
    U0 = Umin;
    U1 = Umax;
    fprintf('Виконується зменшення дійсного значення \n\n')
end
%Розрахунок двох кривих точка перетину яких дає час комутації
ft1 = T1 * log(((xk - K * U1) * exp (t2 / T1) - (xn - K * U0)) / (K * (U0 - U1)));
ft2 = T2 * log(((xk - K * U1) * exp (t2 / T2) - (xn - K * U0)) / (K * (U0 - U1)));
%Розрахунок часу комутації
TI = 0;
TU1 = 0;
TU2 = 0;
for i=2:size(ft1, 2) - 1
    if (ft1(i) > ft2(i - 1) && ft1(i) < ft2(i + 1))
        TU1 = TU1 + ft1(i) + ft2(i);
        TU2 = TU2 + t2(i);
        TI = TI + 1;
    end
end
TU1 = TU1 / TI / 2;
TU2 = TU2 / TI;
U2 = xk / K;
%Результат
fprintf('u0 = %f, u1 = %f, u = %f, t1 = %f, t2 = %f\n\n', U0, U1, U2, TU1, TU2)
```


В результаті розрахунку було отримано наступні параметри:

$u_0 = 21.000000$, $u_1 = 0.000000$, $u = 10.726018$, $t_1 = 494.844233$, $t_2 = 600.835320$

