

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

**Теплоенергетичний
Автоматизації теплоенергетичних процесів**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир

ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Автоматизоване управління
технологічними процесами»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Автоматизована система керування опаленням приватного
будинку»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ТО-81

Петренко Дарина Денисівна _____

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Олійник Олена Юріївна _____

Консультант з охорони праці:

Професор, д.т.н.

Глива Валентин Анатолійович _____

Рецензент: _____

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

Студентка Петренко Д.Д.

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Теплоенергетичний
Автоматизації теплоенергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма «Автоматизоване управління технологічними процесами»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир

ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Петренко Дарина Денисівна

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування опаленням приватного будинку», керівник проєкту Олійник Олена Юріївна, ктн., доцент, затверджені наказом по університету від «08» червня 2022 р. № 965-с
2. Термін подання студентом проєкту «15» червня 2022 р
3. Вихідні дані до проєкту: Літературні джерела. Температура теплоносія на введенні в систему опалення – (50...90) °С, температура теплоносія до теплового вводу – (60...80) °С, тиск теплоносія в системі опалення – 2 бар.
4. Зміст пояснювальної записки Постановка задачі автоматизації ТОВ. Проктування АСУ ТОВ. Розрахунок і моделювання САР. Розробка програмного забезпечення. Імітаційне моделювання і аналіз функціонування АТК. Охорона праці. Розрахунок техніко-економічної ефективності АСУ.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

Схема автоматизації функціональна; специфікація обладнання; схема принципова електрична; креслення загального виду щита автоматизації; графічні ілюстрації до розрахункової частини, схема структурна ПТК.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
з питань охорони праці	д.т.н., професор Глива В.А.		
з нормконтролю	ст. викладач Некрашевич О.В.		

6. Дата видачі завдання «02» травня 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Пояснювальна записка. Розділ 1. Вступ	02.05.2022	
	Аркуш 1. Схема автоматизації	04.05.2022	
	Аркуш 2. Специфікація приладів	07.05.2022	
	Пояснювальна записка. Розділ 2. Проектування АСУ ТОВ	09.05.2022	
	Аркуш 3. Схема принципова електрична АСР	13.05.2022	
	Аркуш 4. Креслення загального виду щита	17.05.2022	
	Пояснювальна записка. Розділ 3. Розрахунок і моделювання САР	22.05.2022	
	Пояснювальна записка. Розділ 4. Розробка програмного забезпечення	24.05.2022	
	Пояснювальна записка. Розділ 5. Імітаційне моделювання і аналіз функціонування АТК	26.05.2022	
	Пояснювальна записка. Розділ 6. Охорона праці	29.05.2022	
	Пояснювальна записка. Розділ 7. Розрахунок техніко-економічної ефективності АСУ	01.06.2022	
	Нормконтроль	08.06.2022	
	Попередній захист дипломного проєкту	15.06.2022	
	Захист	20.06.2022	

Студент

Дарина ПЕТРЕНКО

Керівник

Олена ОЛІЙНИК

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті було розроблено автоматизовану систему керування опаленням приватного будинку. Були розроблені такі креслення: функціональна схема автоматизації, принципова електрична схема та креслення загального виду щита автоматизації.

Також була створена пояснювальна записка, яка складається з семи розділів: постановка задачі автоматизації ТОВУ, проектування автоматизації АСУ ТОВУ, розрахунок і моделювання САР, розробка програмного забезпечення, імітаційне моделювання і аналіз функціонування АТК, охорона праці та розрахунок техніко-економічної ефективності АСУ.

У першому розділі була поставлена задача автоматизації, описані системи регулювання, функціональна структура АСУ ТОВУ та вимоги до реалізації функцій.

Другий розділ складається з опису схеми автоматизації та вибору приладів для надійного функціонування системи опалення.

У третьому розділі було проведено синтез САР та аналіз їх функціонування, а також розрахунок вимірювальних та виконавчих каналів і розрахунок надійності функціонування системи.

У четвертому розділі було описано програмування ПЛК та розробка людинно-машинного інтерфейсу.

У п'ятому розділі показані полігонні випробування ІМ за допомогою таких середовищ, як Codesys, Matlab та WebStudio.

У шостому розділі було визначено, що система є безпечною та готовою до впровадження.

У сьомому розділі було розраховано техніко-економічну ефективність системи та термін окупності капіталовкладень, завдяки чому було зроблено висновок, що введення автоматизованої системи керування опаленням є економічно вигідним та ефективним.

Таким чином, можна зробити висновок, що на основі виконаного дипломного проєкту можна автоматизувати систему опалення.

ANNOTATION

In the diploma project Automated control system of the heating system of a private house was developed. The following drawings were developed: functional diagram of automation, schematic electrical diagram and drawings of the general type of automation board.

An explanatory note was also created, which consists of seven sections: setting the task of automation of maintenance, design of automation of control systems, calculation and modeling of ATS, software development, simulation and analysis of ATC, labor protection and calculation of technical and economic efficiency of ACS.

The first section sets the task of automation, describes the control systems, the functional structure of the ACS TOU and requirements for the implementation of functions.

The second section consists of a description of the automation scheme and the choice of devices for reliable operation of the heating system.

In the third section, the synthesis of ATS and analysis of their operation, as well as the calculation of measuring and executive channels and the calculation of the reliability of the system.

The fourth section described PLC programming and human-machine interface development.

The fifth section shows field trials of IM using environments such as Codesys, Matlab, and WebStudio.

Section 6 identified the system as secure and ready for implementation.

In the seventh section, the technical and economic efficiency of the system and the payback period of investments were calculated, due to which it was concluded that the introduction of an automated heating control system is cost-effective and efficient.

Thus, we can conclude that on the basis of the completed diploma project it is possible to automate the heating system.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСК – автоматична система керування

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом

АСР – автоматична система регулювання

АФЧХ – амплітудно-фазова частотна характеристика

РАФХ – розширена амплітудно-фазова характеристика

ВК – вимірювальний канал

ДБН – державні будівельні норми

ДСТУ – Державний стандарт України

ЕУ – електроустановки

ІМ – імітаційна модель

ІТП – індивідуальний тепловий пункт

ГВП – гаряче водопостачання

НПАОП – нормативно-правові акти по охороні праці

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор

ПК – персональний комп'ютер

ПЛК – програмно-логічний контролер

ПТК - програмно – технічний комплекс

ПУЕ - правила улаштування електроустановок

РО - регулюючий орган

САР – система автоматичного регулювання

ЧП - частотний перетворювач

ЕУ - електроустановка

ISO - Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization)

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система керування
опаленням приватного будинку»**

Київ – 2022 року

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТОУ	10
1.1 Характеристика ТОУ	10
1.2 Ідентифікація ТОУ	12
1.3 Огляд і аналіз сучасних АСУ ТОУ	13
1.4 Обґрунтування і вибір структур САР	17
1.5 Опис функціональної структури АСУ ТОУ	18
1.6 Опис вимог до реалізації функцій АСУ ТОУ	20
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ АСУ ТОУ	21
2.1 Опис схеми автоматизації	21
2.2 Технологічні вимірювання	23
2.3 Виконавчі механізми і регулюючі органи	27
2.4 Рішення з контролерної автоматизації	28
2.5 Рішення з супервізорної автоматизації	30
2.6 Рішення з мережевого обміну даними	31
2.7 Опис структури ПТК	32
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ САР	33
3.1 Синтез САР і аналіз її функціонування	33
3.2 Розрахунок вимірювальних каналів САР	71
3.3 Розрахунок виконавчих каналів САР	74
3.4 Розрахунок надійності функціонування САР	75
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	79
4.1 Програмування ПЛК	79
4.2 Розробка людино-машинного інтерфейсу	86

					ТО8153.0012.001.АТХ.П						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис								
Розроб.		Петренко Д.Д.			Автоматизована система керування опаленням приватного будинку			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Олійник О.Ю.								7	110
Реценз.								НТУУ “КПР”, ТЕФ, АТЕП			
Н. Контр.		Некрашевич О.В.									
Затверд.		Волощук В.А.									

РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ	
АТК	89
5.1 Опис структури полігону	89
5.2 Імітаційне моделювання ТОУ	92
5.3 Полігонні випробування ІМ і аналіз функціонування АСУ	92
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ	93
РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АСУ	
.....	103
ВИСНОВКИ.....	107
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	109

ВСТУП

Проектування систем опалення слід починати з вибору найвигіднішого варіанта опалення для об'єкта. Об'єктом виступає приватний будинок площею 1100 м², тому було вирішено, що найбільш вигідним варіантом є опалення за допомогою індивідуального тепlopункту з частотно-керованими насосами.

Тепловий пункт займається перетворенням теплоносія та регулюванням його параметрів. Тепlopункти обирають для доцільного розподілу теплоенергії та захисту системи опалення від підвищених температур та тиску.

Існують залежні та незалежні схеми підключення споживачів до тепlopункту. Обираючи залежну схему підключення, слід пам'ятати, що є ризик забруднення системи механічними домішками, які осідають через меншу швидкість теплоносія в порівнянні з тепловою мережею. Тому для проєкту була обрана незалежна схема підключення, яка виключає таке явище.

Головною метою проєкту є регулювання температури теплоносія на подачу в систему опалення в залежності від температури повітря зовнішнього середовища, забезпечуючи комфортну температуру повітря в опалювальних приміщеннях.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						9
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТОУ

1.1 Характеристика ТОУ

Теплопункт – комплекс обладнання, який розташовується в окремому приміщенні та приєднує споживачів до теплової мережі. Теплові пункти займаються контролюванням та регулюванням параметрів теплоносія, а також обліком його використання та розподілом між споживачами.

Розглянемо переваги варіанта опалення приватного будинку тепловим пунктом. По-перше, це низький ризик виникнення аварійних ситуацій через виключення ГВП з мережі. По-друге - це економія, оскільки не потрібно витратити великі кошти на будматеріали та теплоізоляцію. Також довжина трубопроводу скорочується в два рази, тому тепла мережа не потребує фінансових вкладень.

ІТП займається обліком витрати теплоносія та захищає систему від аварійного збільшення параметрів теплоносія, а також рівномірно розподіляє теплоносії за системою теплоспоживання. Тепловий пункт перетворює вид теплоносія, регулює параметри циркулюючої рідини та відключає систему теплоспоживання.

Як було зазначено раніше, існує залежна та незалежна схема підключення. Розглянемо кожен з них.

При залежній схемі підключення теплоносії потрапляє до системи опалення напряму із теплової мережі. Для отримання заданої температури, теплоносії з зовнішньої магістральної мережі змішується зі зворотною. Тобто система опалення повністю залежить від зовнішньої магістралі.

При незалежній системі використовуються теплообмінники, які відокремлюють системи споживання від теплової мережі (див.рис.1.1). Найпопулярнішими теплообмінниками є пластинчасті через їх вищу теплопередавальну здатність.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						10
Зм.		№док.	Підп.	Дата		

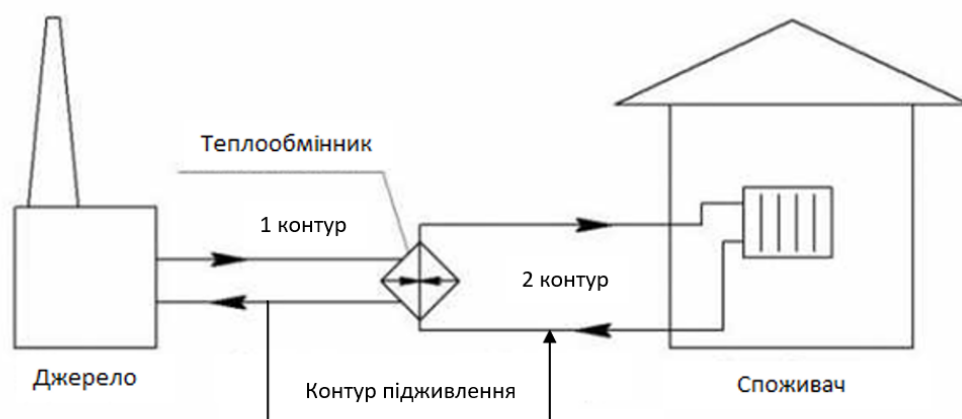


Рисунок 1.1 - Незалежна система тепlopостачання

Перевагами незалежної системи над залежною є те, що при залежній схемі підключення існує можливість потрапляння до системи тепlopостачання мулу, іржі та інших механічних домішок, які можуть спричинити небажане навантаження на регулюючі клапани. Незалежна ж схема підключення виключає це явище.

Також незалежна система є більш надійною, оскільки при такій схемі підключення зберігається циркуляція з деякою кількістю тепла протягом певного проміжку часу, якого вистачить для ліквідації аварій тепломереж, тобто при аварії температура в опалювальних приміщеннях не змінюється.

Незалежна схема виключає підвищення тиску на введенні теплових мереж джерела тепла; покращує якість води ГВП; економить тепло; надає можливість застосовувати теплоносії різних хімічних складів та дозволяє створювати у контурі системи опалення бажаний гідравлічний режим.

Але у незалежній схемі підключення є й свої недоліки. Якщо відбувається знеструмлення насосів, у системі опалення припиняється циркуляція води. Також при швидкісному теплообміннику, температура води, що нагрівається, не може досягти температури гріючої води, тому що температура теплоносія з тепломережі завжди буде вищою за температуру теплоносія, який надходить у систему опалення. Ще одним недоліком є те, що при охолодженні та нагріванні теплоносія коливається тиск у системі опалення, що призводить до підвищення тиску до максимального значення у холодні дні опалювального періоду, і до мінімального

значення - у теплі. Також, у порівнянні з залежними схемами, незалежні складніше запускаються, налаштовуються та обслуговуються.

1.2 Ідентифікація ТОУ

Ідентифікацією називають процес побудови за експериментальними даними математичних моделей.

Нам потрібно визначити динамічні властивості об'єкта. Для цього потрібно побудувати криву розгону. Крива розгону — перехідна характеристика керованого об'єкта.

Для отримання передаточної функції потрібно знайти параметри K -коефіцієнт підсилення, t - сталу часу, τ – запізнення. Знайдемо дані параметри для контуру регулювання температури (див.рис.1.2):

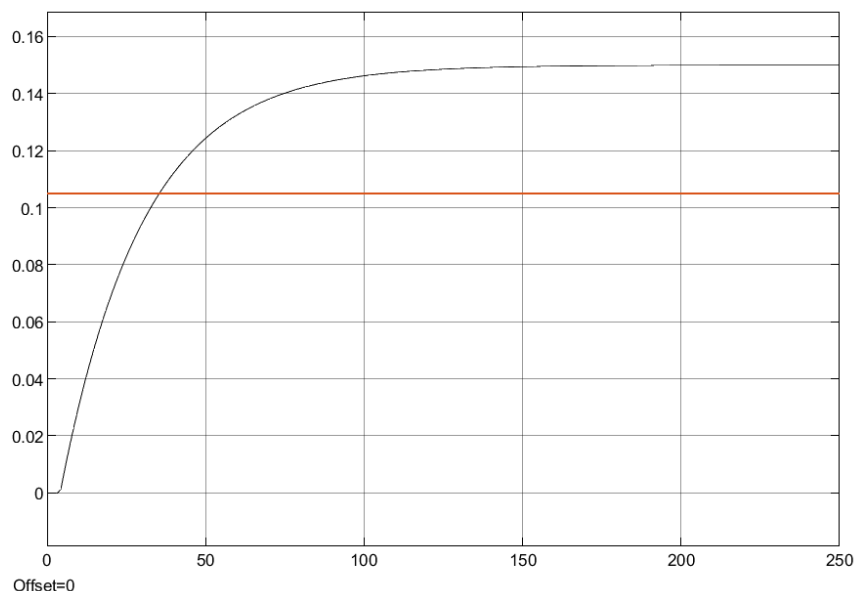


Рисунок 1.2 - Перехідна характеристика контуру регулювання температури

За допомогою методу 2/3 визначили, що $K = 0,15$, $t = 35$ с, $\tau = 4$ с.

Тобто, передавальна функція для даного об'єкта:

$$W(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-4p}}{35p + 1}$$

Знайдемо дані параметри для контуру регулювання тиску (див.рис.1.3):

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						12
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

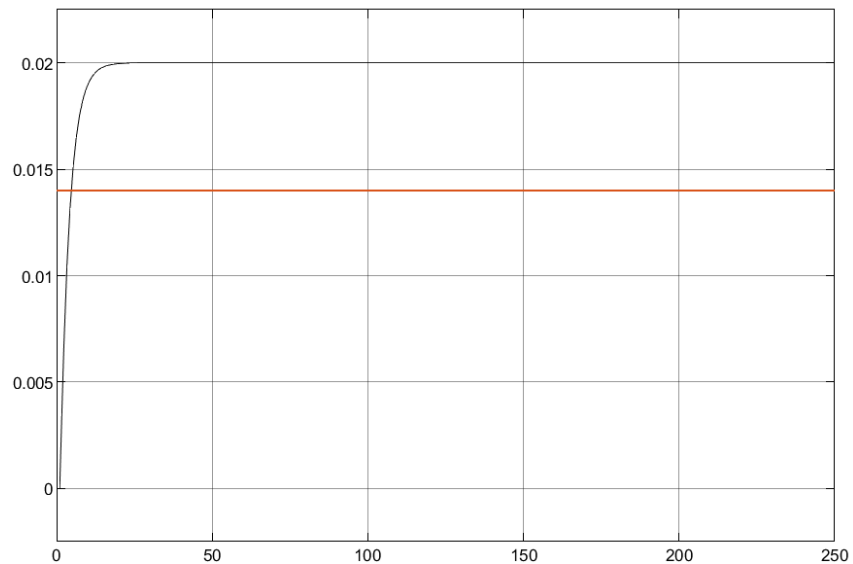


Рисунок 1.3 - Перехідна характеристика контуру регулювання тиску

За допомогою методу 2/3 визначили, що $K = 0,02$, $t = 4\text{с}$, $\tau = 1\text{с}$.

Тобто, передавальна функція для даного об'єкта:

$$W(p) = \frac{0,02 \cdot e^{-1p}}{4p + 1}$$

1.3 Огляд і аналіз сучасних АСУ ТОВ

В системі опалення регулюється температура і тиск теплоносія у трубопроводах.

Основним фактором в процесі є регулювання температури теплоносія, яке може здійснюватись за допомогою каскадної, одноконтурної або комбінованої САР.

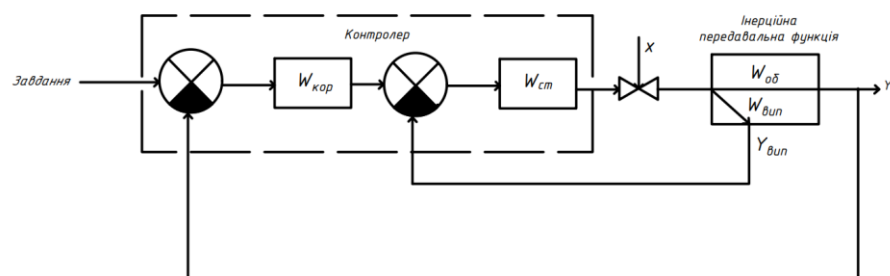


Рисунок 1.4 - Каскадна система для регулювання температури теплоносія

$W_{\text{кор}}$ – коригуючий регулятор;

$W_{\text{ст}}$ – стабілізуючий регулятор;

$W_{\text{об}}$ – об'єкт регулювання;

$W_{\text{вип}}$ – випереджаючий об'єкт;

$Y_{\text{вип}}$ – внутрішній сигнал;

x – збурення.

У каскадній схемі регулювання температури спочатку задається необхідне значення температури теплоносія на введенні в систему опалення і надсилається на коригуючий регулятор (див.рис.1.4). У той же час, значення температури теплоносія з датчика поступає на вхід коригуючого регулятора, порівнюється з сигналом завдання, і, якщо вони відрізняються, коригуючий регулятор дає поправку на значення цього параметра для стабілізуючого регулятора. Тобто, при якомусь даному значенні температури, яке сформувалось, коригуючий регулятор дає завдання яка саме кількість гарячої води необхідна і стабілізуючий регулятор таким чином впливає на виконавчий механізм, щоб забезпечити температуру теплоносія на подачу рівну заданій і щоб на другому суматорі небаланс був нульовий.

В каскадних схемах недоліком є наявність додаткових контурів, які можуть бути джерелами потенційної нестійкості системи. Також каскадна схема не підходить для нашої системи, оскільки в залежності від типу кімнати потрібні різні значення температури.

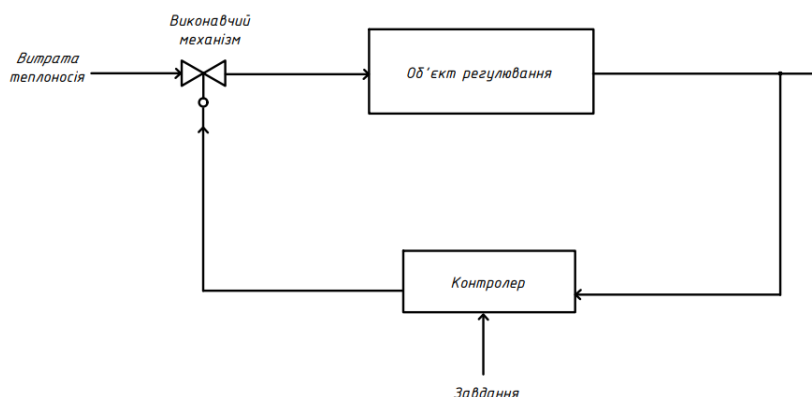


Рисунок 1.5 - Одноконтурна система з принципом регулювання по відхиленню

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						14
Зм.		№док.	Підп.	Дата		

У даній системі спочатку контролер обчислює значення бажаної температури теплоносія, порівнює це значення з поточним, яке показує датчик температури теплоносія на введенні в систему опалення, і, в залежності від результату, контролер впливає на виконавчий механізм (див.рис.1.5).

Перевагами одноконтурної системи з принципом регулювання по відхиленню є зменшення відхилення незалежно від того, якими факторами воно викликане, менша чутливість до зміни параметрів елементів схеми в порівнянні з розімкненими системами, а також легша реалізація в порівнянні з розімкненими системами, оскільки в розімкнених системах потрібний точний попередній розрахунок всіх параметрів, характеристик та сигналів, їх узгодження між собою, а також підлаштування параметрів в процесі роботи. Але недоліками цієї схеми є те, що неможливо досягти повної інваріантності та є проблема стійкості.

Проблеми одноконтурної системи з принципом регулювання по відхиленню вирішує комбінована САР, в якій окрім контуру регулювання по відхиленню існує ще додатково контур регулювання по збуренню (див. рис.1.6).

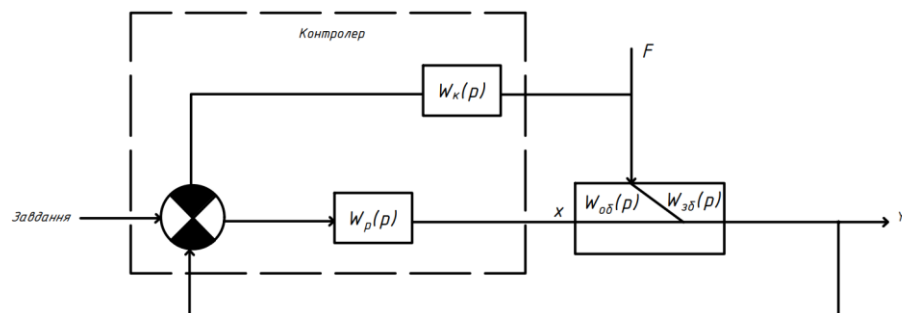


Рисунок 1.6 - Комбінована система для регулювання температури теплоносія

$W_k(p)$ – компенсатор;

$W_p(p)$ – регулятор;

$W_{об}(p)$ – об'єкт регулювання;

$W_{зб}(p)$ – передавальна функція по збуренню;

F – зовнішнє збурення;

x – внутрішнє збурення.

У цій системі знизу – традиційна система по відхиленню, зверху – контур компенсацій зовнішнього збурення. Таким чином, коли на систему окрім внутрішнього збурення діє ще зовнішнє, воно вимірюється, подається на вхід компенсатора і регулятор починає на нього відпрацьовувати, не дочекавшись того, як це збурення пройде через об'єкт. Тобто, на вхід коригувального пристрою поступає сигнал поточної температури теплоносія та температури зовнішнього повітря, після чого скоригований сигнал надходить на регулятор. Після цього сигнал порівнюється з заданим значенням температури теплоносія на подачі і формується сигнал неузгодженості, який потрапляє в регулятор, який, у свою чергу, формує сигнал для виконавчого механізму. Таким чином, формується необхідна температура лінії подачі теплоносія системи опалення. На об'єкт управління надходить значення температури на подачі, а також збурення, тобто температура зовнішнього повітря. На виході об'єкта управління формуються значення температури теплоносія у зворотному трубопроводі та температури повітря всередині приміщення, який замикається зворотним зв'язком та формує, тим самим, окремий контур регулювання.

Як було сказано вище, додатковий контур по збуренню дозволяє усунути недоліки контуру по відхиленню, тобто отриманий додатковий інформаційний канал дозволяє теоретично досягти абсолютної інваріантності. Якщо сигнал від зовнішнього збурення відразу через якийсь компенсуючий пристрій поступає на вхід регулятора, у нас немає затримки, пов'язаної з властивостями об'єкта. Тобто ми не чекаємо, що відбудеться в об'єкті і відразу даємо якусь зміну завдання на вхід регулятора. Але це має певні недоліки, оскільки, фактично, регулювання відбувається в розімкненій системі і ми не знаємо насправді до чого призведе те збурення, яке ми подаємо на вхід регулятора. Саме тому, в більшості випадків, принцип регулювання по збуренню окремо не використовується. Недоліком комбінованої системи є те, що зовнішнє збурення, а саме температура навколишнього середовища, дуже інерційне, до того ж досить важко визначити функціональну залежність між цим збуренням та величиною, що регулюється.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						16
Зм.		№док.	Підп.	Дата		

1.4 Обґрунтування і вибір структур САР

Для регулювання температури теплоносія було обрано одноконтурну систему з принципом регулювання по відхиленню від заданого значення, оскільки вона найлегша в реалізації та малочутлива до зміни параметрів (див.рис.1.7).

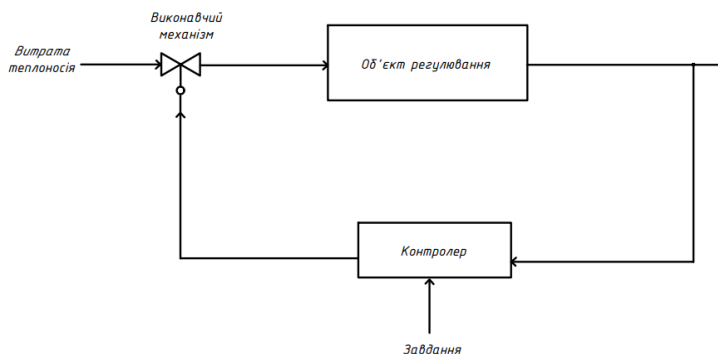


Рисунок 1.7 - Одноконтурна система з принципом регулювання по відхиленню від заданого значення

В даній системі використовується принцип регулювання по відхиленню від заданого значення. Контролер обчислює необхідне значення температури теплоносія (50...90 °С) за допомогою графіка погодозалежного керування, датчик вимірює температуру теплоносія на введенні в систему опалення та порівнює із завданням, і, в залежності від величини відхилення, контролер впливає на виконавчий механізм (якщо температура теплоносія менше заданої, електропривід відкриває клапан, якщо температура теплоносія перевищує завдання, то електропривід закриває клапан).

Одноконтурна система регулювання температури по відхиленню від заданого значення повинна поліпшити та прискорити:

- 1) Контроль температури в залежності від типу кімнати;
- 2) Регулювання двухходового клапана в залежності від температури теплоносія.

Для регулювання тиску було обрано одноконтурну САР (див.рис.1.8):

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						17
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

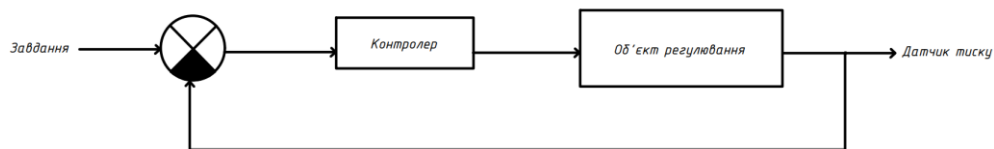


Рисунок 1.8 - Одноконтурна система

В даній системі спочатку на контролер надходить інформація про необхідні значення тиску в трубопроводі (2 бар), датчик вимірює поточний тиск. Потім контролер порівнює значення поточного тиску із завданням, і, в залежності від результату, впливає на виконавчий механізм, який відкриває або закриває клапан.

Як тільки опір в системі опалення досягає заданого, клапан закривається, що дозволяє стабілізувати тиск на виході та підтримувати цей тиск на заданому рівні, а також насос підживлення вмикається або вимикається, в залежності від результату.

Одноконтурна система регулювання тиску повинна поліпшити та прискорити:

- 1) Регулювання клапана в залежності від тиску у трубопроводах;
- 2) Регулювання продуктивності опалення шляхом підтримки тиску на заданому рівні.

1.5 Опис функціональної структури АСУ ТОУ

Види забезпечення для АСУТП, затверджені Держстандартом:

- 1) технічне;
- 2) математичне;
- 3) інформаційне;
- 4) програмне;
- 5) метрологічне;
- 6) лінгвістичне;
- 7) організаційне;
- 8) інші.

Стадії АСУТП:

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						18
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

- 1) ТЕО – техніко-економічне обґрунтування необхідності створення АСУТП;
- 2) ТЗ – створення технічного завдання, у якому описуються вимоги до системи та видів забезпечення, критерії ефективності та функціонування АСУТП;
- 3) ТРП – техніко-робочий проект, тобто розроблення всієї АСУТП, верхній та нижній рівні, проводиться імітаційне моделювання АТК;
- 4) Впровадження АСУТП на об'єкті – монтаж обладнання, інсталяція програмного забезпечення, польової шини, а також запуск системи та здача замовнику;
- 5) Супроводження АСУТП – аналіз ТЕО та роботи АСУТП, коригування її функціональності під нові вимоги.

