

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти - бакалавр

за освітньо-професійною програмою

«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

зі спеціальності

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

тема роботи:

*«Автоматизована система керування тепловим пунктом будівлі
адміністративного корпусу»*

Виконав студент гр. АКІТ-20

_____ Пашковський В.А.

Нормоконтролер

_____ Маринич І.А.

Керівник

_____ Тиханський М.П.

Завідувач кафедри

_____ Рубан С.А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: бакалавр

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С. А.

« 25 » березня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКІТ-20 Пашковському Владиславу Артуровичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система керування тепловим пунктом будівлі адміністративного корпусу»

затверджено наказом по університету № 231с від 25.03.2024 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 10.06.2024 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка, презентація у Microsoft PowerPoint в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-2

доц. Тиханський М. П.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	Вступ	01.04.24
2	Розділ 1	05.04.24
3	Розділ 2	01.05.24
4	Висновки	25.05.24
5	Оформлення кваліфікаційної роботи	28.05.24
6	Підготовка презентації та графічного матеріалу	20.05.24
7	Підготовка доповіді до захисту	05.06.24

6. Дата видачі завдання: 25.03.2024 р.

Керівник _____ / Тиханський М.П./

7. Запевнення: Я, Пашковський Владислав Артурович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ / Пашковський В.А./

АНОТАЦІЯ

Пашковський В.А. Автоматизована система керування тепловим пунктом будівлі адміністративного корпусу.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти - бакалавр, за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом проектування є система керування тепловим пунктом будівлі адміністративного корпусу.

Мета роботи полягає у розробці автоматизованої системи керування тепловим пунктом будівлі адміністративного корпусу для підвищення його ефективності.

Приведена загальна характеристика теплових пунктів та технологічних процесів; виконано огляд видів існуючих теплових пунктів для будівель; проведено аналіз призначення теплових пунктів, недоліків систем розподілу тепла та існуючих автоматизованих систем керування технологічними процесами теплового пункту.

Розроблені структурні функціональні схеми автоматизованого керування технологічним процесом; обґрунтовано вибір системи автоматичного керування параметрами теплового пункту; виконано синтез та моделювання системи автоматичного керування; вибрано технічне забезпечення системи автоматизованого керування; розроблено програмне забезпечення та WEB-сервіс диспетчеризації та моніторингу стану теплового пункту.

Ключові слова: система автоматизованого керування, центральний тепловий пункт, перетворювач частоти, тепла мережа, тепловий пункт.

					<i>КНУ.КРБ.151.24.05.00.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>АНОТАЦІЯ</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Разробив</i>	<i>Пашковський</i>						4	1
<i>Перевіриє</i>	<i>Тиханський М.П.</i>							
<i>Н. контроль</i>	<i>Маринич І.А.</i>							
<i>Затвердив</i>						<i>КНУ АКИТ-20</i>		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	10
1.1 Загальна характеристика теплових пунктів та технологічних процесів	10
1.2 Види існуючих теплових пунктів для будівель.....	11
1.3 Призначення теплових пунктів та аналіз недоліків систем розподілу тепла.....	14
1.4 Аналіз об'єкта керування теплового пункту.....	16
1.5 Аналіз існуючих автоматизованих систем керування технологічними процесами теплового пункту.....	22
Висновки до розділу.....	30
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ.....	32
2.1 Структурні функціональні схеми автоматизованого керування технологічним процесом.....	32
2.2 Обґрунтування вибору системи автоматичного керування параметрами теплопункту.....	34
2.3 Синтез та моделювання системи автоматичного керування.....	35
2.4 Параметри каналів вимірювання системи.....	57
2.5 Параметри виконавчих каналів системи.....	58
2.6 Вибір технічного забезпечення системи автоматизованого керування.	59
2.7 Розробка програмного забезпечення.....	67

					<i>КНУ.КРБ.151.24.05.00.ПЗ</i>					
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ЗМІСТ					
<i>Разробив</i>	<i>Пашковський</i>							<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Тиханський М.П.</i>							5	2	
<i>Н.контроль</i>	<i>Маринич І.А.</i>							<i>КНУ АКІТ-20</i>		
<i>Затвердив</i>										

2.8 Розробка WEB-сервісу диспетчеризації та моніторингу стану теплопункту.....	69
Висновки до розділу	73
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	77

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АС – автоматизована система;
- АСУ – автоматизована система управління;
- АФХ - амплітудно-фазова характеристика;
- БТП - блокові теплові пункти;
- ІТП - індивідуальний тепловий пункт;
- ПЛК – програмований логічний контролер;
- ПЧ – перетворювач частоти;
- РАФХ - розширена амплітудно-фазова характеристика;
- САК – система автоматичного керування;
- САР - система автоматичного регулювання;
- САУ – система автоматичного управління;
- ТЕЦ – теплоелектроцентраль;
- ТМ - тепла мережа;
- ТП – тепловий пункт;
- ЦТП - центральний тепловий пункт;
- ШІМ - широтно-імпульсна модуляція.

					КНУ.КРБ.151.24.05.00.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Разробив</i>	<i>Пашковський</i>						7	1
<i>Перевірів</i>	<i>Тиханський М.П.</i>					КНУ АКІТ-20		
<i>Н.контроль</i>	<i>Маринич І.А.</i>							
<i>Затвердив</i>								

ВСТУП

У сучасних будівлях, де важливо забезпечити оптимальний комфорт для мешканців або працівників, індивідуальний тепловий пункт відіграє ключову роль. Це приміщення, де відбувається зв'язок між тепловою мережею та системами опалення, гарячого водопостачання та вентиляції. Давайте розглянемо його функції більш детально:

У тепловому пункті відбувається підключення будівельної теплової мережі до систем опалення, гарячого водопостачання та вентиляції. Це важливий крок, який забезпечує передачу тепла та гарячої води до всіх приміщень будівлі.

Тепловий пункт відповідає за облік спожитої теплової енергії. Це дозволяє ефективно вести облік та контролювати параметри систем опалення, гарячого та холодного водопостачання, а також вентиляції. Це важливо для забезпечення оптимального функціонування всіх систем.

В сучасних будівлях автоматизація теплового пункту стає все більш важливою. Це допомагає покращити його роботу та зменшити залежність від людського втручання. Завдяки автоматизації можна звести до мінімуму участь людини у роботі технологічного об'єкта, що сприяє ефективності та надійності системи.

Однією з головних переваг автоматизації є більш ефективне споживання теплової енергії. Система може точно регулювати подачу тепла відповідно до потреб будівлі, що призводить до економії енергії та грошей.

Автоматизований тепловий пункт дозволяє вести постійний моніторинг параметрів системи. Це допомагає вчасно виявляти можливі несправності обладнання, контролювати хід технологічного процесу та убезпечити від можливих аврійних ситуацій.

					<i>КНУ.КРБ.151.24.05.00.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ВСТУП	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Разробив</i>	<i>Пашковський</i>						8	2
<i>Перевіриє</i>	<i>Тиханський М.П.</i>							
<i>Н.контроль</i>	<i>Маринич І.А.</i>							
<i>Затвердив</i>								
						<i>КНУ АКІТ-20</i>		

Завдяки цифровізації можливо віддалено керувати тепловим пунктом. Це зручно для оперативного реагування на зміни в режимі роботи або в разі виникнення проблем.