```
%Візуалізація характеристик
figure_handle = findobj('Tag', 'Tag_Pontryagin_Figure');
if (ishandle(figure_handle))
    close(figure_handle);
end
figure('Name', 'Часові характеристики', 'Tag',
'Tag_PontryaginMaximumPerformance_Figure');
if (xn < xk)
    plot(ft1, t2);hold all;plot(ft2, t2);hold off;figure(gcf);
else
    plot(ft2, t2);hold all;plot(ft1, t2);hold off;figure(gcf);
end
xlabel('t2, c');
ylabel('t1, c');
```

Візуалізація результатів розрахунку часу перемикання керуючого впливу представлено на рисунку 2.9.

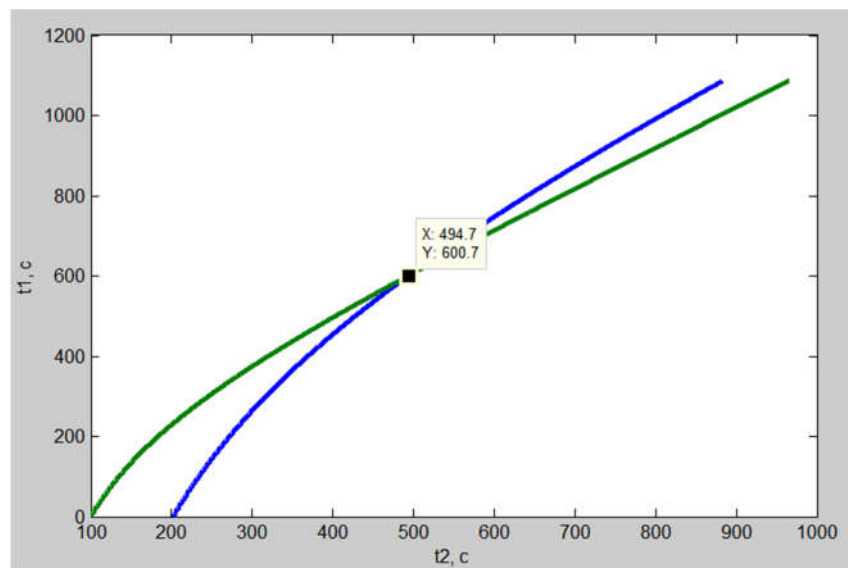


Рисунок 2.9 – Результат часу перемикання керуючого впливу

З огляду на отриманий результат розрахунку, у середовищі MATLAB/Simulink створимо імітаційну модель (рис. 2.9) та 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 – тиску, створюваному компресором 10,726 бар. Отриманий результат моделювання представлений на рисунку 2.10.

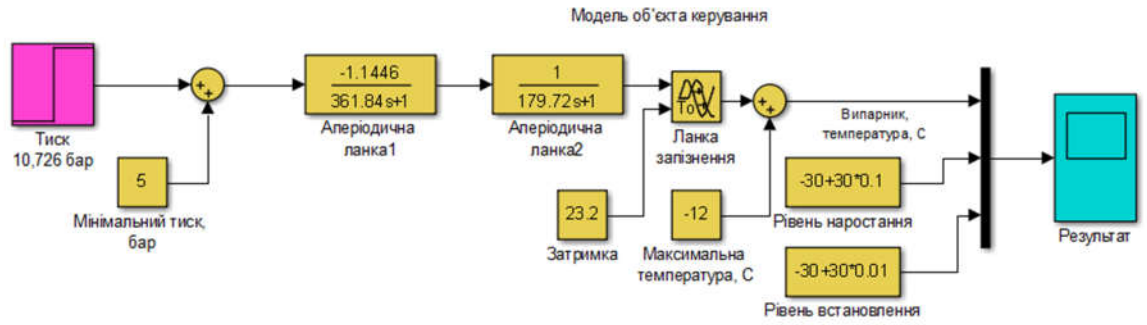


Рисунок 2.10 – Імітаційна модель для визначення максимального часу наростання та встановлення

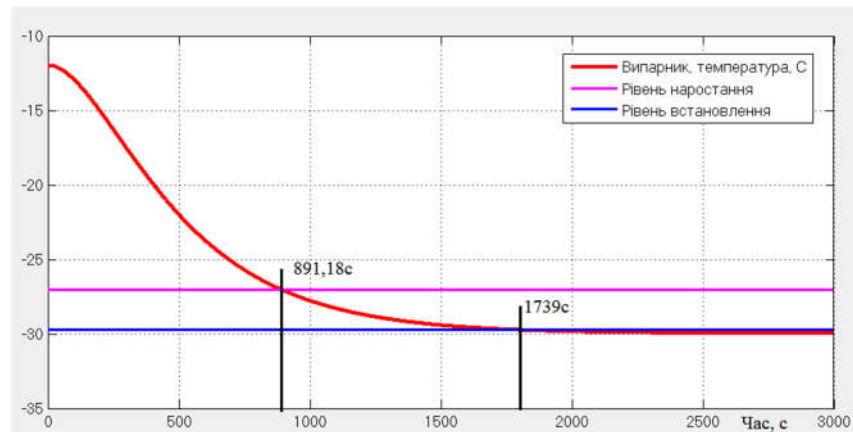


Рисунок 2.11 – Результати моделювання

Подібним чином отримаємо результат при використанні оптимального регулятора (рис. 2.12, 2.13). Спочатку подаємо керуючий вплив - тиск 21 бар, через 494.844с зупинимо подачу керуючого впливу та через 600.835 секунди після початку експерименту встановимо тиск, 10,726 бар.



Рисунок 2.12 – Імітаційна модель для визначення мінімального часу наростання та встановлення (оптимальний регулятор)

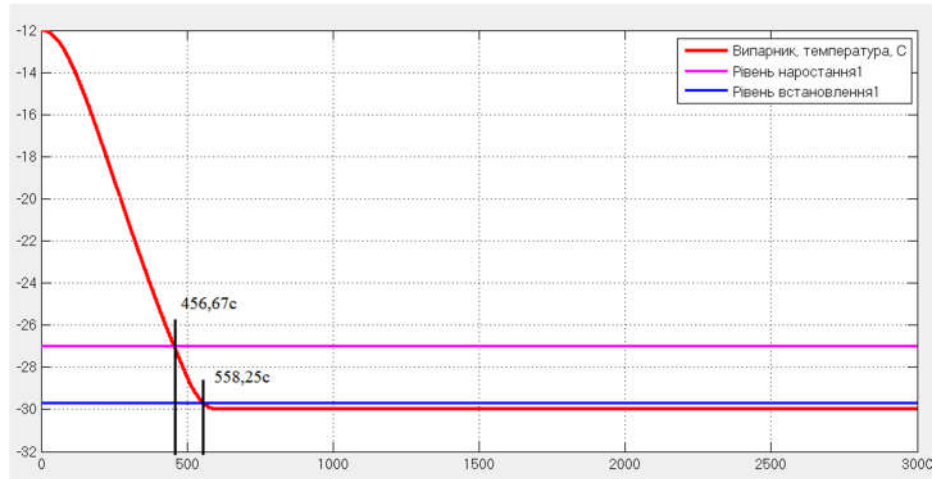


Рисунок 2.13 – Результати моделювання

Отримали наступні результати моделювання:

T_{\max} наростання = 891,18 с, T_{\min} наростання = 456,67 с,

T_{\max} встановлення = 1739 с, T_{\min} встановлення = 558,25 с.

Перерегулювання відсутнє.

2.3 Синтез системи керування

2.3.1 Модель системи керування

Систему автоматичного керування (САК) температурою випарника камери шоквої заморозки можна представити структурною схемою (рис. 2.13), що складається з імітаційної моделі об'єкта керування, датчика температури випарника та привода компресора разом з перетворювачем частоти, а також імітаційної моделі регулятора.

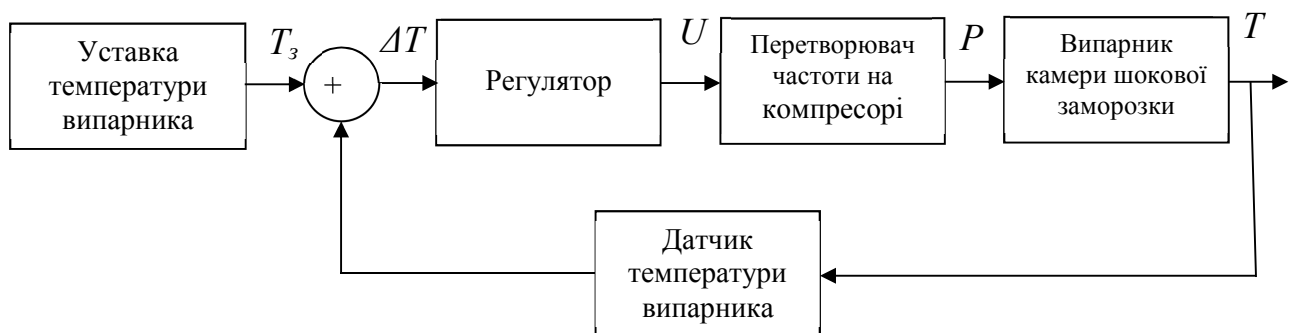


Рисунок 2.13 – Структурна схема САК температурою випарника камери шоквої заморозки

На рис.2.13 прийняті такі позначення: T_3 – уставка температури випарника, °С; T – поточна температура випарника, °С; ΔT – відхилення

поточної температури від уставки, °C; U – сигнал керування на перетворювач частоти привода компресора, В; P – тиск, створюваний компресором, бар.

На основі аналізу роботи випарника камери шокової заморозки можна зробити висновок щодо інерційності об'єкта, тобто зміна температури випарника від одного значення на інше відбувається приблизно за 1739 секунд. При цьому, зміна тиску на виході компресора від 5 до 26 бар триває 20с. Тому, з огляду на те, що зміна температури випарника відбувається майже в 90 разів повільніше, то інерційністю компресора можна знехтувати. Датчик температури випарника, також не має суттєвої інерційності, бо швидкість оновлення сигналу не перевищує декілька секунд.

За результатами кваліфікаційної роботи бакалавра була визначена передаточна функція камери шокової заморозки Frios Winter SF-2300 за обраним каналом – «тиск компресора → температура випарника»:

$$W_{\text{ок}}(s) = \frac{-1,1446}{(361,84 \cdot s + 1)} \cdot \frac{1}{(179,72 \cdot s + 1)} e^{-23,2s},$$

де s – оператор Лапласа.

При повній потужності компресора температура випарника камери шокової заморозки може сягати -36°C . Мінімальний керуючий сигнал на перетворювач частоти привода компресора подається через інтерфейс RS485 та відповідає потужності компресора, при якій створюється тиск на рівні 5 бар. При цьому температура випарника знаходиться на рівні -12°C . Максимальний керуючий сигнал на перетворювач частоти привода компресора відповідає повній потужності компресора, при якій створюється тиск на рівні 26 бар. Датчик температури, що встановлений на випарнику, має діапазон $-50..100^{\circ}\text{C}$ (вихід датчика відповідно $4\div 20$ мА).

2.3.2 Структура регулятора

Регулятор у системі керування камерою шокової заморозки виконує спостереження за значенням вихідного параметру (дійсним значенням – температурою випарника) об'єкта керування, визначення вхідного параметру

(керуючого впливу – тиску компресора) та формування сигналу на виконавчий пристрій – перетворювач частоти привода компресора.

Для магістерської однією з вимог до функціонування системи автоматичного керування камерою шокової заморозки є підтримка сталої температури випарника на рівні -30°C . Інша важлива вимога – це відсутність статичної помилки. Окремо необхідно забезпечити монотонний характер зміни температури випарника. Перерегулювання не більше 20 %, відповідно до діапазону зміни температури випарника від $-12\dots-36^{\circ}\text{C}$, становить 5°C .

За результатами досліджень у бакалаврській роботі встановлено, що випарник камерою шокової заморозки є лінійним об'єктом, структурно стійкий та самовирівнюваним і для об'єкта керування були отримані постійні часу ($361,84\text{с}$ та $179,72\text{с}$) та час запізнення ($T_d=23,2\text{с}$). Тобто, співвідношення T_d/T складає $23,2/(361,84*179,72)=0,00035$.

З огляду на співвідношення T_d/T , у системі керування температурою випарника камери шокової заморозки можна використати ПІД-регулятор або його різновиди П- та ІІ- регулятори.

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

Випарник камерою шокової заморозки відповідає моделі у вигляді аперіодичної ланки 1-го порядку з запізненням, що має такі параметри:

$$K = 1,140, T = 494,842, \tau = 92,783$$

Параметри регуляторів, визначені за методом ZN:

Для пропорційного (П) регулятора

$$K_p = 4,66$$

Для пропорційно-інтегрального (ІІ) регулятора

$$K_p = 4,194, T_i = 278,350$$

Для пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора

$$K_p = 5,591, T_i = 185,567, T_d = 46,392, N = 10,000$$

Таблиця 2.1 – Параметри регуляторів, визначені за методом ZN

	Kp	Ti	Td=Kd	Tf	N
П	4,66				
ПІ	4,194	278,350			
ПІД	5,591	185,567	46,392	4,639	10

Параметри регуляторів, визначені за методом AMIGO:

Для П-регулятора

$$K_p = 1,398$$

Для ПІ-регулятора

$$K_p = 1,142, T_i = 377,482$$

Для ПІД-регулятора

$$K_p = 2,272, T_i = 282,383, T_d = 43,921, N = 10.000$$

Таблиця 2.2 – Параметри регуляторів, визначені за методом AMIGO

	Kp	Ti	Td=Kd	Tf	N
П	1,398				
ПІ	1,142	377,482			
ПІД	2,272	282,383	43,921	4,392	10

Використовуючи параметри регуляторів, визначені за методами ZN та AMIGO, синтезуємо імітаційні моделі системи керування температурою випарника камери шокової заморозки у середовищі Simulink ППІ MATLAB. Перевіримо та порівняємо роботу імітаційних моделей системи керування.

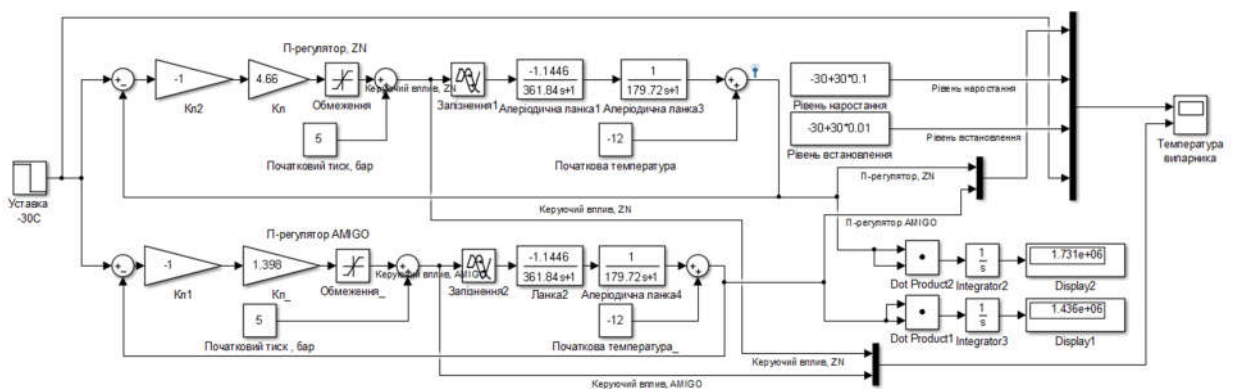


Рисунок 2.14 – Імітаційні моделі системи керування температурою випарника камери шокової заморозки з П-регулятором

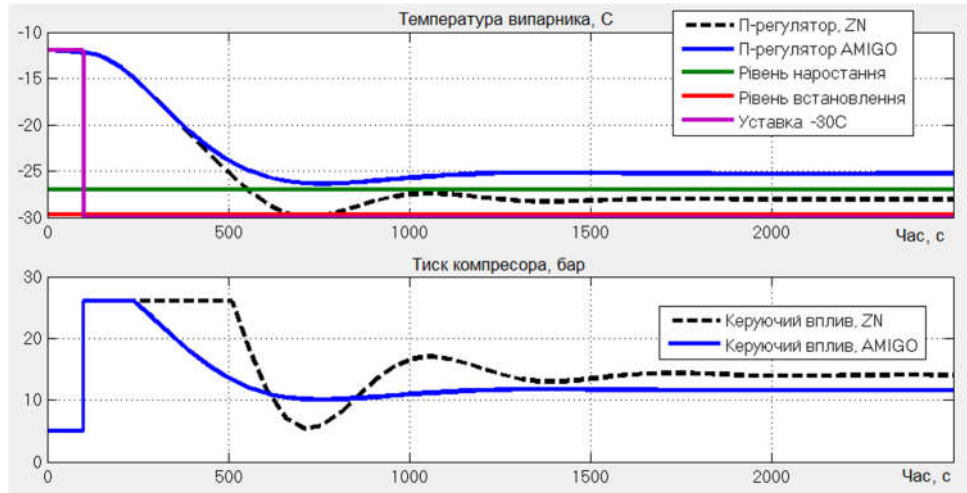


Рисунок 2.15 – Графіки перехідних процесів імітаційного моделювання з П-регулятором

Таблиця 2.3 – Критерії оцінки функціонування П-регулятора

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка ×10 ⁶
		с	%	с	%	°С	%	
1	ZN	553		678,2		-	-	1,731
2	AMIGO	-	-	-	-	-	-	1,436

З огляду на отримані результати, що показують статичну помилку: для методу ZN близько 27%, для AMIGO 11%, то П-регулятор не задовольняє вимоги до системи керування.

Дослідимо системи керування з ПІ-регулятором, інтегруюча складова якого дає можливість зменшити/усунути статичну помилку.

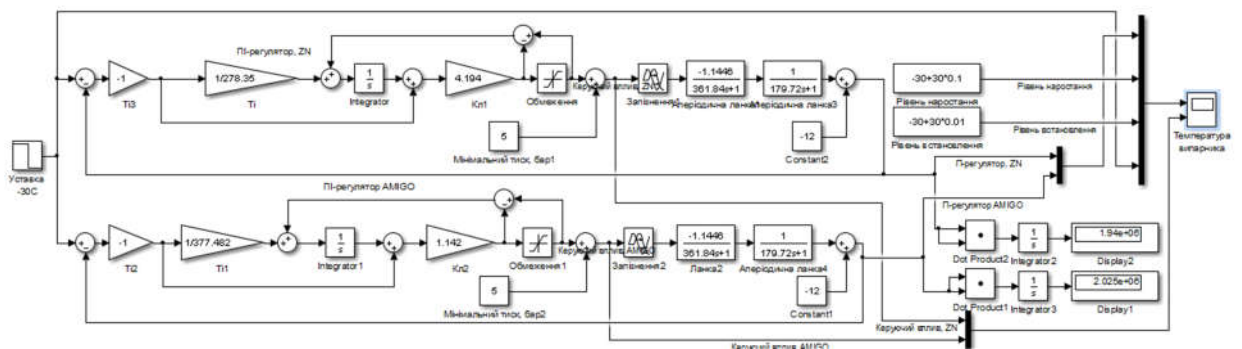


Рисунок 2.16 – Імітаційні моделі системи керування температурою випарника камери шоквої заморозки з ПІ-регулятором

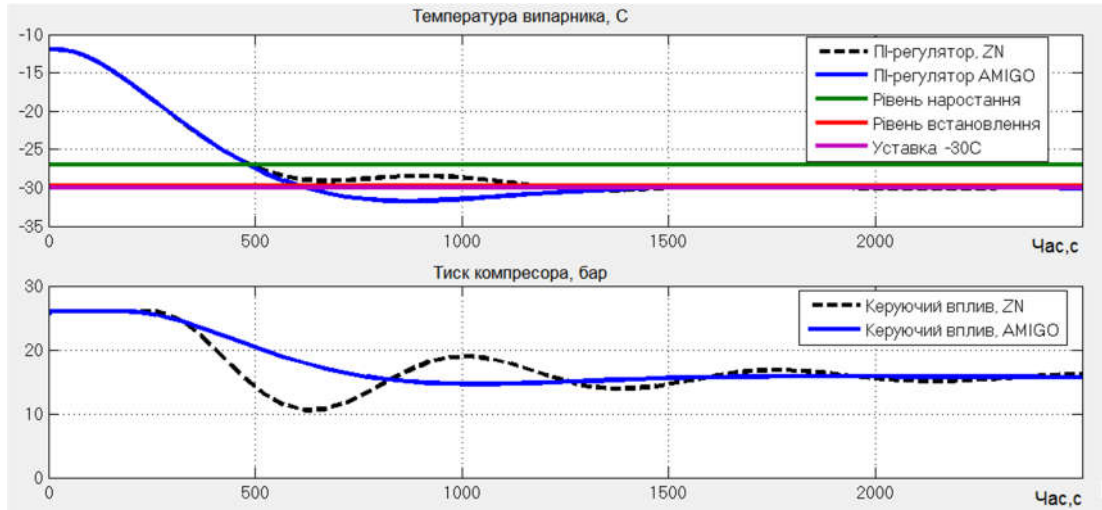


Рисунок 2.17 – Графіки перехідних процесів імітаційного моделювання з ПІ-регулятором

Таблиця 2.4 – Критерії оцінки функціонування ПІ-регулятора

№	Метод	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка $\times 10^6$
		с	%	с	%	°C	%	
1	ZN	487,9		1223,5		-	-	1,94
2	AMIGO	483,4	-	602,4	-	1,72	-	2,025

Отримані результати показали, що система керування з ПІ-регулятором цілком виконує свої функції згідно вимог. Перерегулювання за методом ZN відсутнє, а за методом AMIGO становить менше 8%. Покращити показники можна за рахунок ручного налаштування параметрів регулятора.

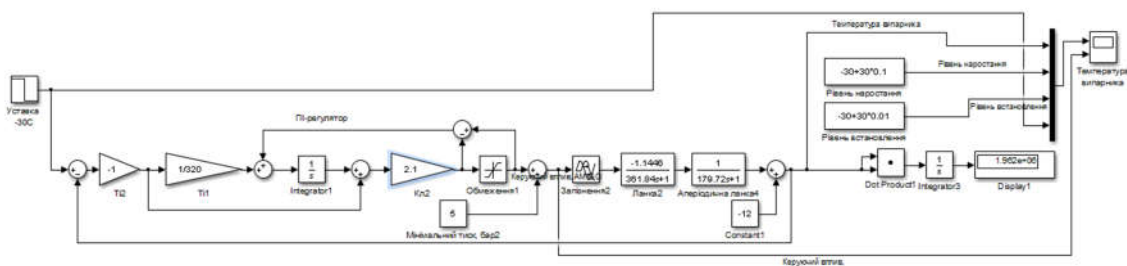


Рисунок 2.18 – Імітаційна модель системи керування після додаткових налаштувань

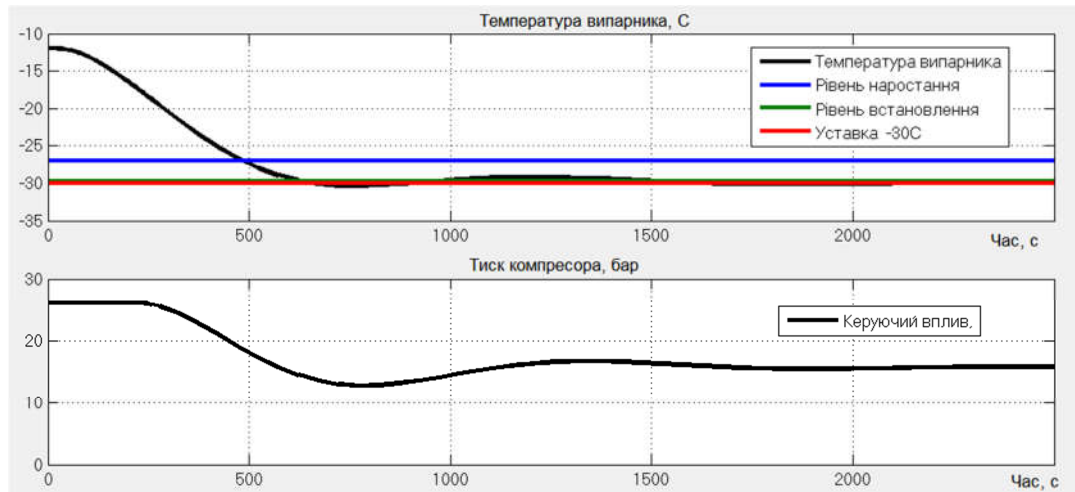