Функції АСУТП:

- 1) Інформаційні – перелік вимірювальних каналів і вимог до них;
- 2) Керуючі - перелік виконавчих каналів і технічних засобів;
- 3) Захисні – коригуючі функції (попередження, сигналізація, включення/виключення механізмів);
- 4) допоміжні.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						19
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

1.6 Опис вимог до реалізації функцій АСУ ТОВ

Номінальні параметри системи наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Номінальні параметри

Параметр	Діапазон вимірювання	Діапазон зміни параметра	Межа похибки
Максимальна температура теплоносія на введенні ІТП від джерела тепла	120 °С	(0...120) °С	±3°С
Максимальна температура теплоносія на вході в систему опалення	90 °С	(0...90) °С	±2°С
Номінальний тиск в контурі джерела тепла	1 МПа	(0...1) МПа	±30кПа
Номінальний тиск в контурі системи опалення	0.2 МПа	(0...0.2) МПа	±6кПа
Перепад тисків на введенні джерела тепла	45-300 кПа	(0...300) кПа	±2кПа
Максимальні втрати тиску в системі опалення на розрахунковій витраті	До 30 кПа	(0...30) кПа	±1кПа

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ АСУ ТОУ

2.1 Опис схеми автоматизації

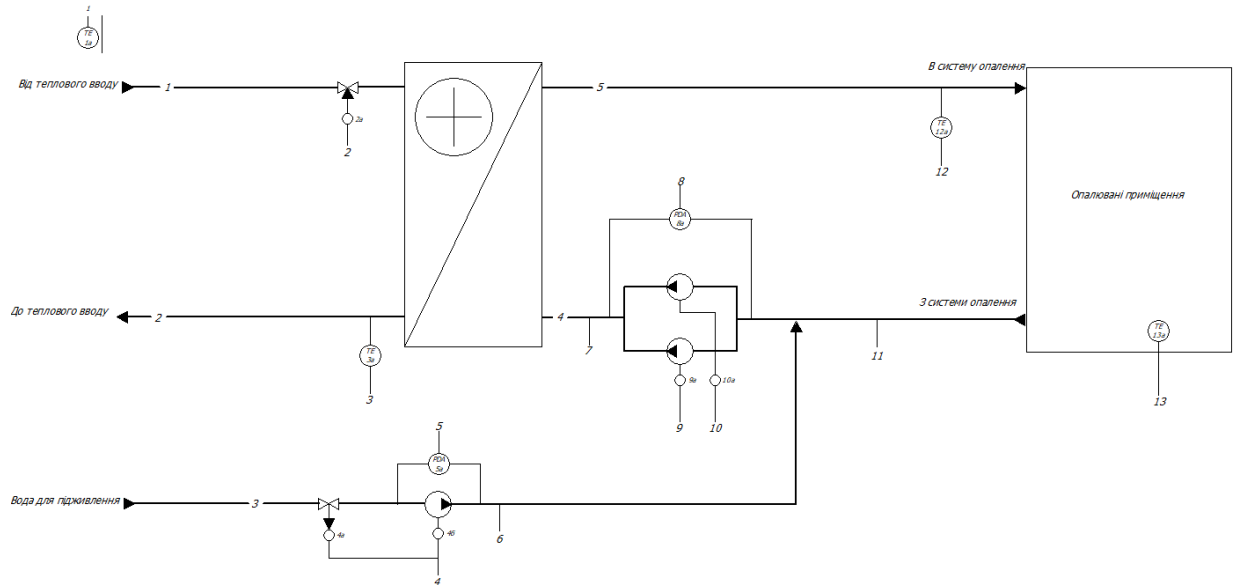


Рисунок 2.1 - Незалежна система опалення з двома циркуляційними насосами (кожен з насосів з ЧП), з підживленням (один підживлювальний насос), управління клапаном трипозиційне.

У даній схемі (див.рис.2.1) є 5 трубопроводів: прямий трубопровід від джерела тепла (поз.1), зворотний трубопровід до джерела тепла (поз.2), контур підживлення (поз.3), зворотний трубопровід системи опалення (поз.4), прямий трубопровід системи опалення (поз.5).

Підживлення системи опалення необхідне для того, щоб зберегти її працездатність при зниженні кількості теплоносія.

Принцип роботи схеми:

ТЕЦ підігріту воду транспортує до теплообмінника, де вона охолоджується за допомогою вторинного контуру води і повертається до джерела. У тепловій точці гаряча вода з первинного контуру нагріває воду вторинного контуру і ця гаряча вода поступає до споживачів, де віддає свою енергію і на звороті повертається за допомогою циркуляційних насосів в теплообмінник, де нагрівається новою порцією гарячої води первинного контуру.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						21
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

Воду у вторинний контур закачують за допомогою насоса підживлення до того моменту, доки у вторинному контурі не буде заданий рівень тиску. Коли заданий тиск буде рівний досягнутому, це означає, що система заповнена і може циркулювати без додаткового підживлення, тому насос вимикають. Якщо у вторинному контурі впаде статичний тиск, то насос вмикається.

Температуру зовнішнього повітря вимірює датчик температури (поз.1а), розміщений на зовнішній стіні будівлі.

Температуру теплоносія у зворотному трубопроводі до джерела тепла вимірює датчик температури (поз.3а).

Реле перепаду тиску (поз.5а, 8а) призначене для автоматичного регулювання включення та відключення подачі води до системи водопостачання.

Призначення реле тиску (поз.6а, 11а) полягає у вимірюванні тиску теплоносія та виконує контроль наявності води в контурі опалення та підживлення.

Тиск теплоносія вимірює манометр (поз.7а), розміщений на зворотному трубопроводі системи опалення.

Температуру теплоносія на вході в систему опалення вимірює датчик температури (поз.12а), розміщений на прямому трубопроводі системи опалення.

Температуру в приміщенні вимірює датчик температури (поз.13а), розміщений в опалювальному приміщенні.

Регулюючий двохходовий клапан з електричним приводом (поз.2а) здатний частково або повністю перекрити подачу теплоносія на введенні від джерела.

Рух теплоносія здійснюється в механізмі опалення завдяки циркуляційним насосам (поз.9а, 10а), за рахунок яких відбувається регулярна подача води через нагрівальні прилади. Циркуляційні насоси безперервно переганяють через себе теплоносії з заданою швидкістю, завдяки чому відбувається рівномірне нагрівання системи опалення всього будинку, і тепло проникає у всі кімнати. Також необхідно передбачити резервування насосів для більш надійної роботи системи.

Клапан підживлення (поз.4а) необхідний для періодичного поповнення об'єму гарячої води.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						22
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

Підживлювальний насос (поз.4б) може виконувати масу допоміжних функцій, наприклад, нагнітати тиск у внутрішню систему водопроводу приватного будинку, виконувати функцію резервного циркуляційного насоса, використовуватися для зливу та закачування води в контур.

Локально температура в кімнатах регулюється за допомогою індивідуальних термоголівки (регуляторів прямої дії), які знаходяться на радіаторах системи опалення.

2.2 Технологічні вимірювання

1) Температура в приміщенні(поз.14а, 14б):

Для вимірювання температури в приміщенні було обрано датчик температури Raut ST-02 (див.рис.2.2).



Рисунок 2.2 - Датчик температури повітряний Raut ST-02

Технічні характеристики наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики Raut ST-02

Вихідний сигнал	Pt 1000, W=1.385
Температурний діапазон	0...+40 °C
Похибка вимірювання	±0.5 °C
Місце встановлення	стіна будівлі
Електричне підключення	клемна коробка
Корпус	ступінь захисту IP 20

2) Температура зовнішнього повітря(поз.1а):

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						23
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

Для вимірювання температури зовнішнього повітря було обрано датчик температури Raut ST-01 (див.рис.2.3).



Рисунок 2.3 - Датчик температури повітряний Raut ST-01

Технічні характеристики наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики Raut ST-01

Вихідний сигнал	Pt 1000, W=1.385
Температурний діапазон	-30...+50 °C
Похибка вимірювання	±0.5 °C
Місце встановлення	на зовнішній стінці будівлі
Електричне підключення	клемна коробка
Корпус	ступінь захисту IP 65

3) Температура теплоносія(поз.3а, 12а):

Для вимірювання температури зовнішнього та внутрішнього теплоносія було обрано датчик температури Raut STw-4 (див.рис.2.4).



Рисунок 2.4 - Датчик температури рідинний Raut STw-4

Технічні характеристики наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики Raut STw-4

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						24
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

Вихідний сигнал	Pt 1000, W=1.385	
Температурний діапазон	0...+150 °C	
Похибка вимірювання	±0.5 °C	
Довжина заглибленої частини, L	100 мм	
Спосіб встановлення	занурення у трубопровід або ємність за допомогою гільзи	бобишка M20x1.5
Електричне підключення	кабель 1.5м	
Корпус	ступінь захисту IP 54	

4) Тиск теплоносія в контурі джерела тепла(поз. 7а):

Для вимірювання тиску в контурі джерела тепла було обрано манометр від Danfoss серії MBS3200 060G5617 (див.рис.2.5).



Рисунок 2.5 - Перетворювач тиску Danfoss MBS3200

Технічні характеристики наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики Danfoss MBS3200 060G5617

Тип датчика	п'єзореzystивний
Область застосування	загальнопромисловий
Тиск	відносне
Демпфер пульсацій	ні
діапазон вимірів	0-6 бар
Точність	±0,5% (max ±1%)
Вихідний сигнал	0-10 В
Напруга живлення	15-30 В
Номинальний струм	8 мА
Граничний струм	-
Час реакції	4 мс
Робоча температура (TS)	-40 ... +125 °C
Компенсована температура	0 ... +100 °C
З'єднання	G 1/2 A (EN 837)
Електричне з'єднання	роз'єм з різьбленням Pg9 (EN 175301-803-A)
Ступінь захисту	IP65
Вага	~0,2-0,3 кг

5) Тиск в контурі підживлення та в контурі опалення(поз.6а, 11а):

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						25
Зм.		№док.	Підп.	Дата		

Для вимірювання тиску в контурі системи опалення та в контурі підживлення було обрано диференціальне реле тиску Danfoss BCP3 017B0010 (див.рис.2.6).



Рисунок 2.6 - Диференціальне реле тиску Danfoss BCP3

Технічні характеристики наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Технічні характеристики Danfoss BCP3 017B0010

Діапазон налаштування	(0...6) бар
Заводське налаштування	(0,7...1,4) бар
Максимальний випробувальний тиск	16 бар

6) Перепад тиску(поз.5а, 8а):

Для вимірювання перепаду тиску було обрано реле перепаду тиску Danfoss YNS106X (див.рис.2.7).



Рисунок 2.7 - Реле перепаду тиску Danfoss YNS106X

Технічні характеристики наведені у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики Danfoss YNS106X

Діапазон налаштування, бар	Заводська уставка, бар	Клас захисту корпусу	Температура середовища, °C
0,25 - 3,5	1,5	IP20	-20 - 120

2.3 Виконавчі механізми і регулюючі органи

Для регулювання подачі теплоносія на введенні від джерела тепла та для регулювання об'єму гарячої води в контурі підживлення було обрано двоходовий регулюючий клапан Danfoss VS2 (див.рис.2.8) в парі з редукторним електроприводом AMV13 (див.рис.2.9). Даний електропривід має зворотну пружину для закриття клапана при припиненні електропостачання.



Рисунок 2.8 - Двоходовий регулюючий клапан Danfoss VS2



Рисунок 2.9 - Редукторний електропривід AMV13

Технічні характеристики Danfoss VS2 наведені у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Технічні характеристики Danfoss VS2

Сфера застосування	Опалення та охолодження
Регульоване середовище	Підготовлена вода/водний розчин гліколю до 30%
Робочий тиск	16 бар
Максимальний перепад тиску	6 бар
Максимальна температура	130 °C
Пропускна здатність	2,5 м³/год
Матеріал корпусу	Латунь
Тип різьблення	Зовнішня

2.4 Рішення з контролерної автоматизації

Для даної системи був обраний контролер WaterHeat-SL1 від Raut Automatic (див.рис.2.10). Цей контролер є вільно конфігурованим та призначений для автоматизації систем ГВП або опалення. WaterHeat-SL1 має 8 стандартних алгоритмів для управління контуром опалення і має декілька комунікаційних інтерфейсів.



Рисунок 2.10 - Контролер WaterHeat-SL1

Порівняємо WaterHeat-SL1 з контролером Schneider Electric Modicon M171 Optimized. ПЛК Modicon M171 використовуються для автоматизації систем опалення, вентиляції, кондиціонування та насосної техніки (див.рис.2.11). Цей контролер має 5 вбудованих аналогових та 6 дискретних входів, 5 аналогових та 6 дискретних виходів. Стандартна конфігурація контролера передбачає роботу через інтерфейси Modbus RTU та RS485/RS232. Інтерфейс Modbus RTU поєднує безліч компонентів автоматизації та контрольно-вимірювальної апаратури з лінійки Schneider Electric, тоді як інтерфейс Ethernet підходить для створення рішень для веб-орієнтованого вилучення машинних/системних даних через інтернет з використанням OptiM2M.

Modicon M171 відрізняється високою масштабованістю через наявність різних комбінацій вбудованих інтерфейсів підключення.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						28
Зм.		№док.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.11 - Контролер Schneider Electric Modicon M171 Optimized

Але я зупиняю свій вибір на WaterHeat-SL1, оскільки цей контролер дешевший за Modicon M171 і розроблений під конкретну інженерну систему. Також у Raut є безкоштовна SCADA-система для їх контролерів.

Функції WaterHeat-SL1:

- 1) Регулювання температури в системі опалення;
- 2) Опалювальний графік;
- 3) Регулювання тиску в системі опалення.

Порівняльні характеристики двох контролерів наведені у таблиці 2.8.

Технічні характеристики WaterHeat-SL1 наведені у таблиці 2.9.

Таблиця 2.8 - Порівняння контролерів WaterHeat-SL1 та Modicon M171

	WaterHeat-SL1	Modicon M171 Optimized
Кількість аналогових входів	5	5
Кількість аналогових виходів	3	5
Кількість дискретних входів	5	6
Кількість дискретних виходів	6	6
Ціна	6000грн	8000грн

Таблиця 2.9 - Технічні характеристики WaterHeat-SL1

Напруга живлення	~24 В, 50 Гц, =24 В	
Споживана потужність, не більше	6 Вт	
Конфігурація	Конфігуратор SCC з меню контролера	
Входи	аналогові Pt1000, Ni1000, (0-10) В, (4-20)мА*	5 шт
	дискретні з внутрішнім джерелом живлення	5 шт.
Виходи	аналогові (0-10) В, опір навантаження не менше 50 кОм	3 шт.
	дискретні безпотенційні 6 А, ~220 В	6 шт.**
Інтерфейс***	RS-485 (протоколи MODBUS-RTU або UNIVERS)	1 шт.
	TP/FT-10 (протокол LonWorks)	1 шт.
	Ethernet (протокол MODBUS-TCP)	1 шт.
WEB-сервер	контролер повинен бути підключений в локальну (Ethernet, Wi-Fi) або глобальну (Internet) мережу, мати статичну IP-адресу та повинна бути активована послуга «WEB-сервер WEB L1»	
Тип дисплею	графічний кольоровий	
Тип клавіатури	сенсорна>	
Корпус	монтаж	на DIN-рейку
	ступінь захисту	IP 20
Умови експлуатації	температура, °C	+5 ... +45
	вологість (без конденсації), не більше %	80
	домішки агресивних випарів, газів та аерозолів в оточуючому повітрі не допустимі	
Підключення	дріт, перетином не більше 1 мм ²	

2.5 Рішення з супервізорної автоматизації

У зв'язку з тим, що був обраний контролер компанії Raut, для своєї системи я обираю SCADA-систему Raut ESM, яку пропонується використовувати для контролерів від даного виробника. У цій системі є бібліотека графічних макроелементів для систем опалення, а також вигідно обирати ПЗ верхнього рівня від того ж виробника, що й ПЛК. Переваги Raut ESM:

- 1) розподілена модульна структура застосунку та можливість додавання в систему додаткових функціональних модулів. Дана SCADA-система дозволяє при впровадженні системи купити тільки ті модулі, які необхідні для вирішення завдань диспетчеризації обраного об'єкта, а якщо стоїть задача розширити систему, то можна просто докупити ті модулі, яких не вистачає.
- 2) можливість переконфігурування окремих функціональних модулів для модифікації функціональності;

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						30
Зм.		№док.	Підп.	Дата		

- 3) великий вибір графічних макроелементів та можливість створення нових;
- 4) вбудовані системи візуалізації алармів, архівування, візуалізації архівних даних, аналітичної звітності та система формування розкладу з можливістю коригування.

Функції Raut ESM:

- 1) обмін даними з контролером та іншими SCADA-системами;
- 2) архівування та алармування даних;
- 3) архівування алармів;
- 4) візуалізація поточних даних у вигляді мнемосхем технологічних процесів, вікон поточних алармів та трендів реального часу;
- 5) протоколювання дій оператора та звітність;
- 6) формування повідомлень і команд за розкладом;
- 7) логічні та математичні обчислення.

SCADA-система Raut ESM базується на платформі EFACTION. Це універсальна платформа, розроблена ТОВ «РАУТ-автоматік», яка призначена для створення програмної частини SCADA-систем і відрізняється економічністю та простотою управління. Ця платформа дозволяє побудувати SCADA-систему навіть інженеру без володіння мовами програмування, що економить час та гроші.

2.6 Рішення з мережевого обміну даними

Дана АСУТП є дворівневою. Контролерний рівень – це контролер Raut WaterHeat-SL1, а супервізорний рівень – це SCADA-система Raut ESM. Ці два рівні об'єднані за допомогою польової шини, яка має інтерфейс Ethernet, протокол MODBUS TCP і кабель виту пару мінімум п'ятої категорії.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						31
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

2.7 Опис структури ПТК

На рисунку 2.12 зображена спрощена структура ПТК. На нижньому рівні знаходиться виконавча та вимірювальна апаратура, а саме сигнальна лампа (HL1), кнопка відключення насосів (SB1), контактор (KM1), насоси (M1-M3), електроприводи (Y1-Y2), частотні перетворювачі (FC1-FC2), реле перепаду тиску (PDA1-PDA2), реле тиску (PS1-PS2), датчики температури (TE1-TE4) та датчик тиску (PT1), які підключаються до контролера. Контролер, в свою чергу, підключається до SCADA-системи Raut ESM через інтерфейс Ethernet.

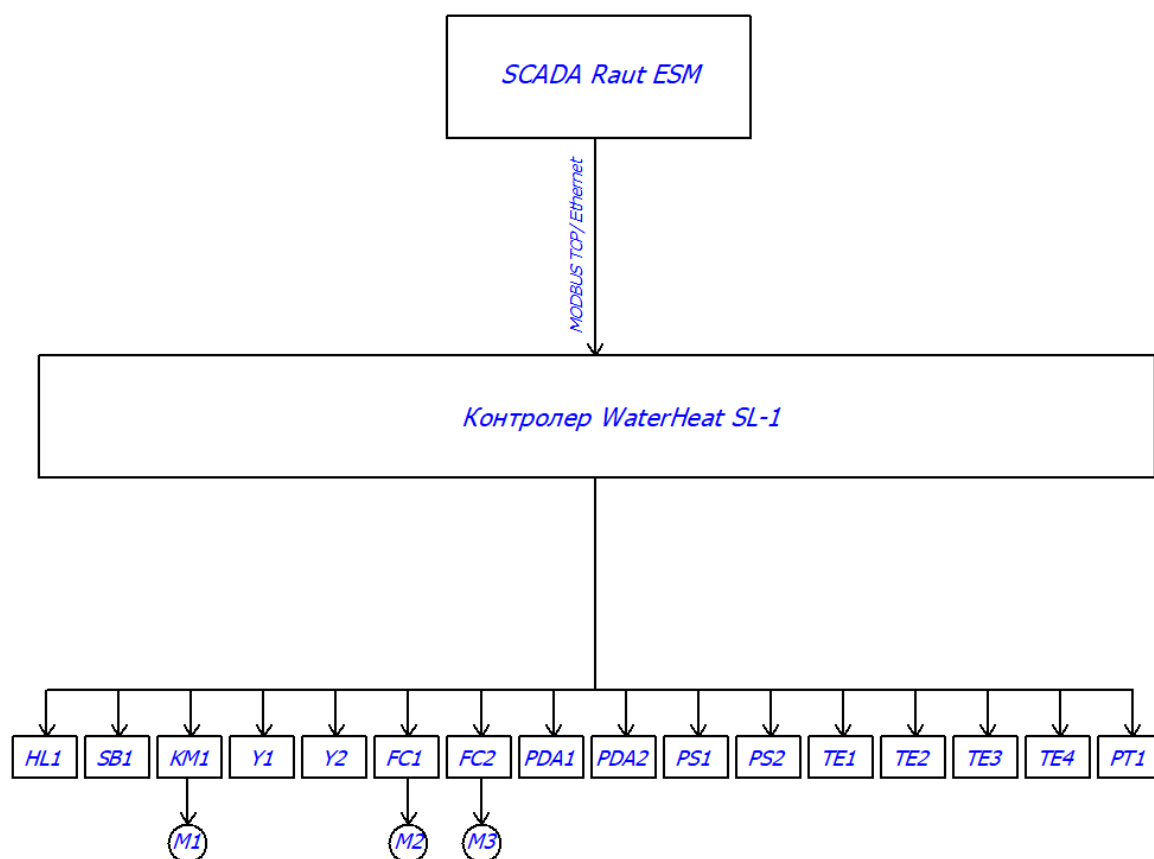


Рисунок 2.12 - Структурна схема ПТК

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ САР

3.1 Синтез САР і аналіз її функціонування

Знайдемо криві розгону для контуру регулювання температури (див.рис.3.2) та тиску (див.рис.3.4). Структурні схеми зображені на рисунку 3.1 та рисунку 3.3 відповідно.

Передавальна функція для контуру регулювання температури:

$$W(p) = \frac{0,15 \cdot e^{-4p}}{35p + 1}$$



Рисунок 3.1 - Структурна схема перехідного процесу в Simulink для контуру регулювання температури

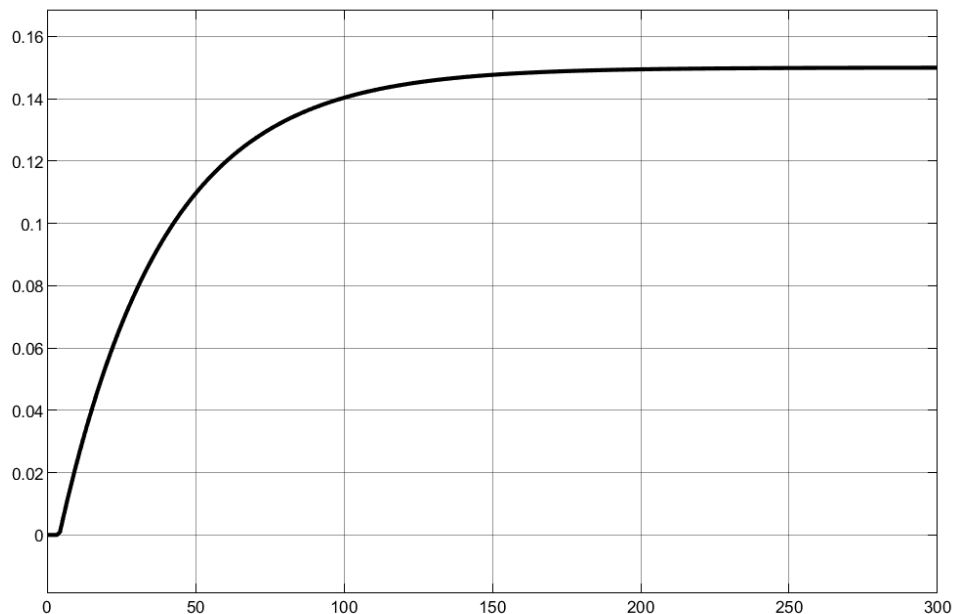


Рисунок 3.2 - Крива розгону для контуру регулювання температури
Передавальна функція для контуру регулювання тиску:

$$W(p) = \frac{0,02 \cdot e^{-1p}}{4p + 1}$$



Рисунок 3.3 - Структурна схема перехідного процесу в Simulink для контуру регулювання тиску

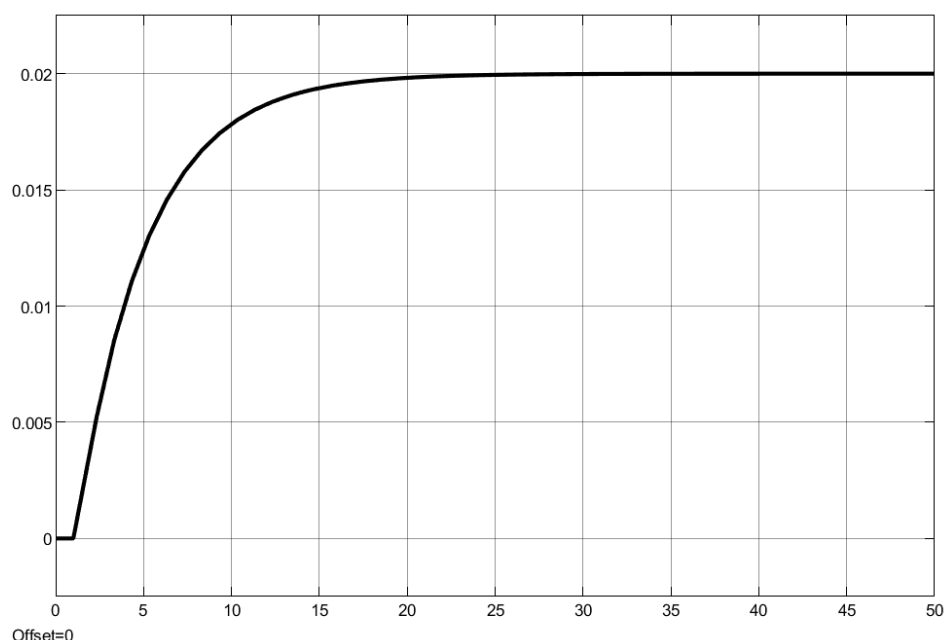


Рисунок 3.4 - Крива розгону для контуру регулювання тиску

Метод РАФХ для контуру регулювання температури

Для побудови кривої заданої степені коливальності скористаємося формулами для ПІ-регулятора:

$$\begin{cases} K_p = -\frac{mQ_{\infty}(m, \omega) + P_{\infty}(m, \omega)}{A_{\infty}^2(m, \omega)} \\ K_H = -\alpha(m^2 + 1) \frac{Q_{\infty}(m, \omega)}{A_{\infty}^2(m, \omega)} \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\text{де } K_H = \frac{K_p}{T_H}, \quad A_{\infty}(m, \omega) = \sqrt{P_{\infty}^2(m, \omega) + Q_{\infty}^2(m, \omega)}$$

На рисунку 3.5 зображена крива заданого ступеня затухання.

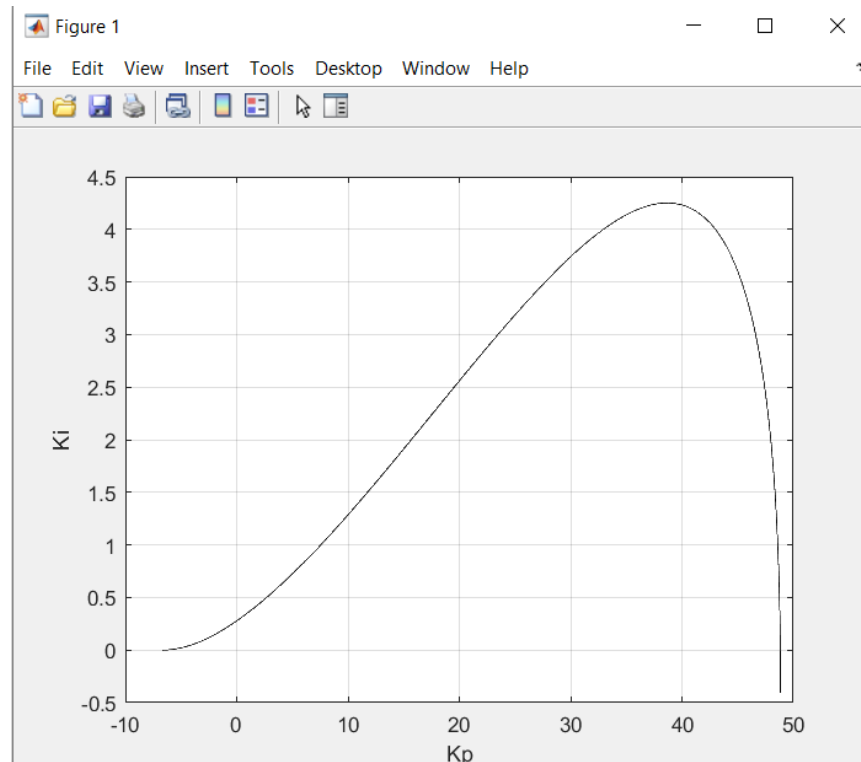


Рисунок 3.5 - Крива заданого ступеня затухання

Для ПІ-регулятора обираємо налаштування, коли $K_i = 0.95 \max(K_i)$. Отже, $K_p = 42,707$, $K_i = 4,038$, $T_i = K_p / K_i = 10,5763$.

Побудуємо одноконтурну САР із налаштованими регуляторами (див.рис.3.7 та рис.3.8). Передавальна функція має вигляд:

$$W(p) = \frac{42,707}{10,5763p + 1}$$

На рисунку 3.6 зображені структурні схеми перехідних процесів.