Таким чином, індивідуальний тепловий пункт є важливим елементом будь-якої будівлі, а його автоматизація та цифровізація допомагають забезпечити ефективну роботу та економію ресурсів.

					КНУ.КРБ.151.24.05.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		9

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Загальна характеристика теплових пунктів та технологічних процесів

Теплові пункти (ТП) - це спеціалізовані приміщення, що використовуються для управління місцевими системами теплопостачання, такими як опалення, вентиляція, гаряче водопостачання (ГВП) та технологічне навантаження, з метою забезпечення споживачів гарячою водою та опаленням. У ТП тепла енергія передається від зовнішніх теплових мереж до внутрішніх систем. До зовнішніх джерел теплопостачання належать теплоелектроцентралі, які виробляють одночасно електроенергію та тепло у вигляді гарячої води та пари, та котельні, які генерують теплову енергію шляхом спалювання палива і передають її теплоносію. Внутрішні системи, які отримують цю теплову енергію, включають системи опалення, вентиляції та гарячого водопостачання. [1].

Усі системи опалення є повністю автоматизованими. Ось деякі переваги теплових пунктів:

- зменшення теплових втрат;
- високий рівень ефективності;
- можливість дистанційного налаштування режиму опалення відповідно до сезону та часу доби;
- диспетчерський контроль та автоматизація роботи;

					<i>КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разробив</i>	<i>Пашковський</i>				<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Тиханський М.П.</i>					10	
<i>Н.контроль</i>	<i>Маринич І.А.</i>				<i>РОЗДІЛ 1</i>		
<i>Затвердив</i>					<i>КНУ АКІТ-20</i>		

Диспетчеризація - це процес, що включає централізований контроль та дистанційне управління, з використанням оперативної передачі інформації між центром управління та об'єктами контролю.

Диспетчеризація теплового пункту дозволяє контролювати роботу всієї системи тепlopостачання. Інформація з контрольних датчиків збирається і передається до центрального пульта управління. Оператор, при необхідності, може змінювати роботу всієї системи або окремих її параметрів за допомогою центральної панелі управління. [2].

Схеми теплового перетворення та використання теплової енергії в електроустановках можуть варіюватися в залежності від потреб споживача, включаючи різні типи систем опалення та відмінності в характеристиках використовуваних матеріалів.

Параметри теплової мережі охоплюють різноманітні аспекти, які визначають її ефективність та надійність. Серед них варто відзначити діапазон температур як гарячої, так і холодної води, що циркулює через систему. Додатково, необхідно враховувати теплове навантаження на мережу, оскільки воно визначає потребу в енергії та ресурсах для підтримки системи в робочому стані. Кліматичні умови також мають значення, оскільки вони впливають на ефективність системи та можуть вимагати додаткових заходів для захисту обладнання від екстремальних умов. До параметрів включають системи тиску, опалення та водopостачання, які повинні бути належним чином налаштовані та синхронізовані для забезпечення безперебійної роботи мережі. Не менш важливою є втрата тиску, яка може виникати через різноманітні фактори і потребує систематичного контролю та управління.

1.2 Види існуючих теплових пунктів для будівель

Теплові пункти – це комплекс пристроїв, розташованих в окремому приміщенні. Вони складаються з теплових елементів електростанцій, які

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

забезпечують підключення цих установок до теплових мереж. Завдання ТП: працездатність, керування параметрами, управління режимами споживання тепла та розподіл охолоджуючої рідини відповідно до типу споживання. [3].

Теплові пункти (ТП) можуть мати різні характеристики, залежно від кількості та типу систем тепlopостачання, що до них підключені. Враховуючи унікальні особливості систем тепlopостачання, можна встановити теплову схему та параметри обладнання ТП.

За типом установки та особливостями розміщення обладнання в ТП розрізняють наступні види [7]:

- індивідуальні теплові пункти (ІТП, див. рис. 1.1) використовуються для забезпечення теплом одного користувача і, як правило, розташовані в підвалі будівлі або в її технічній частині. Проте, враховуючи фізичні характеристики будівлі, ІТП можуть бути встановлені і в малогабаритних будівлях;



Рисунок 1.1 - Індивідуальний тепловий пункт

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		12

- центральні теплові пункти (ЦТП) використовуються для обслуговування групи користувачів, які можуть включати будівлі та промислові об'єкти. Зазвичай вони розташовані в окремих будівлях або в частині будівлі, але також можуть бути встановлені в підвалі однієї з будівель;



Рисунок 1.2 - Центральний тепловий пункт

- блокові теплові пункти (БТП) можуть служити як для обслуговування одного, так і для групи споживачів. Вони відрізняються від ІТП та ЦТП тим, що поставляються як готові блоки для монтажу, що дозволяє економити простір. БТП може складатися з одного або кількох блоків, які можуть бути розміщені в одній рамі. БТП стають особливо корисними, коли є обмеження на простір для встановлення теплового пункту [15].



Рисунок 1.3- Блочний тепловий пункт

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		13

1.3 Призначення теплових пунктів та аналіз

Тепловий пункт створює надійну роботу обладнання теплової мережі з тепловими і керуючими установками, що підтримують різні режими споживання.

[3]

Загальний вигляд ТП представлений на рис.1.4:



Рисунок 1.4 - Тепловий пункт (зовнішній вигляд)

Завдання ТП [8]:

- перетворення типу теплоносія (тепловий пункт здійснює зміну типу теплоносія, який переносить теплоту від більш нагрітого тіла до менш нагрітого.);

- розподіл теплоносія;

- відключення;

- керування режимами теплоносія, включенням та відключенням систем теплоспоживання;

- захист системи теплопостачання від надмірного зростання параметрів теплоносія;

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- ведення обліку теплоносія та споживання теплової енергії.

Схема теплового пункту будівлі на рис.1.5.