Рисунок 2.19 – Графік перехідного процесу імітаційного моделювання після додаткових налаштувань

Таблиця 2.6 – Критерії оцінки ПІД-регулятора

Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
с	%	с	%	°С	%	10^6
484,1		627,5		0,37	-	1,962

Результати моделювання системи керування із скорегованими власноруч параметрами регулятора показали більш прийнятний результат з погляду перерегулювання, але з незначним погіршенням часу встановлення. Для подальших досліджень будемо використовувати ПІ-регулятор з отриманими параметрами:

$$K_p=2,1, T_i=320$$

2.3.3 Оцінка якості функціонування системи керування

Для подальших досліджень використаємо модель системи керування, що представлена на рисунку 2.18.

Перевіримо роботу системи керування температурою випарника камери шокової заморозки, створюючи імітацію змін умов роботи обладнання.

Перевіримо систему керування на робастність та реакцію на зовнішнє збурення.

Зміни в умовах роботи виникають через обмерзання обрешітки випарника, впливаючи на коефіцієнт теплопередачі. Зовнішнім збуренням є

потрапляння зовнішнього повітря в камеру або додавання продукту (палети з рибою на заморожування).

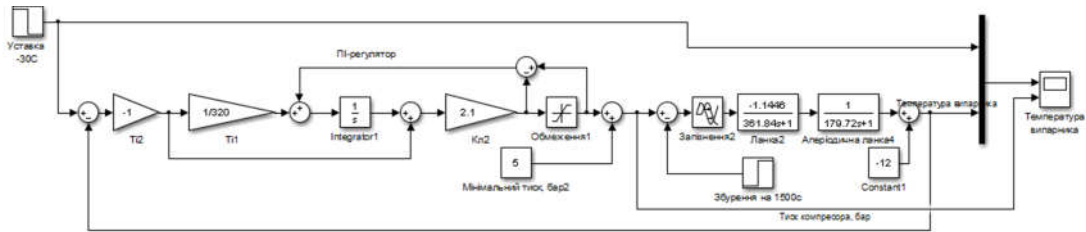


Рисунок 2.20 – Перевірка роботи системи керування при появі збурення

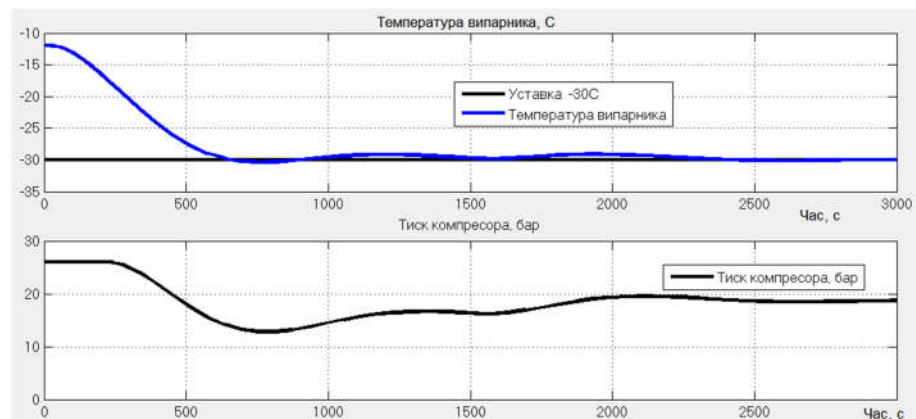


Рисунок 2.21 – Результати перевірки при появі збурення

Перевірка реакції системи керування температурою випарника камери шоквої заморозки на збурення була виконана шляхом додавання впливу збурення на вхід об'єкта на 1500с після запуску моделювання роботи системи керування, тобто після завершення перехідного процесу. Результати перевірки (рис. 2.21) свідчать, що наявність збурення компенсується системою шляхом збільшення керуючого впливу і система продовжує виконання своїх функцій.

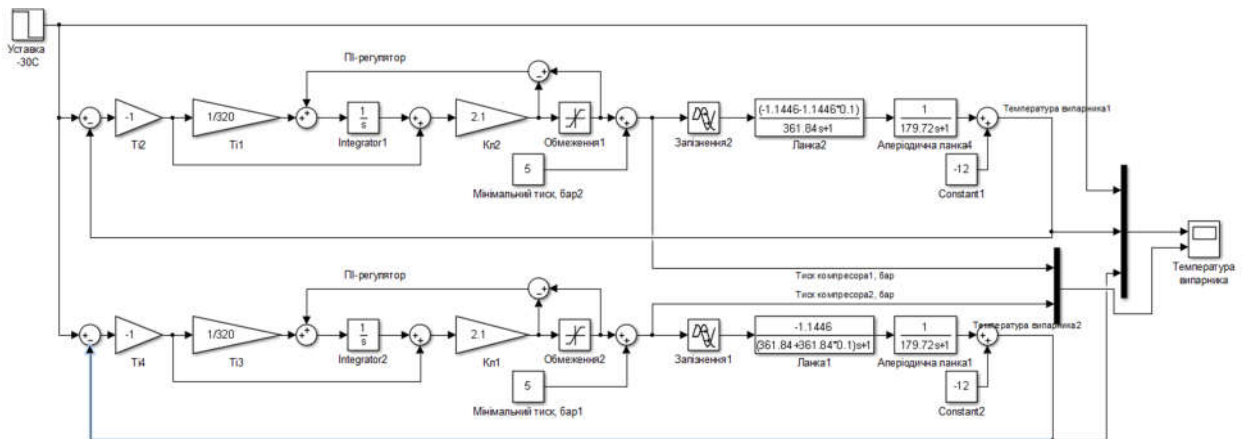


Рисунок 2.22 – Перевірка системи на робастність

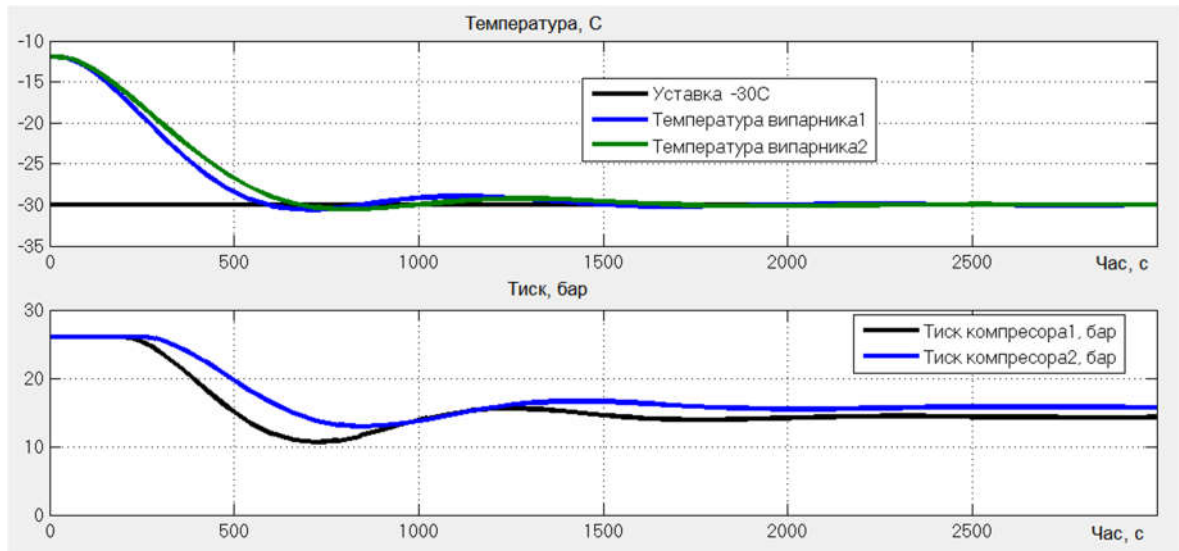


Рисунок 2.22 – Результати перевірки системи на робастність

Для того, щоб виконати перевірку моделі систем керування на робастність параметри об'єкта змінили наступним чином: у першому випадку коефіцієнт підсилення K зменшили на 10%, у другому – збільшили постійну часу T_1 на 10%. Результати перевірки (рис. 2.22) свідчать, що при подібних змінах система буде виконувати відповідні функції згідно до висунутих вимог.

Проведемо дослідження для визначення наявності залежності між значеннями параметрів регулятора K_p та T_i ($K_i=1/T_i$) та їх вплив на якість роботи системи керування.

Зміну значень інтегральної постійної часу T_i та пропорційного коефіцієнта підсилення K_p встановимо на рівні на $\pm 50\%$ від визначених у попередніх розрахунках.

Таблиця 2.7 – Дані для побудови залежності критеріїв якості від зміни T_i при $K_p = 2.1$ (початкове значення)

T_i при $K_p = 2.1$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
160	160	470,5	3,18	560	0,15	-2,5
240	240	473,7	3,92	578	1,67	-1,5
320	320	484	6,29	627,5	5,86	-0,37
400	400	503	10,66	1555	84,42	0
480	480	531	17,11	1800	105,17	0

Таблиця 2.8 – Дані для побудови залежності критеріїв якості від зміни T_i при $K_p = 1.0$

T_i при $K_p = 1.5$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
160	471,60	3,44	559,40	0,10	-4,10	22,78
240	474,10	4,01	567,60	0,79	-3,40	18,89
320	479,00	5,14	582,30	2,04	-2,70	15,00
400	487,50	7,10	604,60	3,93	-2,00	11,11
480	497,80	9,47	632,30	6,27	-1,40	7,78

Таблиця 2.9 – Дані для побудови залежності критеріїв якості від зміни T_i при $K_p = 3.0$

T_i при $K_p = 3.0$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
160	470,50	3,18	562,10	0,33	-1,80	10,00
240	474,90	4,20	590,00	2,69	-0,62	3,44
320	490,40	7,76	1324,00	64,85	0,00	0,00
400	525,00	15,73	1429,00	73,75	0,00	0,00
480	629,00	39,66	2020,00	123,80	0,00	0,00

Використовуючи дані таблиці 2.7-2.9 побуємо графіки зміни критеріїв якості системи керування, від зміни значення інтегральної складової регулятора при зміні $K_p=1,0\div 3,0$.

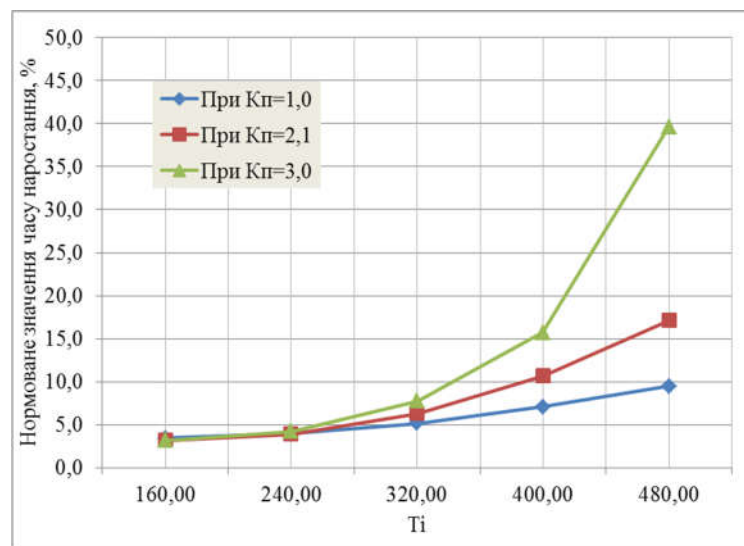
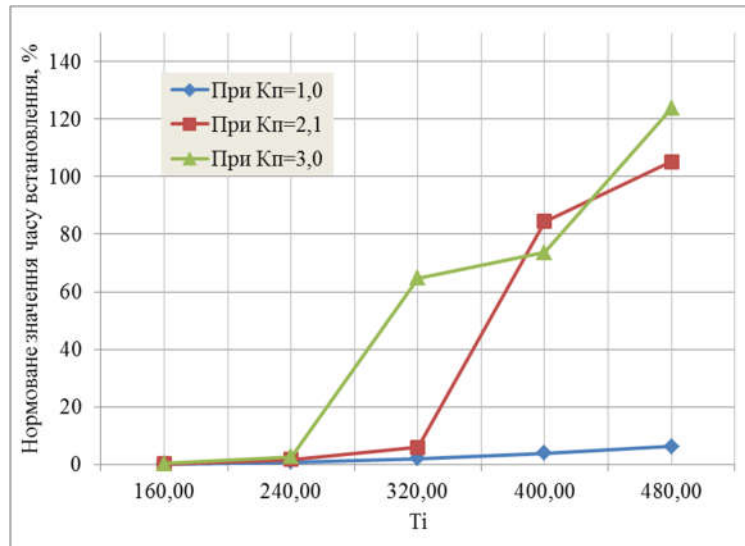
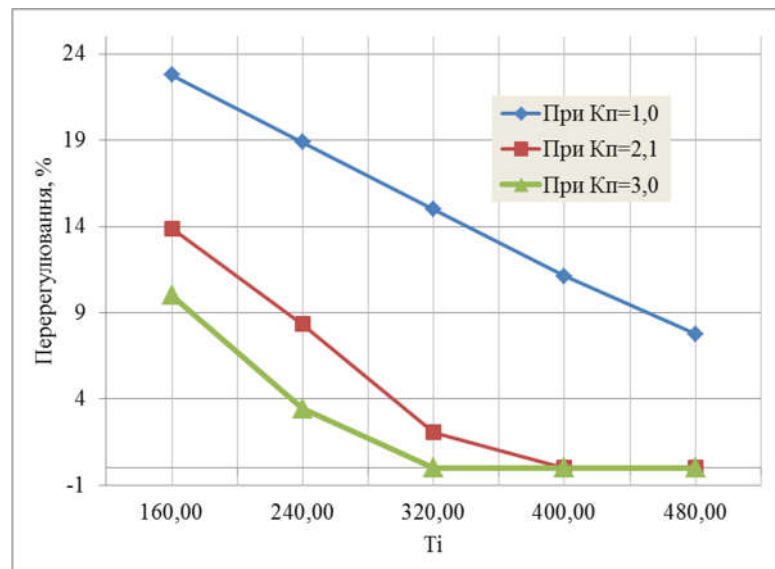


Рисунок 2.16 – Вплив зміни T_i на час наростання

Рисунок 2.17 – Вплив зміни T_i на час встановленняРисунок 2.18 – Вплив зміни T_i на значення перерегулювання

Таблиця 2.10 – Дані для побудови залежності критеріїв якості від зміни K_p при $T_i = 320$

Кп при $T_i=320$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
1,2	477,80	4,86	586,30	2,38	-2,10	11,67
1,4	478,90	5,12	592,80	2,93	-1,60	8,89
1,6	480,10	5,39	601,50	3,66	-1,20	6,67
1,8	481,00	5,60	610,00	4,38	-0,85	4,72
2,0	483,50	6,17	620,50	5,27	-0,52	2,89

Таблиця 2.11 – Дані для побудови залежності критеріїв якості від зміни K_p при $T_i = 280$

Кп при $T_i=280$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
1,2	474,80	4,17	576,00	1,50	-2,50	13,89
1,4	474,90	4,20	579,30	1,78	-2,07	11,50
1,6	476,20	4,49	584,50	2,22	-1,68	9,33
1,8	476,78	4,63	589,20	2,62	-1,35	7,50
2,0	477,70	4,84	594,20	3,04	-1,05	5,83

Таблиця 2.12 – Дані для побудови залежності критеріїв якості від зміни K_p при $T_i = 360$

Кп при $T_i=360$	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання	
	с	%	с	%	°С	%
1,2	482,10	5,85	598,12	3,38	-1,72	9,56
1,4	484,40	6,38	609,00	4,30	-1,18	6,56
1,6	486,70	6,91	625,50	5,70	-0,73	4,06
1,8	488,80	7,39	642,40	7,13	-0,34	1,89
2,0	491,20	7,95	673,00	9,72	0,00	0,00

Використовуючи дані таблиць 2.10-2.12 побудуємо графіки зміни критеріїв якості системи керування, від зміни значення пропорційної складової регулятора при $T_i = 280 \div 360$.

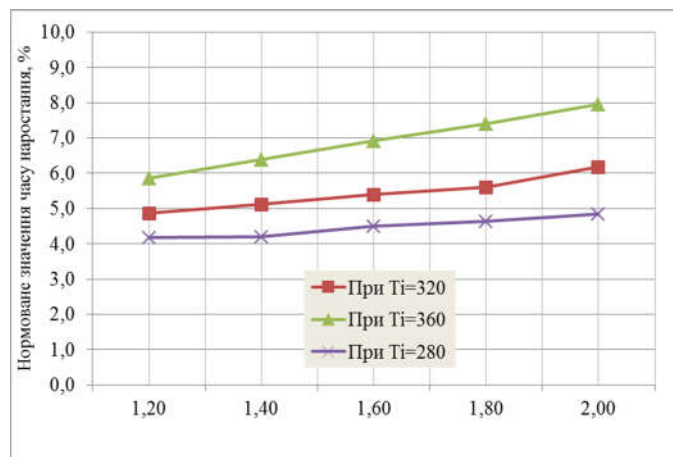


Рисунок 2.19 – Вплив зміни K_p на час наростання

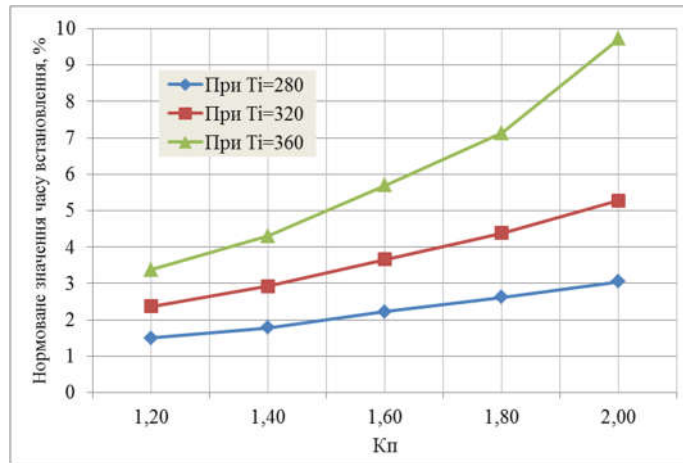


Рисунок 2.20 – Вплив зміни Кп на час встановлення

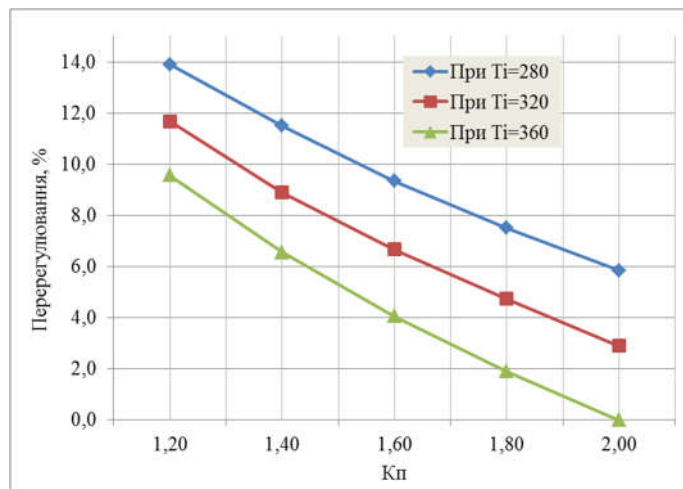


Рисунок 2.21 – Вплив зміни Кп на значення перерегулювання

Використавши отримані залежності зміни критеріїв якості функціонування системи керування температурою випарника, 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 10-20% (в представленому випадку 40-50), та з'ясувати напрям зміни часу встановлення в бік зменшення.
2. Для пропорційної складової регулятора Кп найбільш відповідним є діапазон значень від 1,6 до 1,8 – цьому діапазону значень відповідають результати що найкраще узгоджуються з критеріями висунутими до системи.

Згідно цим правилам було визначено більш прийнятні параметри регулятора: $K_p=1,7$, $T_i=280$. Результати моделювання, рис.2.22.

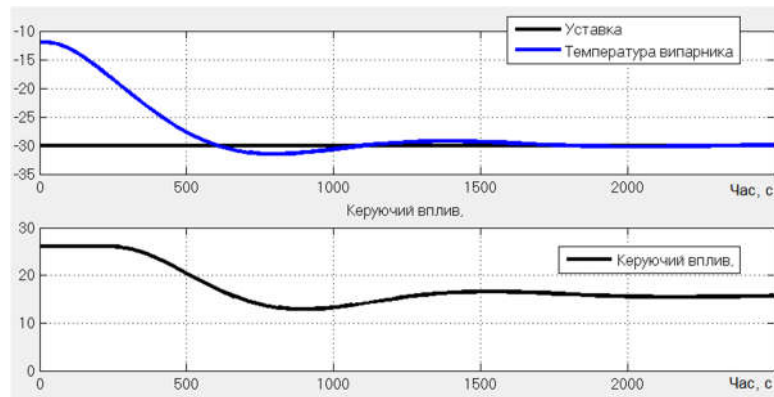


Рисунок 2.22 – Результати моделювання при $K_p=1,7$, $T_i=280$

2.4 Програмне забезпечення системи керування

2.4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Подальшим напрямком виконання кваліфікаційної роботи магістра є розробка програмного забезпечення для системи керування температурою випарника камери шоквої заморозки та створення інтерфейсу користувача (людино-машинного інтерфейсу) у scada zenon 7.10.

За результатами виконання розділу синтезу системи керування була отримана неперервна модель системи керування температурою випарника, що відповідає визначеним критеріям якості. Отримана модель показана на рисунку 2.23.

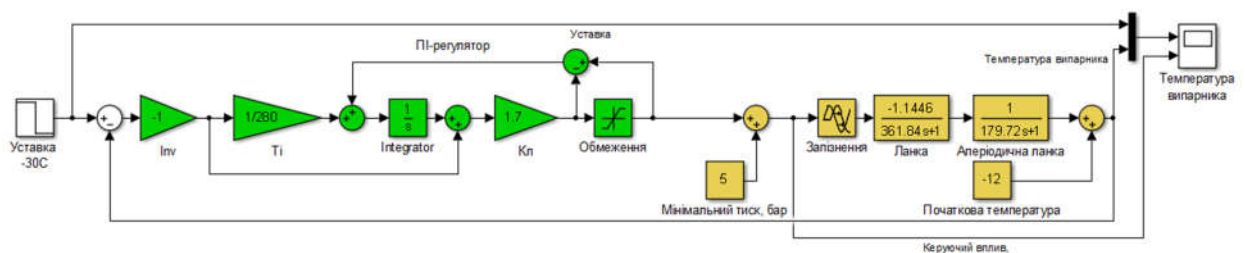


Рисунок 2.23 – Неперервна модель системи керування

Програмне забезпечення системи керування буде розроблятися у наступній послідовності:

для всіх неперервних елементів моделі системи керування визначаються параметри їх дискретних аналогів;

модель буде розділено на блок (підсистему) регулятора (ліворуч) та блок (підсистему) об'єкта керування (праворуч); в подальшому цифрові моделі будуть перетворені на програмний код, для використання в *scada zenon*.

Для реалізації дискретного регулятора в системи керування (рис.2.23) по-перше, необхідно визначитися з часом дискретизації, що має бути в 10 разів меншим за найбільшу постійну часу об'єкта керування, для системи на рис. 2.23 це 361,84с, тобто:

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

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

Також, час дискретизації має інше обмеження:

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

Зважаючи, що програмний цикл ПЛК VIPA 214-2BS33, який був вибраний за основу в системі керування [5], становить 100мс, то для подальших перетворень в математичному пакеті MATLAB/Simulink "Sample time" відповідно буде дорівнювати 0.1 с.

Всі перетворення неперервних елементів моделі (рис.2.23) до дискретних аналогів виконується у програмі Matlab.

Для аперіодичних ланок об'єкта керування (рис.2.23):