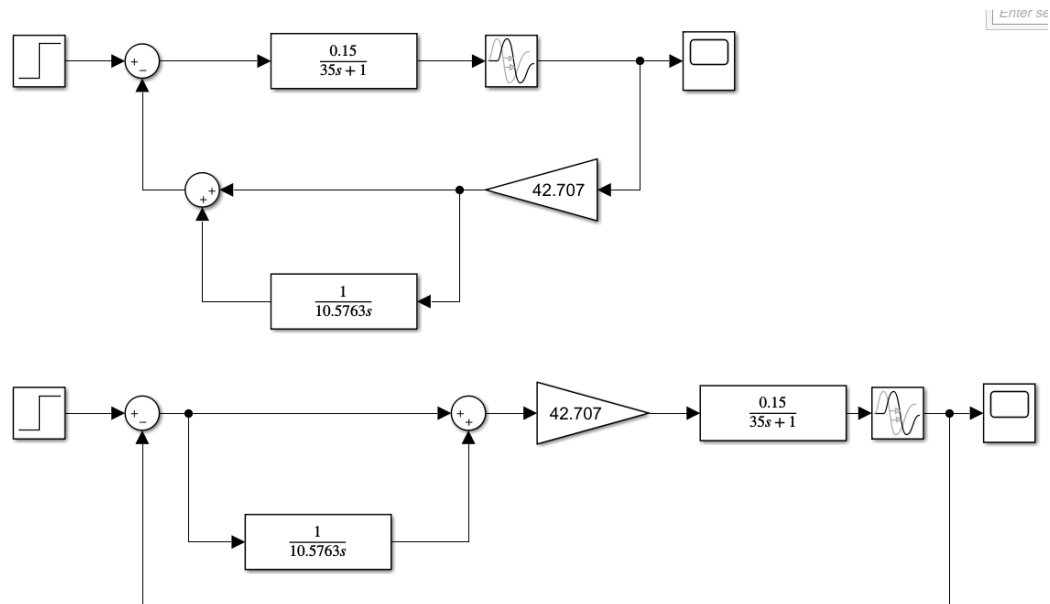


Рисунок 3.6 - Структурні схеми перехідних процесів по каналу «збурення-вихід» та «завдання-вихід» відповідно

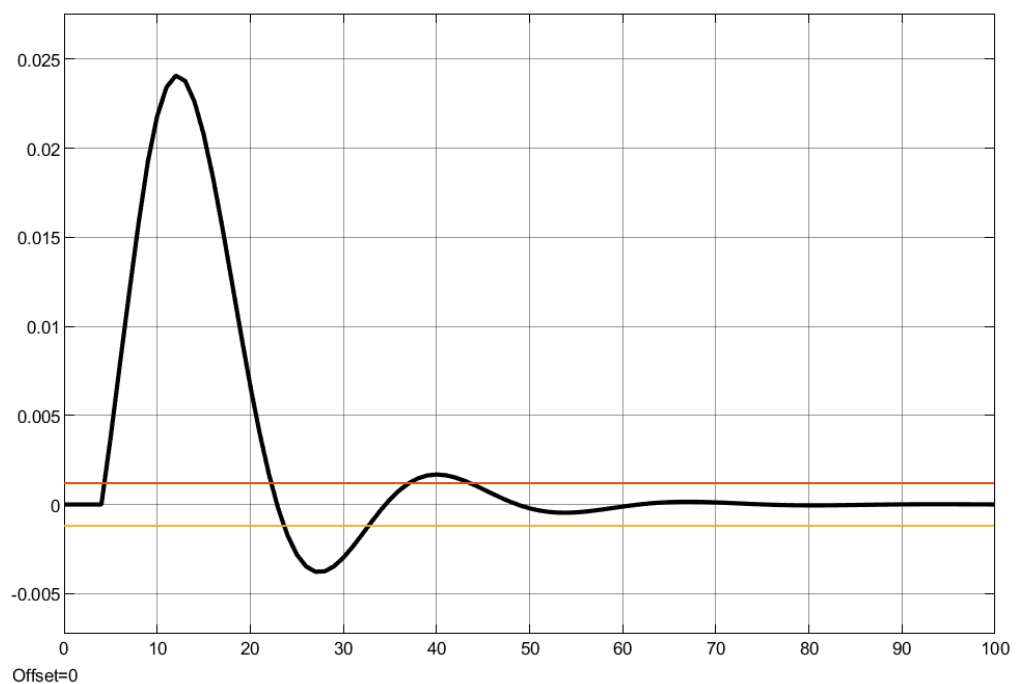


Рисунок 3.7 - Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»

Занесемо показники якості до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Прямі показники якості по каналу «збурення-вихід»

	δ , %	Ψ	$\Delta_{ст}$	$u_{max}^д$	$t_{пп}$
$K_p=42,707$, $T_i=10,5763$	15,7	0,9298	0	0,024	44

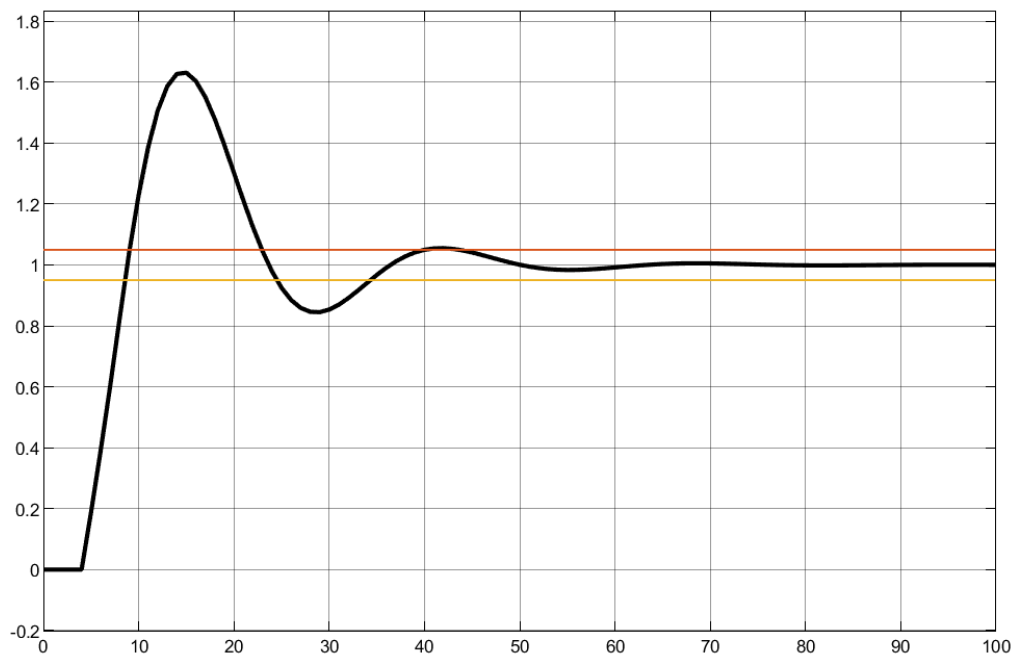


Рисунок 3.8 - Перехідний процес по каналу «завдання-вихід»

Показники якості занесені до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Прямі показники якості по каналу «завдання-вихід»

	δ , %	Ψ	$\Delta_{ст}$	y_{max}^D	$t_{ПП}$
$K_p=42,707$, $T_i=10,5763$	63	0,913	0	0,63	43

Експрес-метод для контуру регулювання температури

Для подальшого дослідження вибрано експрес-метод метод CHR (Chien-Hrones-Reswick).

$$K_p = 0.6 * \frac{T_o}{K_o * \tau_o} \quad (3.2)$$

$$T_i = 4 * \tau_o \quad (3.3)$$

Розрахуємо налаштування регулятора:

З передаточної функції об'єкта маємо:

$$K_o = 0,15 \quad T_o = 35 \quad \tau_o = 4с$$

$$K_p = 0.6 * \frac{35}{0,15*4} = 35;$$

$$T_{и} = 4 * 4 = 16;$$

Отримали передавальну функцію вигляду:

$$W(p) = \frac{35}{16p + 1}$$

Структурні схеми перехідних процесів для експрес-методу зображені на рисунку 3.9.

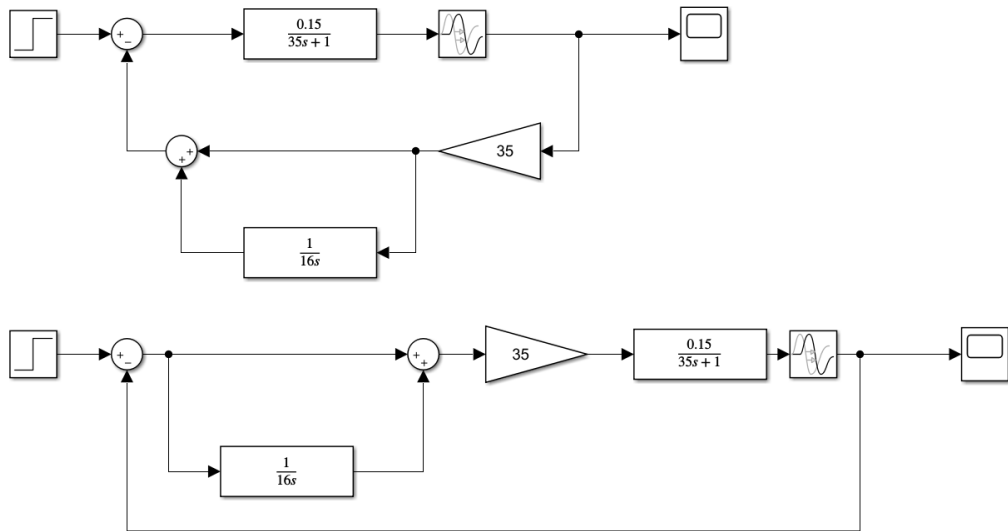


Рисунок 3.9 - Структурні схеми перехідних процесів для експрес-методу по каналу «збурення-вихід» та «завдання-вихід» відповідно

Побудуємо перехідні процеси (див.рис.3.10 та рис.3.11).

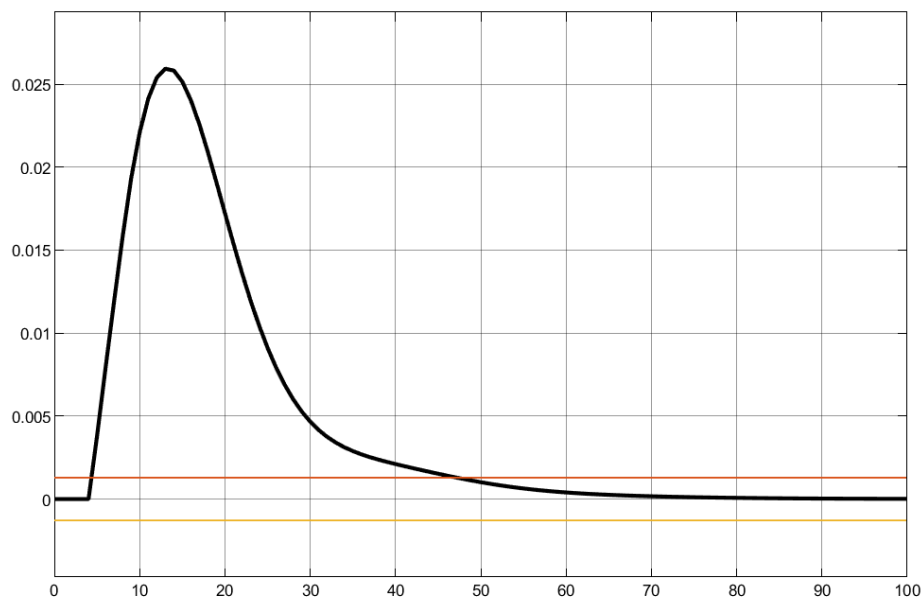


Рисунок 3.10 - Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»

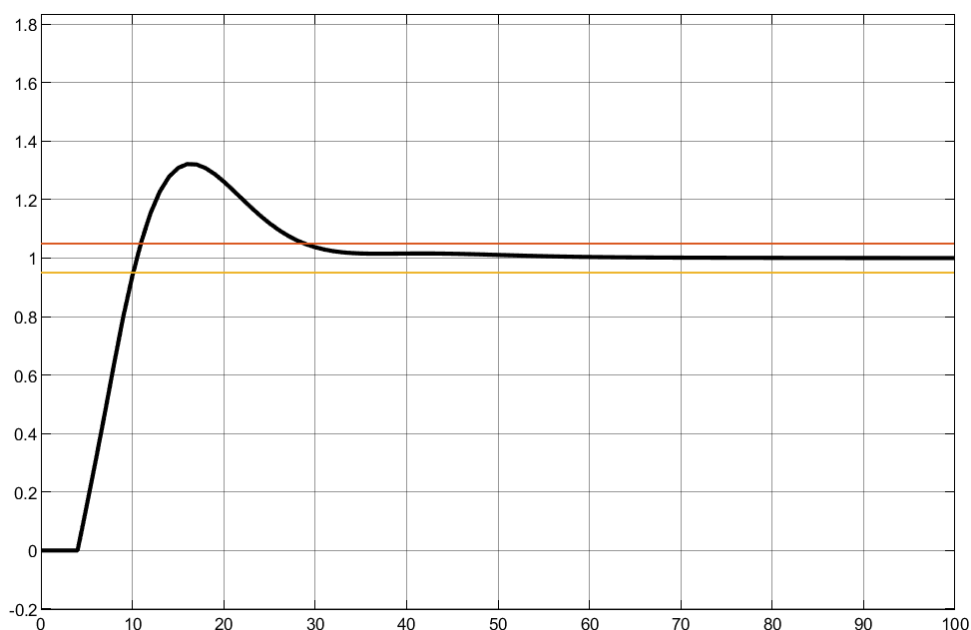


Рисунок 3.11 - Перехідний процес по каналу «завдання-вихід»

Показники якості по відповідним каналам представлені у таблицях 3.3, 3.4.

Таблиця 3.3 - Прямі показники якості по каналу «збурення-вихід»

	δ , %	Ψ	$\Delta_{ст}$	y_{max}^D	$t_{ПП}$
$K_p=35$, $T_i=16$	0	1	0	0,0259	47

Таблиця 3.4 - Прямі показники якості по каналу «завдання-вихід»

	δ , %	Ψ	$\Delta_{ст}$	y_{max}^D	$t_{ПП}$
$K_p=35$, $T_i=16$	32	0,951	0	0,32	29

Порівняння методу РАФХ та експрес-методу для контуру регулювання температури

Побудуємо перехідні процеси (див.рис.3.12).

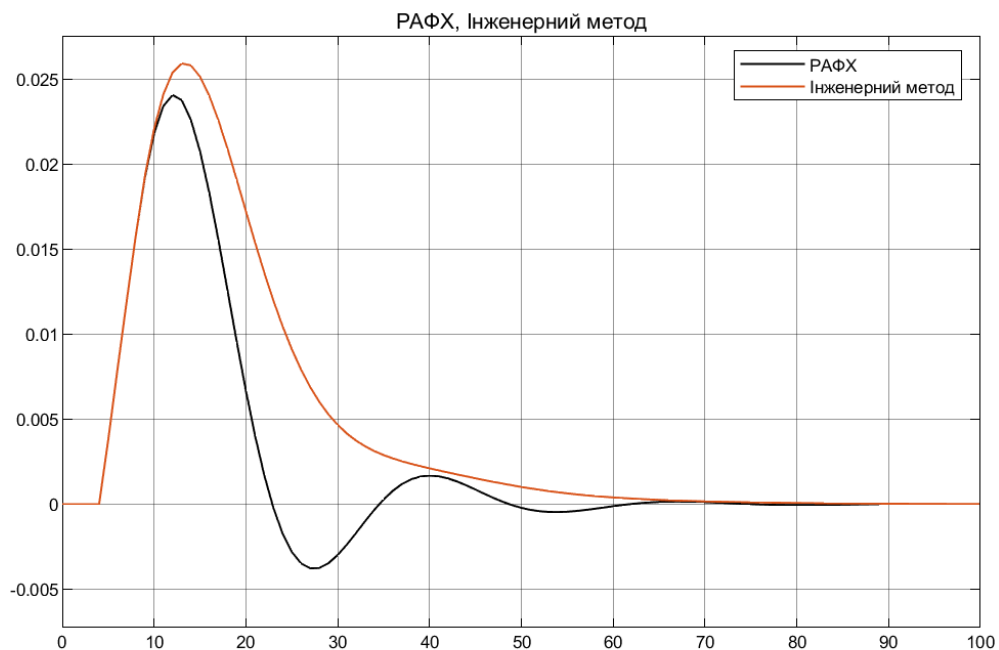


Рисунок 3.12 - Перехідні процеси по каналу «збурення-вихід»

Прямі показники якості по каналу «збурення-вихід», знайдені за методом РАФХ та експрес-методом занесені до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Порівняння прямих показників якості по каналу «збурення-вихід», знайдених за методом РАФХ та експрес-методом

	Метод РАФХ	Експрес-метод
δ , %	15,7	0
ψ	0,9298	1
$\Delta_{ст}$	0	0
y_{max}^D	0,024	0,0259
$t_{пп}$	44	47

Для каналу «збурення-вихід» експрес-метод виявився кращим через нульове перерегулювання. Інші параметри відрізняються несуттєво.

Побудуємо перехідні процеси для методу РАФХ та експрес-методу по каналу «завдання-вихід» (див.рис.3.13).

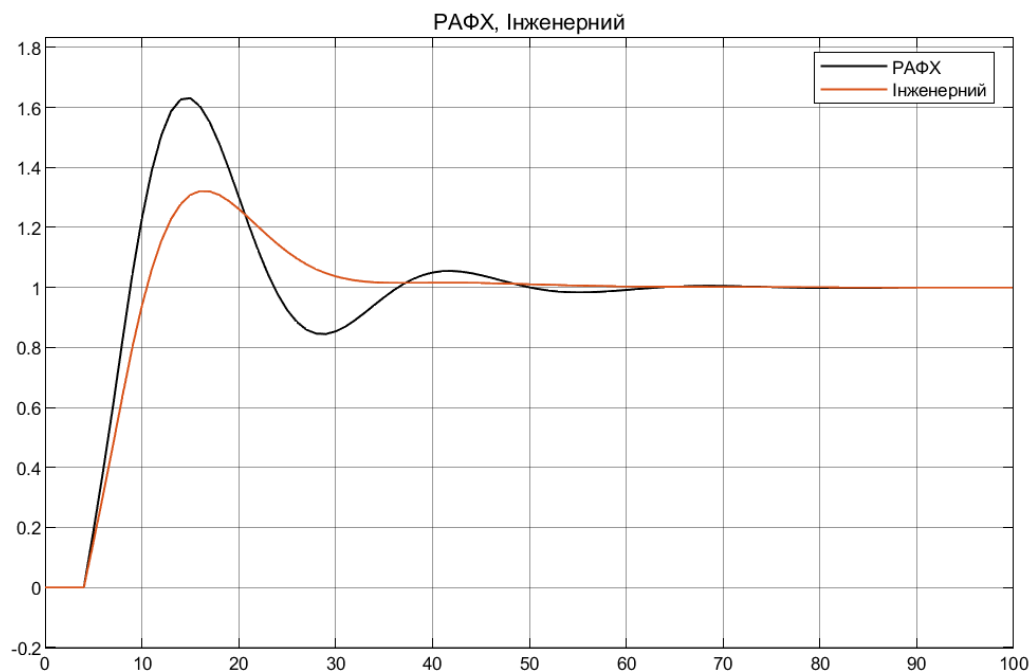


Рисунок 3.13 - Перехідні процеси по каналу «завдання-вихід»

Занесемо прямі показники якості по каналу «завдання-вихід», знайдені за методом РАФХ та експрес-методом до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Порівняння прямих показників якості по каналу «завдання-вихід», знайдених за методом РАФХ та експрес-методом

	Метод РАФХ	Експрес-метод
δ , %	63	32
Ψ	0,913	0,951
$\Delta_{ст}$	0	0
u_{max}^D	0,63	0,32
$t_{пп}$	43	29

Для каналу «завдання-вихід» експрес-метод виявився кращим через менше динамічне відхилення, перерегулювання та час переходного процесу.

Аналіз чутливості САР температури

Для аналізу чутливості САР температури проваріюємо параметри K - коефіцієнт підсилення, t - сталу часу та τ – запізнення у діапазоні $\pm 10\%$ по каналу «збурення-вихід».

Варіація коефіцієнту підсилення

Перехідні процеси для варіації K наведені на рис.3.14.

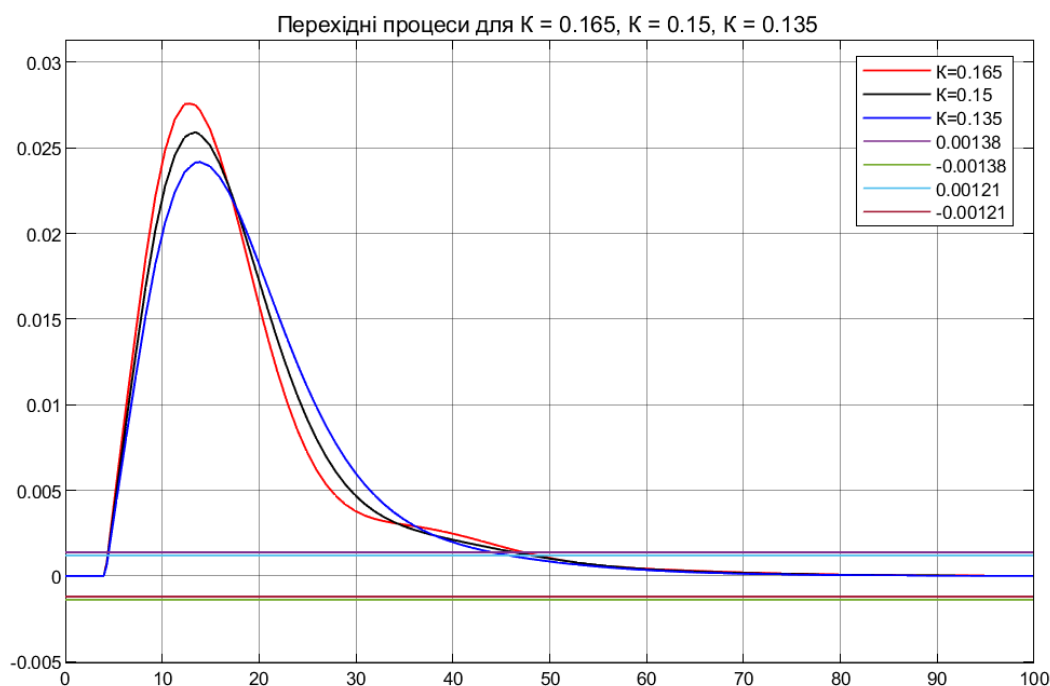


Рисунок 3.14 - Перехідні процеси для $K = 0.165, K = 0.15$ та $K = 0.135$ по каналу «збурення-вихід»

Занесемо показники якості до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Порівняння прямих показників якості по каналу «збурення-вихід» для $K = 0.165, K = 0.15$ та $K = 0.135$

	$K = 0.165$	$K = 0.15$	$K = 0.135$
$\delta, \%$	0	0	0
Ψ	1	1	1
$\Delta_{ст}$	0	0	0
$y_{max}^д$	0,0276	0,0259	0,0242
$t_{пп}$	47	47	45

Побудуємо функцію чутливості для Б (див.рис.3.15).

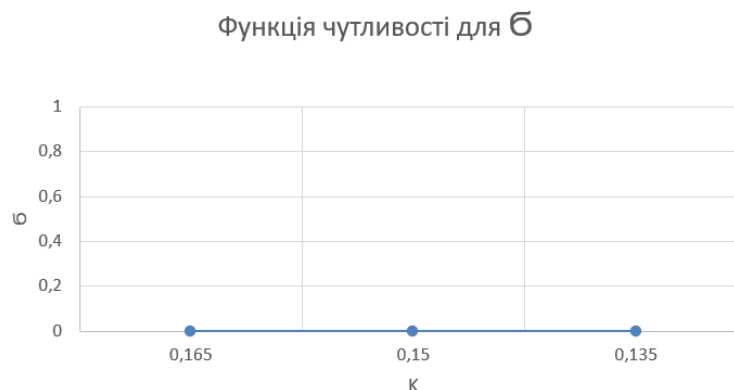


Рисунок 3.15 - Функція чутливості для перерегулювання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для Б:

$$K_Z = \left| \frac{\frac{R - R_{\text{опт}}}{R_{\text{опт}}}}{\frac{Z - Z_{\text{опт}}}{Z_{\text{опт}}}} \right| \quad (3.4)$$

R – поточне значення показника якості;

$R_{\text{опт}}$ – значення показника якості при оптимальних параметрах;

Z – поточне значення параметра;

$Z_{\text{опт}}$ – оптимальне значення параметра.

$$K_Z B_{0,165} = \left| \frac{\frac{0}{0,165 - 0,15}}{0,15} \right| = 0 \quad K_Z B_{0,135} = \left| \frac{\frac{0}{0,135 - 0,15}}{0,15} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Ψ (див.рис.3.16).

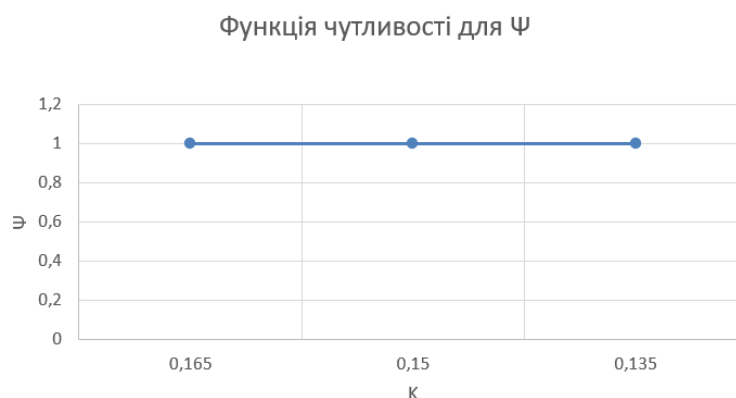


Рисунок 3.16 - Функція чутливості для ступеня затухання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для Ψ :

$$K_Z \Psi_{0,165} = \left| \frac{\frac{0}{0,165-0,15}}{0,15} \right| = 0 \quad K_Z \Psi_{0,135} = \left| \frac{\frac{0}{0,135-0,15}}{0,15} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Y_{max}^D (див.рис.3.17).

Функція чутливості для Y_{max}^D

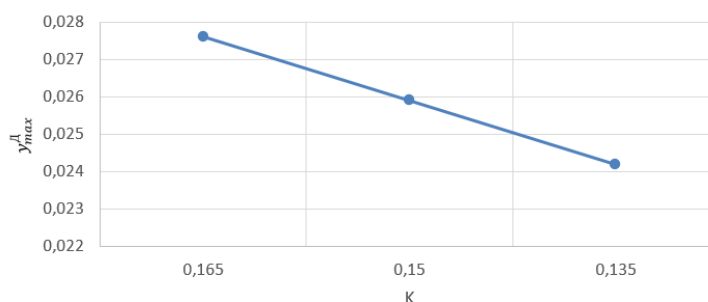


Рисунок 3.17 - Функція чутливості для максимального динамічного відхилення

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для Y_{max}^D :

$$K_Z Y_{max}^D_{0,165} = \left| \frac{\frac{0,0276-0,0259}{0,0259}}{\frac{0,165-0,15}{0,15}} \right| = 0,656 \quad K_Z Y_{max}^D_{0,135} = \left| \frac{\frac{0,0242-0,0259}{0,0259}}{\frac{0,135-0,15}{0,15}} \right| = 0,656$$

Побудуємо функцію чутливості для $t_{пп}$ (див.рис.3.18).

Функція чутливості для $t_{пп}$

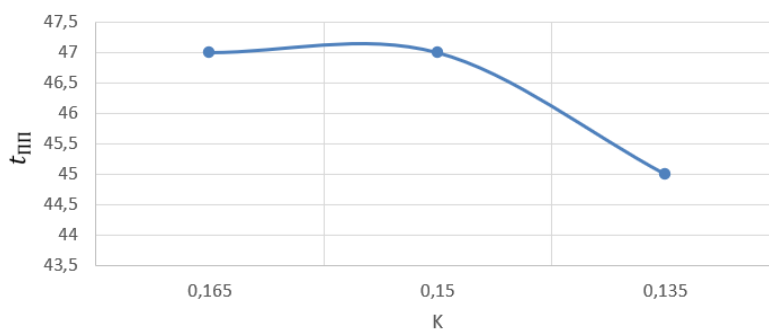


Рисунок 3.18 - Функція чутливості для часу перехідного процесу

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для $t_{пп}$:

$$K_Z t_{пп0,165} = \left| \frac{\frac{0}{0,165-0,15}}{0,15} \right| = 0 \quad K_Z t_{пп0,135} = \left| \frac{\frac{45-47}{47}}{\frac{0,135-0,15}{0,15}} \right| = 0,426$$

Відносні коефіцієнти чутливості для варіації коефіцієнта підсилення занесені до таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Відносні коефіцієнти чутливості для варіації коефіцієнта підсилення

К	$K_Z \delta$	$K_Z \Psi$	$K_Z Y_{max}^D$	$K_Z t_{пп}$
0,165	0	0	0,656	0
0,135	0	0	0,656	0,426

Варіація сталої часу

Перехідні процеси для варіації t наведені на рисунку 3.19.

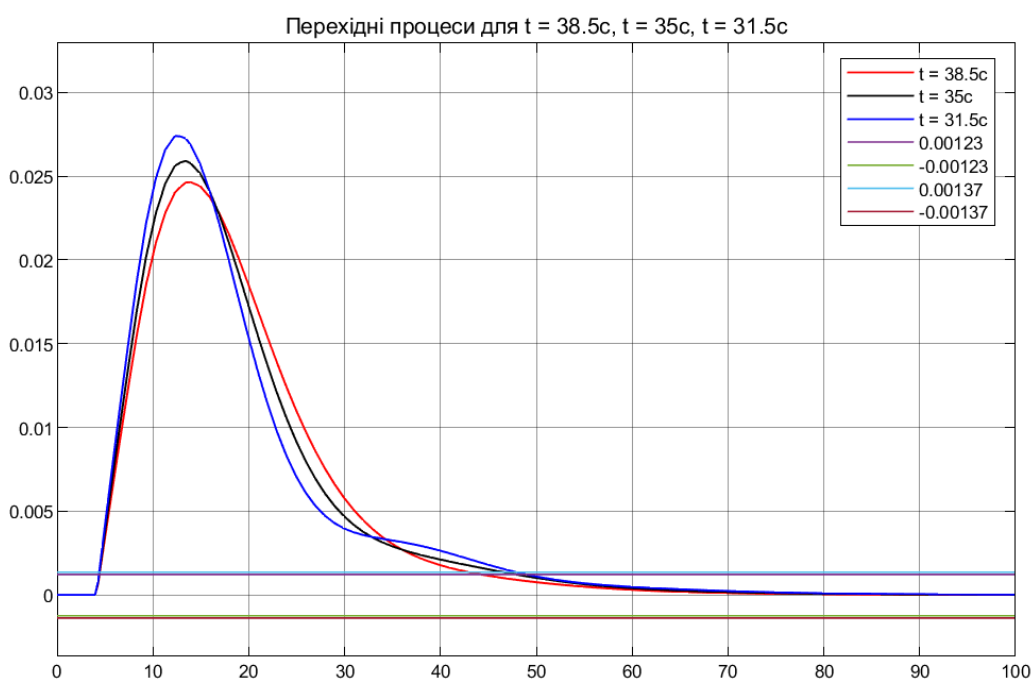


Рисунок 3.19 - Перехідні процеси для $t = 38.5$, $t = 35$ та $t = 31.5$ по каналу «збурення-вихід»

Занесемо прямі показники якості до таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 - Порівняння прямих показників якості по каналу «збурення-вихід» для $t = 38.5$, $t = 35$ та $t = 31.5$

	$t = 38.5$	$t = 35$	$t = 31.5$
δ , %	0	0	0
Ψ	1	1	1
$\Delta_{ст}$	0	0	0
y_{max}^D	0,0246	0,0259	0,0274
$t_{пп}$	44	47	48

Побудуємо функцію чутливості для δ (див.рис.3.20).

Функція чутливості для δ

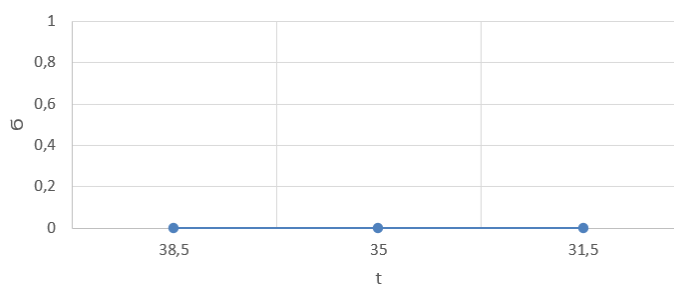


Рисунок 3.20 - Функція чутливості для перерегулювання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для δ :

$$K_{Z\delta_{38,5}} = \left| \frac{\frac{0}{38,5-35}}{35} \right| = 0 \quad K_{Z\delta_{31,5}} = \left| \frac{\frac{0}{31,5-35}}{35} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Ψ (див.рис.3.21).