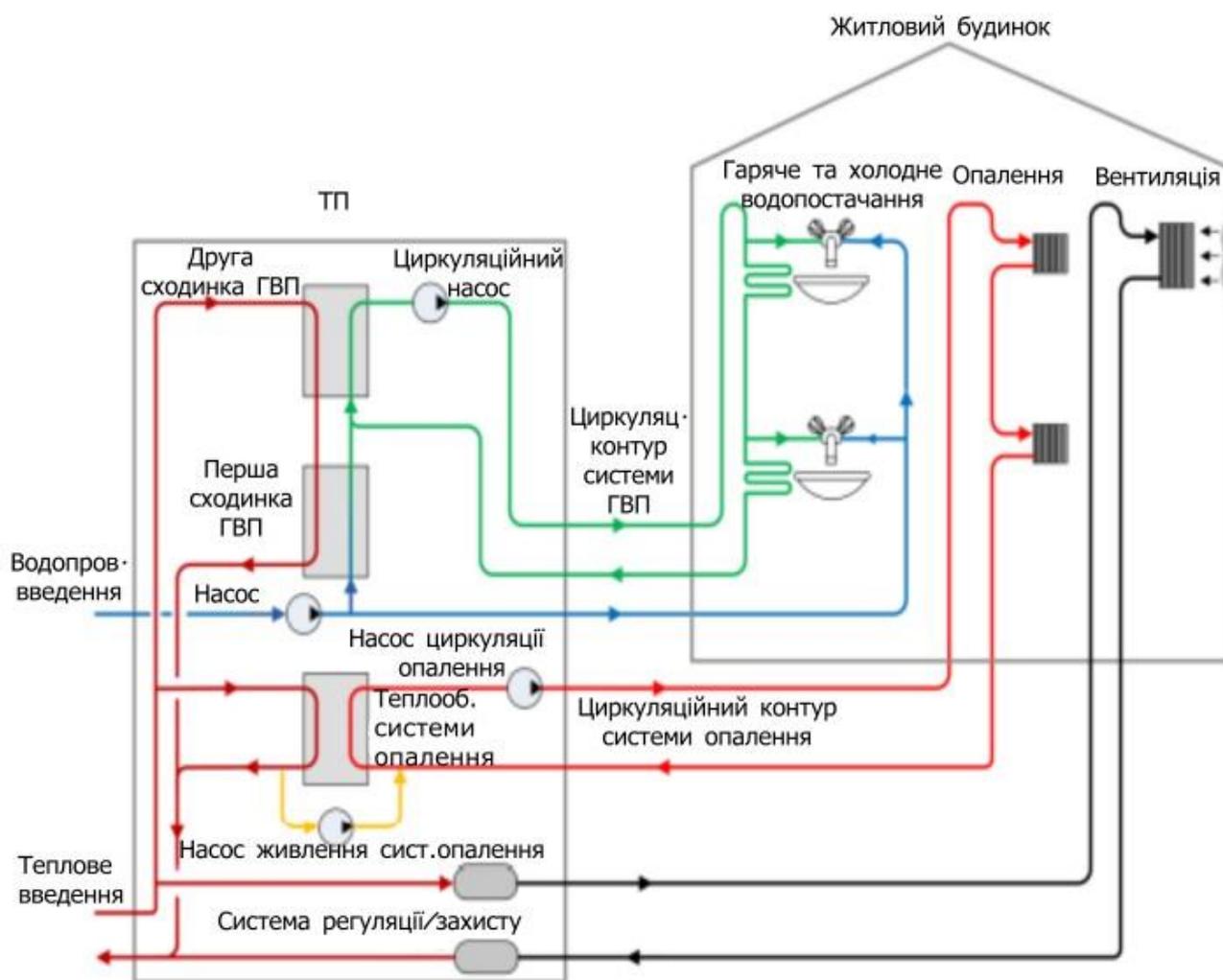


Рисунок 1.5 - Схема теплового пункту будівлі

Недоліки існуючої централізованої системи розподілу тепла наведені в [11]:

– схема розподільних мереж з чотирма трубами, яка характеризується високими матеріальними витратами, вартістю під час будівництва та експлуатації; вона має значні теплові втрати, які беруться до уваги при оплаті споживачами (лічильник на ЦТП враховує всю спожиту теплову енергію, включаючи теплові втрати в розподільних мережах, без можливості порівняти їх з нормативними); через наявність кальцієвих відкладень та корозії, часто

потрібна заміна труб для гарячого водопостачання та рециркуляції.

– переведення ЦТП на якісне регулювання потребує заміни існуючих нерегульованих елеваторів і модернізації опалювальних трубопроводів. Для цього необхідно збільшити діаметр труб, щоб підвищити їх пропускну спроможність, адже графік 95/70 °С (перепад $\Delta t = 25$ °С) вимагає більшого діаметру трубопроводів порівняно з графіком 150/70 °С ($\Delta t = 80$ °С). Крім того, тепловий облік нині здійснюється на вході в опалювальну будівлю, а не безпосередньо в місці надання послуг. Це призводить до неточностей, оскільки не враховується дійсне споживання тепла різними типами користувачів. Такий підхід не є справедливим через нерівномірне споживання тепла, що залежить від поверху, ступеня теплоізоляції, напрямку вітру та освітленості;

– встановлення дросельних шайб є трудозатратним процесом, який вимагає виконання при будь-якому підключенні або відключенні споживачів, що в більшості випадків не призводить до бажаного результату через ряд причин;

– централізована схема розподілу тепла зберігає більшу частину основних активів в теплорозподільному відомстві (ЦТП і чотирьохтрубну розподільну мережу); в результаті, експлуатація, ремонт і обслуговування цих активів повинні здійснюватися ними, що вимагає значних витрат.

1.4 Аналіз об'єкта керування теплого пункту

Теплова мережа (ТМ) - це теплопроводи, які являють собою сполучення сталевих труб, захищених тепловою ізоляцією [2]. Насосні підстанції та супутнє обладнання, таке як авторегулятори, компенсатори теплових подовжень, дренажні та повітряно-спускні пристрої, а також камери обслуговування, спрощують експлуатацію теплових мереж (ТМ).

Мета ТМ полягає в забезпеченні надійного та стабільного транспортування теплоносія з мінімізацією втрат тепла та води. Ефективність використання теплоносія досягається шляхом регулювання параметрів і витрати

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

гріючого теплоносія, що залежить від методів і схем підключення споживачів тепла до ТМ. Об'єднання технічних пристроїв, до задач яких відноситься реалізація різних способів і схем приєднання тепловикористовуючих установок, утворює тепловий пункт (ТП).

У загальному випадку, в ТП виконуються наступні операції [8]:

- модифікація параметрів теплоносія;
- розподіл витрат теплоносія між системами теплоспоживання;
- контроль відпущеної теплоти до систем опалення;
- регулювання параметрів води для гарячого і холодного водопостачання;
- заповнення та підтримка систем, що використовують тепло;
- акумуляція гарячої води, підготовка до систем гарячого водопостачання;
- захист систем теплоспоживання від витоків та надмірного зростання параметрів теплоносія;
- місцевий та дистанційний нагляд за параметрами теплоносіїв;
- облік витрат теплової енергії та теплоносія.

Основні ТМ виконуються за двотрубною схемою. Їх склад:

- подаючий та звертаючий теплопровід для водяних мереж;
- паропровід для парових мереж, який складається з конденсатопроводів.

(Рис.1.6)

Гаряча вода з ТЕЦ або котельні направляється в двотрубну водяну мережу з температурою від 70 до 150 °С, яка залежить від зовнішньої температури. На вході до споживача частина мережевої води направляється в елеватор, а потім - в систему опалення. Охолоджена вода з системи опалення потрапляє в зворотну трубу тепломережі.

У елеваторі відбувається процес змішування мережевої води з охолодженою водою з системи опалення, в результаті чого мережева вода охолоджується до потрібної температури.