```
>> tfz = c2d(tf([1], [361.84 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 = 0.00027632705895, a0 = -0.99972367294105
```

```
або c2d(tf([1],[361.84 1]), 0.1)
```

```
ans =
```

```
0.0002763
```

```
-----
```

```
z - 0.9997
```

```
>> tfz = c2d(tf([1], [179.72 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 = 0.00055626632598, a0 = -0.99944373367402
або c2d(tf([1],[179.72 1]), 0.1)
ans =
    0.0005563
-----
z - 0.9994

```

Для ланки запізнення:

```

>> tfz = c2d(tf([1], 'ioDelay', 23.2), 0.1);
delayLength = tfz.ioDelay ;
fprintf ('Delay_length = %0.3f\n\n', delayLength);
Delay_length = 232.00

```

Модель системи керування в дискретній формі представлена на рисунку 2.24 (внизу).

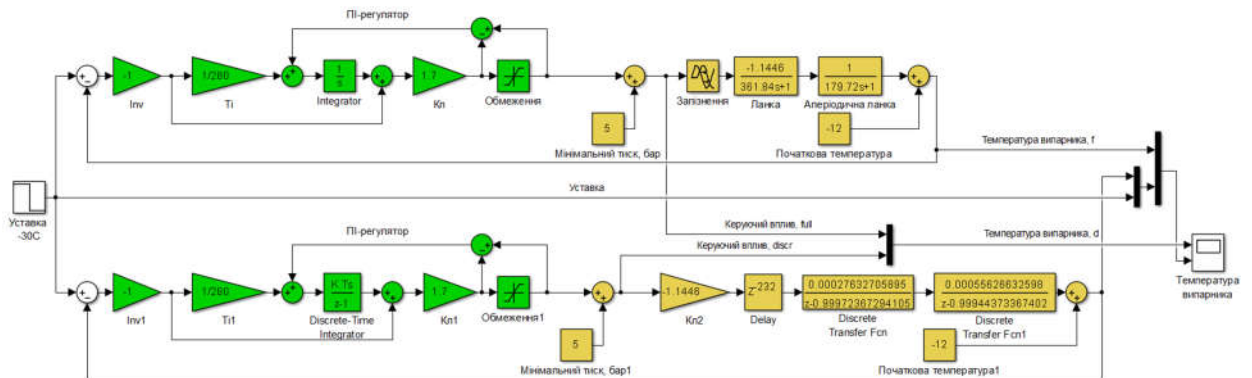


Рисунок 2.24 – Цифрова (вверху) та неперервна (внизу) моделі системи

Перевірка отриманої моделі системи керування в дискретній формі на відповідність безперервній моделі має бути виконана за нормованим середньоквадратичним відхиленням, яке має бути меншим за 10%.

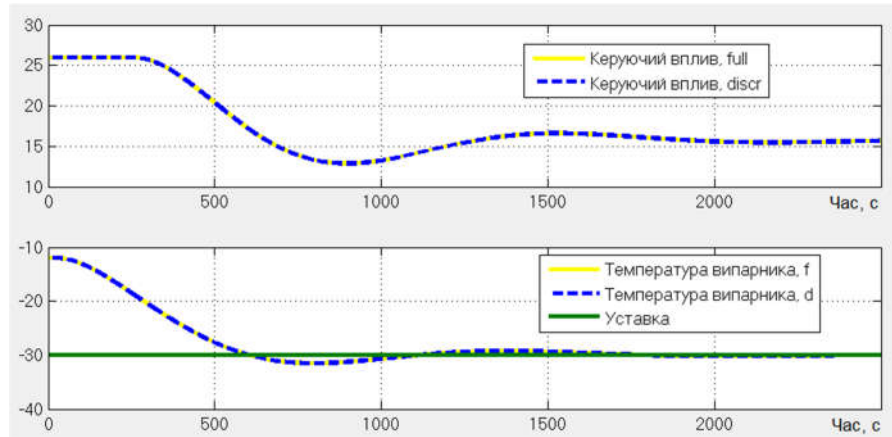


Рисунок 2.25 – Моделювання безперервної та дискретної систем

Моделювання дискретної та безперервної моделей у програмі MATLAB та вбудовані функції цієї програми, дозволили визначити відповідність :

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