Функція чутливості для Ψ

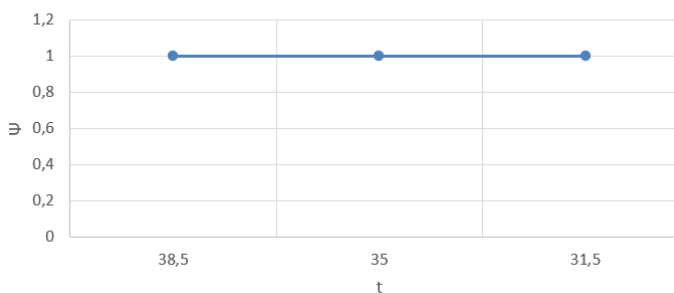


Рисунок 3.21 - Функція чутливості для ступеня затухання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для Ψ :

$$K_Z \Psi_{38,5} = \left| \frac{\frac{0}{38,5 - 35}}{35} \right| = 0 \quad K_Z \Psi_{31,5} = \left| \frac{\frac{0}{31,5 - 35}}{35} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Y_{max}^D (див.рис.3.22).

Функція чутливості для Y_{max}^D

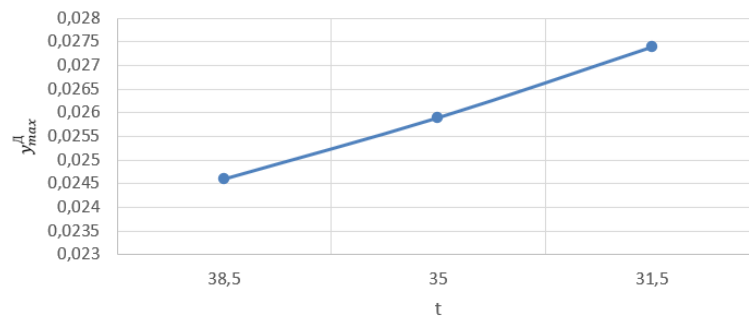


Рисунок 3.22 - Функція чутливості для максимального динамічного відхилення

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для Y_{max}^D :

$$K_Z Y_{max}^D_{38,5} = \left| \frac{\frac{0,0246 - 0,0259}{0,0259}}{\frac{38,5 - 35}{35}} \right| = 0,502 \quad K_Z Y_{max}^D_{31,5} = \left| \frac{\frac{0,0274 - 0,0259}{0,0259}}{\frac{31,5 - 35}{35}} \right| = 0,579$$

Побудуємо функцію чутливості для $t_{пп}$ (див.рис.3.23).

Функція чутливості для $t_{пп}$

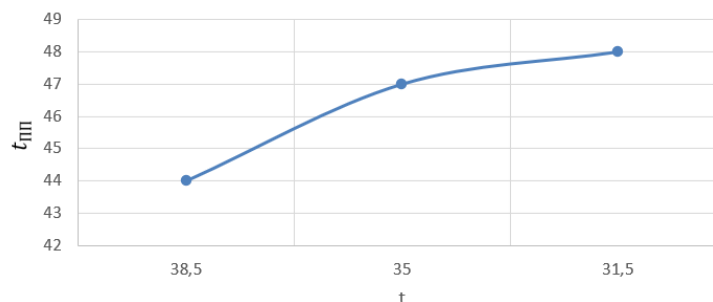


Рисунок 3.23 - Функція чутливості для часу перехідного процесу

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для $t_{пп}$:

$$K_Z t_{пп38,5} = \left| \frac{\frac{44 - 47}{47}}{\frac{38,5 - 35}{35}} \right| = 0,638 \quad K_Z t_{пп31,5} = \left| \frac{\frac{48 - 47}{47}}{\frac{31,5 - 35}{35}} \right| = 0,213$$

Занесемо ці коефіцієнти до таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 - Відносні коефіцієнти чутливості для варіації сталої часу

t	$K_Z \delta$	$K_Z \Psi$	$K_Z Y_{max}^D$	$K_Z t_{пп}$
38,5	0	0	0,502	0,638
31,5	0	0	0,579	0,213

Варіація запізнення

Перехідні процеси для варіації τ зображені на рисунку 3.24.

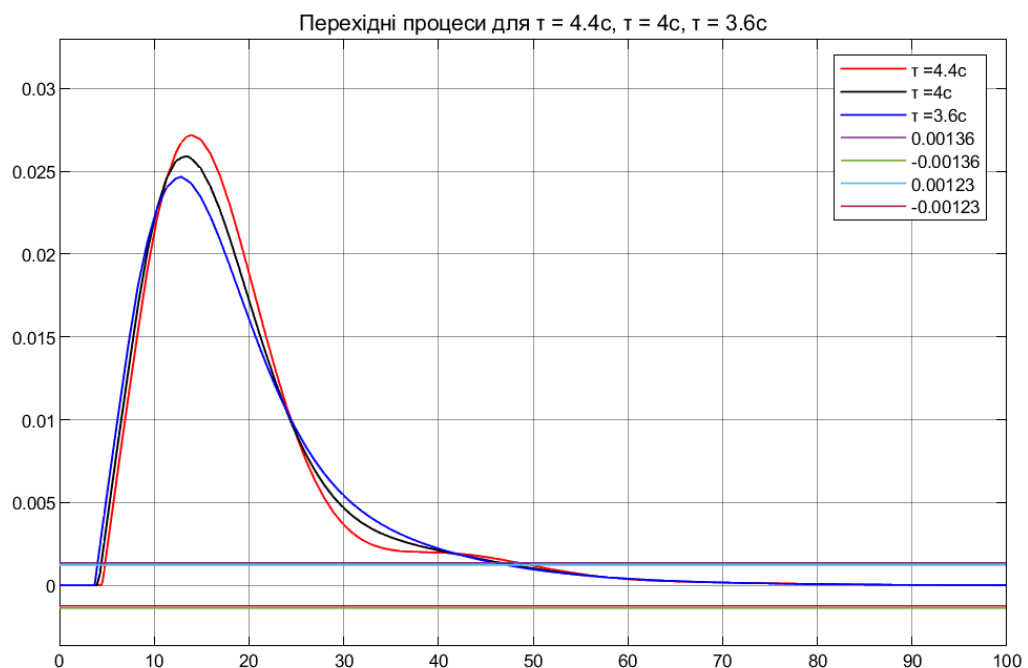


Рисунок 3.24 - Перехідні процеси для $\tau = 4.4$, $\tau = 4$ та $\tau = 3.6$ по каналу «збурення-вихід»

Занесемо показники до таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 - Порівняння прямих показників якості по каналу «збурення-вихід» для $\tau = 4.4$, $\tau = 4$ та $\tau = 3.6$

	$\tau = 4.4$	$\tau = 4$	$\tau = 3.6$
δ , %	0	0	0
Ψ	1	1	1
$\Delta_{ст}$	0	0	0
y_{max}^D	0,0272	0,0259	0,0246
$t_{пп}$	48	47	47

Побудуємо функцію чутливості для δ (див.рис.3.25).

Функція чутливості для δ

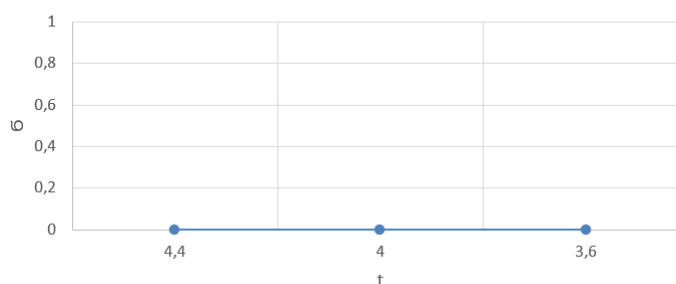


Рисунок 3.25 - Функція чутливості для перерегулювання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для δ :

$$K_Z \delta_{4,4} = \left| \frac{\frac{0}{4,4-4}}{4} \right| = 0 \quad K_Z \delta_{3,6} = \left| \frac{\frac{0}{3,6-4}}{4} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Ψ (див.рис.3.26).

Функція чутливості для Ψ

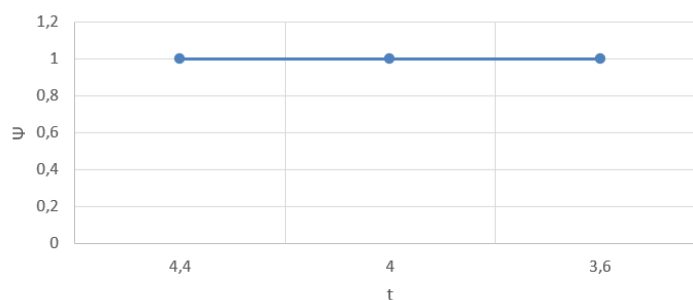


Рисунок 3.26 - Функція чутливості для ступеня затухання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для Ψ :

$$K_Z \Psi_{4,4} = \left| \frac{\frac{0}{4,4-4}}{4} \right| = 0 \quad K_Z \Psi_{3,6} = \left| \frac{\frac{0}{3,6-4}}{4} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Y_{max}^D (див.рис.3.27).

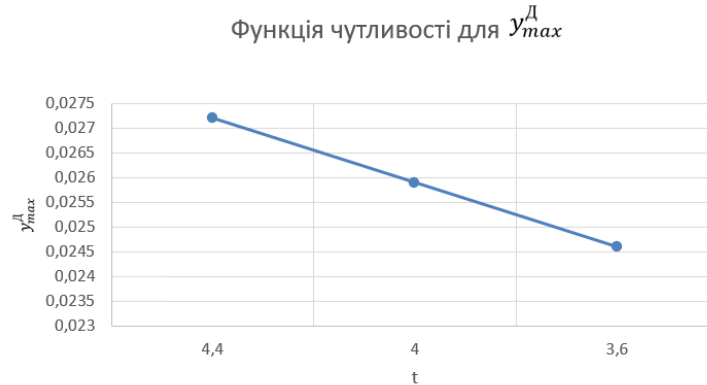


Рисунок 3.27 - Функція чутливості для максимального динамічного відхилення

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для Y_{max}^D :

$$K_Z Y_{max 4,4}^D = \left| \frac{\frac{0,0272-0,0259}{0,0259}}{\frac{4,4-4}{4}} \right| = 0,502 \quad K_Z Y_{max 3,6}^D = \left| \frac{\frac{0,0246-0,0259}{0,0259}}{\frac{3,6-4}{4}} \right| = 0,502$$

Побудуємо функцію чутливості для $t_{пп}$ (див.рис.3.28).

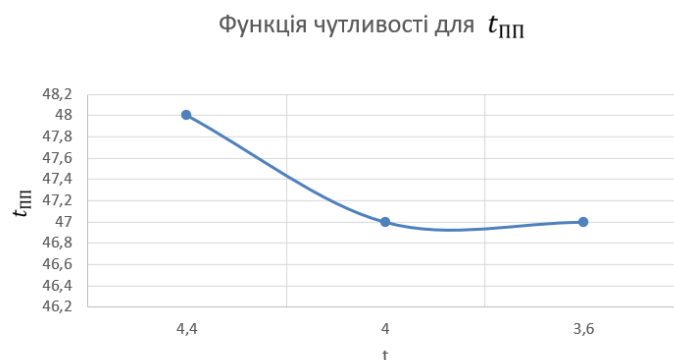


Рисунок 3.28 - Функція чутливості для часу перехідного процесу

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для $t_{пп}$:

$$K_Z t_{\text{пп}4,4} = \left| \frac{\frac{48-47}{47}}{\frac{4,4-4}{4}} \right| = 0,571 \quad K_Z t_{\text{пп}3,6} = \left| \frac{\frac{0}{3,6-4}}{4} \right| = 0$$

Відносні коефіцієнти чутливості для варіації запізнення занесені до таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 - Відносні коефіцієнти чутливості для варіації запізнення

τ	$K_Z \delta$	$K_Z \Psi$	$K_Z Y_{\max}^D$	$K_Z t_{\text{пп}}$
4,4	0	0	0,502	0,571
4	0	0	0,502	0

Висновки для аналізу чутливості

У таблиці 3.13 наведено порівняння прямих показників якості для варіації К, t та τ .

Таблиця 3.13 - Порівняння прямих показників якості для варіації К, t, τ

Параметр	Значення	δ , %	Ψ	$\Delta_{\text{ст}}$	$Y_{\max}^D$	$t_{\text{пп}}$
К	0,165	0	1	0	0,0276	47
	0,15	0	1	0	0,0259	47
	0,135	0	1	0	0,0242	45
t	38,5	0	1	0	0,0246	44
	35	0	1	0	0,0259	47
	31,5	0	1	0	0,0274	48
τ	4,4	0	1	0	0,0272	48
	4	0	1	0	0,0259	47
	3,6	0	1	0	0,0246	47

У таблиці 3.14 наведене порівняння відносних коефіцієнтів чутливості для варіації К, t та τ .

Таблиця 3.14 - Порівняння відносних коефіцієнтів чутливості для варіації
K, t, τ

Параметр	Значення	$K_Z \delta$	$K_Z \Psi$	$K_Z Y_{max}^D$	$K_Z t_{пп}$
K	0,165	0	0	0,656	0
	0,135	0	0	0,656	0,426
t	38,5	0	0	0,502	0,638
	31,5	0	0	0,579	0,213
τ	4,4	0	0	0,502	0,571
	3,6	0	0	0,502	0

Отримані показники якості виявились задовільними, оскільки перерегулювання при варіації всіх параметрів залишилось незмінним і рівним нулю. Інші показники також майже не змінились.

Проаналізувавши отримані відносні коефіцієнти чутливості, можна сказати, що система є нечутливою, оскільки жоден коефіцієнт не перевищує одиницю та майже всі коефіцієнти при варіації параметрів змінюються несуттєво.

Метод РАФХ для контуру регулювання тиску

Для побудови кривої заданої степені коливальності скористаємося формулами для ПІ-регулятора:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_P = -\frac{mQ_{oo}(m, \omega) + P_{oo}(m, \omega)}{A_{oo}^2(m, \omega)} \\ K_I = -\omega(m^2 + 1) \frac{Q_{oo}(m, \omega)}{A_{oo}^2(m, \omega)} \end{array} \right. \quad (3.5)$$

де $K_I = \frac{K_P}{T_I}$, $A_{oo}(m, \omega) = \sqrt{P_{oo}^2(m, \omega) + Q_{oo}^2(m, \omega)}$

Побудуємо криву заданого ступеня затухання (див.рис.3.29).

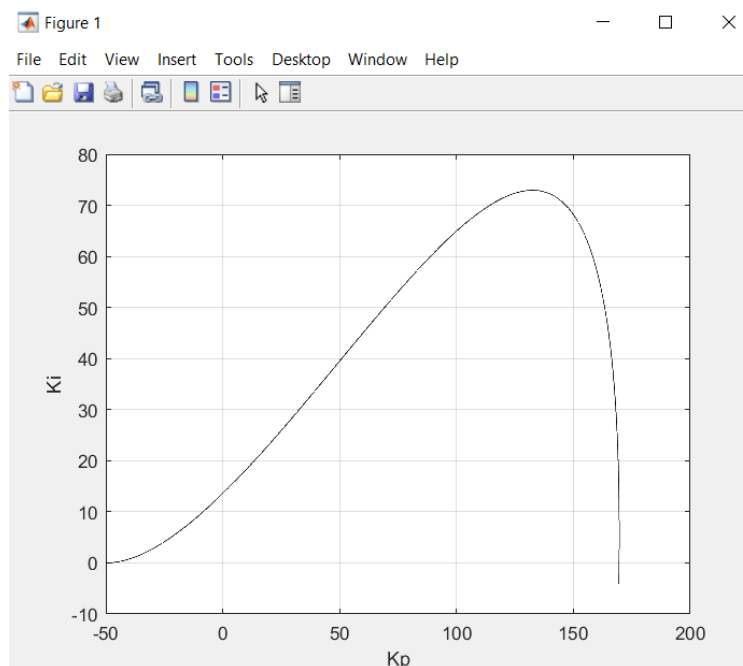


Рисунок 3.29 - Крива заданого ступеня затухання

Для ПІ-регулятора обираємо налаштування, коли $K_i = 0.95 \max(K_i)$. Отже, $K_p = 148,145$, $K_i = 69,297$, $T_i = K_p / K_i = 2,1378$.

Побудуємо одноконтурну САР із налаштованими регуляторами (див.рис.3.31 та рис.3.32). Передавальна функція має вигляд:

$$W(p) = \frac{148,145}{2,1378p + 1}$$

На рисунку 3.30 наведені структурні схеми перехідних процесів.

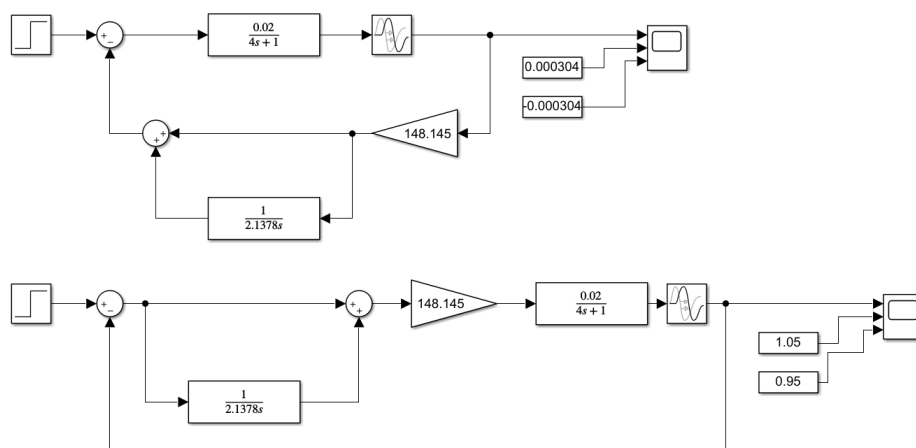


Рисунок 3.30 - Структурні схеми перехідних процесів по каналу «збурення-вихід» та «завдання-вихід» відповідно

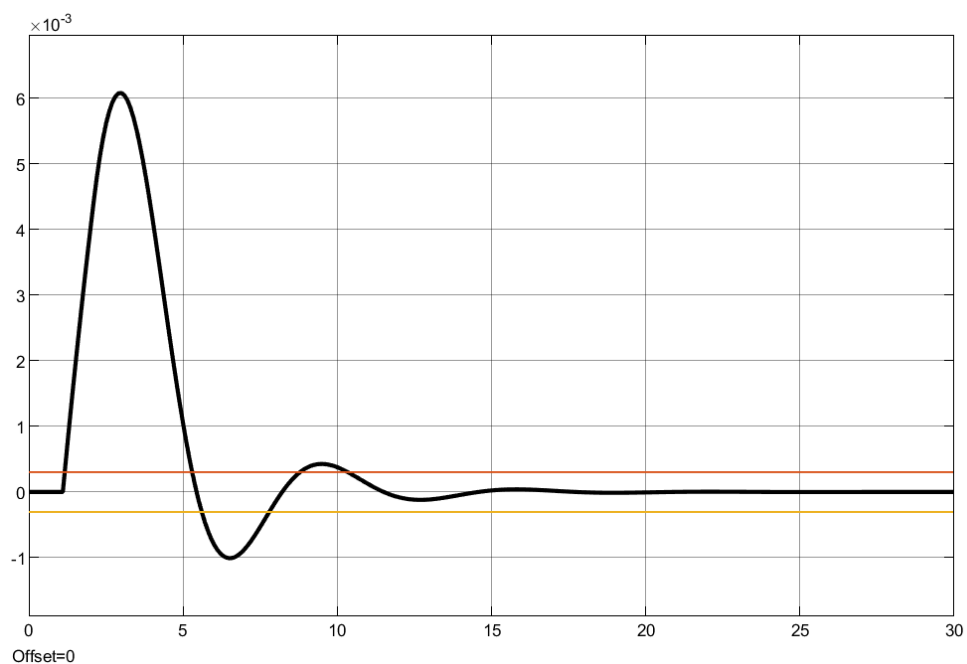


Рисунок 3.31 - Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»

Занесемо показники якості для каналу «збурення-вихід» до таблиці 3.15:

Таблиця 3.15 - Прямі показники якості по каналу «збурення-вихід»

	δ , %	Ψ	$\Delta_{ст}$	y_{max}^D	$t_{ПП}$
$K_p=148,145$, $T_i=2,1378$	16,6	0,929	0	0,00608	10

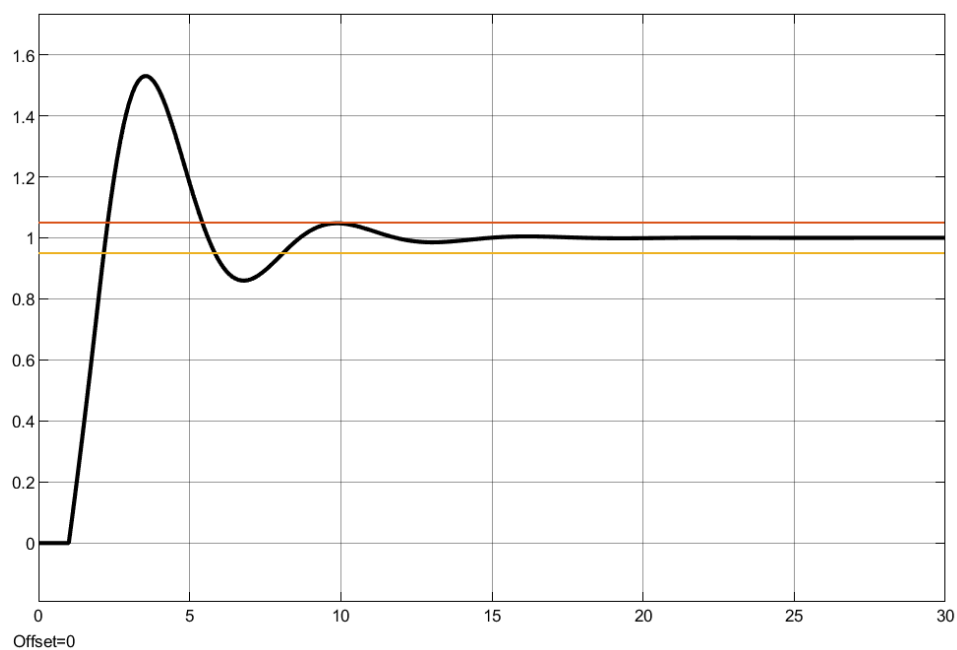


Рисунок 3.32 - Перехідний процес по каналу «завдання-вихід»

Занесемо показники якості для каналу «завдання-вихід» до таблиці 3.16:

Таблиця 3.16 - Прямі показники якості по каналу «завдання-вихід»

	δ , %	Ψ	$\Delta_{ст}$	y_{max}^D	$t_{пп}$
Kp=148,145, Ti=2,1378	53	0,91	0	0,53	8

Експрес-метод для контуру регулювання тиску

Для подальшого дослідження вибрано експрес-метод CHR (Chien-Hrones-Reswick).

$$K_p = 0.6 * \frac{T_o}{K_o * \tau_o} \quad (3.6)$$

$$T_i = 4 * \tau_o \quad (3.7)$$

Розрахуємо налаштування регулятора:

З передаточної функції об'єкта маємо:

$$K_o = 0,02 \quad T_o = 4 \quad \tau_o = 1с$$

$$K_p = 0.6 * \frac{4}{0,02 * 1} = 120;$$

$$T_i = 4 * 1 = 4;$$

Отримали передавальну функцію вигляду:

$$W(p) = \frac{120}{4p + 1}$$

Структурні схеми перехідних процесів для експрес-методу по каналу «збурення-вихід» та «завдання-вихід» зображені на рисунку 3.33.

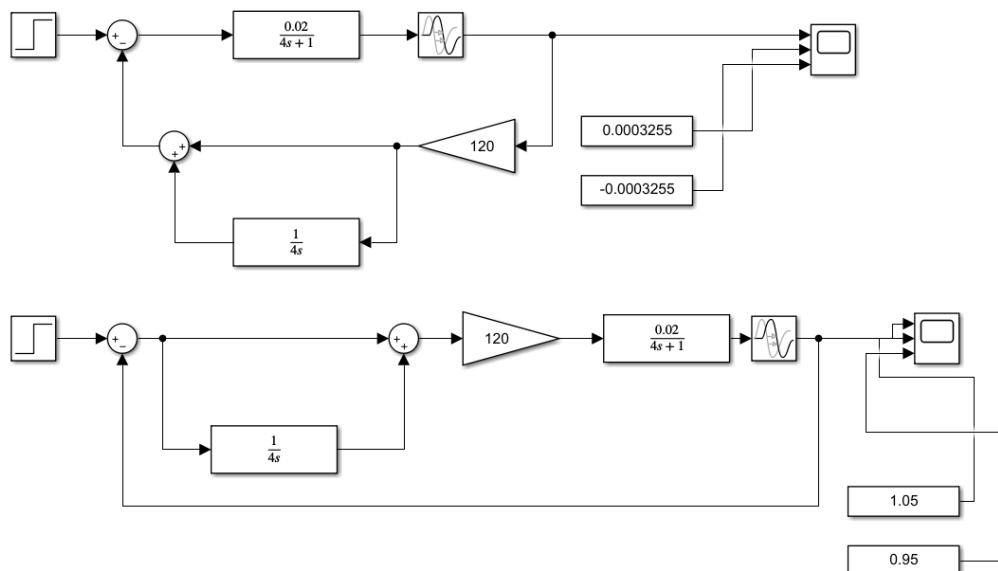


Рисунок 3.33 - Структурні схеми перехідних процесів для експрес-методу по каналу «збурення-вихід» та «завдання-вихід» відповідно

Отриманий перехідний процес зображений на рисунку 3.34.

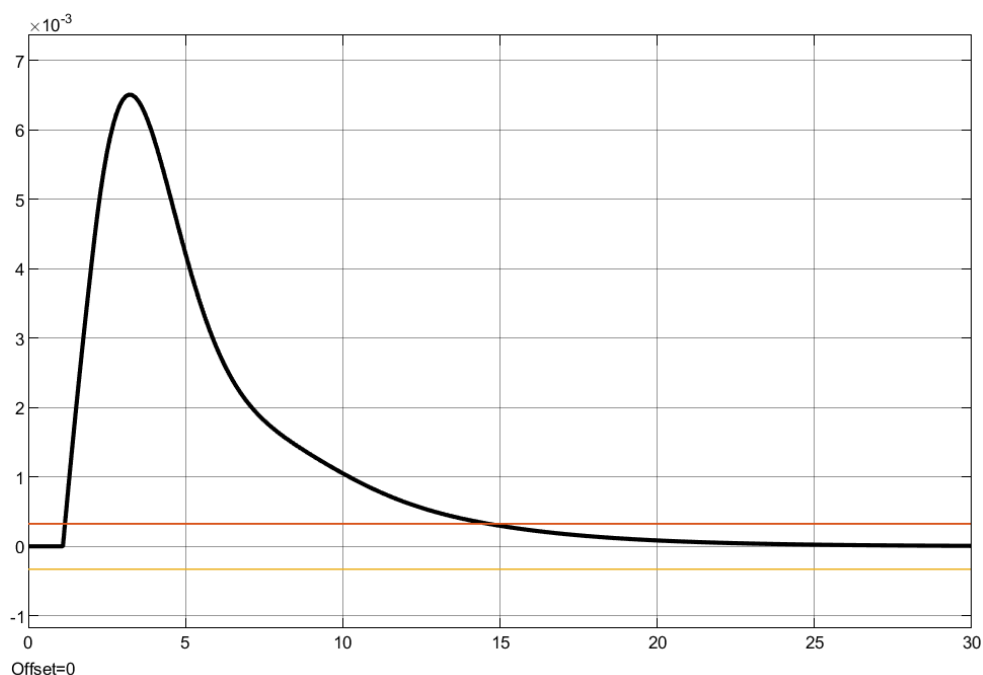


Рисунок 3.34 - Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»

Занесемо показники якості для експрес-методу для каналу «збурення-вихід» до таблиці 3.17:

Таблиця 3.17 - Прямі показники якості по каналу «збурення-вихід»

	δ , %	Ψ	$\Delta_{ст}$	y_{max}^D	$t_{пп}$
$K_p=120$, $T_i=4$	0	1	0	0,00651	14

Перехідний процес по каналу «завдання-вихід» зображений на рисунку 3.35.

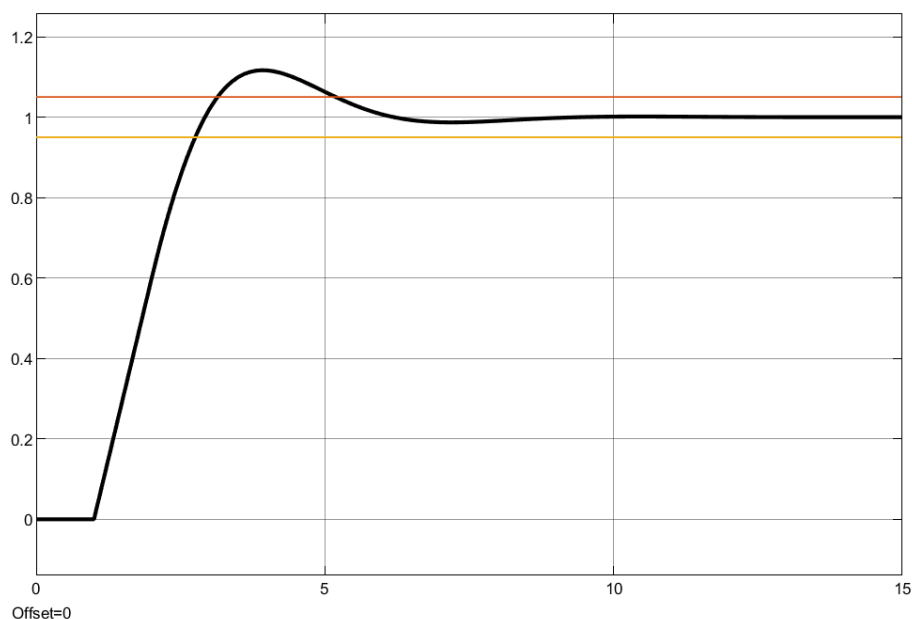


Рисунок 3.35 - Перехідний процес по каналу «завдання-вихід»

Занесемо показники якості для каналу «завдання-вихід» до таблиці 3.18:

Таблиця 3.18 - Прямі показники якості по каналу «завдання-вихід»

	δ , %	Ψ	$\Delta_{ст}$	y_{max}^D	$t_{пп}$
$K_p=120$, $T_i=4$	11,6	0,99	0	0,116	5

Порівняння методів РАФХ та експрес-методу для контуру регулювання тиску

Перехідні процеси наведені на рисунку 3.36.