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		17

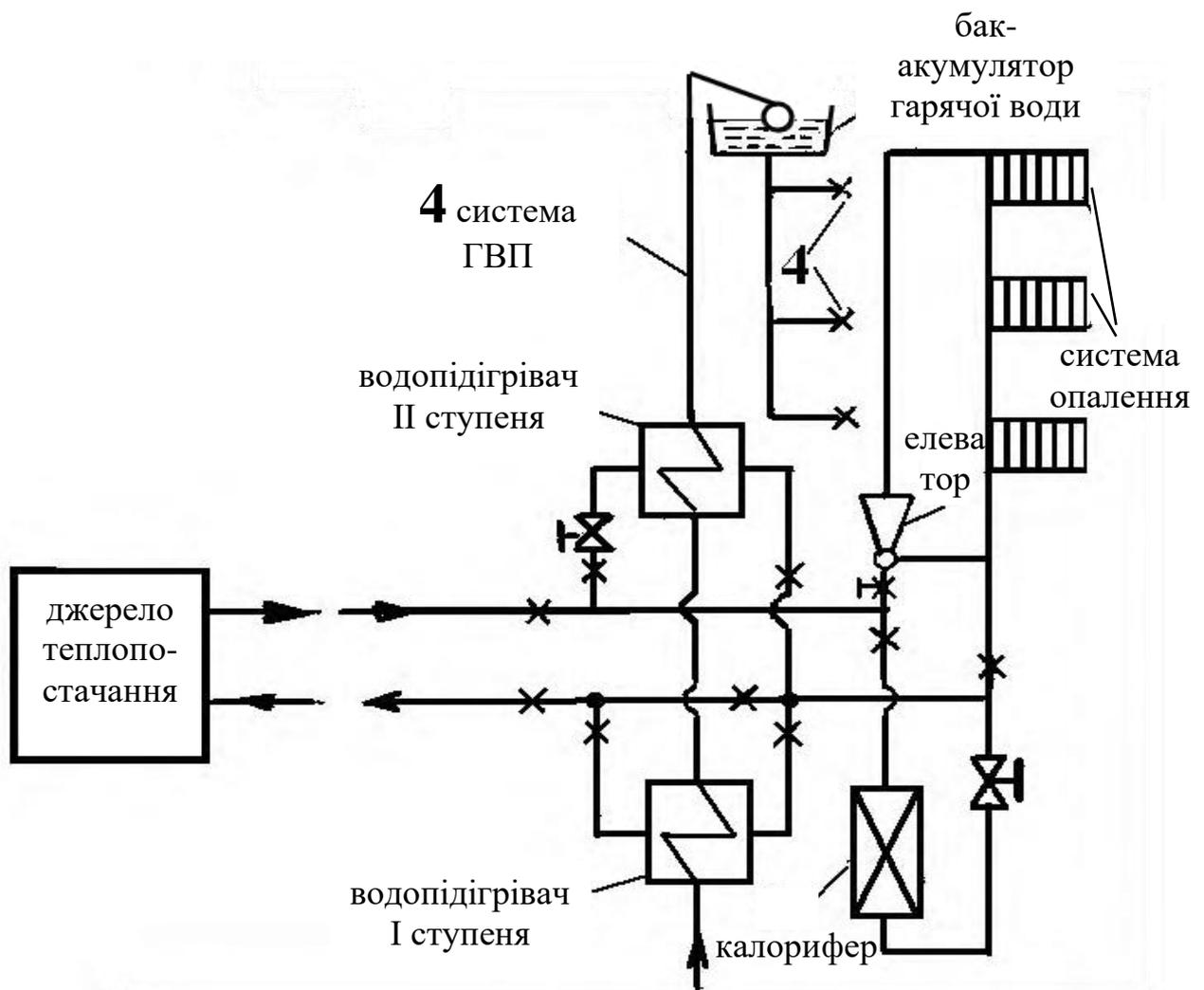


Рисунок 1.6 – Принципова схема закритої двотрубної системи теплопостачання

Призначення водоструминного елеватора - багаторазове повне або часткове повернення потоку поверненої води, маючи тиск потрібний для подолання $R_{гидравлічного}$ в місцевій системі опалення. Для нагрівання зовнішнього повітря, яке подається через систему приточної вентиляції будівлі, мережева вода безпосередньо надходить в калорифер. Водопровідна вода, призначена для гарячого водопостачання, спочатку нагрівається в підігрівачі за допомогою поверненої води з системи опалення, а потім в підігрівачі за допомогою гарячої мережевої води. На вході розташовують необхідну запірно-регулювальну арматуру. Для автоматичного контролю параметрів застосовуються такі засоби:

– терморегулятор для води, яка вводиться у систему гарячого

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		18

водопостачання;

– терморегулятор для повітря, яке нагрівається в калорифері припливної вентиляції;

– регулятор для подачі тепла у систему опалення.

Всі системи споживання можуть бути відключені для проведення ремонтних робіт за допомогою двох засувок. Для від'єднання вводу користувача від ТМ також передбачено дві засувки. Кожна місцева система повинна мати змогу зливати та промивати. Для цього потрібне з'єднання з водопроводом та каналізацією.

Повернена вода від введів користувачів повертається до джерела теплопостачання з температурою від 40 до 70 °С, що залежить від температури зовнішнього середовища. Зворотна вода після приходу в джерело теплопостачання, пропускається через грязьовий фільтр. Потім вона підсилюється підживлювальною водою за допомогою насоса та автоматичної системи підживлення. Подальше вона потрапляє в мережевий насос, який забезпечує циркуляцію теплоносія по всій системі теплопостачання. Від мережевого насосу вода потрапляє в котел для нагріву води або водопідігрівач, де вона знову нагрівається до необхідної температури і направляється в ТМ. Підживлююча вода для тепломережі проходить процес водопідготовки, який має забезпечити відсутність накипу, корозії та відкладень у всіх елементах системи теплопостачання.

Від джерела теплопостачання на території міста ТМ, як правило, не прокладають окремо для промислових підприємств, а використовують загальні мережі, які забезпечують теплопостачання житлових, громадських та промислових будівель. [14]

У системах централізованого теплопостачання, окрім центрального контролю над відпуском тепла (в котельні, на ТЕЦ) та індивідуального контролю безпосередньо в опалювальних приміщеннях, існують або повинні бути створені проміжні рівні автоматичного управління. До цих середніх рівнів управління

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		19

можна зарахувати районне, групове, місцеве та позонне (пофасадне) регулювання.

Всі рівні управління працюють з метою вирішення спільної задачі - забезпечення високої якості, економічності та надійності теплопостачання. Кожен з цих рівнів виконує свої власні, специфічні для них функції.

Головні чинники, які впливають на необхідність проміжних ступенів керування:

- несумісність вимог до режиму роботи джерела тепла, теплових мереж та систем теплоспоживання;
- неоднорідний характер і режим теплоспоживання;
- різні динамічні характеристики опалювальних будівель, абонентських систем та ділянок тепломережі, що живлять споживача;
- різні розміри зовнішніх перешкод;
- вплив перешкод на регульовальну величину (температуру та витрату теплоносія), яка діє між джерелом тепла та даною ступню управління.

Вплив цих чинників спричиняє різницю між параметрами, що встановлюються на джерелі теплової енергії, і параметрами, які необхідно підтримувати на місці цього рівня управління. Тому, функціональні завдання, які вирішуються кожним з проміжних рівнів, полягають, перш за все, в корекції режимів відпуску тепла, які встановлюються на попередніх рівнях, з урахуванням специфіки об'єкта, що підпадає під цей рівень.