```
ans =
```

```
99.7052
```

Дискретна модель системи керування відповідає безперервній моделі на 99,7%.

Зважаючи на отриманий результат перевірки відповідності, дискретна модель системи керування температурою випарника камери шокової заморозки може бути використана при розробці програмного забезпечення інтерфейсу користувача та для перевірки функціонування програмної моделі.

Розділимо модель системи керування на два блоки (рис.2.26): Controller – блок, що містить регулятор (рис.2.27, а) та Object – блок, що містить безпосередньо об'єкт керування (рис.2.27, б).

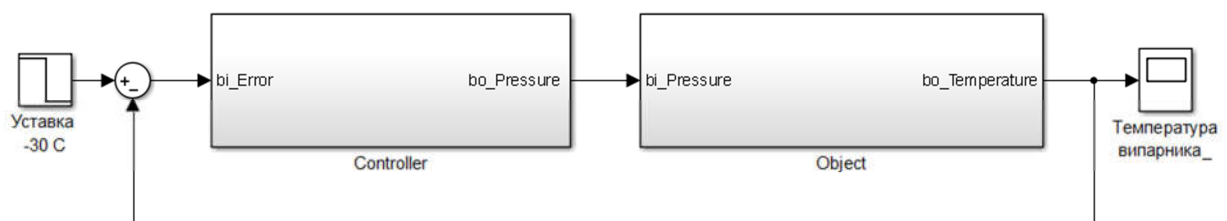


Рисунок 2.26 – Модель системи керування, що поділена на два блоки

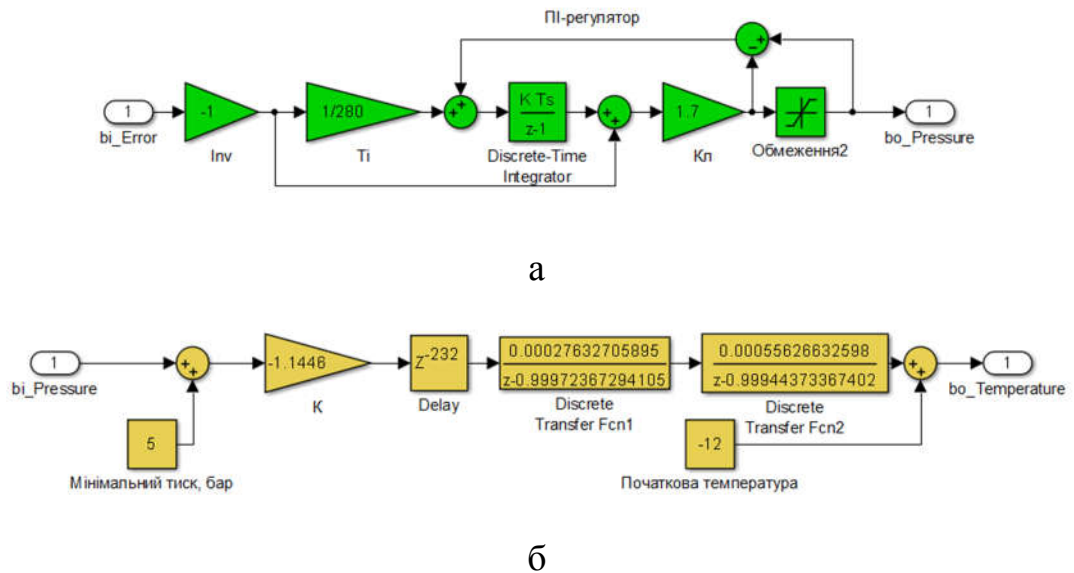


Рисунок 2.27 – Вміст блоків дискретної системи керування:

а – регулятор, б – об'єкт керування

Використовуючи можливості пакету MATLAB для блоків Controller та Object (рис.2.26), був згенерований програмний код на мові “Structured text”, що відповідають стандарту MEK 61131-3.

На основі програмного коду модулів Controller та Object, далі буде розроблено програмне забезпечення для інтерфейсу користувача у scada zenon.

2.4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмний код, що описує блок Controller виконується у scada zenon з використанням програмного ПЛК zenon Logic. А програмний код об'єкта керування, який буде використаний для перевірки функціонування системи керування, інтегрується до драйвера “S7 TCP32–VIPA300S”, у scada zenon.

Драйвер “S7 TCP32–VIPA300S” має працювати в режимі «програмної симуляції». Час оновлення має відповідати часу дискретизації, тобто 100мс.

State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area ...	Signal ar...	Measuring r...	Measur...	Start offset	Start i...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter t...	Filter text	Filt...
	Temperature	C	S7TCP32 - VIPA300S	UINT	27648	0	100.0	-50.0	0	0
	Pressure	bar	S7TCP32 - VIPA300S	UINT	27648	0	50.00	0.00	0	0
	Controller/Global/Temperature	C	STRATONNG - zen...	UINT	27648	0	100.0	-50.0	0	0
	Controller/Global/SetPoint	C	STRATONNG - zen...	UINT	27648	0	100.0	-50.0	0	0
	Controller/Global/Pressure	bar	STRATONNG - zen...	UINT	27648	0	50.00	0.00	0	0

Рисунок 2.28 – Перелік змінних об'єкта керування

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

Виклик блоку “I_Object” буде виконуватись в тілі основної програми, (рис. 2.29).

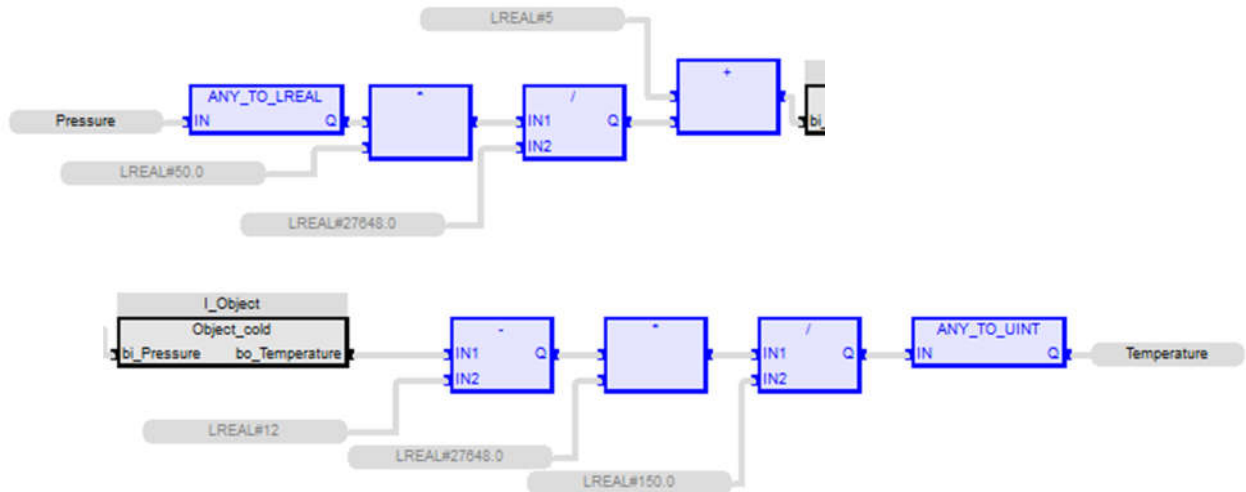


Рисунок 2.29 – Основна програма об’єкта керування

Значення тиску компресора “Pressure” подається до входу блоку “I_Object”. В подальшому поточна температура випарника (дійсне значення), записується до змінної “Temperature”. Вказані змінні “Pressure” та “Temperature” належать блоку “I_Object”, є глобальними та використовуються в scada zenon.

За завданням, програмний код регулятора записується в програмному ПЛК zenon Logic scada zenon. Для цього, в scada zenon, створено проект “Controller” в zenon Logic. Зв’язок із scada zenon забезпечується через необхідні змінні (рис. 2.30).

State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area ...	Signal ar...	Measuring r...	Measur...	Start offset	Start L...	Ide
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter L...	Filter text	Fill...	
	Controller/Global/Temperature	C	STRATONNG - zen...	UINT	27648	0	100.0	-50.0	0	0	
	Controller/Global/SetPoint	C	STRATONNG - zen...	UINT	27648	0	100.0	-50.0	0	0	
	Controller/Global/Pressure	bar	STRATONNG - zen...	UINT	27648	0	50.00	0.00	0	0	

Рисунок 2.30 – Перелік змінних регулятора

Блок «Controller_Cold» містить програмне забезпечення регулятора, що виконується в основній програмі, (рис. 2.31).

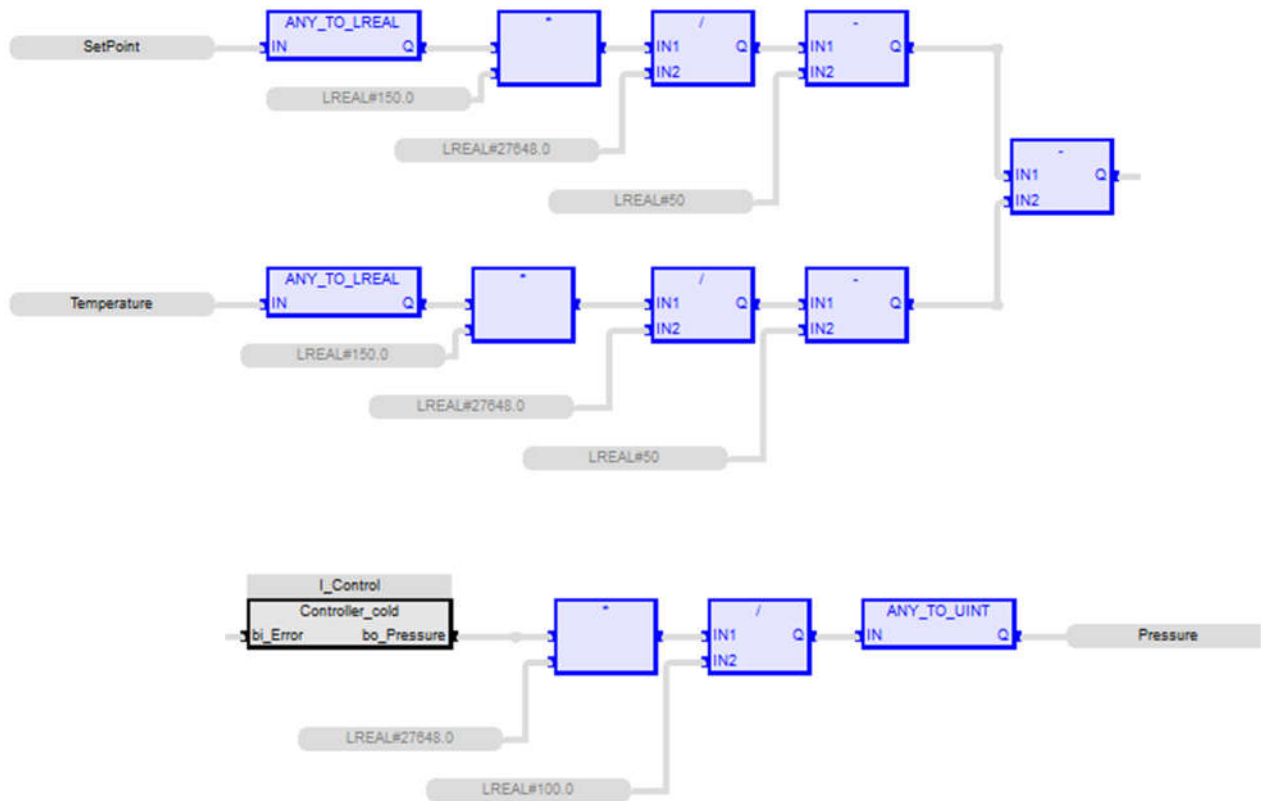


Рисунок 2.31 –Програма “Controller”

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

На вході блоку регулятора визначається похибка незгодженості, що виникає при роботі системи керування, а саме різниця значень уставки “Set_Point” та параметру “Temperature” (-50...100°C). Виходом блоку регулятора є керуючий вплив, який відповідає змінній “Pressure” (керуючий вплив на частотний перетворювач приводу компресора 0-21бар).

2.4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Інтерфейс користувача складається з декількох вікон (дод. В), що містять наступні дані: інформація про виконавця роботи, технологічний об’єкт, зміну температури випарника камери шокової заморозки, списки подій та тривоги. З огляду на те, що інтерфейс користувача має декілька вікон-

зображень, то виникає потреба у використанні двох окремих шаблонів: один для кнопок перемикання вікон, а інший для зображення самих вікон.

На основі шаблону “ButtonScreenFrame” було створено зону з кнопками зміни вікон-зображень: “Інформація” (рис.2.32), “Об’єкт”, “Моніторинг”, “Історія тривог” (Інформаційний список тривоги), “Список подій” (Хронологічний список подій), “Оновити”, “Вихід”, годинник і дата.

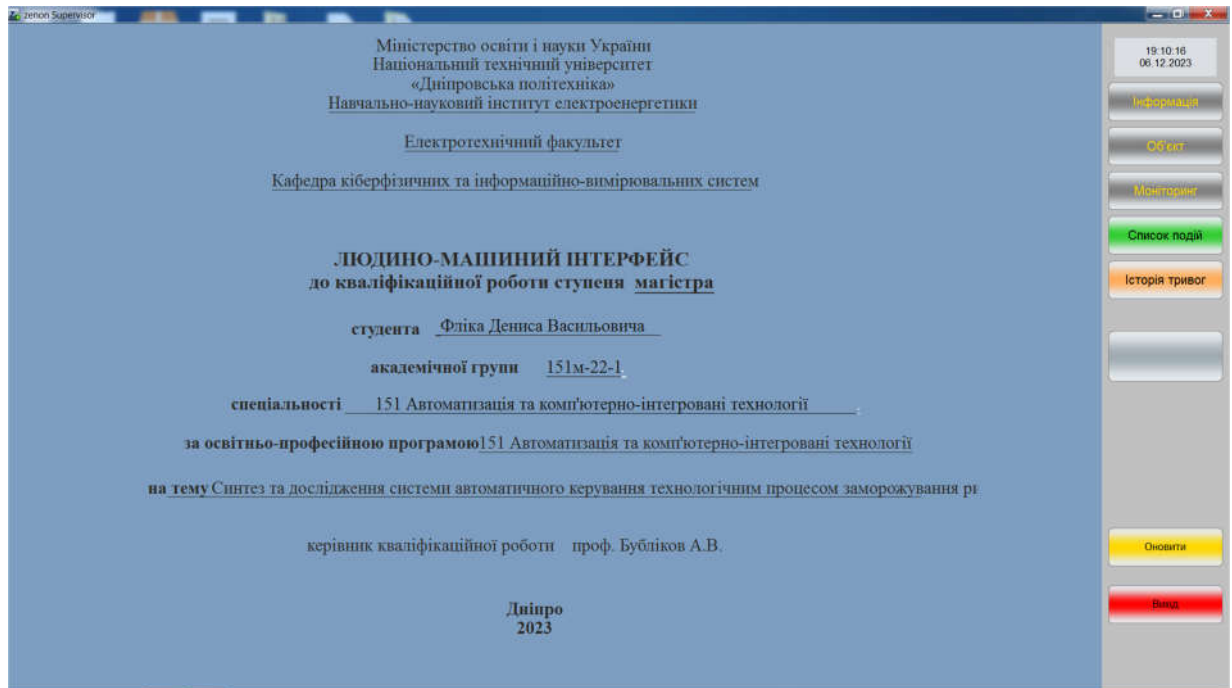


Рисунок 2.32 – Вікно-зображення “Об’єкт”

За вимогами до змісту роботи при розробці інтерфейсу користувача було створено вікно-зображення – “Об’єкт” (рис. 2.33).

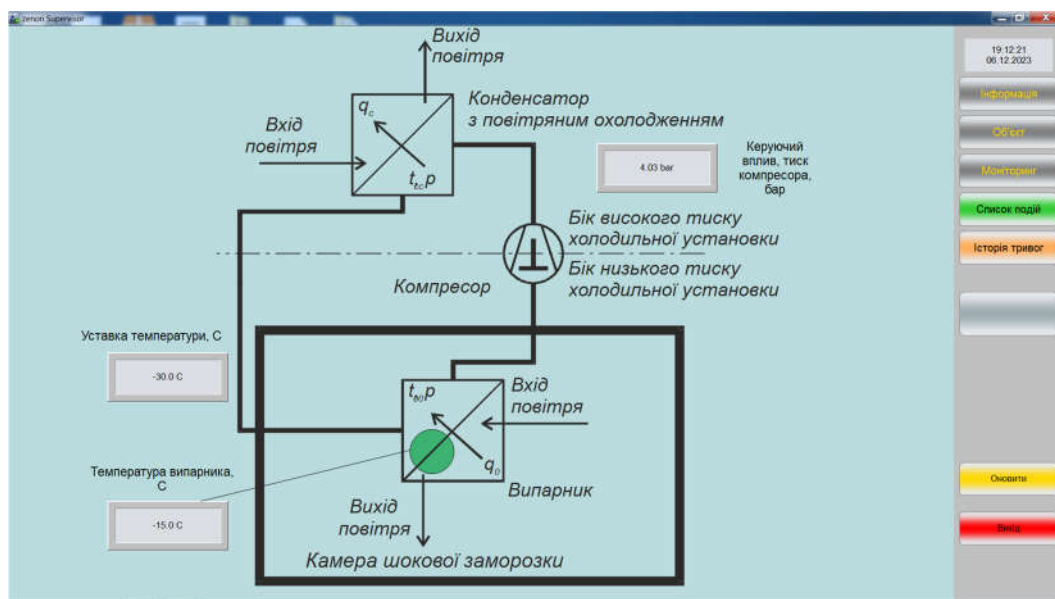


Рисунок 2.33 – Вікно-зображення “Об’єкт”

У вікні-зображенні “Об’єкт” представлено основне обладнання камери шокової заморозки.

Для спостереження за зміною температури повітря холодильної камери створене зображення розширеним трендом (рис. 2.34). Також у цьому вікні відображається зміна уставки температури та тиску компресора.

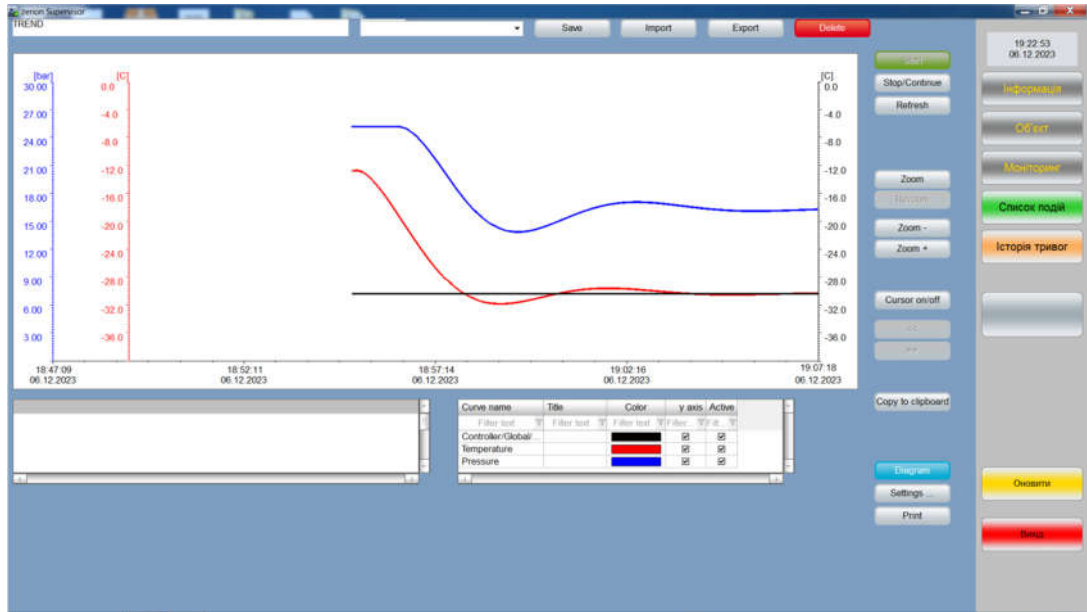


Рисунок 2.34 – Вікно-зображення розширеного тренду зміни параметрів

Хронологічний список подій був розроблений на основі шаблону “Chronologic event list” (рис. 2.35).

Time received	Text	Variable name	Value	Meas...	User - full name	Computer name	Comment
06.12.2023 18:41:00	System was started				SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 18:41:24	Modify spontaneous value: (15.00 bar)	Controller/Global/Pressure	15.00	bar	SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 18:41:51	System was stopped				SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 18:49:37	System was started				SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 18:49:50	Modify spontaneous value: (15.00 bar)	Controller/Global/Pressure	15.00	bar	SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 18:49:59	Modify spontaneous value: (-30.0 C)	Controller/Global/SetPoint	-30.0	C	SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 18:50:55	System was stopped				SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 18:53:36	System was started				SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 18:53:51	Modify spontaneous value: (-30.0 C)	Controller/Global/SetPoint	-30.0	C	SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 18:54:34	System was stopped				SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 18:59:51	System was started				SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 19:00:08	Modify spontaneous value: (-30.0 C)	Controller/Global/SetPoint	-30.0	C	SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 19:00:34	Modify spontaneous value: (-12.0 C)	Controller/Global/Temperat	-12.0	C	SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 19:06:41	Modify spontaneous value: (-18.0 C)	Controller/Global/Temperat	-18.0	C	SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 19:06:48	Modify spontaneous value: (-30.0 C)	Controller/Global/Temperat	-30.0	C	SYSTEM	ZENON_7_10	
06.12.2023 19:07:10	Modify spontaneous value: (-5.0 C)	Controller/Global/Temperat	-5.0	C	SYSTEM	ZENON_7_10	

Рисунок 2.35 – Вікно-зображення “Chronologic event list”

Для запису критично важливих подій було створено список тривоги з використанням шаблоном “Alarm message list”.(рис. 2.36).

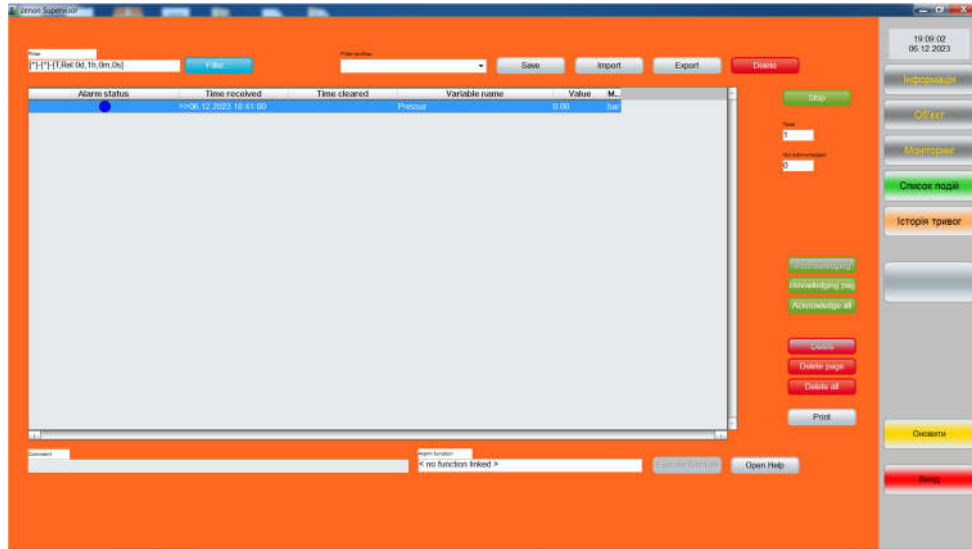


Рисунок 2.36 – Список тривог “Alarm message list”

2.4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка виконання необхідних функцій виконувалася в режимі симуляції: реальний ПЛК було замінено програмний ПЛК з програмний код моделі об'єкта керування.

Зміни параметрів випарника камери шокової заморозки (рис 2.37) відповідають результатам моделювання безперервної та дискретної версій імітаційної моделі системи керування у ППП Matlab/Simulink.

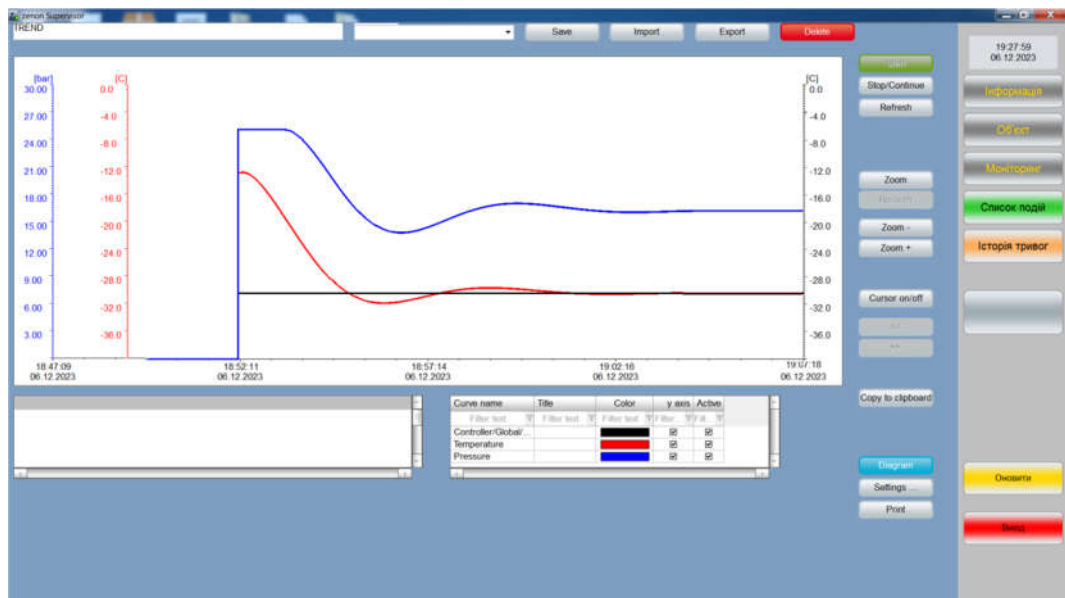


Рисунок 2.37 – Криві зміни параметрів випарника камери шокової заморозки у вікні інтерфейсу користувача

2.5 Висновки по розділу

Неперервна модель системи керування температурою випарника камери шокової заморозки була перетворена у дискретну форму. В дискретній моделі виокремлені два блоки: об'єкта керування і регулятора. На основі цих блоків отримано програмний код на мові «Structured Text».

Програмні коди об'єкта керування та регулятора були використані при розробці програмного забезпечення для програмного ПЛК у zenon Logic.

Засобами scada zenon було розроблено інтерфейс користувача та перевірено функціонування програмної моделі системи керування.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

Метою представленої кваліфікаційної роботи магістра є підвищення ефективності функціонування камери шокової заморозки за рахунок зміни тиску на виході компресору та синтезу системи керування температурою випарника холодильної машини.

У представленій кваліфікаційній роботі розглянуто економічну доцільність впровадження системи керування температурою випарника камери шокової заморозки Frios Winter SF-2300 та розробки програмного забезпечення для неї.

Система керування розроблена в кваліфікаційній роботі, має такі переваги:

- швидкий вихід на робочий режим за рахунок визначених параметрів ПІ регулятора;
- надійне обладнання та сучасна технічна база системи керування.

3.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Розрахуємо капітальні витрати, що пов'язані із впровадженням системи керування температурою випарника камери шокової заморозки. Визначення проектних капітальних витрат розраховано за формулою:

$$K_{ПКВ} = C_{ОБ} + D_{ТР} + M_{МН} + K_{ПЗ}, \quad (3.1)$$

де $K_{ПКВ}$ – капітальні витрати, грн.;

$C_{ОБ}$ – вартість основного та допоміжного обладнання, грн.;

$D_{ТР}$ – витрати транспортно-заготівельні, грн.;

$M_{МН}$ – монтаж і налагодження системи, грн.;

$K_{ПЗ}$ – розробка програмного забезпечення, грн.

Загальна вартість обладнання наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Капітальні витрати ОБ [17-21]

	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість, грн.	Сума, грн.
1	ПЛК VIPA 214-2BS33	од.	1	13 774,40	13 774,40
2	Модуль вводу 231-1BD40	од.	2	4 740,30	9 480,60
3	Модуль виводу 222-1BF00	од.	1	2 335,80	2 335,80
4	Датчик температури Т.ХА-420-Кл1	од.	3	690,00	2 070,00
5	Датчик ваги НВМ С16і3-С3-30t	од.	1	19 900,00	19 900,00
6	Датчик тиску серії MBS 3000	од.	2	1 398,22	2 796,44
7	ЧП FRECON FR500A-4T-110G/132P	од.	1	75 999,00	75 999,00
8	Реле твердотільне Jotta SSR 25DA	од.	1	1 023,00	1 023,00
9	Мережний кабель	м	120	28,50	3 420,00
10	Інтерфейс користувача на базі ПК	од.	1	31 200,30	31 200,30
11	Б/ж Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	1 450,00	2 900,00
	Разом				164 899,54

Транспортно-заготівельні та складські витрати, залежать від вартості обладнання та розраховуються за формулою:

$$D_{TP} = C_{OB} * 0,08 \quad (3.2)$$

$$D_{TP} = 164\,899,54 * 0,08 = 13\,191,97 \text{ грн.}$$

Монтажно-налагоджувальні роботи:

$$M_{MH} = C_{OB} * 0,07 \quad (3.3)$$

$$M_{MH} = 164\,899,54 * 0,07 = 11\,542,97 \text{ грн.}$$

3.3 Витрати на програмне забезпечення

3.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення:

$$t = t_o + t_\partial + t_a + t_n + t_{нал} + t_{док} \quad (3.4)$$

де t_o - витрати часу на підготовку й опис поставленого завдання;

t_∂ - витрати часу на дослідження алгоритму розв'язку;

t_a - витрати часу на обробку алгоритму;

t_n - витрати часу на програмування по готовому алгоритму;

$t_{нал}$ - витрати часу на налагодження програм на ПК;

$t_{док}$ - витрати часу на підготовку документації за завданням.

Умовна кількість операторів у програмі:

$$Q = q \cdot c \cdot (1+p), \quad (3.5)$$

де q – кількість операторів, використовуваних у програмі.

Виходячи з програмного забезпечення, розробленого на мові «Structured Text» типове значення для подібних програм має діапазон 200...350, приймаємо $q = 305$;

c – коефіцієнт складності програми;

p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки.

Коефіцієнт складності «с» відносно типового завдання, $c = 1,25$.

Коефіцієнт корекції програми «р» приймаємо $p=0,1$, це відповідає внесенню 3...5 корекцій або переробку 5-10% готової програми.

Тобто, для програми, описаної в кваліфікаційній роботі:

$$Q = 305 \cdot 1,25(1+0,1) = 453$$

Оцінка витрат праці на підготовку й опис завдання становлять

$$t_0 = 50 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати на вивчення опису завдання визначаються по формулі:

$$t_d = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k} \text{ люд.-годин} \quad (3.6)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці, $B=1,5$;

k – коефіцієнт кваліфікації програміста, становить $k=1,2$.

Тоді:

$$t_d = \frac{124 \cdot 1,4}{80 \cdot 1,2} = 1241 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати на розробку алгоритму:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \text{ люд.-годин} \quad (3.7)$$

$$t_a = \frac{145324}{20 \cdot 1,2} = 19 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати на складання програми по готовому алгоритму:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \text{ люд.-годин} \quad (3.8)$$

$$t_n = \frac{453}{20 \cdot 1,2} = 19 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати праці на налагодження програми на ПК:

$$t_{нал} = \frac{Q}{(4...5) \cdot k} \text{ люд.-годин} \quad (3.9)$$

Для конкретного програмного продукту:

$$t_{нал} = \frac{453}{4 \cdot 1,2} = 95 \text{ люд.-годин.}$$

Витрати на підготовку документації за завданням:

$$t_D = t_{ДР} + t_{ДО}, \text{ люд.-година,} \quad (3.10)$$

де $t_{ДР}$ – підготовка матеріалів до написання;

$t_{ДО}$ – редагування, друк та оформлення документації.

$$t_{ДР} = Q / (15...20) k, \quad (3.11)$$

$$t_{ДР} = 453 / 15 \cdot 1,2 = 26 \text{ люд.-година;}$$

$$t_{ДО} = 0,75 t_{ДР}, \quad (3.12)$$

$$t_{ДО} = 0,75 \cdot 26 = 20 \text{ люд.-година.}$$

Для програмного забезпечення витрати на підготовку документації за завданням:

$$t_D = 26 + 20 = 46 \text{ люд.-година.}$$

Трудомісткість розробки програмного забезпечення буде становити:

$$t = 50 + 8 + 19 + 19 + 95 + 46 = 2377 \text{ людино-годин.}$$

3.3.2 Розрахунки витрат на розробку програмного продукту

На розробку програмного продукту $K_{ПЗ}$ необхідні витрати на зарплату розробника програми, $Z_{ЗП}$ і витрати на машино-часи, необхідні для налаштування програми на ПК, $Z_{МЧ}$

$$K_{ПЗ} = Z_{ЗП} + Z_{МЧ}, \text{ грн.} \quad (3.13)$$

Зарплата розробника програмного забезпечення:

$$Z_{\text{зп}} = t C_{\text{пр}}, \text{ грн.} \quad (3.14)$$

де t – загальна витрати людино-годин на обробки програмного забезпечення;

$C_{\text{пр}}$ – середня годинна тарифна ставка програміста становить:

$$C_{\text{пр}} = 128,5 \text{ грн./година.}$$

Заробітна плата за розробку програмного забезпечення дорівнює:

$$Z_{\text{зп}} = 237 \cdot 128,5 = 30454,5 \text{ грн.}$$

Вартість машино-часу, необхідного для налаштування програми на ПК:

$$Z_{\text{мч}} = t_{\text{нал}} C_{\text{мг}}, \text{ грн.} \quad (3.15)$$

де $t_{\text{налаш}}$ – трудомісткість налаштування програми на ПК, людино-годин;

$C_{\text{мг}}$ – вартість машино-години ПК, грн./година. $C_{\text{мг}} = 13,4$ грн./година.

$$Z_{\text{мч}} = 19 \cdot 13,4 = 254,6 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування будуть становити:

$$K_{\text{пз}} = 30454,5 + 254,6 = 30709,1 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \text{ міс.} \quad (3.16)$$

де B_k – кількість розробників, $B_k = 1$;

F_p – місячний фонд робочого часу ($F_p = 176$ годин/міс).

$$T = \frac{237}{1 \cdot 176} = 1,5 \text{ міс.}$$

Розраховуємо капітальні витрати (3.1):

$$K_{\text{пр}} = 164899,54 + 13191,97 + 11542,97 + 30709,1 = 220343,58 \text{ грн.}$$

3.4 Розрахунки експлуатаційних витрат

До експлуатаційних витрат належать:

- амортизація основних фондів C_a ;
- заробітна плата обслуговуючого персоналу C_z ;
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати C_c ;
- витрати на ремонт та технічне обслуговування $C_{p.m.o.}$;
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування C_{ee} ;
- інші витрати $C_{інш.}$.

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C_e = C_a + C_z + C_c + C_{p.m.o.} + C_{ee} + C_{інш.}, \quad (3.17)$$

3.4.1 Амортизація основних фондів

Обладнання, розробленої в представленій роботі системи керування, належить до 4 групи за нормами нарахування амортизації основних фондів. Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається за формулою:

$$H_a = (2 / T) * 100\% \quad (3.18)$$

T – термін корисного використання об'єкта;

H_a – норма амортизації;

$$C_a = (ПВ * H_a) / 100\%, \quad (3.19)$$

C_a – амортизація основних фондів (річна);

$ПВ$ – первинна вартість, дорівнює капітальним витратам $ПВ = K$;

Норма амортизації для системи керування (3.18):

$$H_a = (2/5) * 100\% = 40\%$$

Сума амортизації для системи керування (3.19):

$$C_a = (220343,58 * 40\%) / 100\% = 88137,44 \text{ грн.}$$

3.4.2 Розрахунки річного фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{ном.рік} = (T_k - T_{вих.св} - T_{відп}) * T_{зм}, \text{ ГОДИН} \quad (3.20)$$

де, T_k – календарний фонд робочого часу, 365 днів;

$T_{вих.св}$ – вихідні дні та свята, 114 дні;

$T_{відп}$ – відпустка, 21 день;

$T_{зм}$ – тривалість зміни, 8 год.

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{ном.рік} = (365 - 114 - 21) * 8 = 1840 \text{ годин}$$

Для керування процесом задіяні 1 оператори ПК, 1 інженер-технолог і 1 спеціаліст з електроустаткування.

Розрахунок річного фонду заробітної плати робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 3.2.

Таблиця 5.2 - Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол		Годинна тарифна ставка, грн. / ч.	Номинальний річний фонд робочого часу (годину)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
		яв.	сп.						
1	Оператор ПК	1		86,45	1840	477204	38176,32	33404	548784,6
	Інженер-технолог	1		102,11	1840	187882	15030,59	13151	216064,76
2	Налагодж. електроустаткув.	1		95,5	1840	175720	14057,6	12300	202078,0
	Разом								966927,36

$$C_3 = 966927,36 \text{ грн.}$$

3.4.3 Розрахунки відрхувань на соціальні заходи

Відрхування на соціальні заходи складуть:

$$C_c = 0,22 * C_3 \quad (3.21)$$

$$C_{с.пр} = C_{с.баз} = 0,22 * 966927,36 = 212724,02 \text{ грн.}$$

3.4.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування та ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт встаткування становлять 5% від вартості, тобто:

$$C_{p.t.o.} = K * 0,05, \text{ грн.} \quad (3.22)$$

$$C_{p.t.o. пр} = 966927,36 * 0,05 = 11017,18 \text{ грн.}$$

3.4.5 Розрахунки вартості споживаної електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної системою керування:

$$C_{ee} = K_e * K_d * T \quad (3.23)$$

де K_e – кількість електроенергії, спожитої системою керування за годину, кВт*год, для контролера VIPA – 0,43 кВт*год.;

$K_{др}$ – кількість днів у році, $K_{др} = 365$ днів;

T – тариф на електроенергію для підприємств (Для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,26 грн. за кВт без ПДВ. З урахуванням ПДВ тариф $T = 2,712$ грн).

Виходячи з технічних характеристик контролерів VIPA і Siemens, споживання електроенергії становить:

Витрати на електроенергію будуть становити:

$$C_{ee.пр} = 0,43 * 365 * 24 * 2,712 = 10215,57 \text{ грн.},$$

3.4.6 Визначення інших витрат

Інші витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{інш} = C_z 0,04 \text{ грн.} \quad (3.24)$$

$$C_{інш.пр} = C_{інш.баз} = 966927,36 * 0,04 = 38677,1 \text{ грн.}$$

Згідно (3.17), розраховуємо річні експлуатаційні витрати:

$$C = 88137,44 + 966927,36 + 212724,02 + 11017,18 + 10215,57 + \\ + 38677,10 = 1327698,67 \text{ грн.}$$

Розраховані експлуатаційні витрати представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 5.3 – Експлуатаційні витрати по варіантах

Найменування показника	Сума, грн.
Амортизація	88137,44
Фонд заробітної плати	966927,36
Відрахування на соц. виплати	212724,02
Ремонт і тех. обслуговування	11017,18
Електроенергія	10215,57
Інші	38677,10
Разом	1327698,67

3.5 Висновки по розділу

При впровадженні системи керування температурою випарника камери шокової заморозки Frios Winter SF-2300 та розробки програмного забезпечення для неї (термін розробки 1,5 місяця), капітальні витрати складають 220,4 тис. грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи керування 1,32 млн. грн.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Метою представленої кваліфікаційної роботи магістра є підвищення ефективності функціонування камери шокової заморозки за рахунок зміни тиску на виході компресору та синтезу системи керування температурою випарника холодильної машини.

У роботі розглядається питання з автоматизації технологічного процесу заморожування риби в камері шокової заморозки Frios Winter SF-2300.