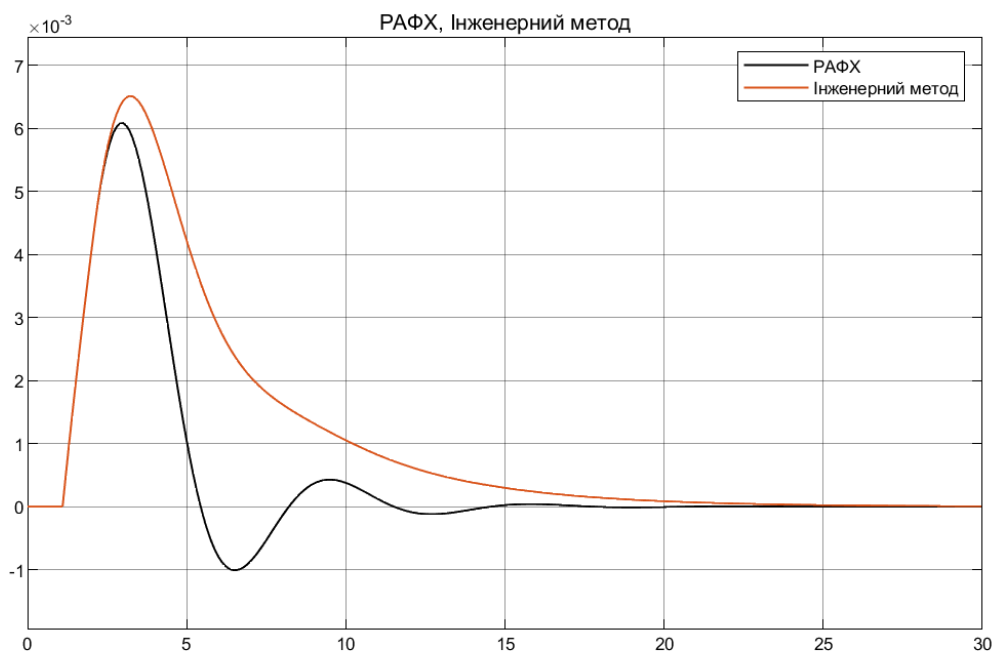


Рисунок 3.36 - Перехідні процеси по каналу «збурення-вихід»

Порівняємо прямі показники якості по каналу «збурення-вихід», знайдені за методом РАФХ та експрес-методом та занесемо їх до таблиці 3.19.

Таблиця 3.19 - Порівняння прямих показників якості по каналу «збурення-вихід», знайдених за методом РАФХ та експрес-методом

	Метод РАФХ	Експрес-метод
δ , %	16,6	0
Ψ	0,929	1
$\Delta_{ст}$	0	0
y_{max}^D	0,00608	0,00651
$t_{пп}$	10	14

Для каналу «збурення-вихід» експрес-метод виявився кращим через нульове перерегулювання. Інші параметри відрізняються несуттєво.

Перехідні процеси для методу РАФХ та експрес-методу по каналу «завдання-вихід» зображені на рисунку 3.37.

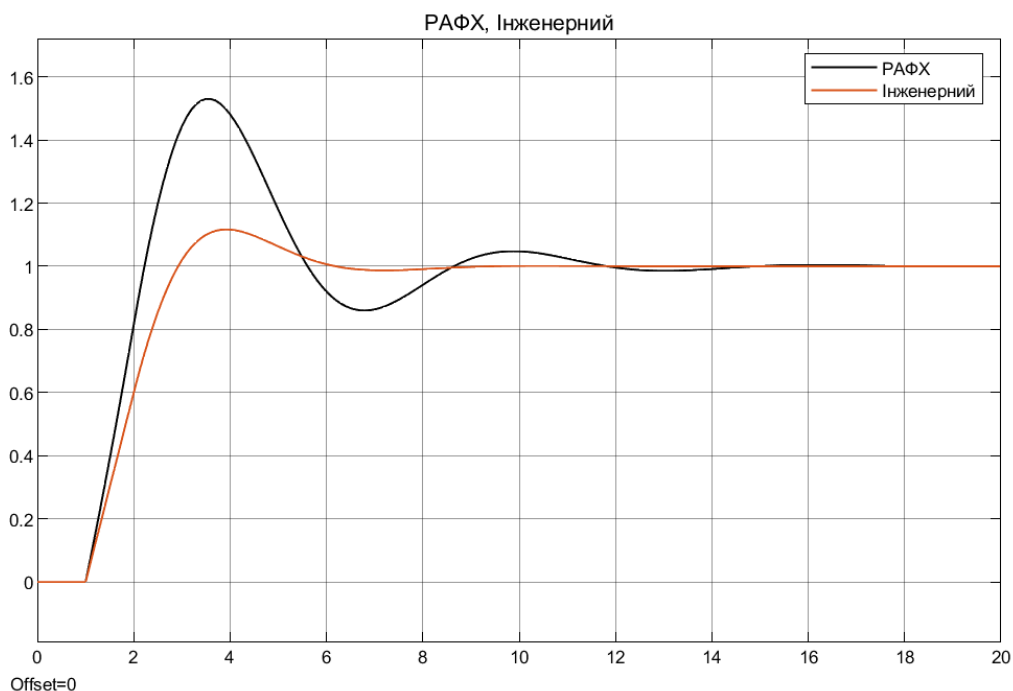


Рисунок 3.37 - Перехідні процеси по каналу «завдання-вихід»

Порівняємо прямі показники якості по каналу «завдання-вихід», знайдені за методом РАФХ та експрес-методом та занесемо їх до таблиці 3.20.

Таблиця 3.20 - Порівняння прямих показників якості по каналу «завдання-вихід», знайдених за методом РАФХ та експрес-методом

	Метод РАФХ	Експрес-метод
δ , %	53	11,6
Ψ	0,91	0,99
$\Delta_{ст}$	0	0
y_{max}^D	0,53	0,116
$t_{пп}$	8	5

Для каналу «завдання-вихід» експрес-метод виявився кращим через менше динамічне відхилення, перерегулювання та час переходного процесу.

Аналіз чутливості САР тиску

Для аналізу чутливості САР тиску проваріюємо параметри К-коефіцієнт підсилення, t - сталу часу та τ – запізнення у діапазоні $\pm 10\%$ по каналу «збурення-вихід».

Варіація коефіцієнту підсилення

Перехідні процеси для варіації К наведені на рисунку 3.38.

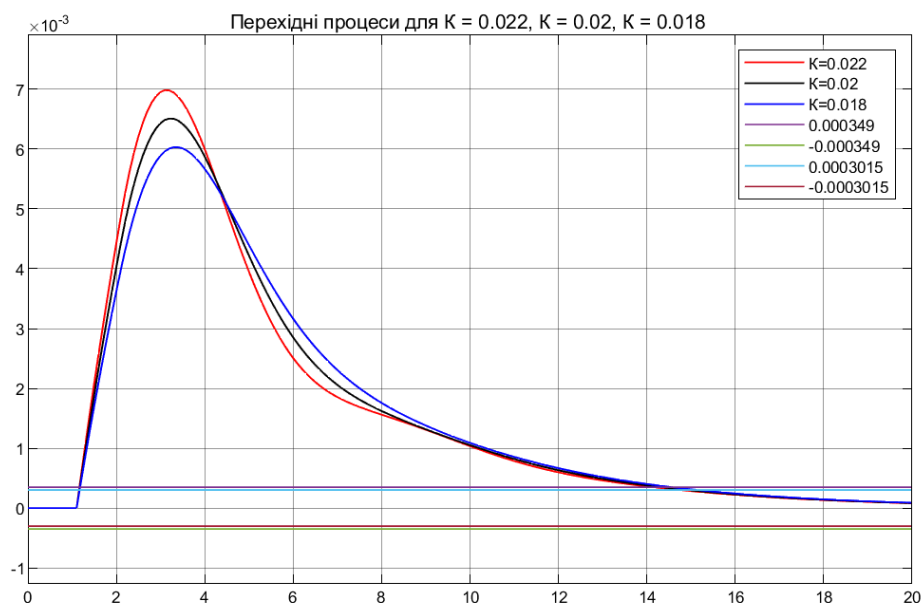


Рисунок 3.38 - Перехідні процеси для $K = 0.022$, $K = 0.02$ та $K = 0.018$ по каналу «збурення-вихід»

Занесемо показники до таблиці 3.21.

Таблиця 3.21 - Порівняння прямих показників якості по каналу «збурення-вихід» для $K = 0.022$, $K = 0.02$ та $K = 0.018$

	$K = 0.022$	$K = 0.02$	$K = 0.018$
δ , %	0	0	0
Ψ	1	1	1
$\Delta_{ст}$	0	0	0
$y_{тах}^D$	0,00698	0,00651	0,00603
$t_{пп}$	14	14	15

Побудуємо функцію чутливості для $\mathcal{B}$ (див.рис.3.39).

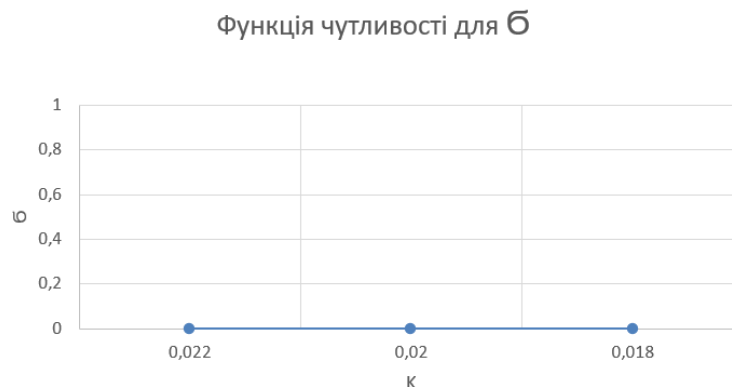


Рисунок 3.39 - Функція чутливості для перерегулювання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для $\mathcal{B}$:

$$K_Z \mathcal{B}_{0,022} = \left| \frac{\frac{0}{0,022-0,02}}{0,02} \right| = 0 \quad K_Z \mathcal{B}_{0,018} = \left| \frac{\frac{0}{0,018-0,02}}{0,02} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Ψ (див.рис.3.40).

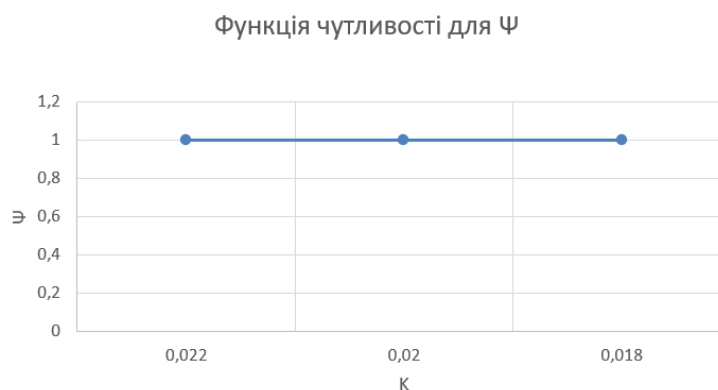


Рисунок 3.40 - Функція чутливості для ступеня затухання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для Ψ :

$$K_Z \Psi_{0,022} = \left| \frac{\frac{0}{0,022-0,02}}{0,02} \right| = 0 \quad K_Z \Psi_{0,018} = \left| \frac{\frac{0}{0,018-0,02}}{0,02} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Y_{max}^D (див.рис.3.41).

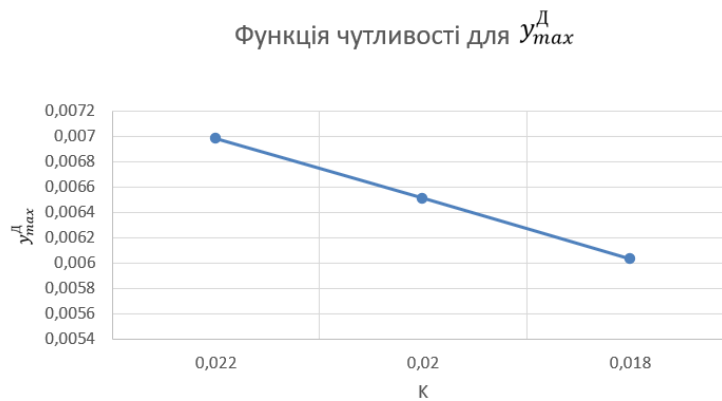


Рисунок 3.41 - Функція чутливості для максимального динамічного відхилення

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для y_{max}^D :

$$K_Z y_{max 0,022}^D = \left| \frac{\frac{0,00698 - 0,00651}{0,00651}}{\frac{0,022 - 0,02}{0,02}} \right| = 0,722 \quad K_Z y_{max 0,018}^D = \left| \frac{\frac{0,00603 - 0,00651}{0,00651}}{\frac{0,018 - 0,02}{0,02}} \right| = 0,737$$

Побудуємо функцію чутливості для $t_{пп}$ (див.рис.3.42).



Рисунок 3.42 - Функція чутливості для часу перехідного процесу

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для $t_{пп}$:

$$K_Z t_{пп 0,022} = \left| \frac{\frac{0}{14}}{\frac{0,022 - 0,02}{0,02}} \right| = 0 \quad K_Z t_{пп 0,018} = \left| \frac{\frac{15 - 14}{14}}{\frac{0,018 - 0,02}{0,02}} \right| = 0,714$$

Відносні коефіцієнти чутливості для варіації коефіцієнта підсилення наведені у таблиці 3.22.

Таблиця 3.22 - Відносні коефіцієнти чутливості для варіації коефіцієнта підсилення

К	$K_Z \delta$	$K_Z \Psi$	$K_Z Y_{max}^D$	$K_Z t_{пп}$
0,022	0	0	0,722	0
0,018	0	0	0,737	0,714

Варіація сталої часу

Побудуємо перехідні процеси для варіації t (див.рис.3.43).

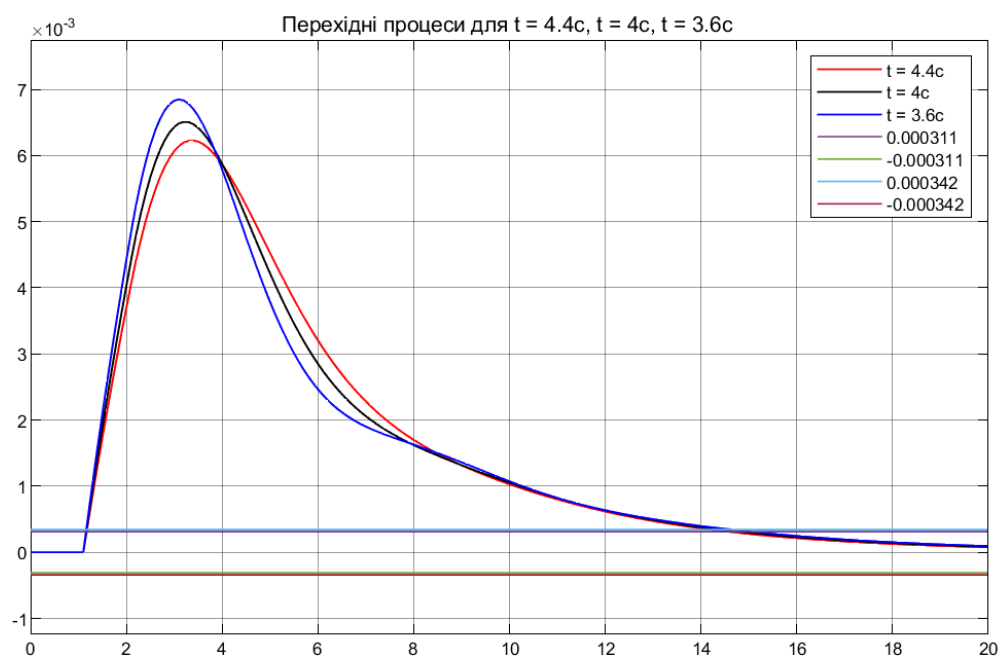


Рисунок 3.43 - Перехідні процеси для $t = 4.4$, $t = 4$ та $t = 3.6$ по каналу «збурення-вихід»

Занесемо показники до таблиці 3.23.

Таблиця 3.23 - Порівняння прямих показників якості по каналу «збурення-вихід» для $t = 4.4$, $t = 4$ та $t = 3.6$

	$t = 4.4$	$t = 4$	$t = 3.6$
$\mathcal{B}$, %	0	0	0
Ψ	1	1	1
$\Delta_{\text{ст}}$	0	0	0
y_{max}^D	0,00622	0,00651	0,00684
$t_{\text{пп}}$	14	14	14

Побудуємо функцію чутливості для $\mathcal{B}$ (див.рис.3.44).

Функція чутливості для $\mathcal{B}$

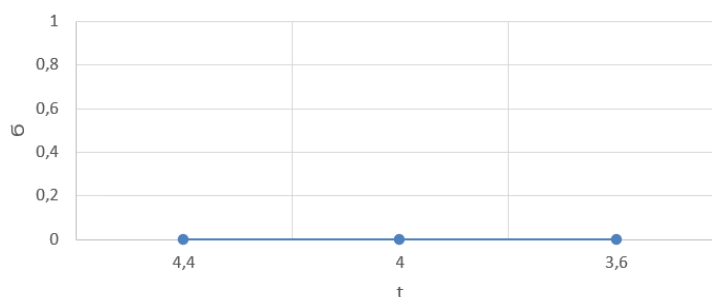


Рисунок 3.44 - Функція чутливості для перерегулювання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для $\mathcal{B}$:

$$K_Z \mathcal{B}_{4,4} = \left| \frac{\frac{0}{4,4-4}}{4} \right| = 0 \quad K_Z \mathcal{B}_{3,6} = \left| \frac{\frac{0}{3,6-4}}{4} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Ψ (див.рис.3.45).

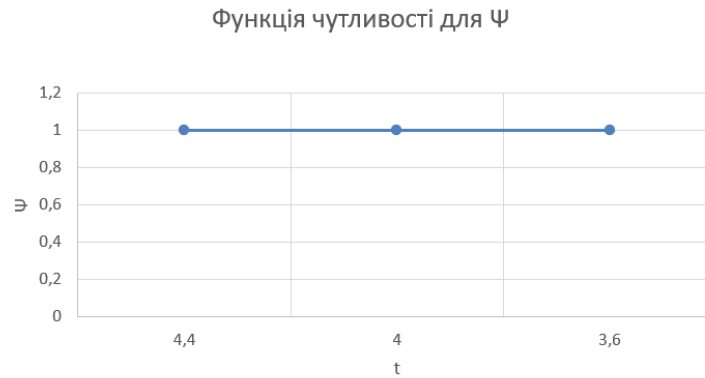


Рисунок 3.45 - Функція чутливості для ступеня затухання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для Ψ :

$$K_Z \Psi_{4,4} = \left| \frac{\frac{0}{4,4-4}}{4} \right| = 0 \quad K_Z \Psi_{3,6} = \left| \frac{\frac{0}{3,6-4}}{4} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Y_{max}^D (див.рис.3.46).

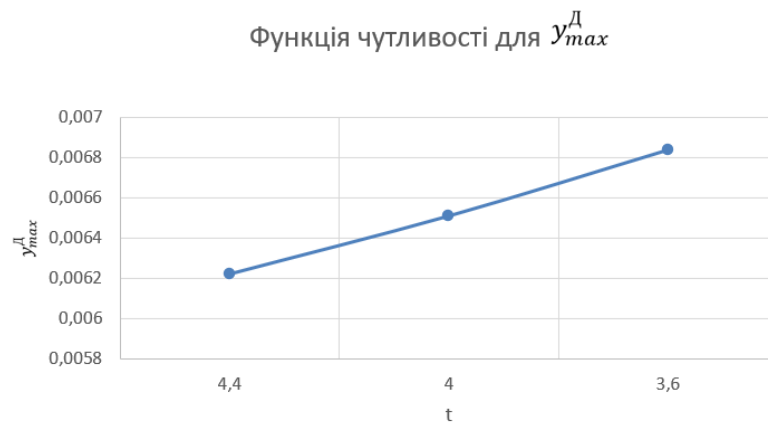


Рисунок 3.46 - Функція чутливості для максимального динамічного відхилення

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для Y_{max}^D :

$$K_Z Y_{max 4,4}^D = \left| \frac{\frac{\frac{0,00622-0,00651}{0,00651}}{4,4-4}}{4} \right| = 0,445 \quad K_Z Y_{max 3,6}^D = \left| \frac{\frac{\frac{0,00684-0,00651}{0,00651}}{3,6-4}}{4} \right| = 0,507$$

Побудуємо функцію чутливості для $t_{пп}$ (див.рис.3.47).

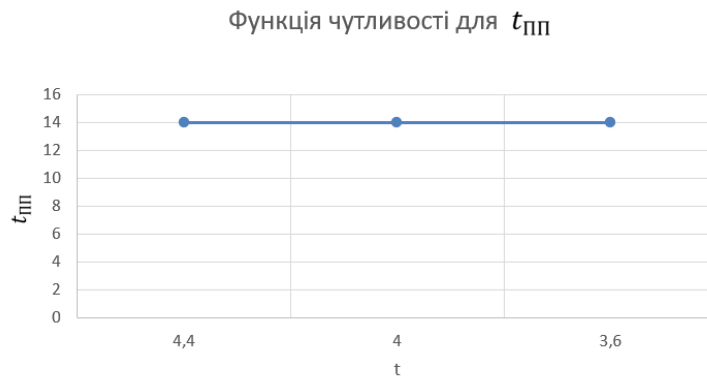


Рисунок 3.47 - Функція чутливості для часу перехідного процесу

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для $t_{\text{пп}}$:

$$K_Z t_{\text{пп}4,4} = \left| \frac{\frac{0}{4,4-4}}{4} \right| = 0 \quad K_Z t_{\text{пп}3,6} = \left| \frac{\frac{0}{3,6-4}}{4} \right| = 0$$

Відносні коефіцієнти чутливості для варіації сталої часу наведені у таблиці 3.24.

Таблиця 3.24 - Відносні коефіцієнти чутливості для варіації сталої часу

t	$K_Z b$	$K_Z \Psi$	$K_Z Y_{\text{max}}^D$	$K_Z t_{\text{пп}}$
4,4	0	0	0,445	0
3,6	0	0	0,507	0

Варіація запізнення

Побудуємо перехідні процеси при варіації τ (див.рис.3.48).

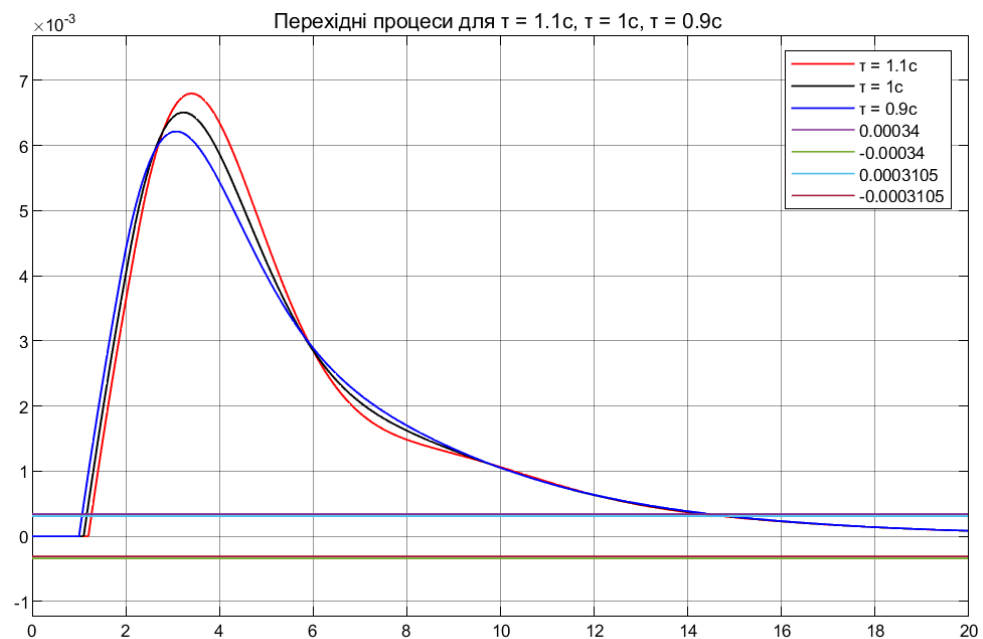


Рисунок 3.48 - Перехідні процеси для $\tau = 1.1$, $\tau = 1$ та $\tau = 0.9$ по каналу «збурення-вихід»

Занесемо показники до таблиці 3.25.

Таблиця 3.25 - Порівняння прямих показників якості по каналу «збурення-вихід» для $\tau = 1.1$, $\tau = 1$ та $\tau = 0.9$

	$\tau = 1.1$	$\tau = 1$	$\tau = 0.9$
δ , %	0	0	0
Ψ	1	1	1
$\Delta_{ст}$	0	0	0
$y_{max}^д$	0,0068	0,00651	0,00621
$t_{пп}$	14	14	14

Побудуємо функцію чутливості для δ (див.рис.3.49).



Рисунок 3.49 - Функція чутливості для перерегулювання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для δ :

$$K_{Z\delta_{1,1}} = \left| \frac{\frac{0}{1,1-1}}{1} \right| = 0 \quad K_{Z\delta_{0,9}} = \left| \frac{\frac{0}{0,9-1}}{1} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Ψ (див.рис.3.50).

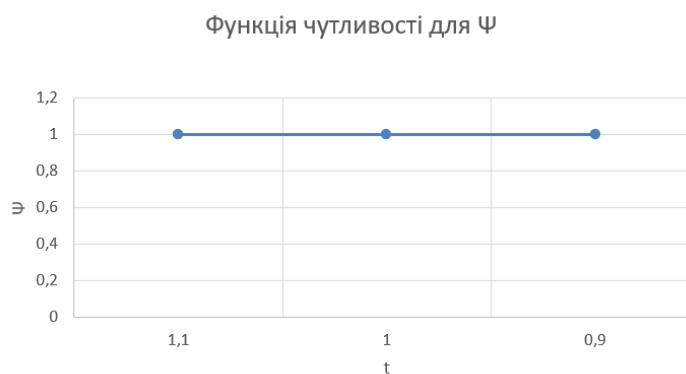


Рисунок 3.50 - Функція чутливості для ступеня затухання

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для Ψ :

$$K_{Z\Psi_{1,1}} = \left| \frac{\frac{0}{1,1-1}}{1} \right| = 0 \quad K_{Z\Psi_{0,9}} = \left| \frac{\frac{0}{0,9-1}}{1} \right| = 0$$

Побудуємо функцію чутливості для Y_{max}^D (див.рис.3.51).

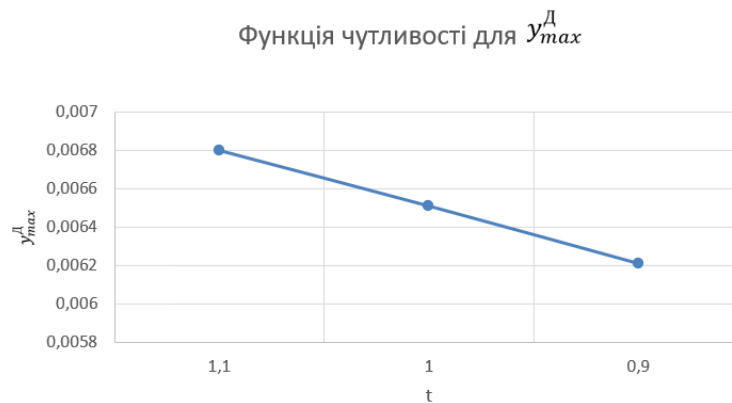


Рисунок 3.51 - Функція чутливості для максимального динамічного відхилення

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для y_{max}^D :

$$K_Z y_{max1,1}^D = \left| \frac{\frac{0,0068 - 0,00651}{0,00651}}{\frac{1,1 - 1}{1}} \right| = 0,445 \quad K_Z y_{max0,9}^D = \left| \frac{\frac{0,00621 - 0,00651}{0,00651}}{\frac{0,9 - 1}{1}} \right| = 0,461$$

Побудуємо функцію чутливості для $t_{пп}$ (див.рис.3.52).



Рисунок 3.52 - Функція чутливості для часу перехідного процесу

Знайдемо відносний коефіцієнт чутливості K_Z для $t_{пп}$:

$$K_Z t_{пп1,1} = \left| \frac{\frac{0}{1,1 - 1}}{1} \right| = 0 \quad K_Z t_{пп0,9} = \left| \frac{\frac{0}{0,9 - 1}}{1} \right| = 0$$

Відносні коефіцієнти чутливості для варіації запізнення наведені у таблиці 3.26.

Таблиця 3.26 - Відносні коефіцієнти чутливості для варіації запізнення

τ	$K_Z \delta$	$K_Z \Psi$	$K_Z Y_{max}^D$	$K_Z t_{пп}$
1,1	0	0	0,445	0
0,9	0	0	0,461	0

Висновки для аналізу чутливості

Порівняння прямих показників якості для варіації K , t , τ наведено у таблиці 3.27.

Таблиця 3.27 - Порівняння прямих показників якості для варіації K , t , τ

Параметр	Значення	δ , %	Ψ	$\Delta_{ст}$	Y_{max}^D	$t_{пп}$
K	0,022	0	1	0	0,00698	14
	0,02	0	1	0	0,00651	14
	0,018	0	1	0	0,00603	15
t	4,4	0	1	0	0,00622	14
	4	0	1	0	0,00651	14
	3,6	0	1	0	0,00684	14
τ	1,1	0	1	0	0,0068	14
	1	0	1	0	0,00651	14
	0,9	0	1	0	0,00621	14

Отримані показники якості виявились задовільними, оскільки перерегулювання при варіації всіх параметрів залишилось незмінним і рівним нулю. Інші показники також майже не змінились.

Порівняння відносних коефіцієнтів чутливості для варіації K , t , τ наведено у таблиці 3.28.

Таблиця 3.28 - Порівняння відносних коефіцієнтів чутливості для варіації K , t , τ

Параметр	Значення	$K_Z \delta$	$K_Z \Psi$	$K_Z Y_{max}^D$	$K_Z t_{пп}$
K	0,022	0	0	0,722	0
	0,018	0	0	0,737	0,714
t	4,4	0	0	0,445	0
	3,6	0	0	0,507	0
τ	1,1	0	0	0,445	0
	0,9	0	0	0,461	0

Проаналізувавши отримані відносні коефіцієнти чутливості, можна сказати, що система є нечутливою, оскільки жоден коефіцієнт не перевищує одиницю та майже всі коефіцієнти при варіації параметрів змінюються несуттєво.

3.2 Розрахунок вимірювальних каналів САР

1) Вимірювальні канали температури:

Оскільки у нашій системі опалення є три датчики температури, то буде три вимірювальні канали температури (див.рис.3.53).