Ці фактори стосуються всіх проміжних рівнів автоматичного управління. Відмінність полягає в тому, що чим вищий рівень, тим більшу зону теплоспоживання він охоплює. Наприклад, групове регулювання в ЦТП здійснює коригування теплопостачання для групи будинків, тоді як місцеве регулювання в ІТП спрямоване на конкретну будівлю. Очевидно, що чим ближче рівень регулювання до самого об'єкта, тим більше можливостей врахувати його специфічні потреби.

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

На найвищому рівні ефективність системи автоматичного управління теплопостачанням досягається, коли вона включає індивідуальне автоматичне регулювання тепловіддачі опалювальних приладів.

Вибір найкращих рівнів регулювання тепловіддачі здійснюється з урахуванням структури розподільних теплових мереж, фасадного поділу системи опалення будівлі та наявних засобів індивідуального регулювання в приміщеннях. Ці мережеві структури відрізняються за кількістю трубопроводів та розташуванням водонагрівачів або змішувальних пристроїв для гарячого водопостачання.

Технічні рішення для автоматизації управління тепловіддачею на різних рівнях, а також для захисту тепломереж та споживачів, включають автоматизацію технологічних процесів, насосних станцій і захист тепломереж.

При визначенні оптимального режиму відпуску теплоти для центрального регулювання враховують тип джерела тепла, характер теплового навантаження та рівень автоматизації відпуску теплоти ТП (чи це повний або частковий режим).

З метою збереження ресурсів в джерелах теплової енергії широко використовується центральне регулювання за коригованим графіком температур. В ТП обирають таку схему підключення водонагрівача для гарячого водопостачання, яка б дозволила забезпечити роботу систем опалення і гарячого водопостачання за режимом координованого регулювання. В такому випадку загальне теплове навантаження на ТП вирівнюється за рахунок теплоакumuлюючих властивостей опалювальних конструкцій будівель. При вказаних режимах комплексна автоматизація систем теплопостачання дозволяє значно знизити розрахункову витрату мережної води в магістральних ТМ і, відповідно, зменшити діаметри трубопроводів мережі.

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1.5 Аналіз існуючих автоматизованих систем керування технологічними процесами теплового пункту

Одним із основних елементів системи централізованого тепlopостачання є тепловий пункт (центральний або індивідуальний), що виконує роль з'єднувальної ланки між тепловою мережею та кінцевими споживачами тепла.

ТП виконує ряд функцій:

- прийом теплоносія;
- перетворення теплоносія;
- розподіл теплоносія між споживачами
- облік теплоспоживання. При цьому автоматично забезпечуються [3]:
 - необхідні параметри теплоносія в системах опалення та вентиляції;
 - $t_{(H_2O)}$ в системах ГВС;
 - координація та стабілізація гідравлічних режимів у ТМ та системах теплоспоживання.

Всі ці завдання виконуються завдяки автоматизації ТП. Метою автоматизації систем тепlopостачання є найефективніше вирішення завдань окремими її елементами без прямого втручання людини.

Завдання, які ставляться перед автоматизацією ЦТП, включають наступне:

- регулювання відпустки теплоти на опалення будівель;
- регулювання температури води на гаряче водopостачання;
- корекція перепаду тиску мережевої води на вході в ЦТП у випадку перевищення напору в тепловій мережі;
- обмеження максимального споживання мережевої води на ЦТП з метою виключення можливості дестабілізації. Якщо задовольняти без обмежень максимальної потреби у витраті води споживачів на головних ділянках тепломережі, це може спричинити недодачу теплоти на кінцевих ділянках мережі;
- корекція перепаду тиску води в розподільних ТМ опалення - при змінному споживанні води в системах опалення та вентиляції, що підключені до цих мереж;

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

– керування тиском у зворотному трубопроводі для систем опалення в центральній теплостачальній установці з підключенням систем опалення, де необхідно індивідуально захистити їх від ризику витоку.

Для регулювання відпуску тепла на різних рівнях існують наступні автоматичних систем:

– регулювання температури води для опалення, що залежить від метеорологічних параметрів, таких як температура зовнішнього повітря, за певним температурним графіком (регулювання "по збуренню");

– регулювання температури повітря в приміщеннях - «по відхиленню»;

– комбінованого керування «за збуренням» та «за відхиленням», яке може реалізовуватися як одним рівнем, так і комбінацією двох рівнів в різних частинах системи теплостачання: одна - «за збуренням», інша - «за відхиленням».

Для вирішення зазначених завдань ТП оснащуються обладнанням, пристроями електроживлення і електрокерування, запірно-регулюючою арматурою, приладами контролю, регулювання, керування і обліку (рис.1.7).

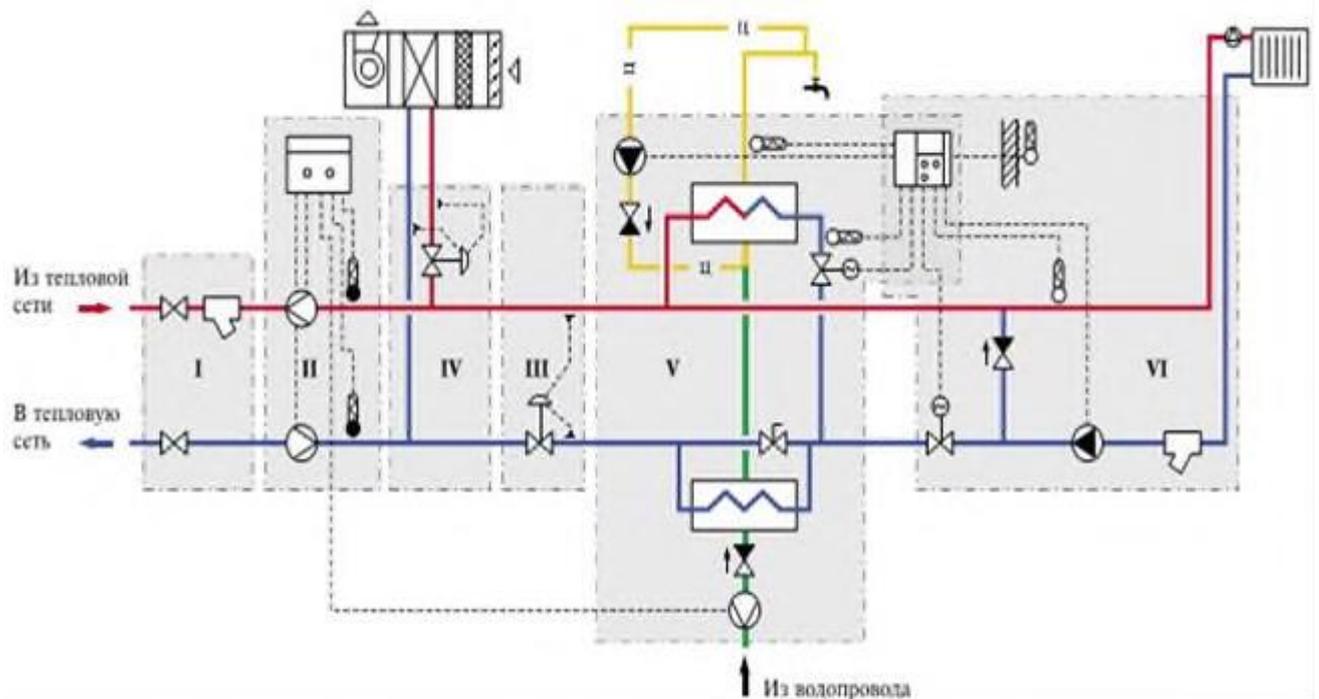


Рисунок 1.7 - Технологічна схема автоматизованого ТП

Розглядаючи функції, ТП можна розділити на окремі вузли:

I - вузол входу ТС;

II - вузол обліку споживання тепла;

III - вузол координації тисків;

IV - вузол підключення систем вентиляції;

V - вузол підключення систем ГВП;

VI - вузол підключення систем опалення;

VII - вузол підтримки систем теплоспоживання, що підключені до ТМ незалежно.