Метою даного розділу є аналіз санітарно-гігієнічних умов праці, умов безпеки праці і пожежної безпеки.

4.1 Шкідливі та небезпечні фактори

4.1.1 Повітря робочої зони

Мікрокліматичні умови виробничих приміщень характеризуються такими показниками: температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення, температура поверхні [5].

Згідно роботи за важкістю у даному приміщенні можуть бути віднесені до категорії середньої тяжкості (II б).

Джерелами додаткового підвищення температури повітря є: технологічне устаткування, яке має високі температури нагріву; нагріті до високих температур деталі; тепла енергія, яка виділяється рухомими механізмами - компресори. Для підтримання нормативних параметрів мікроклімату в приміщенні сортування впроваджено систему вентиляції та кондиціонування повітря, а також теплоізовані трубопроводи системи теплопостачання [5,20].

Для вимірювання параметрів мікроклімату використовуються різні прилади: ртутні та спиртові термометри (для вимірювання температури), психрометри (для визначення відносної вологості повітря), анемометри й кататермометри (для встановлення швидкості руху повітря) [5,20].

4.1.2 Вентиляція

Вентиляція повинна проходити в зоні шкідливих виділень і направлятися до центру отвору всмоктування, до того ж кількість всмоктуваного повітря повинна перевищувати кількість повітря, що поступає з приточним потоком [5,19].

Зонти активуються піддуванням по периметру, як показано на рисунку 4.1.

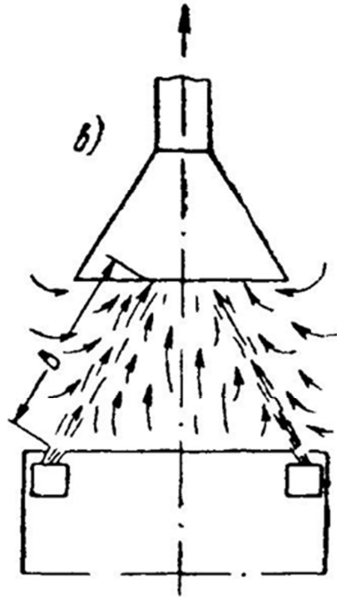


Рисунок 4.1 - Зображення витяжного зонта

Стійкість системи «припливний потік - місцеве відсмоктування» відносно неорганізованих потоків повітря, що виникають в приміщенні, визначається величиною швидкості на осі повітряного потоку в «критичному перерізі», в якому вплив припливного потоку вже послаблений, а дія місцевого відсмоктування ще не значна. Ця швидкість становить 1...2 м/с. Швидкість виходу припливного повітря - не більше 10 м/с.

За виконаємо наступні розрахунки. Вважаємо отвір всмоктування круглого перерізу [5,19].

Відстань від припливного отвору до критичного перерізу:

$$x_{кр} = 0,848 B, \quad (4.1)$$

де B - довжина каналу, прийємо 1,5 м.

$$x_{кр} = 0,848 \cdot 1,5 = 1,272 \text{ м.}$$

Осьову швидкість припливного потоку в критичному перерізі приймаємо

$$v_{мін} = 2 \text{ м/с.}$$

Середню швидкість в припливному отворі беремо $v_1 = 6 \text{ м/с}$. Швидкість всмоктування $v_2 = 2,5$ $v_{кр} = 5 \text{ м/с}$.

Звідси, діаметр припливного отвору:

$$d_1 = 0,138 B v_{мін}/v_1, \quad (4.2)$$

$$d_1 = 0,138 \cdot 1,5 \cdot 2/6 = 0,069 \text{ м.}$$

Діаметр отвору всмоктування:

$$d_1 = 0,196 B (v_{мін}/v_2)^{1/2}, \quad (4.3)$$

$$d_1 = 0,196 \cdot 1,5 \cdot (2/5)^{1/2} = 0,186 \text{ м.}$$

Об'єм припливного повітря:

$$L_1 = 55 B^2 v_{мін}^2/v_1, \quad (4.4)$$

$$L_1 = 55 \cdot 1,5^2 \cdot 2^2/6 = 81,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Об'єм всмоктуваного повітря:

$$L_2 = 100 B^2 v_{мін}, \quad (4.5)$$

$$L_2 = 100 \cdot 1,5^2 \cdot 2 = 450 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Виходячи з вище зроблених розрахунків, підбираємо витяжний зонт компанії STARVENT типу острівного нестандартного, моделі ЗВО - 4.

4.1.3 Виробниче освітлення

Для нормальної зорової роботи в приміщенні створюються умови, за яких не виникають професійні захворювання або виробничий травматизм. Освітлення має відповідати встановленим нормативам та характеру зорової виробничої діяльності. Для нормальної роботи оператора установки забезпечується відповідне освітлення приміщення, а саме трьох цехових приміщень, де розташовано обладнання камери, та, де зберігається вантаж. Для цього визначаємо вид зорових робіт які будуть виконуватися при нормальній

роботі обладнання, ремонті та аварійному режимі. Норми освітленості і КПО цеху, відповідно до [5,21] занесемо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Норми освітленості приміщення, згідно [21]

Розряд і підрозряд зорової роботи	Освітленість, лк		КПО, %	
	Штучне		Природне	Суміщене
	Комбіноване	Загальне	Верхнє і бічне	Верхнє і бічне
IVв	400	200	4 і 1,5	2,4 і 0,9

Для освітлення виробничого приміщення використовуються люмінесцентні лампи з денним світлом типу ЛД – 40(G13) та світильники з світлодіодними лампами LED з потужністю 20 Вт в холодильній камері. В овочесховищі передбачено пристрій аварійного евакуаційного освітлення - мінімальна освітленість 1 Лк на вулиці і 2 Лк в приміщенні.

Для контролю освітленості передбачено люксметр типу Ю-117 [5].

4.1.4 Виробничий шум і вібрація

Одним з головних умов організації роботи промислового підприємства є контроль рівня шуму і вібрацій, які негативно впливають на здоров'я обслуговуючого персоналу. Безперервний шум від працюючих компресорів, охолоджувачів повітря і інших пристроїв можуть викликати порушення в організмі людини: психічні проблеми; зниження працездатності і продуктивності праці персоналу; погіршення слуху і виникнення головного болю; підняття артеріального тиску; нервова і фізична перевтома [5].

Крім шуму, велику небезпеку несе вібрація, що виникає від обертових механізмів, рідини в трубах і при роботі компресорів, яка передається на будівельні конструкції, викликаючи загрозу їх руйнування.

Рівень шуму на виробництві залежить від одночасної роботи всього обладнання і не повинен перевищувати 80 дБА, згідно [5,15]. Фактичне значення складає 78 дБА, що відповідає вимогам.

Відповідно до [5,23] нормуються допустимі величини вібро-швидкості (дб, м/с) або вібро-прискорення (дб, м/с²) відповідна:

трубопроводи з середньо-геометричною частотою смуг 31,5 Гц відповідно для 1/3 окт: 87 дб або 0,11 м/с, 57 дб або 0,224 м/с²;

для 1/1 окт: 92 дб або 0,2 м/с, 62 дб або 0,4 м/с²;

компресори з середньо-геометричною частотою смуг 40 Гц для 1/3 окт: 87 дб або 0,11 м/с, 59 дб або 0,29 м/с².

Заходи щодо віброізоляції знижують коливання від працюючого устаткування, сприяють зменшенню шуму і збільшують надійність будівельних конструкцій.

Віброізолюючі елементи [5,23]:

а) у вигляді окремих опор: пружинні віброізолятори, основним робочим елементом яких є одна або кілька сталевих гвинтових пружин; пружні прокладки, нерідко мають складну форму;

б) у вигляді шару пружного матеріалу, що укладається між машиною і фундаментом;

в) у вигляді плаваючої підлоги на пружній основі. Підлога на пружній основі являє собою залізобетонну стяжку, влаштовану на пружній основі поверх несучої плити перекриття будівлі.

Також при установці надпотужних промислових компресорів обов'язковою умовою є організація для них локальних фундаментів, відокремлених від конструкції будівель.

Для поглинання шуму від роботи конденсатора використовується пористий акустичний поролон, який розсіює звукову енергію і перетворює її в теплову. Для збільшення звукоізоляції працюючих компресорів використовується непориста, еластична самоклеюча звукоізоляція на кам'яній основі.

Для контролю шуму і вібрації використовується шумомір і вібратормір АСВШ-МГ4 [5].

Якщо в робочій зоні рівень перевищує нормативні значення і заходи щодо віброізоляції і поглинання шуму не знижують його рівень, додатково застосовують індивідуальні засоби захисту від шуму, відповідно до [5,23].

4.1.5 Випромінювання

процесі роботи холодильної установки робочий персонал піддається інфрачервоному випромінюванню від теплообмінного обладнання, освітлювання та додаткового устаткування.

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь нагріву технологічного обладнання, приладів освітлення, інсоляції від закслених огорожень не повинна перевищувати: 35 Вт/м^2 при опроміненні 50 % поверхні тіла і більше; 7 Вт/м^2 - при величині опромінення поверхні тіла 25-50 %; 100 Вт/м^2 - при опроміненні не більше 25 % поверхні тіла працюючого [5].

При наявності відкритих джерел випромінювання (нагрітий метал, скло, відкрите полум'я) допускається інтенсивність опромінення до $140,0 \text{ Вт/м}^2$. Розмір опромінюючої площі не повинен перевищувати 25 % поверхні тіла працюючого при обов'язковому використанні засобів індивідуального захисту (спецодяг, окуляри, спецвзуття) [5].

Заходи захисту від інфрачервоного випромінювання, передбачені проектом:
теплоізоляція гарячих поверхонь;

охолодження тепло-випромінюючих поверхонь (водою, продувка);
видалення робочих від місця випромінювання (захист відстанню); автоматизація (механізація) виробничих процесів (щит керування); екранування джерела випромінювання; застосування засобів індивідуального захисту (використання спецодягу з бавовняної тканини з вогнестійкою просоченням, спецвзуття, окуляри зі світлофільтрами з жовто-зеленого або синього скла, рукавичок, рукавиць, захисних масок) [5].

4.1.6 Електробезпека

У робочому приміщенні живлення електроустановок здійснюється від 3-х фазної чотирьох-провідної електричної мережі змінного струму промислової частоти з глухозаземленою нейтраллю напругою $\sim 380/220$ В. Згідно [5, 16] гранично допустимі напруги дотику наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Гранично допустима напруга дотику

Тривалість дії, с	до 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	1...5
Напруга дотику, В	500	400	200	130	100	65

Відповідно до [17], холодильна установка відноситься до класу захисту II. Технічні засоби для безпеки працюючого персоналу на холодильній

установці, передбачені проектом:

ізоляція струмопровідних частин;

мала напруга, вирівнювання потенціалів;

запобіжна сигналізація, блокування, знаки безпеки; засоби індивідуального захисту;

маркування струмоведучих частин електроустановки, усі струмоведучі частини пофарбовані в яскраво червоний колір;

недосяжність підвісу живлячого провідника.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережі із зануленням здійснюється завдяки тому, що при замиканні однієї з фаз на занулений корпус в ланцюзі цієї фази виникає струм короткого замикання, який впливає на струмовий захист, внаслідок чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацьовування захисту струм короткого замикання викликає перерозподіл напруги в мережі, напругу корпусу, що призводить до зниження, щодо землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику і обмежує час, протягом якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для захисту від удару струмом у випадку пошкодження ізоляції використовується автоматичне відключення живлення [5,24].

Організаційний засіб електробезпеки: дотримання правил улаштування електроустановок і правил техніки безпеки при експлуатації обладнання.

Основні заходи електробезпеки:

ізоляція струмопровідних частин, які знаходяться під напругою;

мала напруга в електричних ланцюгах змінного струму, що не перевищує 40 В, і постійного струму - не вище 110 В;

елементи для захисного заземлення металевих, неструмоведучих частин, які випадково можуть потрапити під напругу (при порушенні ізоляції, режиму робот і т.п.);

автоматичні пристрої, які відключають електроспоживачів від мережі, якщо доступні для людського дотику здебільшого потрапляють під напругу;

засоби контролю ізоляції та сигналізації про їх ушкодження, а також для відключення установки при зменшенні опору ізоляції нижче припустимого рівня;

попереджувальні написи, знаки, фарбування струмопровідних частин у сигнальні кольори та інші засоби сигналізації про небезпеку;

використовується знижена напруга (аварійне освітлення 220 В, система місцевого освітлення 42 В, переносне освітлення 12 В);

світильники розташовуються на висоті не менш 2,5 м над робочими місцями.

компресорному приміщенні та цеху теплообмінного обладнання передбачена аварійна вентиляція, яка реалізується витяжною вентиляцією для створення розрідження в приміщенні лише з причини аварії. Запуск відбувається вручну і від датчиків газосигналізаторів налаштованих на величину гранично допустиму концентрацію речовин [5,24].

Біля вимикачів, контакторів, магнітних пускачів, рубильників та інших пускових пристосувань, а також запобіжників, змонтованих на групових щитах, повинна бути напис і покажчик, до якого двигуну вони належать.

Для захисту електричних ланцюгів від струмів перевантаження та від короткого замикання застосовують запобіжники. Залежно від типу електроспоживача, запобіжники можуть бути пробкових, трубкові, пластинчасті і інших видів [5,24].

4.2 Пожежна безпека

Завданням пожежної безпеки є контроль та виконання протипожежних вимог та запобігання нещасних випадків. Усі приміщення, відділи повинні бути обладнані вогнегасником. На кожному поверсі повинні бути розроблені схеми будівлі та евакуації у разі пожежі та зазначені запасні виходи. Відповідальність за пожежну безпеку у лабораторії чи на підприємстві покладається на посадових осіб та керівництво. На підприємстві або лабораторії, повинні бути установлені пожежні сигналізації та автоматичні установки пожежогасіння. Встановлення блискавковідводів повинно складатись з блискаво приймачів, струмовідводів та заземлювачів. Вони можуть бути відокремлені (ізольовані) від споруди (блискавковідводи, що стоять окремо, – стрижневі або тросові, а також сусідні споруди, що виконують функції природних блискавковідводів) або встановленою безпосередньо на об'єкті, що захищається. Пожежна безпека у лабораторії забезпечується шляхом проведення організаційних, технічних та інших заходів відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні. Для того щоб запобігти пожежі, потрібно виконувати наступні правила протипожежної безпеки [5,25,26]:

регулярно перевіряється справність електроприладів і електроустаткування;

ізоляція електропроводів;

забороняється паління у виробничих приміщеннях; не допускається перегрів приладів;

проходи до щитків і виходу з центру не загороджуються.

Будівля та приміщення забезпечуються необхідною кількістю вогнегасників, згідно з вимогами загальнодержавних Правил пожежної безпеки

Україні, які встановлюються в легкодоступних та помітних місцях (коридорах, біля входів або виходів з приміщень) таким чином, щоб вони не заважали під час евакуації.

Відстань від можливого осередку пожежі (найбільш віддаленого місця у приміщенні) до місця розташування вогнегасника не повинна перевищувати 20 м. Місця знаходження вогнегасників позначаються вказівними знаками, згідно з чинними державними стандартами.

Впроваджено наступні засоби пожежогасіння (згідно з [25]):

пінні вогнегасники типу ОХП-10, повітряно-пінні вогнегасники типу ОВП-10;

порошкові ОП-2, ОП-5; пісок.

Встановлюється охоронно-пожежна сигналізація автономного типу.

Приміщення захищено від прямого удару блискавки (відповідно до [26]) за допомогою блискавковідводу, що складається з блискавко-приймача (що приймає на себе розряд блискавки), заземлювача і струмо-провідника. Тип одиночний стрижньовий: $h = 100$ м, висота його зони захисту над землею $h_0 = 0,87 * 100 = 87$ м. Радіус зони захисту на рівні землі $r_0 = 1,5 * 100 = 150$ м.

4.3 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Якщо з'явилися несправності в роботі холодильного апарату (іскріння і та ін.) негайно відключити його від електромережі і доповісти про це керівнику і електрику.

В разі загоряння холодильного апарату необхідно відключити його від електромережі, евакуювати людей з приміщення, провести гасіння обладнання первинними засобами пожежогасіння, повідомити про інцидент своєму керівникові.

У випадку ураження електрострумом надати потерпілому першу допомогу, якщо відсутнє дихання і пульс провести штучне дихання і непрямий масаж серця до відновлення дихання і пульсу, викликати медсестру або транспортувати потерпілого в медичний кабінет установи, при необхідності викликати швидку медичну допомогу, доповісти керівнику.

При травмуванні надати першу допомогу потерпілому, викликати медсестру або транспортувати потерпілого в медичний кабінет установи, при необхідності викликати швидку медичну допомогу, доповісти керівнику.

У разі попадання в очі миючих і дезінфікуючих засобів, під час миття холодильника, ретельно промити очі водою і звернутися до медсестри. При подразненні шкіри рук добре помити їх з милом і нанести крем [5].

4.4 Висновки за розділом

У даному розділі розглянута характеристика об'єкту та умови його експлуатації, проаналізовані небезпечні та шкідливі виробничі фактори, визначені основні заходи з безпеки під час збереження та заморозки продуктів – сформульовані загальні вимоги з безпеки, застосування первинних засобів гасіння пожежі та правил пожежа- і вибухобезпеки, розглянуті питання з охорона праці.

ВИСНОВКИ

Актуальність роботи пояснюється необхідністю модернізації систем керування, яка використовуються на судах для процесу заморожування, збереження та розморожування риби. Сучасна система керування дозволить контролювати зазначені параметри, дозволяючи отримувати режими роботи технологічного обладнання з заданими технічними характеристиками. Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи технологічного обладнання.

В кваліфікаційній роботі магістра проведено аналіз технологічного процесу заморожування риби та відповідне обладнання – камера шокової заморозки Frios Winter SF-2300

В результаті проведених досліджень було отримано модель ОК визначено граничні показники, межах якої повинна відповідати розроблена система керування, було отримано модель системи керування, визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи згідно висунутим критеріям.

Неперервна модель системи керування температурою випарника камери шокової заморозки була перетворена у дискретну форму. В дискретній моделі виокремлені два блоки: об'єкта керування і регулятора. На основі цих блоків отримано програмний код на мові «Structured Text».

Програмні коди об'єкта керування та регулятора були використані при розробці програмного забезпечення для програмного ПЛК у zenon Logic.

Засобами scada zenon було розроблено інтерфейс користувача та перевірено функціонування програмної моделі системи керування.

При впровадженні системи керування температурою випарника камери шокової заморозки Frios Winter SF-2300 та розробки програмного забезпечення для неї (термін розробки 1,5 місяця), капітальні витрати

складають 220,4 тис. грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи керування 1,32 млн. грн.

У розділі «Охорона праці» розглянута характеристика об'єкту та умови його експлуатації, проаналізовані небезпечні та шкідливі виробничі фактори, визначені основні заходи з безпеки під час збереження та заморозки продуктів – сформульовані загальні вимоги з безпеки, застосування первинних засобів гасіння пожежі та правил пожежа- і вибухобезпеки, розглянуті питання з охорона праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Samofatova, V., & Neveseliuk, V. (2020). Сучасний стан рибної промисловості України. *Food Industry Economics*, 12(2). <https://doi.org/10.15673/fie.v12i2.1738>.
2. Реформування рибного господарства //Держрибагентство України сьогодні. Київ, 2019. URL: https://darg.gov.ua/files/1/Консерсія_reformuvannya.pdf (дата звернення: 20.10.2023).
3. Споживання риби українцями у 2019 році зросло на 9,3% – Держрибагентство. 2020. URL: <https://mind.ua/news/20207874-spozhivannya-ribi-ukrayinciyami-u-2019-roci-zroslo-na-93-derzhribagentstvo> (дата звернення: 19.10.2023)
4. Холодильна техніка та технологія харчової промисловості: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] : науководопоміжний бібліографічний покажчик двома мовами 1960-2020pp./ 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: 12.10.2023). – назва з екрана.
5. Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра на тему: «Автоматизація технологічного процесу заморожування риби» здобувача вищої освіти Фліка Дениса Васильовича академічної групи 151-18-1, НТУ «Дніпровська політехніка» 2022. – 92с. Режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/160599> (дата звернення: 01.10.2023).
6. 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.

7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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: 15.10.2023). – назва з екрана.
13. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату” - К.: МОЗ України, 2000.

- 14.ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
- 15.ДСТУ Б.А.3.2-12:2009. Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.
- 16.Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.
- 17.«Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.
- 18.ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин
- 19.ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції
- 20.ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
- 21.ДБН В2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення».
- 22.ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
- 23.ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».
- 24.ДСТУ ІЕС 61140: 2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання».
- 25.ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
- 26.ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухо-пожежною та пожежною небезпекою».
- 27.ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань».
- 28.ДБН В.2.5-56-2014 «Системи протипожежного захисту».

Додаток А

Програмні модулі системи керування

A.1 Модуль об'єкта керування