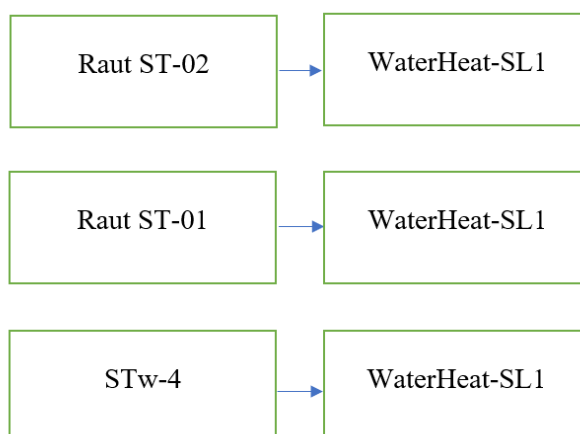


Рисунок 3.53 - Вимірювальні канали температури

Метрологічні показники приладів занесені до таблиці 3.29.

Таблиця 3.29 - Метрологічні показники приладів вимірювальних каналів температури

Прилад	Похибка	Діапазон вимірювання
Датчик температури повітря в приміщенні Raut ST-02	0,5	(0...40) °C
Датчик температури зовнішнього повітря Raut ST-01	0,5	(-30...50) °C
Датчик температури теплоносія Raut STw-4	0,5	(0...150) °C
АЦП контролера Raut WaterHeat SL-1	0,05	

Допустима похибка для даного вимірювального каналу : 1 °C.

Розраховуємо абсолютну похибку першого вимірювального каналу:

$$\Delta_{BK1} = \sqrt{\Delta_{1.1}^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,05^2} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Визначення відносної похибки вимірювального каналу:

$$\eta_{BK} = \frac{\Delta_{BK}}{X_{max} - X_{min}} 100\% = \frac{0,5}{40} 100\% = 1,25 \%$$

Розраховуємо абсолютну похибку другого вимірювального каналу:

$$\Delta_{BK2} = \sqrt{\Delta_{1.2}^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,05^2} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Визначення відносної похибки вимірювального каналу:

$$\eta_{BK} = \frac{\Delta_{BK}}{X_{max} - X_{min}} 100\% = \frac{0,5}{80} 100\% = 0,625 \%$$

Розраховуємо абсолютну похибку третього вимірювального каналу:

$$\Delta_{BK1} = \sqrt{\Delta_{1.3}^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,05^2} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						72
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

Визначення відносної похибки вимірювального каналу:

$$\eta_{\text{вк}} = \frac{\Delta_{\text{вк}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}} 100\% = \frac{0,5}{150} 100\% = 0,33 \%$$

Можна зробити висновок, що прилади вимірювального каналу температури були обрані правильно та можуть бути використані у даній системі опалення, оскільки абсолютні похибки усіх трьох каналів не перевищують допустиму (1 °C).

2) Вимірювальні канали тиску:

Оскільки у нашій системі опалення є три датчики тиску, то буде три вимірювальні канали тиску (див.рис.3.54).

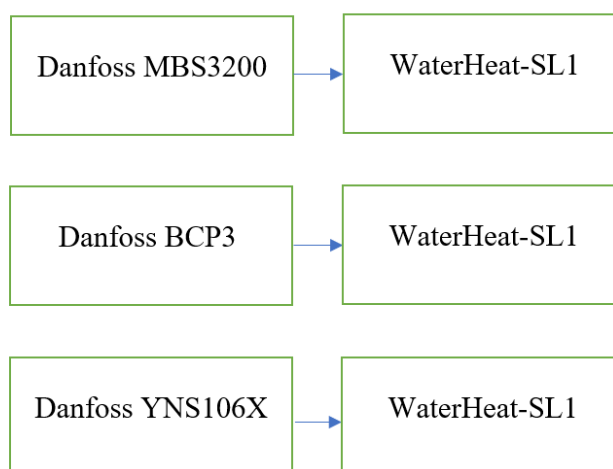


Рисунок 3.54 - Вимірювальні канали тиску

Метрологічні показники приладів занесені до таблиці 3.30.

Таблиця 3.30 - Метрологічні показники приладів вимірювальних каналів тиску

Прилад	Похибка	Діапазон вимірювання
Перетворювач тиску Danfoss MBS3200	0,5	(0...6) бар
Диференціальне реле тиску Danfoss BCP3	0,5	(0...6) бар
Реле перепаду тиску Danfoss YNS106X	0,5	(0,25...3,5) бар
АЦП контролера Raut WaterHeat SL-1	0,05	

Допустима похибка для даного вимірювального каналу : 1 °С.

Розраховуємо абсолютну похибку першого вимірювального каналу:

$$\Delta_{BK1} = \sqrt{\Delta_{1.1}^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,05^2} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Визначення відносної похибки вимірювального каналу:

$$\eta_{BK} = \frac{\Delta_{BK}}{X_{max} - X_{min}} 100\% = \frac{0,5}{6} 100\% = 8,3 \%$$

Розраховуємо абсолютну похибку другого вимірювального каналу:

$$\Delta_{BK2} = \sqrt{\Delta_{1.2}^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,05^2} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Визначення відносної похибки вимірювального каналу:

$$\eta_{BK} = \frac{\Delta_{BK}}{X_{max} - X_{min}} 100\% = \frac{0,5}{6} 100\% = 8,3 \%$$

Розраховуємо абсолютну похибку третього вимірювального каналу:

$$\Delta_{BK1} = \sqrt{\Delta_{1.3}^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,05^2} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Визначення відносної похибки вимірювального каналу:

$$\eta_{BK} = \frac{\Delta_{BK}}{X_{max} - X_{min}} 100\% = \frac{0,5}{3,25} 100\% = 15,38 \%$$

Можна зробити висновок, що прилади вимірювального каналу тиску були обрані правильно та можуть бути використані у даній системі опалення, оскільки абсолютні похибки усіх трьох каналів не перевищують допустиму(1 °С).

3.3 Розрахунок виконавчих каналів САР

Розрахунок регулюючого органу складається з розрахунку пропускної здатності(діаметру умовного проходу) та вибору конструктивної характеристики.

1. Необхідно задатися наступними параметрами:

G_{max} , т/год (Q_{max} , м³/год) - максимальна витрата регулюючого середовища через Р.О.

ΔP_{min} , атм. - мінімальний перепад тиску на цілком відкритому Р.О.

2. Для вибору типорозмірів розраховується умовна проникна здатність K_{vy} :

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						74
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

$$K_{vy} = \frac{G_{max}}{\sqrt{\Delta P_{min}} \cdot \gamma}, \frac{м^3}{год}; \quad [\gamma] = \frac{г}{см^3}; \quad (3.8)$$

$$K_{vy} = \frac{Q_{max}}{\sqrt{\Delta P_{min}}} \cdot \sqrt{\gamma}, \frac{м^3}{год}; \quad [\gamma] = \frac{г}{см^3}; \quad (3.9)$$

Вибір типорозмірів Р.О. здійснюється за допомогою параметрів, наведених у таблиці 3.31.

Таблиця 3.31 - Вибір типорозмірів регулюючого органу

	D _y , мм	25	50	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900
		1000												
K _v у	Двух-сед. клапан	10	40	160	400	630	1000	1600	---	---	---	---	---	---
	Поворотна Заслінка	---	60	250	600	1000	1600	2500	4000	6000	10000	12500	16000	20000
		25000												

Витрата енергоносія через будь-який регулюючий орган обчислюється за формулою:

$$Q = KF\sqrt{\Delta P};$$

Де F – площа поперечного перерізу РО, ΔP– перепад тиску на РО.

K — постійний коефіцієнт, який залежить від коефіцієнту витрати і щільності.

$$k_{vy} = \frac{Q_{max}}{\sqrt{\Delta P}} * \sqrt{\gamma} = \frac{4}{\sqrt{6 \text{ атм.}}} * \sqrt{1} = 1,63 \frac{м^3}{год}$$

Нам потрібно, щоб K_{Vy} обраного РО було менше табличного з запасом. Тому я обираю двохходовий регулюючий клапан Danfoss VS2. У нього K_{vs} =4 м³/год та D=25 мм. У якості виконавчого механізму був обраний редукторний електропривід AMV13.

3.4 Розрахунок надійності функціонування САР

Для надійності функціонування САР мають бути виконані такі умови:

- 1) середнє напрацювання на відмову по кожній з функцій ≥ 1000 год.;
- 2) середній час відновлення по кожній з функцій ≥ 4 год.;

3) коефіцієнт готовності по кожній з функцій $\geq 0,998$.

Надійність АСУ ТП характеризується показниками:

1) середнім напрацюванням на відмову і середнім часом відновлення для інформаційної і керуючої функцій;

2) коефіцієнтом готовності для захисних функцій.

1) Інформаційна функція

Структурні схеми надійності для інформаційної функції наведені на рисунку 3.55.

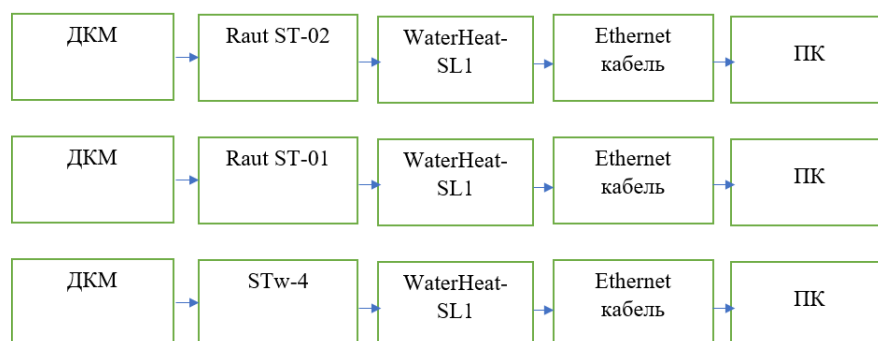


Рисунок 3.55 - Структурні схеми надійності інформаційної функції

2) Регулююча функція

Структурні схеми надійності для регулюючої функції наведені на рисунку 3.56.

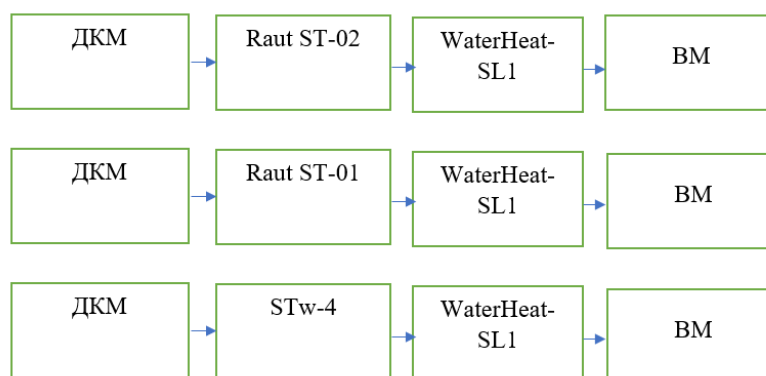


Рисунок 3.56 - Структурні схеми надійності регулюючої функції

3) Захисна функція

Структурні схеми надійності для захисної функції наведені на рисунку 3.57.

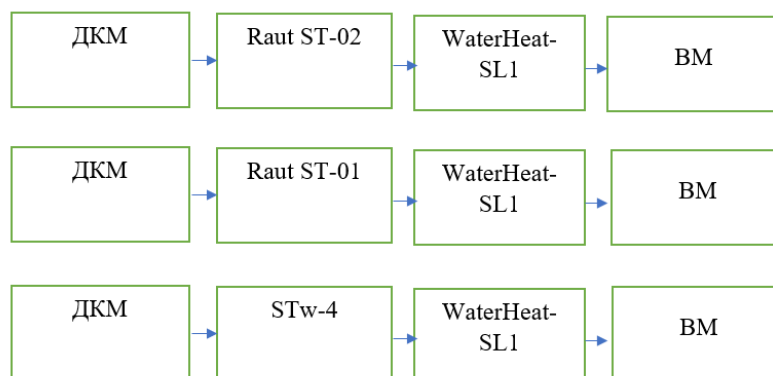


Рисунок 3.57 - Структурні схеми надійності захисної функції

Інтенсивність відмов та середній час напруцювання на відмову елементів схем надійності наведені у таблиці 3.32.

Таблиця 3.32 - Інтенсивність відмов та середній час напруцювання на відмову елементів схем надійності

Елемент	Інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год	Середній час напруцювання на відмову, $T_{сер}$, год
Деталі кріпильного монтажу	10	100000
Датчик температури повітря в приміщенні Raut ST-02	5	200000
Датчик температури зовнішнього повітря Raut ST-01	5	200000
Датчик температури теплоносія Raut STw-4	5	200000
Контролер WaterHeat-SL1	10	100000
Ethernet кабель	7,5	140000
ПК	4	250000
Електропривід Danfoss AMV13	11,4	87600

1) Знайдемо інтенсивність відмов та середній час напрацювання на відмову для інформаційної функції:

$$\lambda_i = \sum \lambda_{i=1}^n = 36,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}} \quad T_{\text{ср}} = \frac{1}{\sum \lambda_{i=1}^n} = \frac{1}{36,5 \cdot 10^{-6}} = 27397,26 \text{ год}$$

2) Знайдемо інтенсивність відмов та середній час напрацювання на відмову для регулюючої функції:

$$\lambda_i = 36,4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}} \quad T_{\text{ср}} = \frac{1}{36,4 \cdot 10^{-6}} = 27472,527 \text{ год}$$

3) Знайдемо інтенсивність відмов, середній час напрацювання на відмову та коефіцієнт готовності для захисної функції:

$$\lambda_i = 36,4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}} \quad T_{\text{ср}} = \frac{1}{36,4 \cdot 10^{-6}} = 27472,527 \text{ год}$$

Знайдемо коефіцієнт готовності:

$$K_{\text{гот}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} = \frac{27472,527 \text{ год}}{(27472,527 + 2) \text{ год}} = 0,999$$

Результати розрахунку надійності для кожної з функцій наведені у таблиці 3.33.

Таблиця 3.33 - Результати розрахунку надійності для кожної з функцій

	Інформаційна	Регулююча	Захисна
$\lambda_i, \frac{1}{\text{год}}$	$36,5 \cdot 10^{-6}$	$36,4 \cdot 10^{-6}$	$36,4 \cdot 10^{-6}$
$T_{\text{ср}}, \text{ГОД}$	27397,26	27472,527	27472,527
$K_{\text{гот}}$	-	-	0,999

Знайдені коефіцієнти виявились задовільними, оскільки виконуються усі умови надійності функціонування САР.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Програмування ПЛК

Програмування ПЛК було реалізовано на мові FBD у середовищі PC WORX. Було запрограмовано регулювання температури та тиску, а також сигналізація при низькому перепаді тиску на циркуляційних насосах. Додатково були реалізовані два режими роботи насосів: режим, коли резервний насос запускається, якщо не працює основний та режим, коли насоси працюють по черзі заданий проміжок часу.

На рисунку 4.1 зображений основний блок програми.

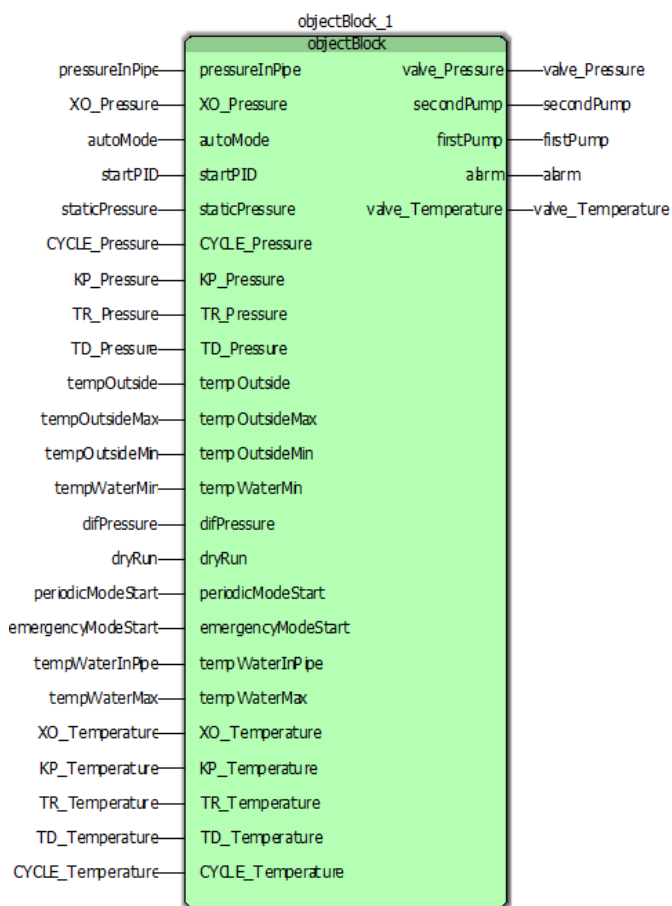


Рисунок 4.1 - Основний блок програми

На входи основного блоку подається поточне та задане значення тиску теплоносія, поточне значення температури теплоносія та перепаду тиску на насосах, граничні значення температури зовнішнього повітря та температури

теплоносія, параметри налаштування ПІ-регуляторів, режими роботи насосів та сигнал «сухого ходу». На виходах блоку маємо положення клапана регулювання температури та клапана підживлення, а також керуючі сигнали для пуску/стопу циркуляційних насосів.

Контур регулювання температури:

На рисунку 4.2 зображений основний блок регулювання температури.



Рисунок 4.2 - Основний блок регулювання температури

На входи блоку регулювання температури подається поточне значення температури зовнішнього повітря «tempOutside», найменше «tempOutsideMin» та найбільше «tempOutsideMax» можливе значення температури зовнішнього повітря, найменше «tempWaterMin» та найбільше «tempWaterMax» допустиме значення температури теплоносія, поточне значення температури теплоносія «tempWaterInPipe» та коефіцієнти ПІ-регулятора. Вихідним значенням цього блоку є положення клапана регулювання температури.

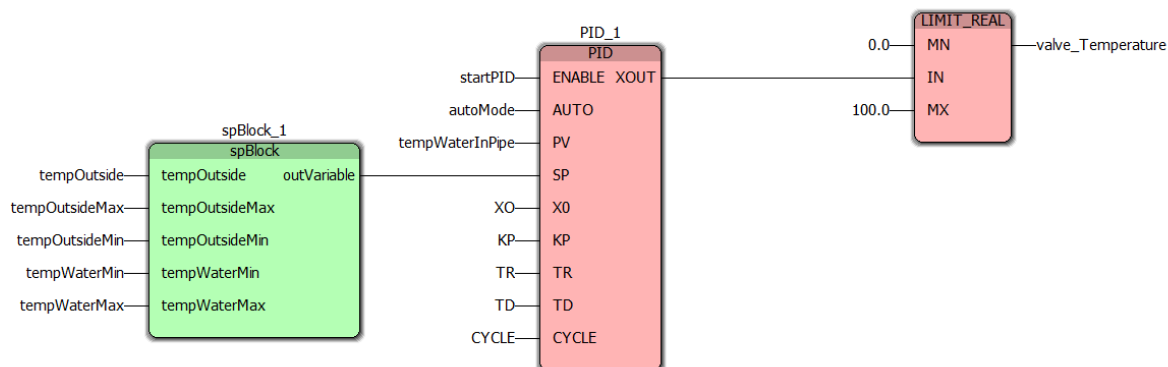


Рисунок 4.3 - Код блоку регулювання температури

Блок регулювання температури складається з блоку розрахунку уставки для регулятора «spBlock_1», ПІ-регулятора та блоку регулювання положення клапана (див.рис.4.3).

Регулювання температури теплоносія на подачу здійснюється за графіком погодозалежного керування (див.рис.4.4).

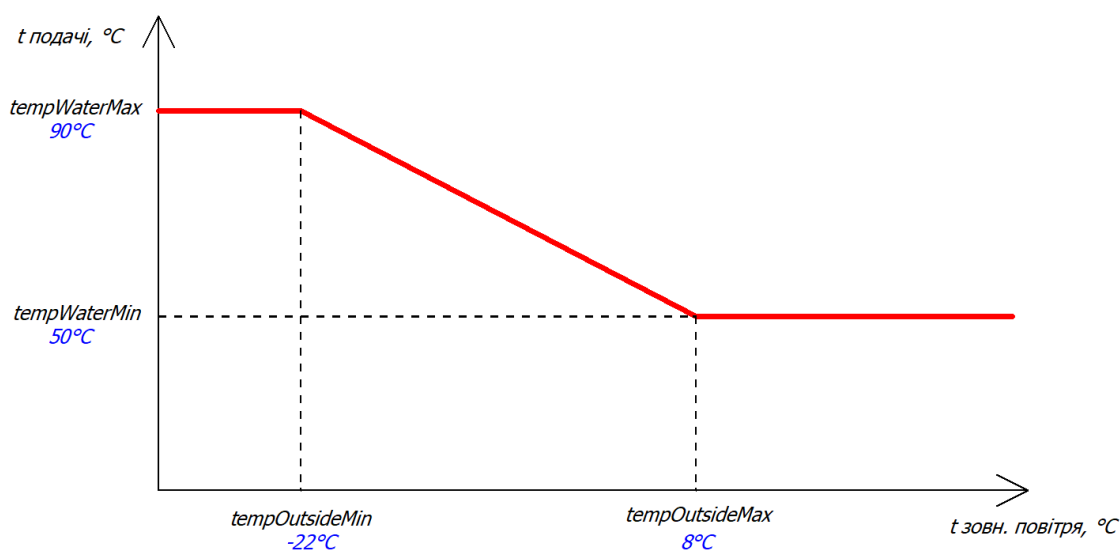


Рисунок 4.4 - Графік погодозалежного керування

Даний графік формує уставку для регулятора температури води на подачу. Уставка розраховується за формулою лінійної інтерполяції:

$$f(x) = f(x_1) + (x - x_1) \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} \quad (3.10)$$

Для нашої програми ця формула виглядає так:

$$SP = tempWaterMax + (tempOutside - tempOutsideMin) \frac{tempWaterMin - tempWaterMax}{tempOutsideMax - tempOutsideMin}$$

Дана формула запрограмована у блоці «spBlock_1» (див.рис.4.5).

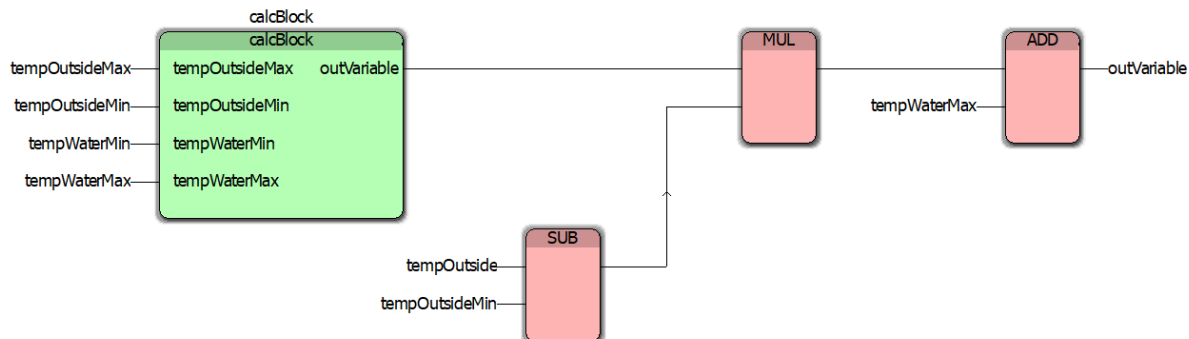


Рисунок 4.5 - Блок розрахунку уставки для ПІ-регулятора

Код блоку «calcBlock» наведений на рисунку 4.6.

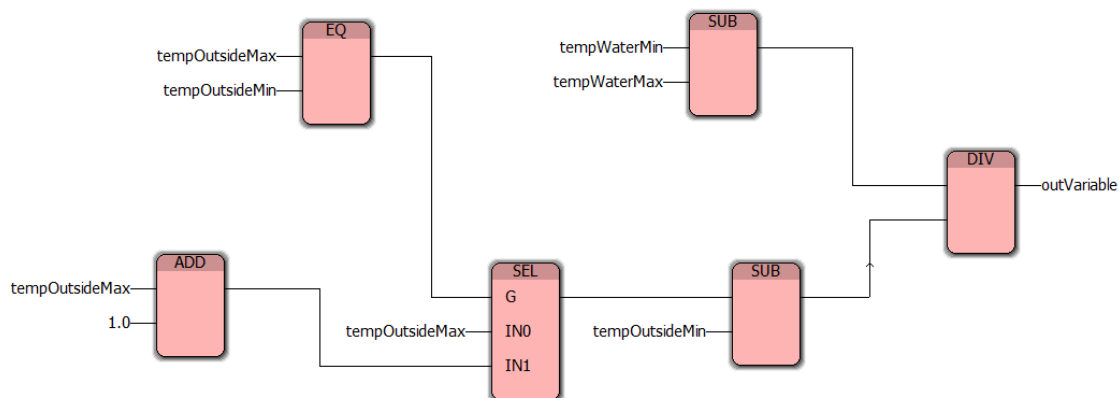


Рисунок 4.6 - Код блоку «calcBlock»

У блоці «calcBlock» також реалізована обробка ділення на нуль.

Після розрахунку уставки її значення подається на вхід ПІ-регулятора, який, в свою чергу, регулює положення клапана.

Контур регулювання тиску теплоносія:

Основний блок регулювання тиску наведений на рисунку 4.7.

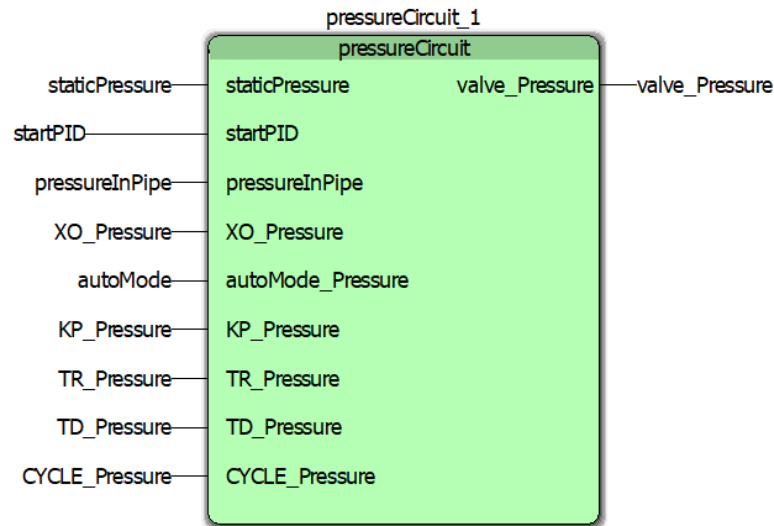


Рисунок 4.7 - Основний блок регулювання тиску

На входи блоку регулювання тиску подається задане «staticPressure» та поточне «pressureInPipe» значення тиску, а також коефіцієнти ПІ-регулятора. Виходом є положення клапана регулювання тиску.

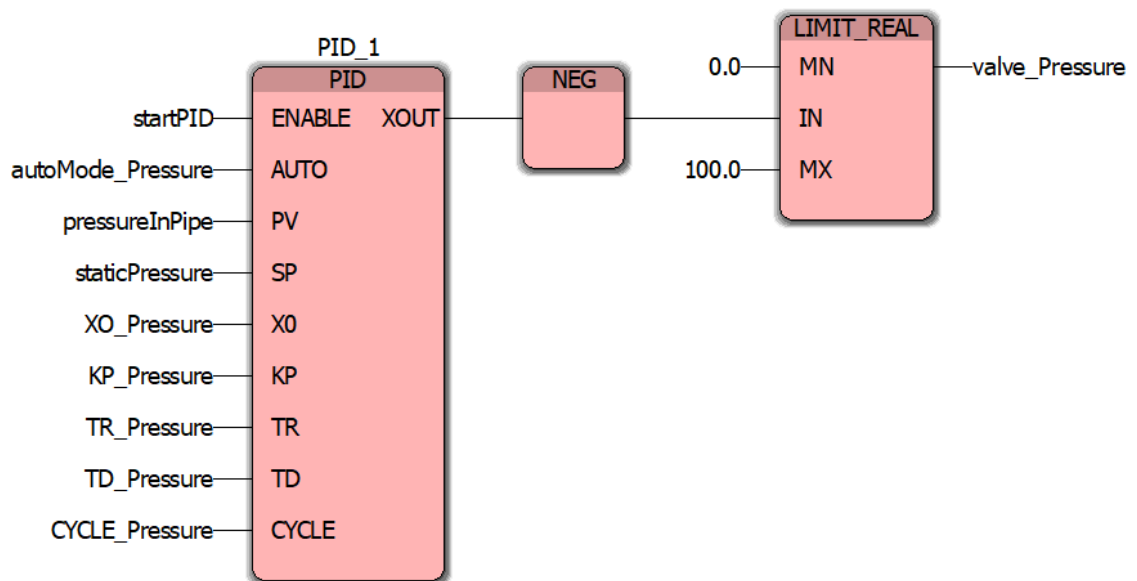


Рисунок 4.8 - Код блоку регулювання тиску

Регулятор порівнює поточне і задане значення тиску теплоносія і керує положенням клапана підживлення (див.рис.4.8).

Сигналізація:

Основний блок сигналізації наведений на рисунку 4.9.

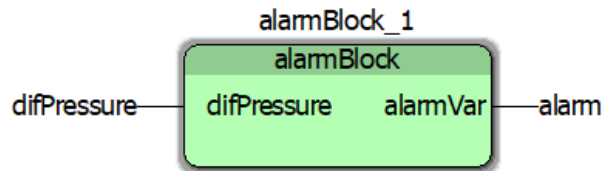


Рисунок 4.9 - Блок сигналізації

Сигналізація спрацьовує при низькому перепаді тиску на циркуляційних насосах. На вхід блоку подається поточне значення перепаду тиску на насосах, а вихідним значенням є сигнал включення/виключення сигналізації.

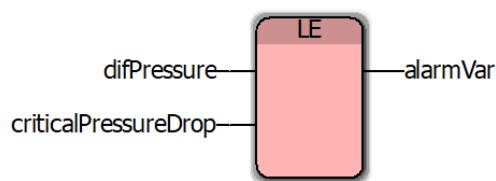


Рисунок 4.10 - Код блоку сигналізації

У даному блоці порівнюється поточне та критичне значення перепаду тиску на насосах і якщо поточне значення «difPressure» менше критичного «criticalPressureDrop» (0,5 бар), то спрацьовує сигналізація (див.рис.4.10).

Вибір режиму роботи насосів:

Основний блок вибору режиму роботи насосів зображений на рисунку 4.11.