Згідно прийнятої технологічної схеми ТП, можна змінювати тип, кількість і комбінації використовуваних вузлів. Однак вузли входу ТМ, обліку споживання тепла та координації тисків є обов'язковими елементами будь-якого ТП.

Усі системи централізованого опалення з'єднуються за допомогою певної схеми - незалежної (рис. 1.4) або залежної (рис. 1.5). Ці системи теплопостачання відрізняються за типом їх підключення і мають фундаментальні відмінності. Незалежна схема підключення використовується, якщо в технічній схемі недопустиме збільшення гідравлічного тиску. Тобто тиск води в зовнішньому трубопроводі повинен перевищувати тиск у внутрішньому трубопроводі. Незалежне опалення характеризується також підвищеною надійністю [4].

Вода з мережі поступає в теплообмінник через подаючу лінію, де вона нагріває воду для місцевої системи опалення. Циркуляційний насос забезпечує рух води через опалювальні пристрої, гарантуючи її постійний обіг в системі опалення. В системі може бути встановлено розширювальний бак, який містить додатковий об'єм води для компенсації витоків з системи.

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		24

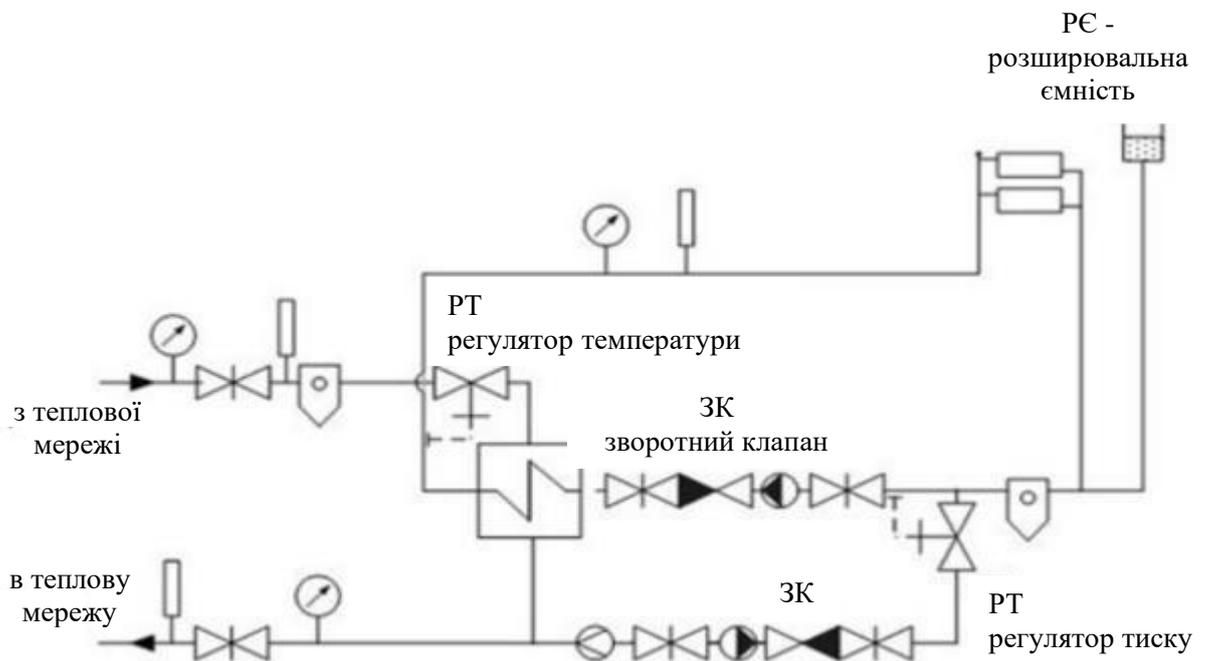


Рисунок 1.8 - Незалежна схема приєднання систем опалення

Зазвичай цей бак розташовується на вершині системи і підключається до зворотного трубопроводу циркуляційного насоса. Поповнення системи водою відбувається через зворотну лінію, яка має перемичку з двома кранами і зливом для надійності, або за допомогою додаткового насоса, якщо тиск в зворотній лінії недостатній для заповнення розширювального бака. Регулятор потоку на лінії поповнення дозволяє врахувати водовідбір з теплової мережі для коректного розрахунку плати.

Найраціональніший режим регулювання дозволяє здійснювати підігрівач [5].

У старих моделях теплових пунктів використовувався елеваторний вузол як регулюючий елемент. Це призвело до значного зниження вартості обладнання, але з таким тепловим пунктом не вдалося точно контролювати температуру теплоносія. В першу чергу це стосувалось перехідних режимів роботи системи, коли температура повітря коливалася від +5 до -5°C. Елеваторний вузол забезпечував лише "якісне" регулювання, тобто змінював

температуру в системі опалення в залежності від температури теплоносія, що поступає від централізованої теплової мережі. [6].