```
(*
*
* File: Objects_PI_sub.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Objects_PI_sub/Object"
*
* Model name          : Objects_PI_sub
* Model version       : 1.57
* Model creator       : students
* Model last modified by   : Den
* Model last modified on   : Tue Dec 05 22:50:09 2023
* Model sample time     : 0s
* Subsystem name       : Objects_PI_sub/Object
* Subsystem sample time  : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on   : Tue Dec 05 23:01:53 2023
*
* Target IDE selection   : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included    : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Object
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Pressure: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Temperature: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn2_states: LREAL;
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..231] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    Delay: LREAL;
    i: DINT;
    DiscreteTransferFcn1: LREAL;
END_VAR
```

```

CASE ssMethodType OF
  SS_INITIALIZE:
    (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
    FOR i := 0 TO 231 DO
      Delay_DSTATE[i] := 0.0;
    END_FOR;
    (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
    (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
    DiscreteTransferFcn1_states := 0.0;

    (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
    DiscreteTransferFcn2_states := 0.0;
  SS_STEP:

    (* Delay: '<S1>/Delay' *)
    Delay := Delay_DSTATE[0];
    (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
    DiscreteTransferFcn1 := 0.00027632705895 * DiscreteTransferFcn1_states;
    (* Output: '<Root>/bo_Temperature' incorporates:
    * Constant: '<S1>/Початкова температура'
    * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2'
    * Sum: '<S1>/Sum10' *)
    bo_Temperature := (0.00055626632598 * DiscreteTransferFcn2_states) + -12.0;
    (* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
    * Constant: '<S1>/Мінімальний тиск, бар'
    * Gain: '<S1>/K'
    * Update for Inport: '<Root>/bi_Pressure'
    * Sum: '<S1>/Sum9' *)
    FOR k := 0 TO 230 DO
      Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];
    END_FOR;
    Delay_DSTATE[231] := (bi_Pressure + 5.0) * -1.1446;
    (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)
    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
    DiscreteTransferFcn1_states := Delay - (-0.99972367294105 *
DiscreteTransferFcn1_states);
    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
    DiscreteTransferFcn2_states := DiscreteTransferFcn1 - (-0.99944373367402 *
DiscreteTransferFcn2_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: Objects_PI_sub.exp
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Objects_PI_sub/Controller"
*
* Model name          : Objects_PI_sub
* Model version       : 1.57
* Model creator       : students
* Model last modified by   : Den
* Model last modified on   : Tue Dec 05 22:50:09 2023
* Model sample time     : 0s
* Subsystem name       : Objects_PI_sub/Controller
* Subsystem sample time  : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on   : Tue Dec 05 23:00:33 2023
* Target IDE selection   : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included    : No
*)
FUNCTION_BLOCK Controller
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bj_Error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Pressure: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_u_l: LREAL;
    rtb_u: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' *)
        DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 0.0;
    SS_STEP:
        (* Gain: '<S1>/Кл' incorporates:

```

```

* DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'
* Gain: '<S1>/Inv'
* Inport: '<Root>/bi_Error'
* Sum: '<S1>/Sum12' *)
rtb_u_l := (DiscreteTimeIntegrator_DSTATE + (-bi_Error)) * 1.7;

(* Saturate: '<S1>/Обмеження2' *)
IF rtb_u_l >= 21.0 THEN
    rtb_u := 21.0;
ELSIF rtb_u_l > 0.0 THEN
    rtb_u := rtb_u_l;
ELSE
    rtb_u := 0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S1>/Обмеження2' *)

(* Outport: '<Root>/bo_Pressure ' *)
bo_Pressure := rtb_u;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator' incorporates:
* Gain: '<S1>/Inv'
* Gain: '<S1>/Ti'
* Inport: '<Root>/bi_Error'
* Sum: '<S1>/Sum1'
* Sum: '<S1>/Sum8' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := (((rtb_u - rtb_u_l) + (0.0035714285714285713 *
(-bi_Error))) * 0.1) + DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;
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

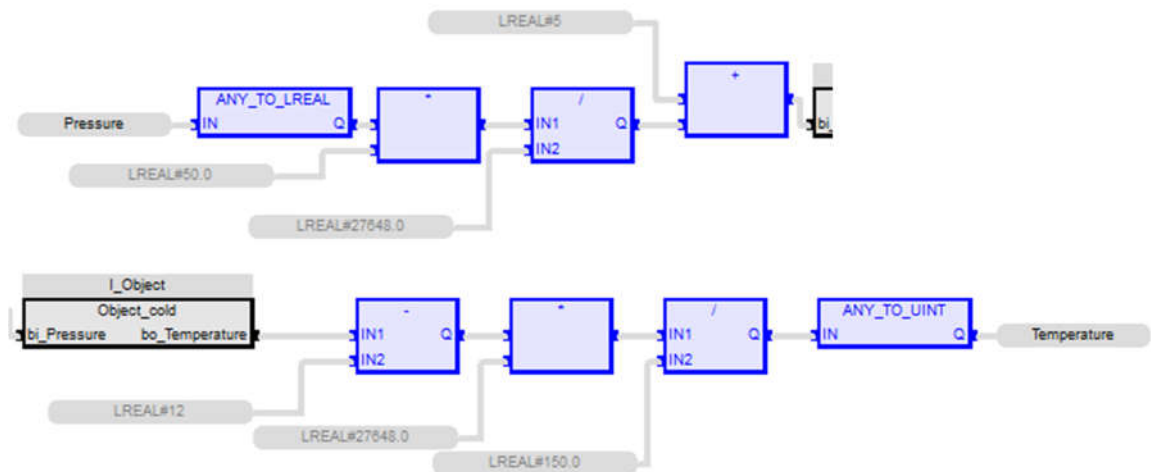
Б.1 Програмне забезпечення об'єкта керування

Б.1.1 Список програм

[FBD] Main_Object (* Основна програма *)

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

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Користувачський функціональний блок

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

* Constant: '<S1>/Початкова температура'

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

* Sum: '<S1>/Sum10' *)

bo_Temperature := (LREAL#0.00055626632598 *

DiscreteTransferFcn2_states) + LREAL#-12.0;

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

* Constant: '<S1>/Мінімальний тиск, бар'

* Gain: '<S1>/K'

* Update for Inport: '<Root>/bi_Pressure'

* Sum: '<S1>/Sum9' *)

FOR k := 0 TO 230 DO

Delay_DSTATE[k] := Delay_DSTATE[k + 1];


```

END_FOR;
Delay_DSTATE[231] := (bi_Pressure + LREAL#5.0) * LREAL#-
1.1446;
(* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := Delay - (LREAL#-0.99972367294105
* DiscreteTransferFcn1_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
DiscreteTransferFcn2_states := DiscreteTransferFcn1 - (-
LREAL#0.99944373367402 * DiscreteTransferFcn2_states);

```

Б.1.4 Перелік змінних

```

VAR_INPUT
  bi_Pressure : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_Temperature : LREAL ;
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn2_states : LREAL ;
  Delay_DSTATE : ARRAY [0 .. 230] OF LREAL ;
  k : DINT ;
END_VAR

```

Б.2 Програмне забезпечення регулятора

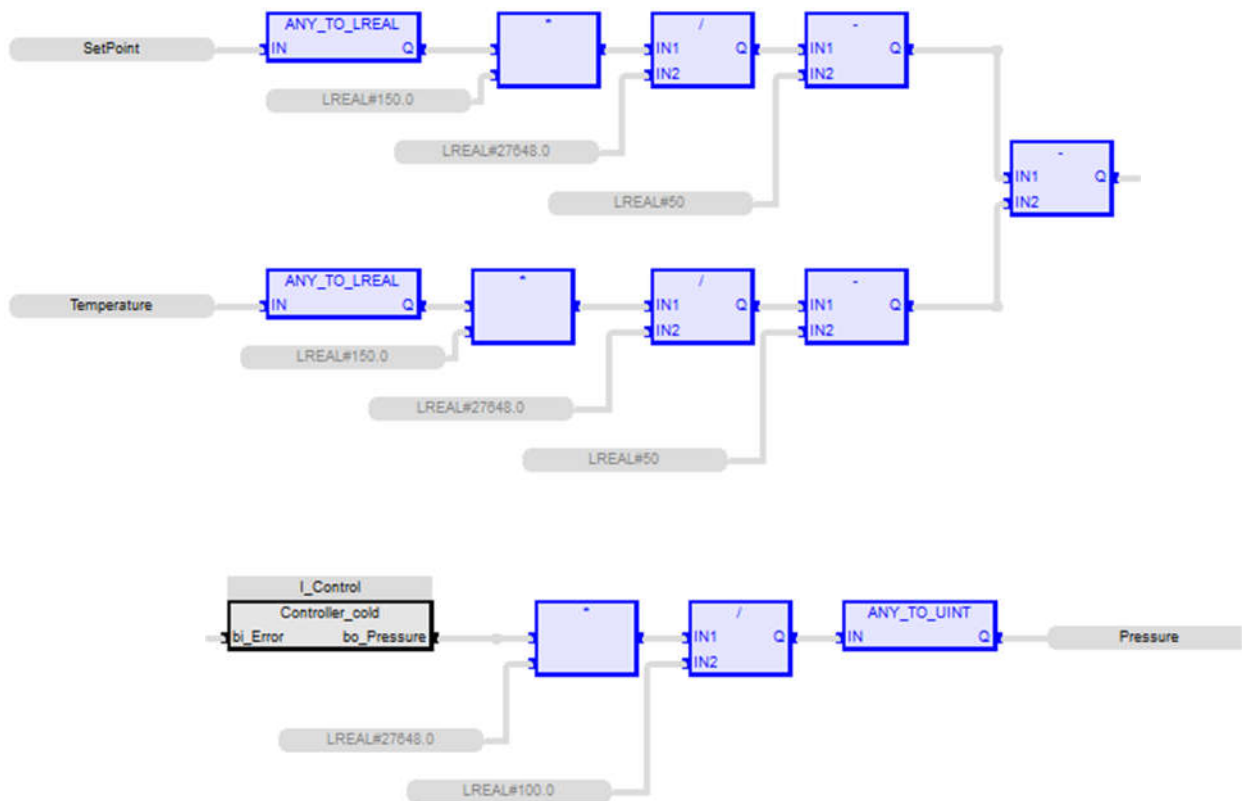
Б.2.1 Список програм

```

[FBD] Main_Controller (* Основна програма *)
[ST] Controller_cold (* Контролер *)

```

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Користувачький функціональний блок

(* Gain: '<S1>/Кп' incorporates:

* DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'

* Gain: '<S1>/Inv'

* Inport: '<Root>/bi_Error'

* Sum: '<S1>/Sum12' *)

rtb_u_1 := (DiscreteTimeIntegrator_DSTATE + (-bi_Error)) * LREAL#1.7;

(* Saturate: '<S1>/Обмеження2' *)

IF rtb_u_1 >= LREAL#21.0 THEN

 rtb_u := LREAL#21.0;

ELSIF rtb_u_1 > LREAL#0.0 THEN

 rtb_u := rtb_u_1;

ELSE

 rtb_u := LREAL#0.0;

END_IF;

(* End of Saturate: '<S1>/Обмеження2' *)

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

```
bo_Pressure := rtb_u;
```

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Discrete-Time Integrator'
incorporates:

- * Gain: '<S1>/Inv'
- * Gain: '<S1>/Ti'
- * Inport: '<Root>/bi_Error'
- * Sum: '<S1>/Sum1'
- * Sum: '<S1>/Sum8' *)

```
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := (((rtb_u - rtb_u_l) +  
(LREAL#0.0035714285714285713 * (-bi_Error))) * LREAL#0.1) +  
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;
```

Б.2.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
```

```
  bi_Error : LREAL ;
```

```
END_VAR
```

```
VAR_OUTPUT
```

```
  bo_Pressure : LREAL ;
```

```
END_VAR
```

```
VAR
```

```
  DiscreteTimeIntegrator_DSTATE : LREAL ;
```

```
  rtb_u_l : LREAL ;
```

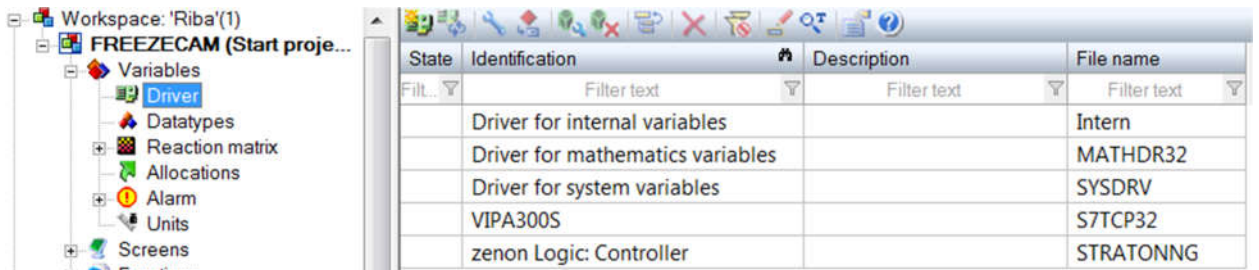
```
  rtb_u : LREAL ;
```