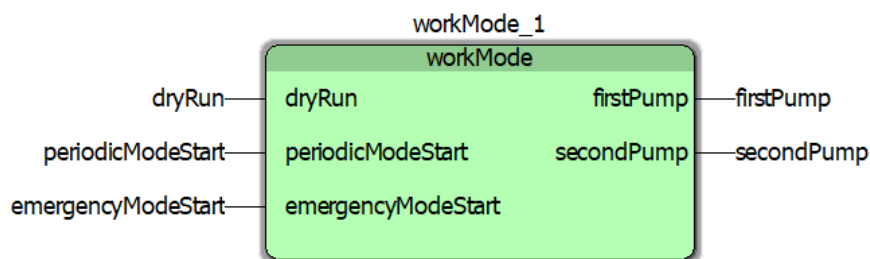


Рисунок 4.11 - Блок вибору режиму роботи насосів

На вхід блоку «workMode_1» поступає сигнал «сухого ходу» «dryRun», сигнал періодичної роботи насосів «periodicModeStart» та сигнал аварійної роботи насосів «emergencyModeStart». Виходами є сигнал роботи першого насоса «firstPump» та сигнал роботи другого насоса «secondPump».

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						84
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

Код блоку «workMode_1» наведений на рисунку 4.12.

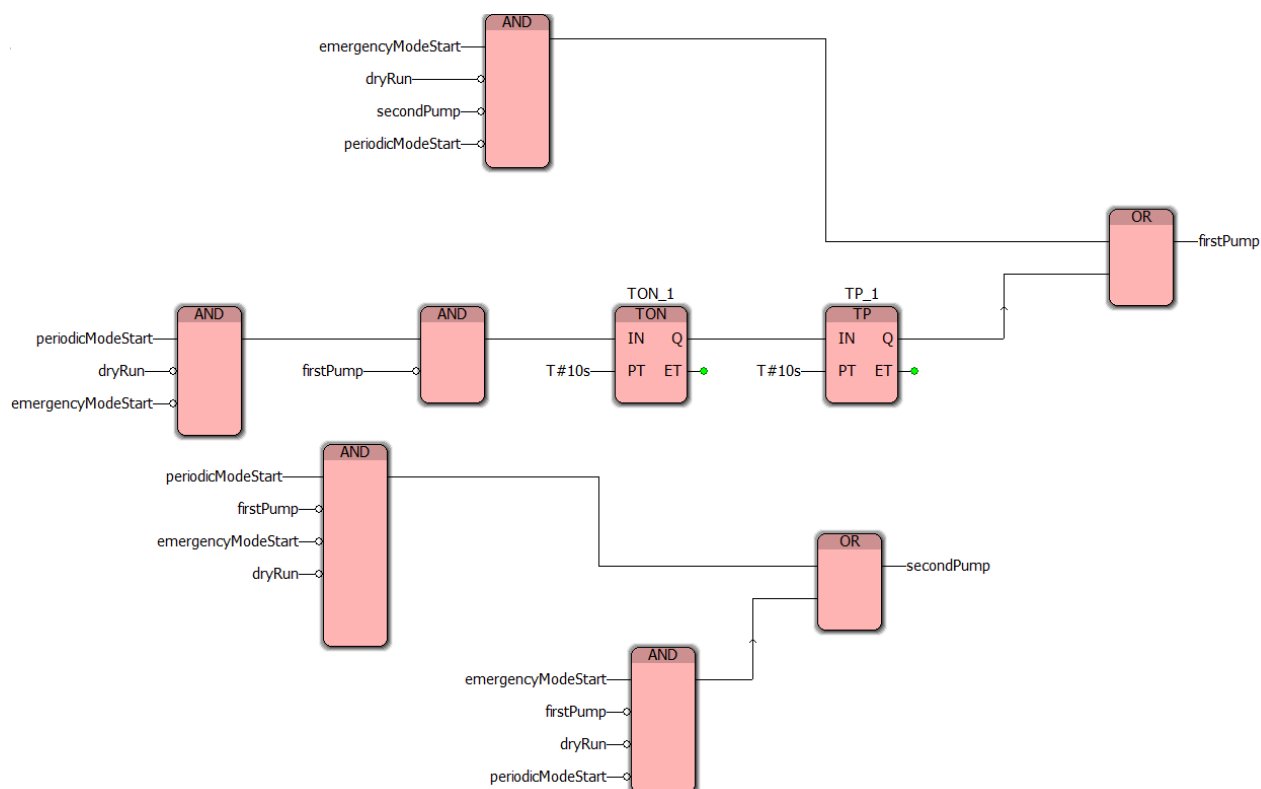


Рисунок 4.12 - Код блоку «workMode_1»

Аварійний режим роботи:

Якщо вибраний аварійний режим роботи насосів, немає сигналу сухого ходу, вимкнений другий насос та не вибраний періодичний режим роботи, то запускається перший насос.

Якщо вибраний аварійний режим роботи насосів, немає сигналу сухого ходу, вимкнений перший насос та не вибраний періодичний режим роботи, то запускається другий насос.

Періодичний режим:

Якщо вибраний періодичний режим роботи насосів, немає сигналу сухого ходу та не вибраний аварійний режим роботи, то вмикається на заданий час другий насос, потім він вимикається і вмикається перший насос на заданий час. Далі працюють за таким самим алгоритмом.

4.2 Розробка людино-машинного інтерфейсу

На верхньому рівні АСУТП знаходиться SCADA-система. Вона потрібна для зручності передачі інформації оператору завдяки зображеній мнемосхемі і параметрам на ній. В розробленій SCADA-системі присутні вікна, які потрібні для архівування даних, відображення графіків та візуалізації перебігу процесу (див.рис.4.13 та рис.4.14).

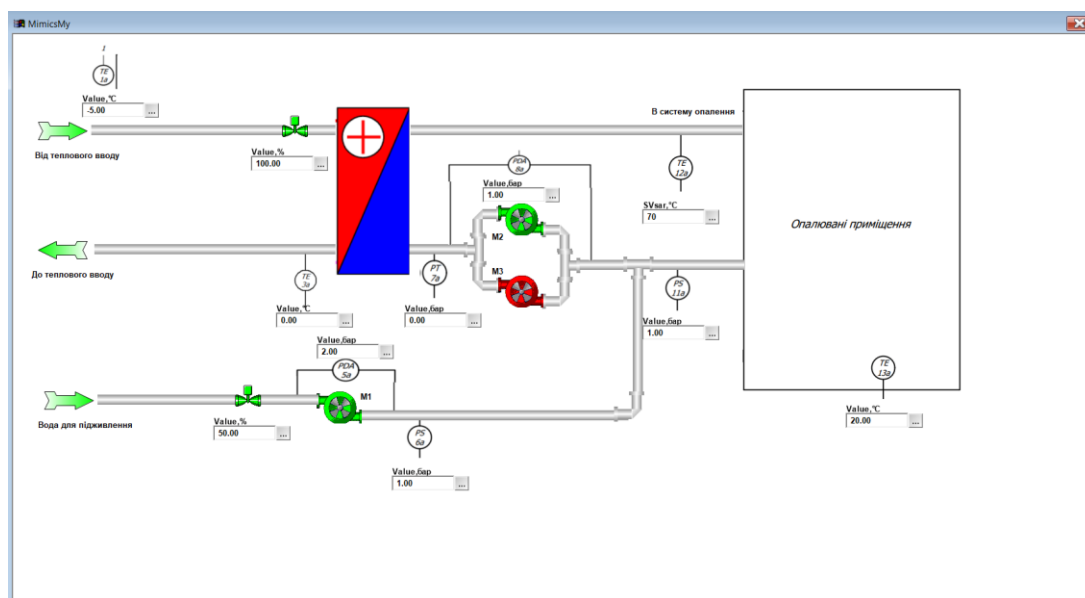


Рисунок 4.13 - Вікно «Mimics» для регулювання температури

Дана мнемосхема відображає зміну параметрів в процесі опалення і дозволяє задати уставку температури теплоносія на введенні в систему опалення.

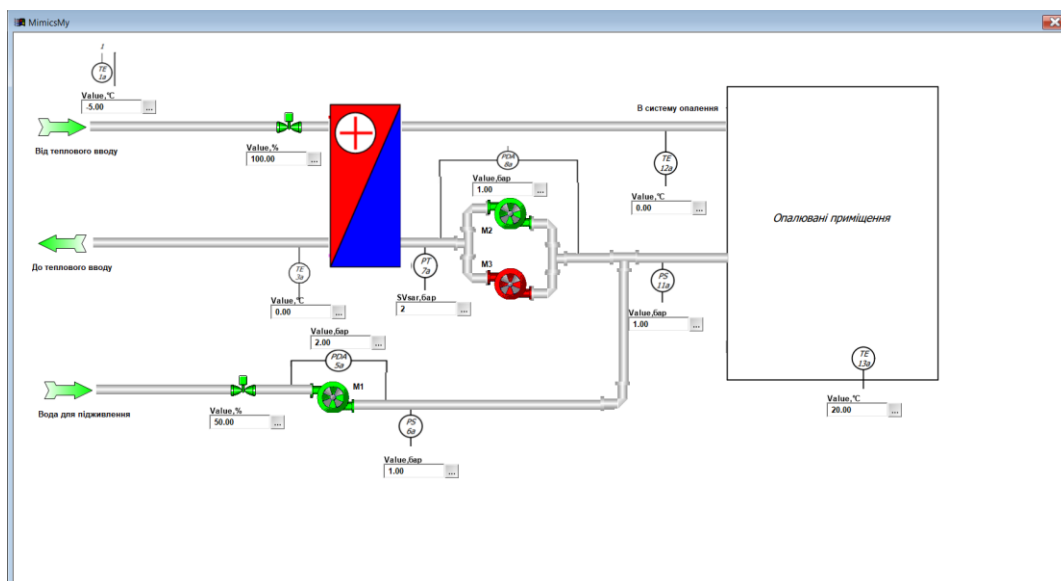


Рисунок 4.14 - Вікно «Mimics» для регулювання тиску

Дана мнемосхема дозволяє задати уставку тиску теплоносія в трубопроводі.

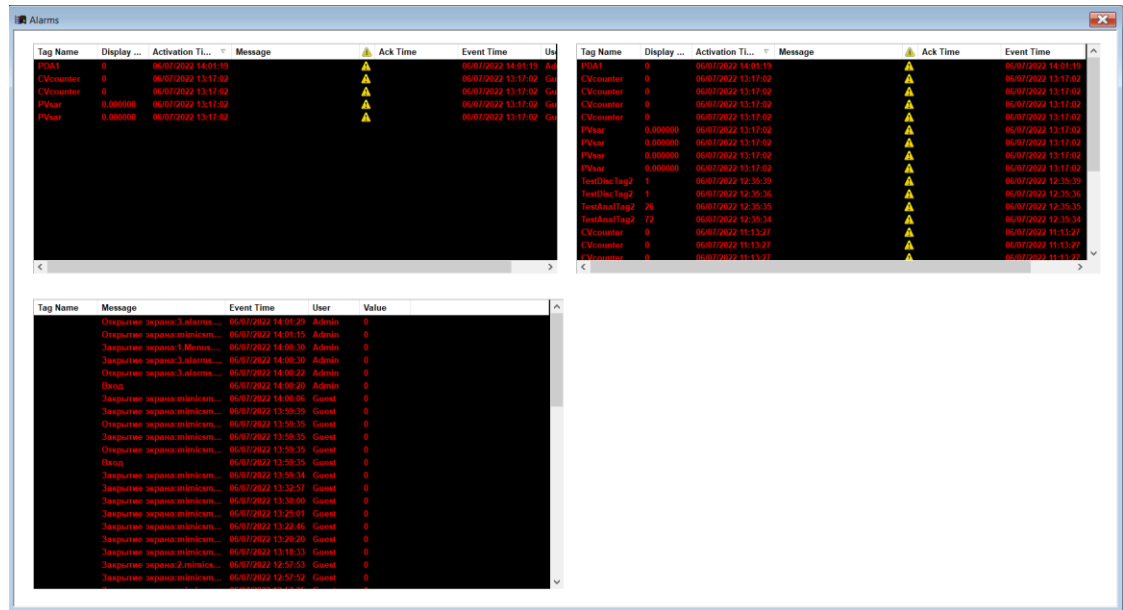


Рисунок 4.15 - Вікно «Alarms»

Вікно «Alarms» архівує всі події, які відбуваються в SCADA-системі (див.рис.4.15).

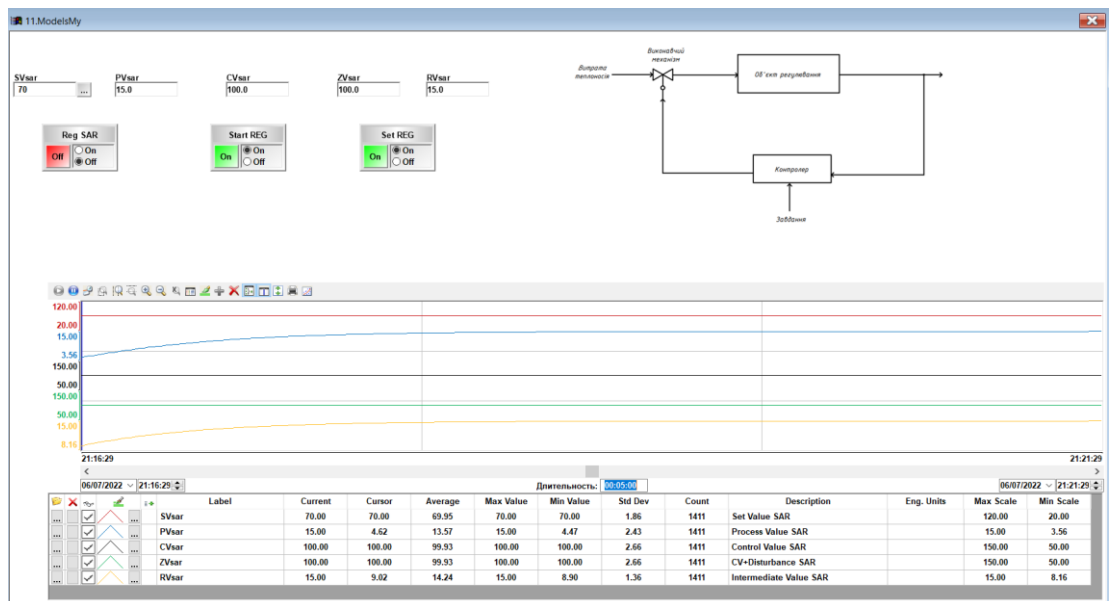


Рисунок 4.16 - Вікно «ModelsMy1» для регулювання температури

Вікно «ModelsMy1» показує процес регулювання температури (див.рис.4.16).

SVsar – уставка температури теплоносія на подачу;

PVsar – поточна температура;

CVsar – положення клапана.

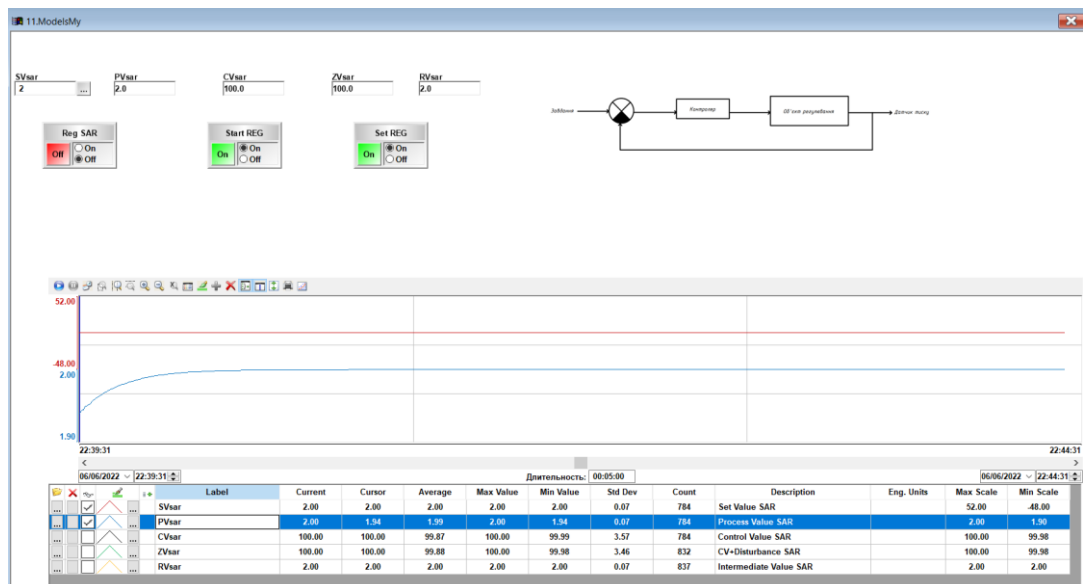


Рисунок 4.17 - Вікно «ModelsMy2» для регулювання тиску

Вікно «ModelsMy2» показує процес регулювання тиску (див.рис.4.17).

SVsar – уставка тиску теплоносія в трубопроводі;

PVsar – поточний тиск;

CVsar – положення клапана підживлення.

РОЗДІЛ 5. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ АТК

5.1 Опис структури полігону

Для імітаційного моделювання були використані такі програми, як Matlab Simulink, Webstudio та Codesys V3.5, які з'єднані один з одним за допомогою OPC-сервера.

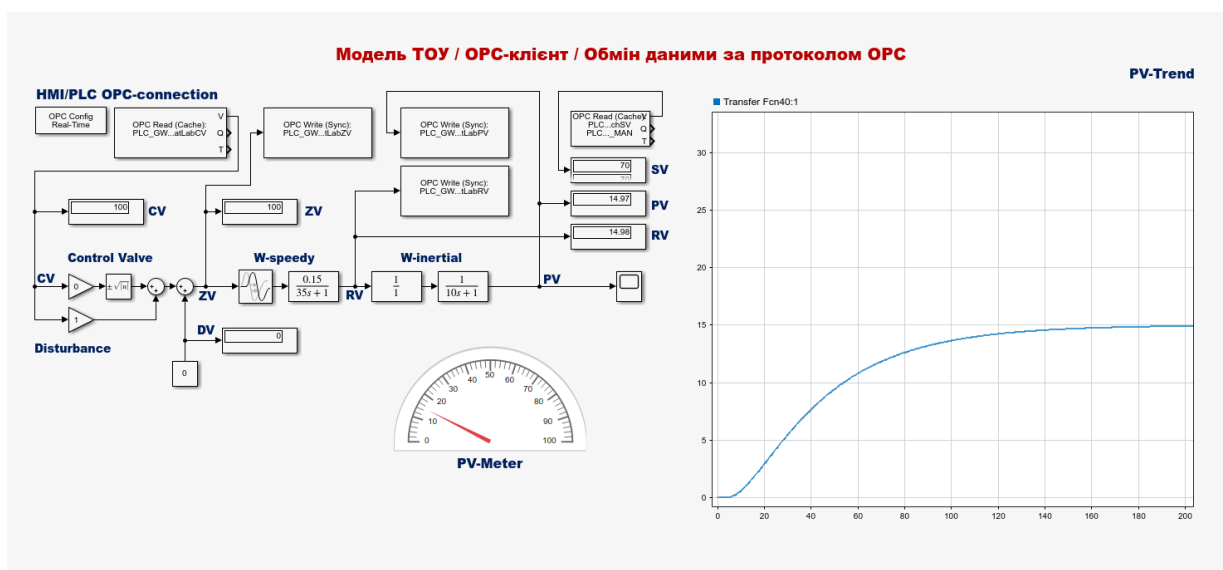


Рисунок 5.1 - Універсальна модель контуру регулювання температури в
Matlab Simulink

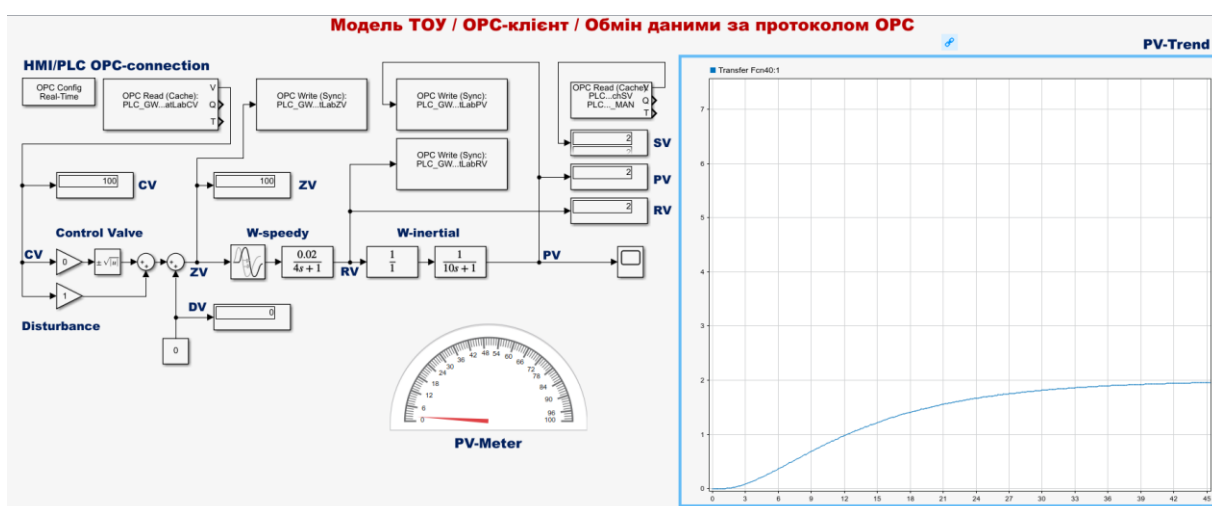


Рисунок 5.2 - Універсальна модель контуру регулювання тиску в Matlab
Simulink

На універсальних моделях об'єктів в Matlab Simulink показані перехідні процеси регулювання температури (див.рис.5.1) та тиску (див.рис.5.2).

OPCRead – блок бібліотеки OPCToolbox, який зчитує дані з OPC-сервера;

OPCWrite – блок бібліотеки OPCToolbox, який записує дані в OPC-сервер;

OPCConfigRT – блок бібліотеки OPCToolbox, який зв'язує OPC-сервер з Matlab Simulink.

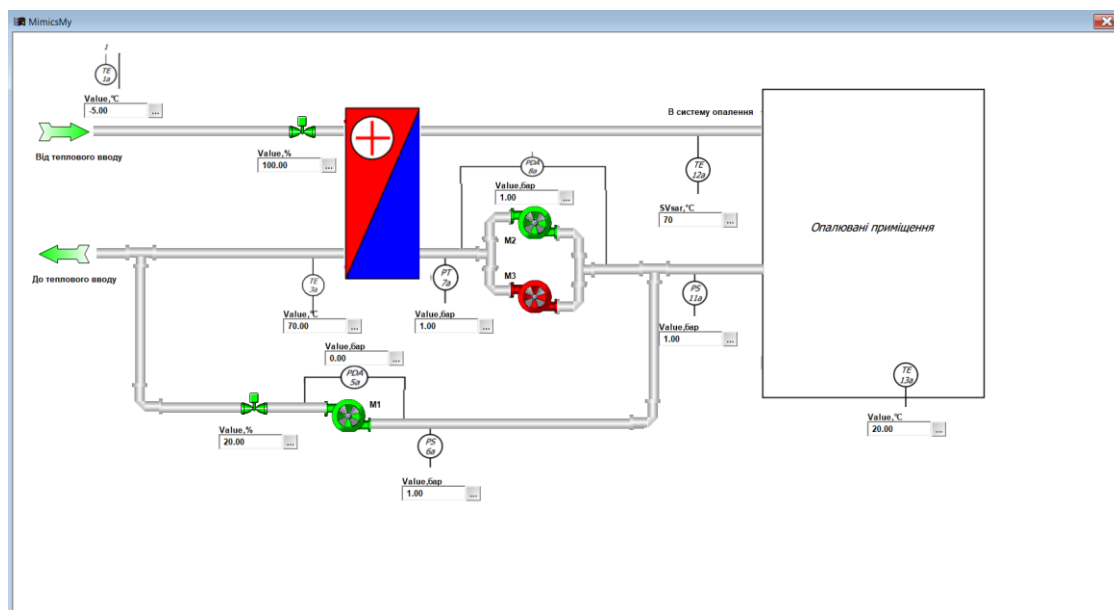


Рисунок 5.3 - Мнемосхема об'єкта у Webstudio для регулювання температури

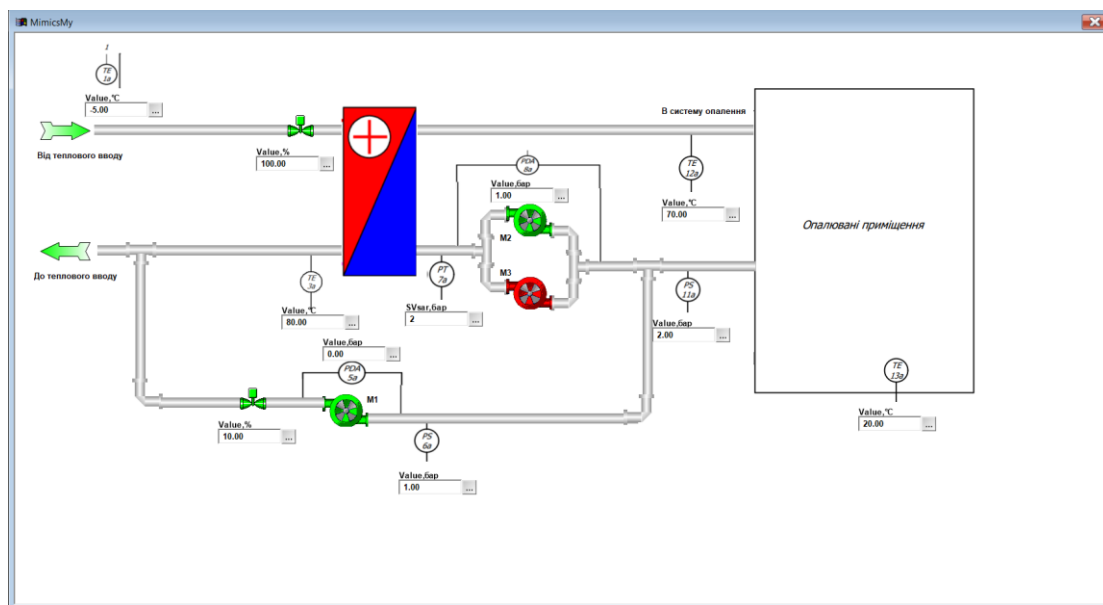


Рисунок 5.4 - Мнемосхема об'єкта у Webstudio для регулювання тиску

Мнемосхема об'єкта у Webstudio дозволяє спостерігати за процесом регулювання температури та тиску, а також фіксувати події (див.рис.5.3 та рис.5.4).

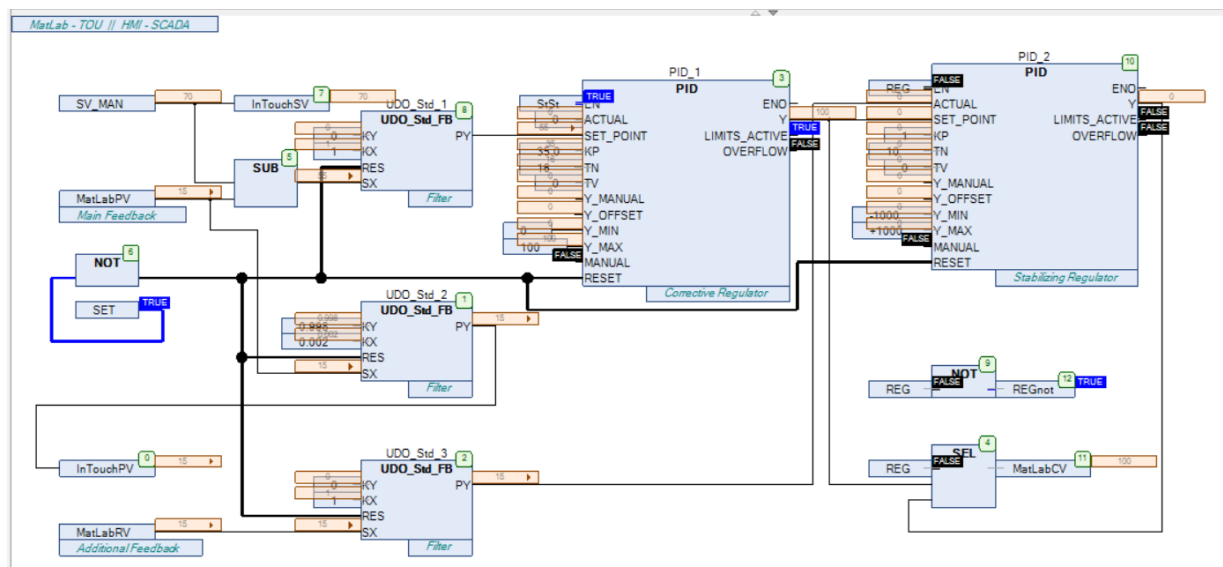


Рисунок 5.5 - Модель об'єкта у Codesys для температури

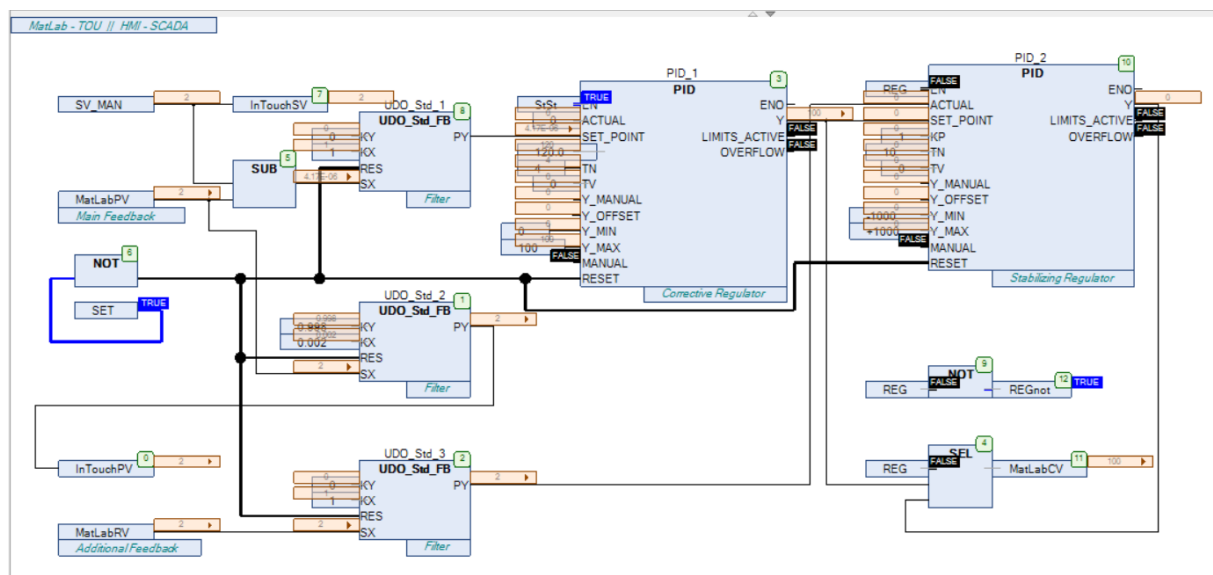


Рисунок 5.6 - Модель об'єкта у Codesys для тиску

На моделі об'єкта у Codesys запрограмовані регулятори за допомогою мови CFC (див.рис.5.5 та рис.5.6).