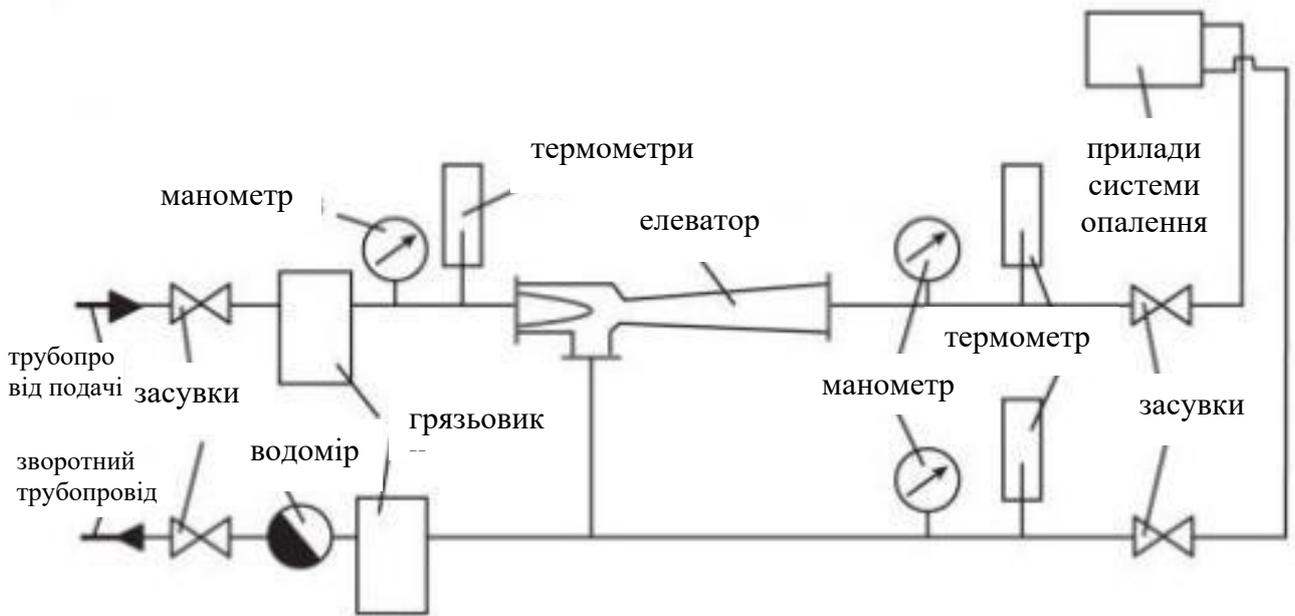


Рисунок 1.9 - Залежна схема приєднання систем опалення з елеваторним вузлом

В ІТП з залежним з'єднанням системи опалення до зовнішньої мережі, прохід теплоносіїв забезпечується за допомогою циркуляційного насоса. Керування цим насосом відбувається автоматично за допомогою відповідного блоку управління або контролера. Автоматично контролер також забезпечує стале виконання температурного графіка в системі опалення. Виконується це впливаючи на регулюючий клапан. Клапан розміщується на стороні зовнішньої теплової мережі. Змішувальна перемичка з зворотним клапаном розташована між подаючим та зворотним трубопроводами, що дозволяє змішувати теплоносій з зворотної лінії в трубопровід подачі.

В цій схемі функціонування опалювальної системи залежить від тиску у центральній тепломережі. Тому в багатьох ситуаціях необхідно встановлювати регулятори перепаду тиску, а також, при потребі, регулятори тиску «після себе» або «до себе» на подаючому або зворотному трубопроводі.

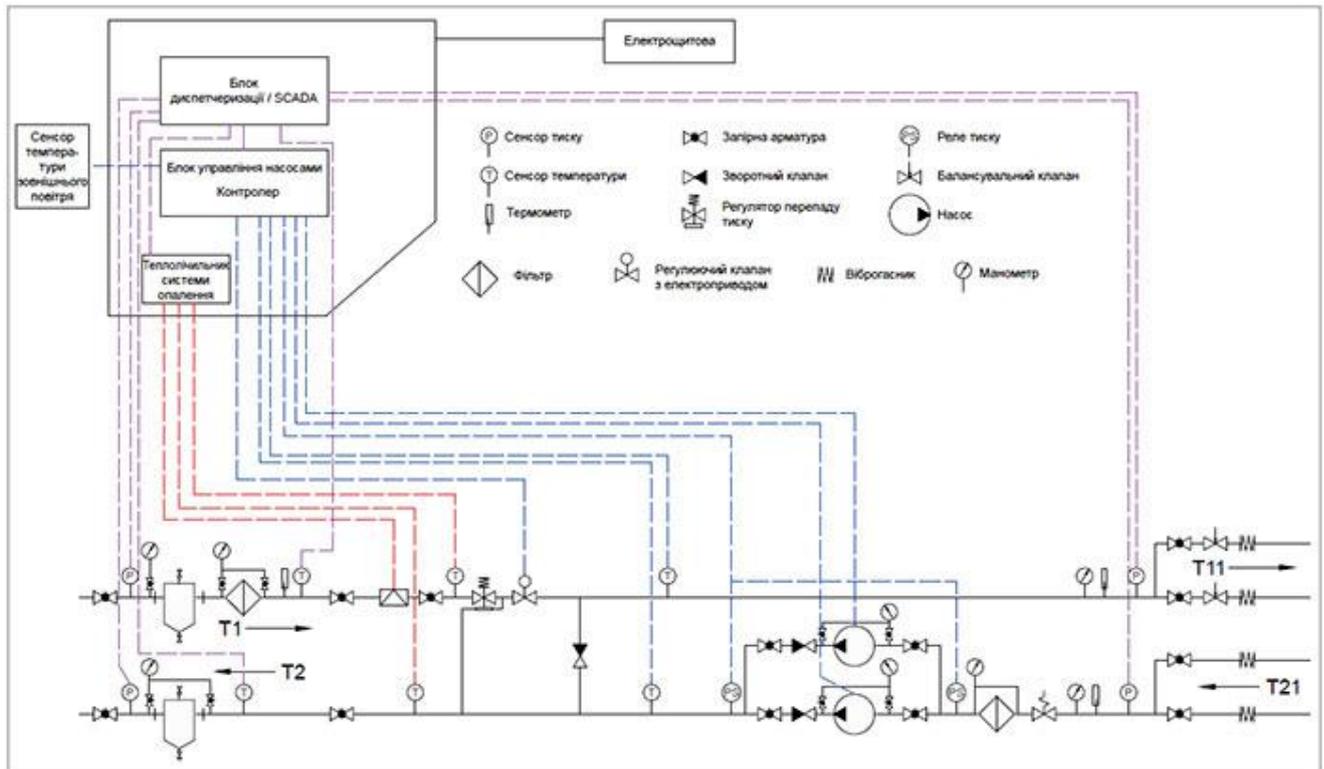


Рисунок 1.10 - Схема модульного теплового пункту, підключеного за залежною схемою

Переваги схем, що залежать від зовнішніх умов, у порівнянні з незалежними включають:

- більший перепад температур в системі опалення, що дає можливість більш ефективно регулювати тепловий режим;
- зниження експлуатаційних витрат завдяки оптимізації споживання тепла;
- зменшення витрат теплоносія за рахунок оптимального використання теплових ресурсів
- допустимість більш великого перепаду температур в системах опалення, що робить їх більш гнучкими у використанні.

Недоліки залежних схем:

- жорсткі гідравлічні зв'язки між тепловою мережею та опалювальними системами погіршують надійність.;
- складність обслуговування збільшується.

									Арк.
									27
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ				

Для оптимізації якості та зменшення витрат на паливо та теплову енергію потрібно регулювати системи тепlopостачання. Існують різні види регулювання, які класифікуються за місцем, де проводиться регулювання. Регулювання систем тепlopостачання поділяють на наступні типи:

- центральне регулювання, яке здійснюється на ТЕЦ або в котельні.
- групове регулювання, яке здійснюється в центральному тепlopункті.
- місцеве регулювання, що виконується в індивідуальних теплових пунктах.
- індивідуальне регулювання, яке проводиться безпосередньо біля пристроїв.
- комбіноване регулювання.

Автоматизоване керування тепловими пунктами, що використовує різницю температур вхідної рідини. Схема управління ТП та сам ТП представлені на рис. 1.11.