```
END_VAR
```

Додаток В

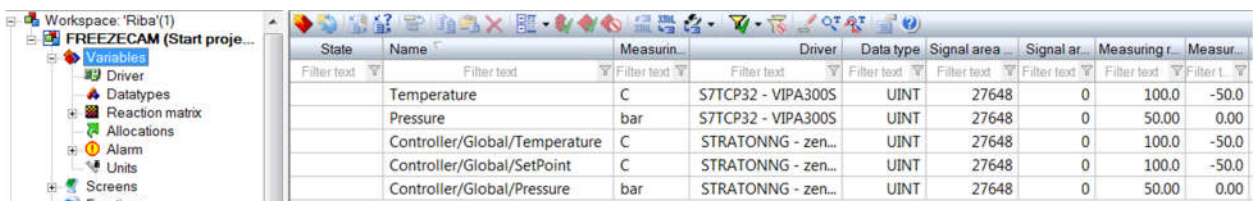
Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

В.1 Драйвера



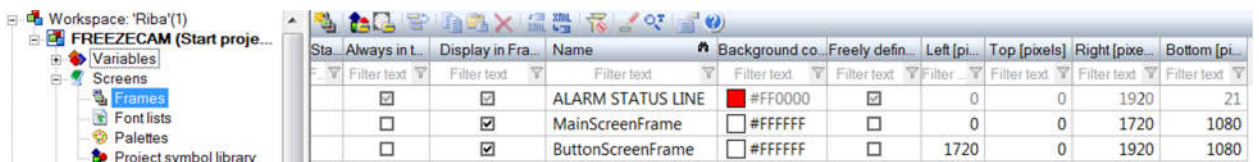
State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	VIPA300S		S7TCP32
	zenon Logic: Controller		STRATONNG

В.2 Перелік змінних

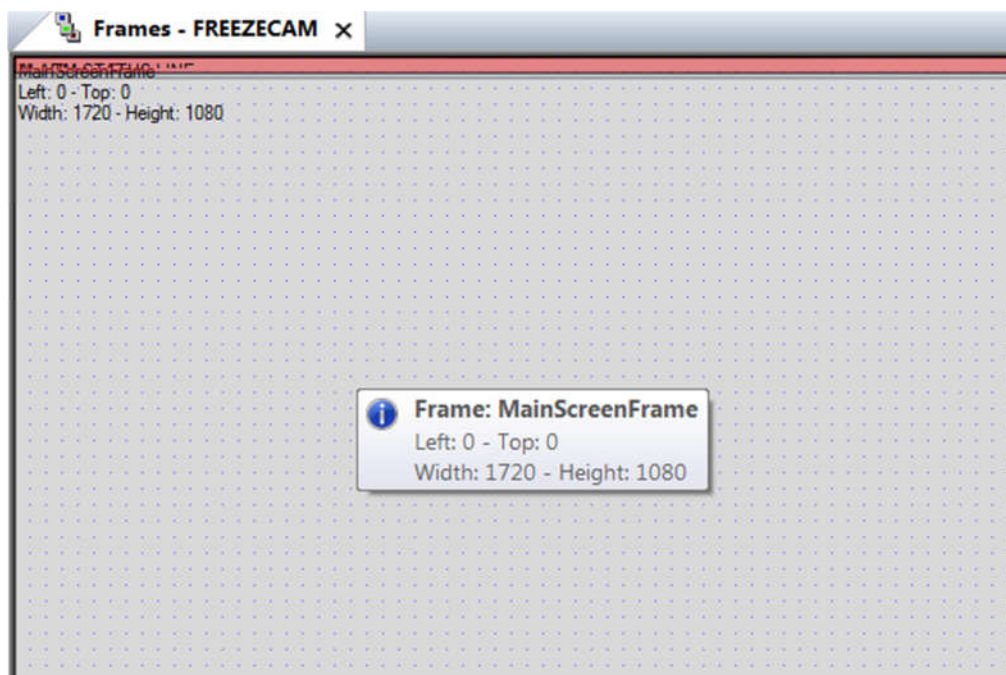


State	Name	Measurin...	Driver	Data type	Signal area	Signal ar...	Measuring r...	Measur...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Temperature	C	S7TCP32 - VIPA300S	UINT	27648	0	100.0	-50.0
	Pressure	bar	S7TCP32 - VIPA300S	UINT	27648	0	50.00	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/Pressure	bar	STRATONNG - zen...	UINT	27648	0	50.00	0.00

В.3 Шаблони зображень



Sta	Always in L...	Display in Fra...	Name	Background co...	Freely defin...	Left [pi...	Top [pixels]	Right [pixe...	Bottom [pi...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	<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



В.4 Функції

The screenshot shows the 'Functions' list in the FREEZECAM software. The left sidebar contains a tree view with 'Functions' selected. The main window displays a table with the following data:

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,
	Function 8	Alarm Message List active	
	Function 9	Screen switch	Trend (Extended Trend) - TREND[HD]

В.5 Зображення

The screenshot shows the 'Screens' list in the FREEZECAM software. The left sidebar contains a tree view with 'Screens' selected. The main window displays a table with the following data:

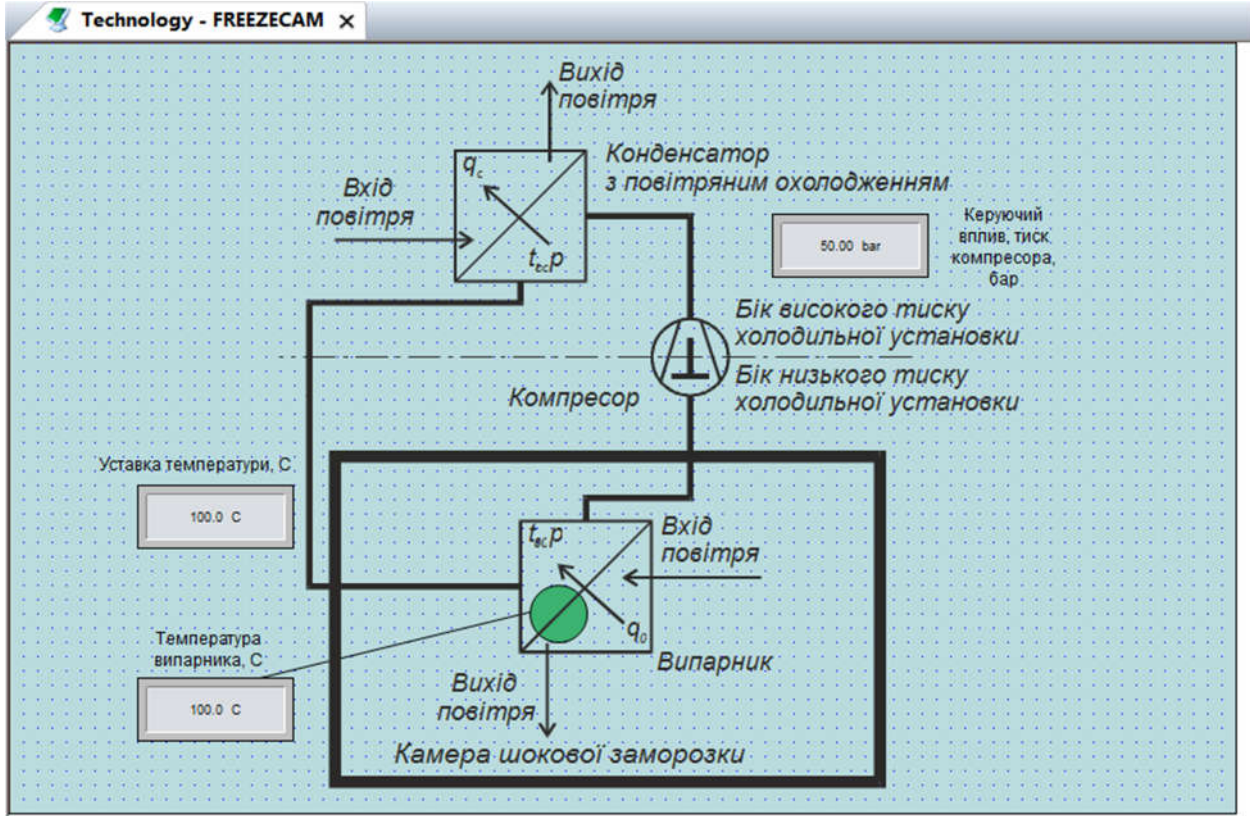
State	Visible under CE	Name	Screen type	Frame	Background color	Start function	End function
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Technology	Standard	MainScreenFrame	#BADCDE	< no function...	< no functi...
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ButtonScreen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

The screenshot shows the 'Information - FREEZECAM' dialog box. The text inside the dialog box is as follows:

Міністерство освіти і науки України
 Національний технічний університет
 «Дніпровська політехніка»
 Навчально-науковий інститут електроенергетики
 Електротехнічний факультет
 Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимрювальних систем

ЛЮДИНО-МАШИНИЙ ІНТЕРФЕЙС
 до кваліфікаційної роботи ступеня магістра
 студента Фліка Дениса Васильовича
 академічної групи 151М-22-1
 спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 за освітньо-професійною програмою 51 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 на тему Синтез та дослідження системи автоматичного керування технологічним процесом заморожування рин
 керівник кваліфікаційної роботи проф. Бубликов А.В.

Дніпро
 2023



Trend - FREEZECAM

Diagram name

Profile selection
Typ: COMBOBOX
ID: 10201

Save Import Export Delete

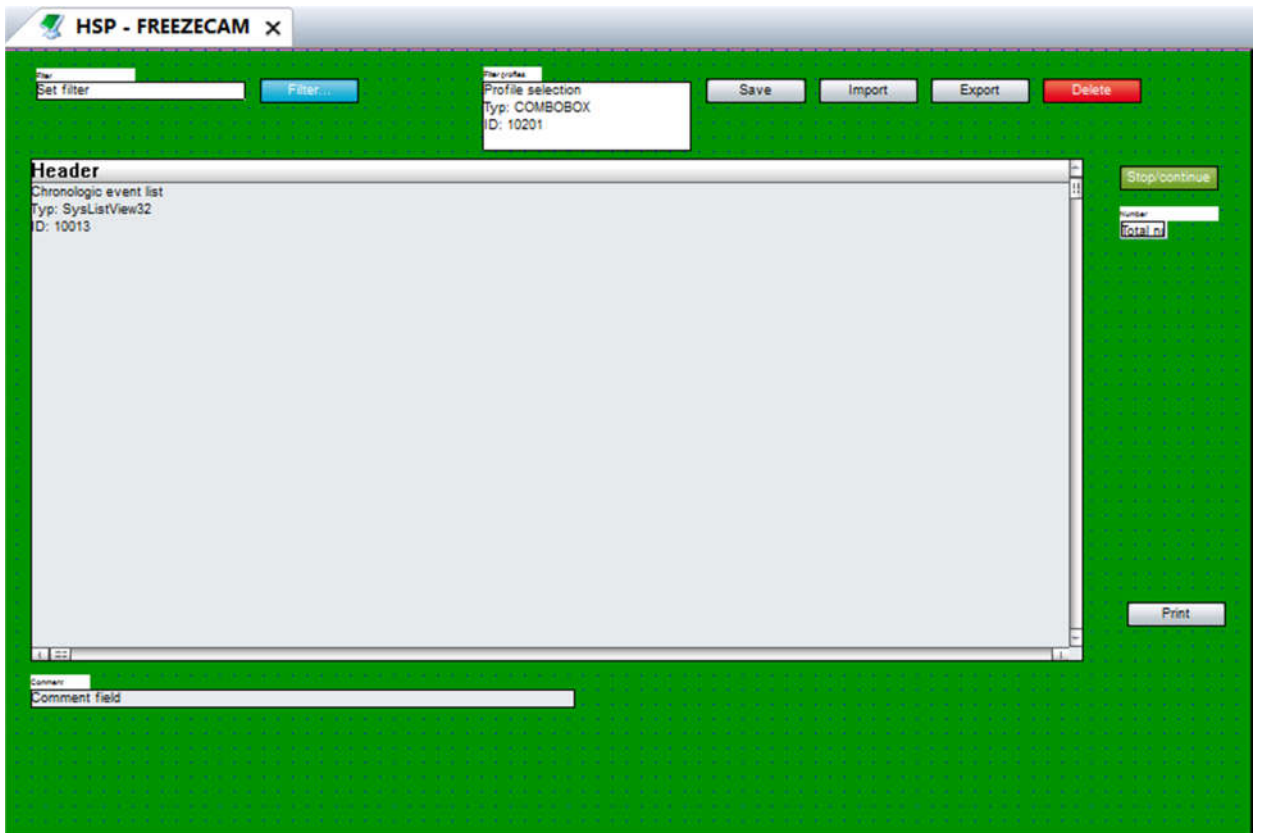
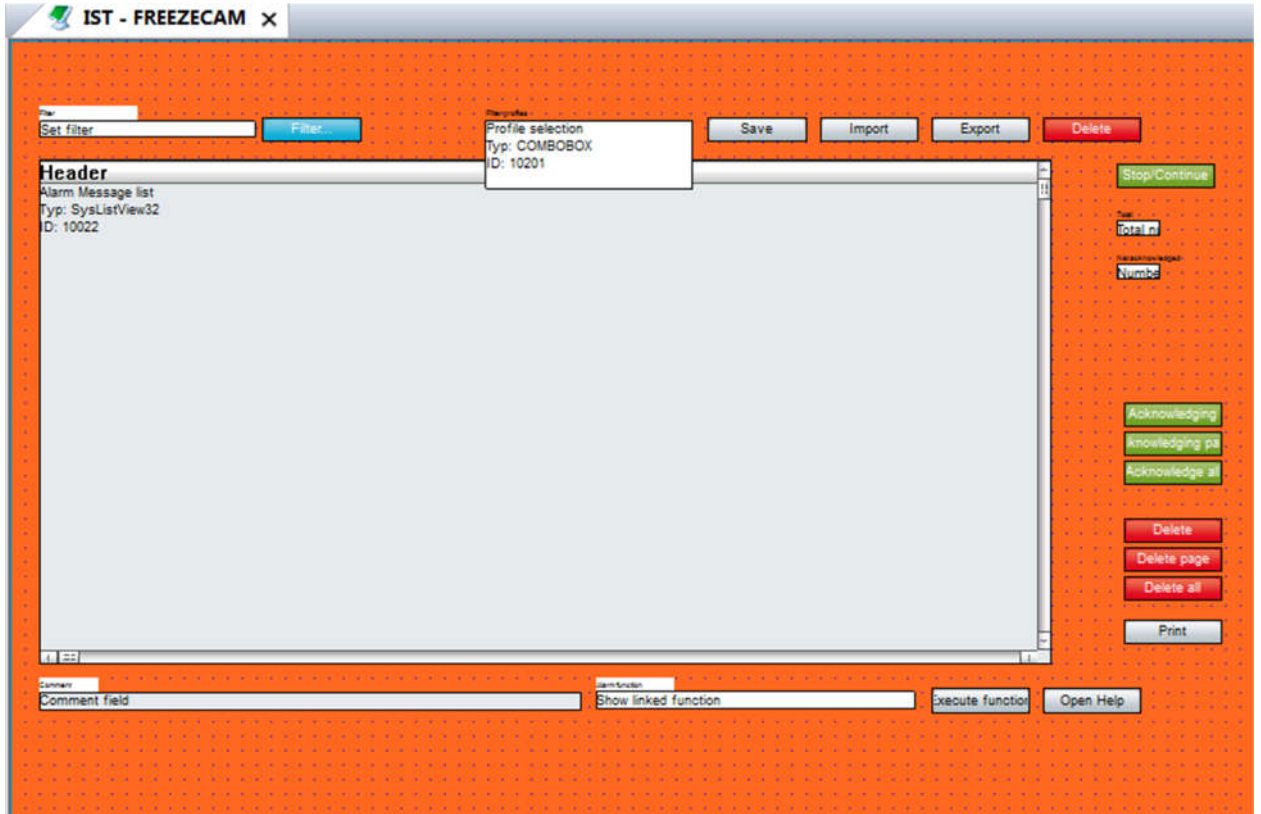
Diagram window
Typ: STATIC
ID: 10012

Control element (Windows)
Element name: Control element (Windows)_15

Header

Extended curve list
Typ: STATIC
ID: 10033

Start
Stop/Continue
Refresh
Zoom
Rezoom
Zoom -
Zoom +
Cursor on/off
<<
>>
Copy to clipboard
Diagram
Settings ...
Print



ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра
на тему: “Синтез та дослідження системи автоматичного керування
технологічним процесом заморожування риби”
здобувача вищої освіти академічної групи 151м-22-1
Фліка Дениса Васильовича

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеня магістра відповідає основній меті – перевірка 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 випарника камери шокової заморозки, 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. Отримана модель системи автоматичного керування температурою випарника камери шокової заморозки, 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.

Третій та четвертий розділи присвячені розрахунку вартості розробленої системи керування та аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації системи керування температурою випарника камери шокової заморозки.

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 Флік Д.В. присвоєння кваліфікації “магістр” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Керівник кваліфікаційної роботи, _____ Бубліков А.В.
професор, д.т.н.

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра
на тему: “Синтез та дослідження системи автоматичного керування
технологічним процесом заморожування риби”
здобувача вищої освіти академічної групи 151м-22-1
Фліка Дениса Васильовича

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 випарника камери шокової заморозки, 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. Визначено максимальні та мінімальні значення часу наростання та часу встановлення дійсного значення, яким має відповідати система керування. Отримана модель системи автоматичного керування температурою випарника камери шокової заморозки, обґрунтовано вибір структури регулятора та визначені 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 Флік Д.В. присвоєння кваліфікації “магістр” за спеціальністю “151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”.

Рецензент _____

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувачем кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем

_____ Бубліковим А.В.

« _____ » _____ 2023 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі магістра на тему “Синтез та дослідження системи автоматичного керування технологічним процесом заморожування риби”, здобувача вищої освіти, групи 151м-22-1, Фліка Дениса Васильовича.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає 80 сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichек.com>”. Рівень запозичень з одного джерела у роботі складає 30,5%, що є меншим 40 % та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Керівник кваліфікаційної роботи, _____ Бубліков А.В.
професор, д.т.н. (підпис)

_____ (дата)



Ім'я користувача:
Дмитро Славінський

Дата перевірки:
07.12.2023 10:13:57 EET

Дата звіту:
07.12.2023 13:44:16 EET

ID перевірки:
1015979045

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100008965

Назва документа: 00_151м-22-1_Флік_Д_В_-_ПЗ

Кількість сторінок: 101 Кількість слів: 15020 Кількість символів: 112049 Розмір файлу: 5.58 MB ID файлу: 1015658129

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

53.5%
Схожість

Найбільша схожість: 30.5% з Інтернет-джерелом (https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/161983/03_151_-18_..)

52.6% Джерела з Інтернету 492 Сторінка 103

42% Джерела з Бібліотеки 138 Сторінка 113

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0%
Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 38

Підозріле форматування 21 сторінка