5.2 Імітаційне моделювання ТОУ

Імітаційне моделювання дає змогу спостерігати за процесом в режимі реального часу (див.рис.5.1 та рис.5.2). Було задано уставку температури теплоносія на подачу в систему опалення 70 °С та уставку тиску теплоносія в трубопроводі 2 бар.

5.3 Полігонні випробування ІМ і аналіз функціонування АСК

Перебіг процесу регулювання температури зображений на рисунку 5.3. На даній мнемосхемі є можливість задання уставки температури теплоносія на подачу.

Перебіг процесу регулювання тиску зображений на рисунку 5.4. На даній мнемосхемі є можливість задання уставки тиску теплоносія у трубопроводі.

Також при відсутності перепаду тиску на циркуляційних насосах SCADA-система архівує аварію (див.рис.5.7).

Tag Name	Display ...	Activation TL...	Message	Ack Time	Event Time	Us
MatikowOP...	1	06/06/2022 23:00:16			06/06/2022 23:00:16	Ad
CVaar	99.999708	06/06/2022 22:49:39			06/06/2022 22:49:39	Ad
PVaar	1.999970	06/06/2022 22:40:52			06/06/2022 22:40:52	Ad
CVaar	1.999970	06/06/2022 22:40:52			06/06/2022 22:40:52	Ad
CVcounter	0	06/06/2022 22:38:27			06/06/2022 22:38:27	Ad
CVcounter	0	06/06/2022 22:38:27			06/06/2022 22:38:27	Ad

Tag Name	Message	Event Time	User	Value
Открытие экрана:3.abtms...		06/06/2022 23:00:16	Admin	0
Закрытие экрана:10.minic...		06/06/2022 23:00:01	Admin	0
Закрытие экрана:1.Mema...		06/06/2022 23:00:01	Admin	0
Закрытие экрана:3.abtms...		06/06/2022 23:00:01	Admin	0
Открытие экрана:3.abtms...		06/06/2022 22:59:37	Admin	0
Открытие экрана:10.minic...		06/06/2022 22:59:32	Admin	0
Закрытие экрана:1.Mema...		06/06/2022 22:58:45	Admin	0
Закрытие экрана:10.minic...		06/06/2022 22:58:45	Admin	0
Открытие экрана:10.minic...		06/06/2022 22:51:36	Admin	0
Закрытие экрана:10.minic...		06/06/2022 22:51:27	Admin	0
Закрытие экрана:11.model...		06/06/2022 22:51:27	Admin	0
Открытие экрана:10.minic...		06/06/2022 22:51:25	Admin	0
Открытие экрана:10.minic...		06/06/2022 22:44:05	Admin	0
Закрытие экрана:1.Mema...		06/06/2022 22:43:08	Admin	0
Закрытие экрана:11.model...		06/06/2022 22:43:08	Admin	0
Открытие экрана:11.model...		06/06/2022 22:42:21	Admin	0
Вход		06/06/2022 22:42:19	Admin	0
Закрытие экрана:11.model...		06/06/2022 22:38:57	Guest	0
Закрытие экрана:10.minic...		06/06/2022 22:06:08	Admin	0
Закрытие экрана:11.model...		06/06/2022 22:06:08	Admin	0
Закрытие экрана:10.minic...		06/06/2022 22:02:29	Admin	0

Рисунок 5.7 - Відображення аварій під час перебігу процесу

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система законодавчих, соціально-економічних, технічних, санітарно-гігієнічних і організаційних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

Охорона праці на підприємствах енергетики має велике значення, так як виконання всіх норм та вимог охорони праці дозволяє забезпечити безпеку, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці, запобігає травматизму, професійним захворюванням і отруєнням, вибухам і пожежам на виробництві.

Основними завданнями охорони праці є: створення безпечних умов праці робочого персоналу, попередження професійних захворювань, виконання контролю за виконанням техніки безпеки на виробництві.

Згідно із Законом України «Про охорону праці» в будь-якій організації повинна бути створена ефективна система управління охороною праці за стандартами ДСТУ OHSAS 18001, ISO 45001, яка забезпечує ефективний контроль за дотриманням існуючих нормативно-правових актів в сфері охорони праці, а також необхідні організаційно-технічні, соціально-економічні, лікувально-профілактичні та санітарно-гігієнічні заходи щодо створення комфортних та безпечних для життя та здоров'я працівників умови праці.

Метою цього розділу є аналіз виробничих факторів при експлуатації засобів автоматизації підтримки температури на об'єкті.

Для виконання та контролю процесу використовуються такі прилади: датчики температури води, циркуляційні насоси із реле перепаду тиску на них, датчик тиску, а також теплообмінник.

При виході з ладу циркуляційних насосів, а саме при низькому перепаді тиску на них, забезпечено світлову сигналізацію та автоматичне їх вимикання.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						93
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

6.1 Загальна характеристика об'єкта та умови його експлуатації

Тепловий пункт розташований в окремому ізольованому сухому приміщенні, легко доступному для обслуговування. Габарити приміщення теплового пункту забезпечують можливість нормального обслуговування та нормального розташування обладнання і трубопроводів.

При монтажу та експлуатації обладнання - установку й ведення в експлуатацію має право здійснювати тільки авторизована монтажна фірма або прямо завод-виготовлювач пристрою по кресленнях у прив'язці до конкретного використання.

Монтажні роботи варто проводити при температурі вище 0 °С. Труби повинні прокладатися таким чином, щоб була можливість усунути їх механічні та термічні пошкодження. У випадку прокладання труб ззовні їх потрібно захистити від механічних ушкоджень впливу теплового випромінювання високої температури, впливу ультрафіолетових променів та відкритого вогню. Неможна допускати замерзання рідини в трубі.

До теплового пункту повинен мати доступ лише обслуговуючий персонал, тому двері мають бути замкненими на замок, а ключ має зберігатися в точно встановленому місці.

Опалення житлового будинку пов'язане з підвищеною небезпекою для робітників, яка зумовлена наявністю або можливістю виникнення небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що за певних умов можуть негативно вплинути на організм людини. До них відносяться: підвищення значення температури, відносна вологість і рухливість повітря в робочій зоні обслуговуючого персоналу, підвищена температура зовнішньої поверхні технологічного устаткування; недостатня освітленість робочої зони, підвищені рівні виробничого шуму, вібрації, небезпека ураження електричним струмом, фізичні та нервово-психічні перенавантаження працюючого персоналу, операторів тощо.

В даному розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного устаткування та засобів контролю і

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						94
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

автоматизації, а також технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії, і визначені основні заходи з пожежної безпеки та профілактики.

6.2 Визначення ключових потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів при експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування

При монтажі, налагоджуванні та експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування є такі небезпечні фактори, як пожежа, ураження електричним струмом, невідповідність параметрів мікроклімату робочої зони санітарним нормам, робочий шум та отримання опіків.

6.3 Мікроклімат робочої зони

Відповідно [4] під мікрокліматом виробничих приміщень розуміють клімат їх внутрішнього середовища, який визначається діючими на організм людини температурою, вологістю, швидкістю руху повітря та тепловим випромінюванням.

Параметри мікроклімату, що нормуються:

- температура повітря (t , $^{\circ}\text{C}$);
- відносна вологість повітря (W , %);
- швидкість переміщення повітря (м/с);
- потужність теплових випромінювань (Вт/м^2).

Оптимальні параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт та період року) відповідно до [4] наведені в таблиці 6.1.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						95
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

Таблиця 6.1 - Параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Оптимальні			Допустимі		
		t, °C	W, %	V м/с	t, °C	W, %	V м/с
Теплий	I-б	22-24	40-60	< 0,2	20-24	60	0,1-0,3
	II-а	21-23	40-60	< 0,3	18-27	65	0,2-0,4
Холодний	I-б	21-23	40-60	< 0,1	20-24	75	< 0,2
	II-а	18-20	40-60	< 0,2	17-23	75	< 0,3

Вказані параметри забезпечуються використанням у приміщенні операторської систем опалення, вентиляції та кондиціонування, виконаних у відповідності [5].

Опалення в приміщенні теплову пункту здійснюється за допомогою тепла, яке виділяється з поверхонь теплоносія.

Диспетчерська повинна забезпечуватися оптимальними параметрами мікроклімату. Температура повітря повинна бути в холодний період року від 22 до 24 °C, теплий період року – від 23 до 25 °C. Відносна вологість повітря на постійних робочих місцях повинна становити 40-60 %, швидкість руху повітря повинна бути 0,1 м/с. Для підвищення вологості повітря в приміщеннях слід застосовувати зволожувачі повітря. Фактичне значення параметрів відповідають вимогам [4].

Працівники, які здійснюють технічну експлуатацію обладнання у основному технологічному приміщенні, забезпечуються спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту. В разі невиконання правил техніки безпеки та отримання опіків в диспетчерському приміщенні є аптечка першої допомоги з засобами, котрі можуть допомогти при отриманні опіків. Після надання першої допомоги потерпілому буде викликано швидку допомогу керуючись ступенем теплового ураження.

6.4 Виробничий шум

Відповідно до [6] нормуються допустимі рівні звукового тиску $L=20\lg P_i/P_o$, дБ (P_i – середньоквадратичне значення звукового тиску, Па за період часу, що

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						96
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

розглядається, і P_0 – значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц) залежно від частоти, характеру робіт і характеру шуму, або допустимі рівні звуку $LA=20\lg PA_i/P_0$, дБА (PA_i – середньоквадратичне значення звукового тиску з урахуванням корекції А шумоміра) залежно від характеру робіт і характеру шуму. Для тонального і непостійного шуму допустимі значення L та LA на 5 одиниць менші.

Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкополосного (тонального) шуму наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкополосного (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)								Допустимий рівень звуку, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробниче приміщення	99	92	86	80	75	76	74	72	80
Приміщення управління, робочі кімнати	79	70	63	63	55	52	50	49	60

В самому тепловузлі, основними джерелами шуму є теплоносії, який тече по трубах та циркуляційні насоси. Шум від теплоносія не є значним, так як сам тепловузол має малі габарити, а циркуляційні насоси Grundfos UPS 40-180 F 380V не перевищують 70 ДбА, що є допустимим відповідно до [6].

6.5 Щитове приміщення та засоби автоматизації, розміщені у ньому

Експлуатація та контроль обладнання здійснюється з щита керування, де наявні блок живлення, контролер, один чотирьохполюсний автоматичний вимикач, 1 однополюсний автоматичний вимикач, 4 трьохполюсних автоматичних вимикачів, один контактор, 66 клем на 800 В та сигнальна лампа.

6.6 Електробезпека

Електробезпека – це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Основними нормативними документами, що регламентують вимоги безпеки при експлуатації засобів автоматизації та іншого електрообладнання, це ПУЕ-2017, НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.01-97, НПАОП-40.1-1.32-01.

Згідно з [7] основне обладнання системи автоматизації має 0І клас (контролер) та ІІІ клас за електрозахистом (датчики, що розташовані на технологічному обладнанні). Живлення підводиться до рейки затискачів і через неї розподіляється до обладнання. Рейка закрита кришкою, яка запобігає контакту людей з струмоведучими частинами. Мережа трифазна з глухозаземленою нейтраллю, з робочою напругою 220/380 В. Питання надійності електропостачання вирішується в залежності від категорії відповідальності електроприймачів. Всі прилади, що використовуються, відносяться до 1 категорії відповідальності, так як порушення електропостачання приводить до виникнення небезпеки для життя людей, а також до порушення технологічного процесу.

Для забезпечення діючих вимог з електробезпеки застосовані наступні рішення.

1. Технічні рішення та заходи щодо запобігання електротравм від контакту з нормально струмовідними елементами устаткування.

Згідно [8] проектом передбачено розміщення струмовідних частин електрообладнання в важкодоступних для людини місцях, якщо це неможливо то використовуються захисні огорожі.

Освітлювальні лампи розміщені на висоті більш ніж 2,5 м від підлоги.

Забезпечена недоступність струмовідних частин ЕУ (застосована схована проводка, кабель прокладений у спеціальних жолобах).

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						98
Зм.		№док.	Підп.	Дата		

Забезпечено ізолювання струмовідних частин ЕУ з використанням поліхлорвінілової й іншої ізоляції, опір якої не нижче 1кОм/В, передбачені постійний контроль і профілактика ізоляції.

Розподільні шафи, пускові пристрої і клемні коробки закритого типу (розміщаються в спеціальних кожухах) – для забезпечення недоступності неізольованих струмовідних частин.

Напруга живлення переносних ламп - 12 В.

2. Технічні рішення та заходи щодо запобігання електротравм при переході напруги на нормально неструмовідні елементи електроустаткування.

При роботі електрообладнання пробій ізоляції на корпус призводить до того, що торкання до корпусу приладу чи елементів щита управління розглядається як торкання до фази, що призводить до ураження людини електричним струмом. Проектом передбачено застосування занулення корпусів, кожухів та інших нормально неструмоведучих частин електроапаратури. Це дозволяє перетворити будь-який пробій фази на корпус у коротке замикання, що призводить до спрацювання максимального струмового захисту.

В приміщенні теплопункту, проектом передбачено занулення наступних електроспоживачів: металеві корпуса контрольно-вимірювальних приладів; регулюючих пристроїв; реле перепаду тиску, апаратури захисту, управління, та сигналізації; корпусів електродвигунів виконавчих механізмів та електроприводів; металевий щит на якому встановлено електроприлади, апарати та інші засоби автоматизації; металеві оболонки контрольних та силових кабелів; металеві коробки, сталеві труби електропроводок, протяжні та з'єднувальні коробки; стаціонарні металеві огорожі відкритих струмоведучих частин електроустаткування; електроінструмент.

1. Застосування додаткових електрозахисних засобів.

Використання додаткових електрозахисних засобів дозволяє забезпечити захист робочих в електроустаткуванні від дії електричного струму, електричної дуги та електромагнітного поля промислової частоти.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						99
Зм.		№док.	Підп.	Дата		

Проектом передбачено проведення всіх електромонтажних робіт з використанням захисних засобів. Для захисту обслуговуючого персоналу використовуються діелектричні рукавички, окуляри, боти, вимірювальні штанги та кліщі, а також ізолюючі переносні екрани та огорожі.

Обрані пристрої для системи опалення мають експлуатуватися відповідно до паспортних даних, що визначають номінальні значення струму та напруги.

Живлення насосів та електроприводів клапанів відбувається від 3-х фазної мережі 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю. Для забезпечення можливості вимкнення насосів у разі їх аварійного режиму роботи встановлено автоматичні вимикачі ЕТІМАТ 6 3р В 6А.

Контролер, електроприводи та датчики живляться від блоку живлення Danfoss AK-PS 150, який перетворює 220 В у 24 В і підключений до електромережі через однополюсний автоматичний вимикач ЕТІМАТ 6 1р С 10А.

6.7 Пожежна безпека та профілактика

Згідно з [9] виробниче приміщення відноситься до категорії В – пожежонебезпечні (таблиця 6.3). Відповідно до [14] клас робочих зон приміщень за пожежонебезпекою – П-Па.

Категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою наведені у таблиці 6.3.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						100
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

Таблиця 6.3 - Категорія приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) у приміщенні
1	2
А вибухопожежо- небезпечна	Горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху не вище 28°C у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні, який перевищує 5 кПа, і/або речовини і матеріали, здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, у такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа.
Б вибухопожежо- небезпечна	Горючі пил і/або волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху вище 28°C, горючі рідини, нагріті вище температури спалаху, у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пило-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа
В пожежонебезпечна	Горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, а також речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важкогорючі речовини і матеріали (включно з горючим пилом і/або волокнами), за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються), не відносяться до категорій А або Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках ¹ площею не менше 10 м ² кожна перевищує 180 МДж·м ⁻² . ^{2, 3} Якщо питома пожежна навантага не перевищує 180 МДж·м ⁻² , то приміщення відноситься до категорії Д за умови виконання вимог пунктів 7.6.5 та 7.6.8
Г помірно пожежонебезпечна	Негорючі речовини і/або матеріали у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я; горючі гази, рідини і/або тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо
Д знижено пожежонебезпечна	Речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень А, Б і В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В.

Показники пожежонебезпечних властивостей матеріалів і речовин відповідають допустимим значенням.

У виробничому приміщенні є плани евакуації на випадок виникнення пожежі, які відповідають вимогам [10], а також виконані всі вимоги з пожежної безпеки згідно [11].

Згідно з вимогами [12] у приміщенні ІТП встановлена система автоматичної пожежної сигналізації.

При гасінні пожеж і загорянь застосовуються вогнегасники типу ВХП-10, ВВ-7. До всіх засобів пожежогасіння повинен бути забезпечений вільний доступ. Паління дозволяється тільки у спеціально відведених місцях.

Кількість, розташування та умови зберігання вогнегасників відповідає вимогам [13] та ISO 3941-2007.

Час евакуації не може перевищувати 20 хв, від початку евакуації згідно ДБНВ.1.1-007-2016.

На підприємстві з робітниками і службовцями проводять обов'язковий протипожежний інструктаж.

В робочий приміщеннях виконані усі вимоги [11] та [16].

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						102
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АСУ

Створимо кошторис автоматизованої системи(див.табл.7.1).

Таблица 7.1 - Кошторис

№	Найменування позиції цінника	Характеристика обладнання	Одиниця вимірювання	Кількість	Вага, кг		Вартість одиниці, грн				Загальна вартість , грн			
					Одиниці	Загальна	Обладнання	Монтажні роботи			Обладнання	Монтажні роботи		
								Всього	В т.ч з/п			Всього	В т.ч з/п	
									Основна	На управління машинами			Основна	На управління машинами
Шафа управління														
1	Raut	WaterHeat SL-1, контролер	шт.	1	2,5	2,5	6000,00	600,00	18,00	-	6000,00	600,00	18,00	-
2	Danfoss	AK-PS 150, Блок живлення	шт.	1	0,18	0,18	4800,00	480,00	14,40	-	4800,00	480,00	14,40	-
3	Raut	ST-01, датчик температури	шт.	1	0,1	0,1	550,00	55,00	1,65	-	550,00	55,00	1,65	-
4	Raut	STw-04, датчик температури	шт.	2	0,1	0,2	570,00	57,00	1,71	-	1140,00	114,00	3,42	-
5	Raut	ST-02, датчик температури	шт.	1	0,1	0,1	700,00	70,00	2,10	-	700,00	70,00	2,10	-
6	Danfoss	YNS106X, диференціальне реле перепаду тиску	шт.	2	0,6	1,2	4900,00	490,00	14,70	-	9800,00	980,00	29,40	-
7	Danfoss	BCP3, диференціальне реле тиску	шт.	2	0,5	1	7000,00	700,00	21,00	-	14000,00	1400,00	42,00	-
8	Danfoss	MBS3200, датчик тиску	шт.	1	0,3	0,3	7000,00	700,00	21,00	-	7000,00	700,00	21,00	-
9	ETI	ETIMAT 6 ЗР+N С 16А, вимикач автоматичний	шт.	1	0,46	0,46	570,00	57,00	1,71	-	570,00	57,00	1,71	-
10	ETI	ETIMAT 6 1р С 10А, вимикач автоматичний	шт.	1	0,11	0,11	115,00	11,50	0,35	-	115,00	11,50	0,35	-
11	ETI	ETIMAT 6 Зр В 6А, вимикач автоматичний	шт.	3	0,35	1,05	435,00	43,50	1,31	-	1305,00	130,50	3,92	-
12	ETI	ECLI-024C-R 24V AC/DC, сигнальна лампа червона	шт.	1	0,02	0,02	100,00	10,00	0,30	-	100,00	10,00	0,30	-
13	ETI	EGF-R, кнопка-модуль	шт.	1	0,02	0,02	50,00	5,00	0,15	-	50,00	5,00	0,15	-
14	Danfoss	CI 16 24V AC, контактор	шт.	1	0,3	0,30	1600,00	160,00	4,80	-	1600,00	160,00	4,80	-
15	E.NEXT	e.trunking.perf.stand.30. 30 30x30мм, короб пластиковий перфорований	шт.	4	0,02	0,08	75,00	7,50	0,23	-	300,00	30,00	0,90	-
16	"ДКС"	ST, щит ЩШМ 600x400x250	шт.	1	13,3	13,30	2800,00	280,00	8,40	0,42	2800,00	280,00	8,40	0,42
17	Phoenix Cont	ST4, клема 800В	шт.	66	0,02	1,32	15,80	1,58	0,05	-	1042,80	104,28	3,13	-
18	E.NEXT	e.din.stand.rail.101, DIN-рейка, 35мм	шт.	3	0,02	0,06	40,00	4,00	0,12	-	120,00	12,00	0,36	-
19	Grundfos	UPS 40-180 F 380V, циркуляційний насос	шт.	3	22,8	68,40	28000,00	2800,00	84,00	4,20	84000,00	8400,00	252,00	4,20
20	Grundfos	CUE 3x380-500V IP20 1.1KW 3A/2.7A, частотний перетворювач	шт.	2	4,9	9,80	20000,00	2000,00	60,00	-	40000,00	4000,00	120,00	-
21	Danfoss	VS2, двохходовий клапан	шт.	2	0,57	1,14	6000,00	600,00	18,00	-	12000,00	1200,00	36,00	-

Продовження таблиці 7.1

22	Danfoss	AMV13, електропривід	шт.	2	0,8	1,60	18000,00	1800,00	54,00	-	36000,00	3600,00	108,00	-
23	"ДКС" Київ	91925 ДКС, гофротруба, діаметр 25мм	м.	210	0,02	4,20	10,00	1,00	0,03	-	2100,00	210,00	6,30	-
24	Legrand	СAB-3, маркування для кабелів	шт.	80	0,02	1,60	5,00	0,50	0,02	-	400,00	40,00	1,20	-
25	Одескабель	ВВГ 4х2,5, кабель силовий	м.	50	0,18	9,00	67,00	6,70	0,20	-	3350,00	335,00	10,05	-
26	Одескабель	ВВГ 3х2,5, кабель силовий	м.	150	0,18	27,00	50,00	5,00	0,15	0,01	7500,00	750,00	22,50	0,01
26	Одескабель	КВВГ 2х0,75, кабель контрольний	м.	500	0,06	30,00	13,00	1,30	0,04	0,00	6500,00	650,00	19,50	0,00
28	Одескабель	КВВГ 4х0,75, кабель контрольний	м.	50	0,08	4,00	16,00	1,60	0,05	-	800,00	80,00	2,40	-
29	Одескабель	КВВГ 3х0,75, кабель контрольний	м.	80	0,18	14,40	25,00	2,50	0,08	0,00	2000,00	200,00	6,00	0,00
30	Одескабель	ПВ2, провід силовий, клас гнучкості 2, 2.5 кв.мм	м.	50	0,11	5,50	45,00	4,50	0,14	-	2250,00	225,00	6,75	-
31	Одескабель	ПВ2, провід силовий, клас гнучкості 2, 0.75 кв.мм	м.	70	0,1	7,00	41,00	4,10	0,12	-	2870,00	287,00	8,61	-

Занесемо результати створеного кошторису до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 - Результати створеного кошторису

	Загальна вага		Обладн.	Мон. Роб
Усього	205,94		251762,80	25176,28
Транспорт			2059,40	
Комплектація обладнання			2517,63	
Заготівельно-складські витрати			3021,15	
Тара упаковка			5035,26	
Планові накопичування				5035,26
Непередбачувані витрати			25176,28	2517,63
Усього по кошторису			289572,52	32729,16
Розробка програмного забезпечення			25000,00	
Загальна кошторисна вартість			347301,68	

Загальна кошторисна вартість: 347301,68 грн;

В тому числі обладнання: 289572,52 грн;

Монтажні роботи: 32729,16 грн.

Кошторис складений в цінах 2022 року.

Розрахуємо економічну ефективність даної системи:

Формула економічного ефекту:

$$E_{\text{еф}} = \Delta C - K \cdot E_{\text{н}} \quad (7.1)$$

ΔC - ефективність;

K – капіталовкладення ($K = 347301,68$ грн);

$E_{\text{н}}$ – показник нормативної економічної ефективності ($E_{\text{н}} = 0,15$).

$$\Delta C = E_{\text{в}} - \Delta C_{\text{е}} \quad (7.2)$$

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						104
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

E_v – економія витрат від упровадження новацій;

$$E_v = 0,4 \cdot Q_p + E_o \quad (7.3)$$

Q_p – річне споживання теплової енергії (в опалювальний сезон споживання теплової енергії = 3 Гкал на 100 м², ціна 1 Гкал = 1654 грн. Оскільки площа будинку = 1100 м² і опалювальний сезон $\approx$ 7 місяців, тоді $Q_p = 3 \cdot 1654 \cdot 11 \cdot 7 = 382074$ грн);

E_o – річна економія на обслуговуванні (економія на обслуговуванні становить 8000 грн в місяць, тоді $E_o = 8000 \cdot 7 = 56000$ грн).

$$\text{тоді } E_v = 0,4 \cdot 382074 + 56000 = 208829,6 \text{ грн}$$

ΔC_e – додаткові експлуатаційні витрати (враховують витрати на амортизацію, ремонт обладнання та електроенергію).

$$\Delta C_e = Z_{ам} + Z_{ел} + Z_p \quad (7.4)$$

$Z_{ам}$ – затрати на амортизацію;

$Z_{ел}$ – затрати на електроенергію;

Z_p – затрати на ремонт.

$$Z_{ам} = 0,02 \cdot K = 0,02 \cdot 347301,68 = 6946,034 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

$$Z_{ел} = P \cdot T_p \cdot C_e \quad (7.5)$$

P – сумарна потужність всіх встановлених приладів ($P = 6$ кВт);

T_p – річний фонд робочого часу системи (опалювальний сезон $\approx$ 200 діб $\approx$ 4800 год) ;

C_e – ціна однієї кВт/год електроенергії ($C_e = 1,68$ грн).

$$Z_{ел} = P \cdot T_p \cdot C_e = 6 \cdot 4800 \cdot 1,68 = 48384 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

$$Z_p = 0,05 \cdot K = 0,05 \cdot 347301,68 = 17365,084 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Розрахуємо додаткові експлуатаційні витрати:

$$\Delta C_e = 6946,034 + 48384 + 17365,084 = 72695,118 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						105
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

Розрахуємо ефективність:

$$\Delta C = 208829,6 - 72695,118 = 136134,482 \text{ грн}$$

Розрахуємо економічний ефект:

$$E_{\text{еф}} = 136134,482 - 347301,68 \cdot 0,15 = 84039,23 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Розрахуємо термін окупності капіталовкладень:

АСР вважається економічно ефективною, якщо $T_{\text{ок}} < T_{\text{н}}$.

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta C} = \frac{347301,68}{136134,482} = 2,5 \text{ роки}$$

Розрахуємо нормативний порівняльний термін окупності капіталовкладень:

$$T_{\text{н}} = \frac{1}{E_{\text{н}}} = \frac{1}{0,15} = 6,7 \text{ років}$$

Можна зробити висновок, що введення автоматизованої системи керування опаленням є економічно вигідним та ефективним, адже система вважається економічно ефективною, якщо $T_{\text{ок}} < T_{\text{н}}$ ($2,5 < 6,7$). Період окупності – 2,5 роки, що цілком задовольнить замовника по економічним затратам. Окрім того, розрахунки приблизні, термін окупності буде менший та економічний ефект буде більшим, адже у розрахунках наведено використання посиленого режиму опалення, проте він не є необхідним протягом усього часу.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						106
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час дипломного проєктування була розроблена автоматизована система керування опаленням приватного будинку площею 1100 м². Було розглянуто різні варіанти опалення та обрано опалення за допомогою індивідуального теплопункту з частотно-керованими насосами. Також було вирішено обрати незалежну схему підключення споживачів до тепломережі через її надійність та безпечність.

У даній системі є два контури регулювання. Для регулювання температури було обрано одноконтурну систему з принципом регулювання по відхиленню. Для регулювання тиску було обрано одноконтурну САР.

Було побудовано перехідні характеристики для обох контурів та за допомогою методу 2/3 визначені передавальні функції об'єктів. Після цього були розраховані параметри ПІ-регулятора для двох контурів методом РАФХ та експрес-методом. Виявилось, що більш оптимальні параметри для регулятора були розраховані експрес-методом, оскільки при цьому методі кращі перехідні процеси та показники якості. Також був проведений аналіз чутливості при варіації параметрів на $\pm 10\%$, який показав, що обидві системи є грубими, оскільки жоден коефіцієнт чутливості не перевищує одиницю.

Були розраховані вимірювальні канали температури та тиску і знайдені похибки, які показали, що прилади були обрані правильно. Також були розраховані виконавчі канали та обрані регулюючі органи з виконавчими механізмами.

Під час розрахунку надійності функціонування САР було визначено, що всі умови надійності виконуються.

Було реалізовано програмування ПЛК на мові FBD у середовищі PC WORX, під час якого було запрограмовано регулювання температури за допомогою графіка погодозалежного керування та регулювання тиску, два режими роботи циркуляційних насосів, а також сигналізація при низькому перепаді тиску на циркуляційних насосах.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						107
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

Також була розроблена SCADA-система з вікнами для архівування даних, відображення графіків та візуалізації перебігу процесу.

Під час імітаційного моделювання була створена модель об'єкта у Codesys, на якій запрограмовані регулятори за допомогою мови CFC. Також під час імітаційного моделювання була змога спостерігати за процесами регулювання в режимі реального часу.

Під час дипломного проектування було визначено ключові небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть виникнути при експлуатації системи опалення та знайдені шляхи їх уникнення. Було створено кошторис на автоматизацію обраної системи та визначено, що система є економічно ефективною та вигідною, оскільки період окупності виявився задовільним (2,5 роки).

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						108
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пырков В. В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование.– К.: П ДП «Такі справи», 2007.– 252 с.: ил.
ISBN 966 7208 35 4
2. Жук А.З., Козлов Б.М. Оптимизация систем отопления и водоснабжения// Проблемы энергосбережения.– 2002.– № 1[9-10].– 13 с.
3. Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Економіка і організація інноваційної діяльності» (для студентів 5 курсу заочної форми навчання напрямів підготовки 6.030504 (0501) «Економіка підприємства» та слухачів другої вищої освіти) / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Н. М. Богдан – Х. : ХНАМГ, 2012. – 20 с.
4. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
5. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляції та кондиціонування».
6. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
7. ДСТУ ІЕС 61140:2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання».
8. ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту».
9. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».
10. ДБН В.1.1.7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
11. НАПБ В.01.34-2005 «Правила ПБ в компаніях та в організаціях енергетичної галузі України».
12. ДБН В.2.5-56-2014 «Системи протипожежного захисту».
13. ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань».

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						109
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		

14. НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».
- 15.ДСТУ ISO 6309:2007 «Протипожежний захист. Знаки безпеки».
- 16.НАПБА.01.001 – 2004 “Правила пожежної безпеки в Україні”.

					ТО8153.0012.001.АТХ.П	Арк.
						110
Зм.		№ док.	Підп.	Дата		