Рисунок 1.11 - Схема взаємодії ТП

Обираючи певну схему автоматизації теплового вводу керуються схемою приєднання його до ТМ [4]. При залежній схемі приєднання використовуються елеватор, підмішуючі насосні установки або безпосереднє з'єднання з ТМ. При незалежній схемі системи опалення приєднуються через пароводяні або водяні підігрівачі [17].

Системи опалення, які забезпечують відповідність напорів на тепловому вводі для нормальної роботи елеватора, об'єднуються через спеціальну схему з елеватором у будівлях.

При автоматизації теплових ввідів розглядаються наступні питання:

- підтримання постійної витрати і тиску теплоносія;
- керування температурою при з'єднанні системи опалення за схемою, що не залежить від інших систем;
- захист системи опалення від підвищення тиску і випорожнення.

На рисунку 1.12 представлена схема автоматизованого теплового вузла з підключенням системи опалення до теплових мереж через елеваторний з'єднання.

Регулятор прямої дії встановлений для забезпечення стабільної витрати теплоносія на подаючому трубопроводі.

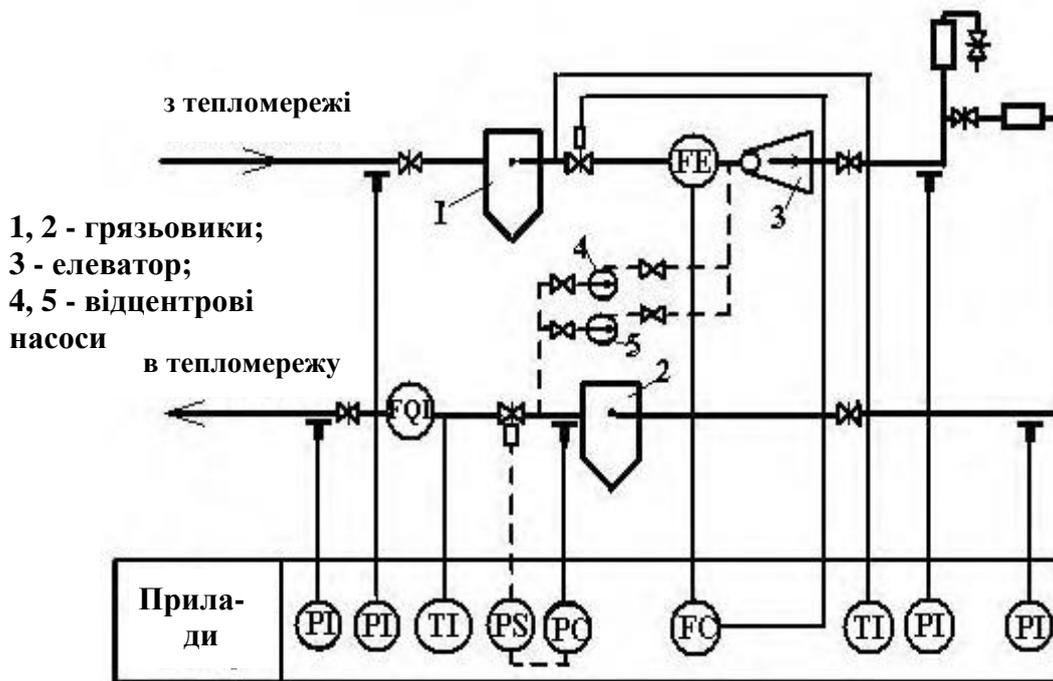


Рисунок 1.12 - Функціональна схема автоматизації теплового вводу

Допустимо здійснювати вимірювання тиску: до і після діафрагми; на вхідних трубопроводах, що розташовані до елеватора; на вихідних трубопроводах, які на рисунку позначені пунктирною лінією. Коли перепад

тиску на діафрагмі зменшується, регулюючий клапан розпочинає своє відкриття, що призводить до збільшення витрати теплоносія.

Навпаки, при збільшенні перепаду тиску клапан поступово закривається. Таким чином, забезпечується стабільність витрат теплоносія в системі опалення. Для місцевого контролю P і t теплоносія призначені манометри і термометри. Обсяг витрати теплоносія визначається за допомогою водоміра. При прямому з'єднанні системи опалення схема автоматизації є аналогічною розглянутій.

Якщо статичний тиск в опалювальній системі перевищує статичний тиск в тепловій мережі, то для запобігання витоку з системи і захисту мережі від збільшення тиску на зворотному трубопроводі використовують регулятор тиску. Так, в автоматизованому тепловому вузлі з захистом системи від витоку, стабільність витрати теплоносія забезпечується регулятором витрати прямої дії, який розміщується на подаючому трубопроводі. Для захисту від спорожнення використовують регулятор тиску прямої дії. Разом з ним обов'язковим є блокувальне реле (на рис.1.12 показаний пунктиром).

Якщо потрібно захистити тепловий вузол від збільшення тиску, встановлюється регулятор витрати прямої дії разом з блокувальним реле в прямому трубопроводі ТМ. Коли тиск в подаючому трубопроводі зростає, блокувальне реле активується і засувка закривається. У стандартному режимі регулятор забезпечує стабільні витрати теплоносія, який входить в систему опалення.

Працюючи з недостатнім напором беруть схему теплових вводів з насосним підмішуванням (пунктир на рисунку). У даному сценарії, стабільний тиск теплоносіїв у прямій та зворотній лініях забезпечується за допомогою регуляторів тиску прямої дії. Вода з зворотної лінії підтримується за допомогою насоса 4, при цьому насос 5 використовується як резервний.

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Висновки до розділу

1. Приведена загальна характеристика теплових пунктів та технологічних процесів. Теплові пункти - це спеціалізовані приміщення, що використовуються для управління місцевими системами теплопостачання. У ТП тепла енергія передається від зовнішніх теплових мереж до внутрішніх систем.

2. Виконано огляд видів існуючих теплових пунктів для будівель: центральний тепловий пункт; індивідуальний тепловий пункт та блочний тепловий пункт.

3. Проведено аналіз призначення теплових пунктів та недоліків систем розподілу тепла.

4. Виконано аналіз об'єкта керування теплового пункту. Група технічних засобів, які забезпечують реалізацію різних форм і схем приєднання тепловикористовуючих установок, утворює тепловий пункт.

5. Проаналізовано існуючі автоматизовані системи керування технологічними процесами теплового пункту. ТП виконує прийом теплоносія, його перетворення, розподіл між споживачами, здійснює облік теплоспоживання, автоматично забезпечуючи при цьому: потрібні параметри теплоносія в системах опалення та вентиляції; $t_{(H_2O)}$ в системах ГВС; координація та стабілізація гідравлічних режимів у ТМ та системах теплоспоживання.

					КНУ.КРБ.151.24.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		31

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

2.1 Структурні функціональні схеми автоматизованого керування технологічним процесом

У системах опалення важливо контролювати та регулювати такі основні параметри: різниця тиску між подачею та зворотнім теплоносієм, температура води в системі опалення, а також температура зворотного теплоносія, якщо вона перевищує встановлене значення.

Для регулювання цих параметрів можна застосовувати одноконтурну систему регулювання, яка працює за принципом регулювання за відхиленням.

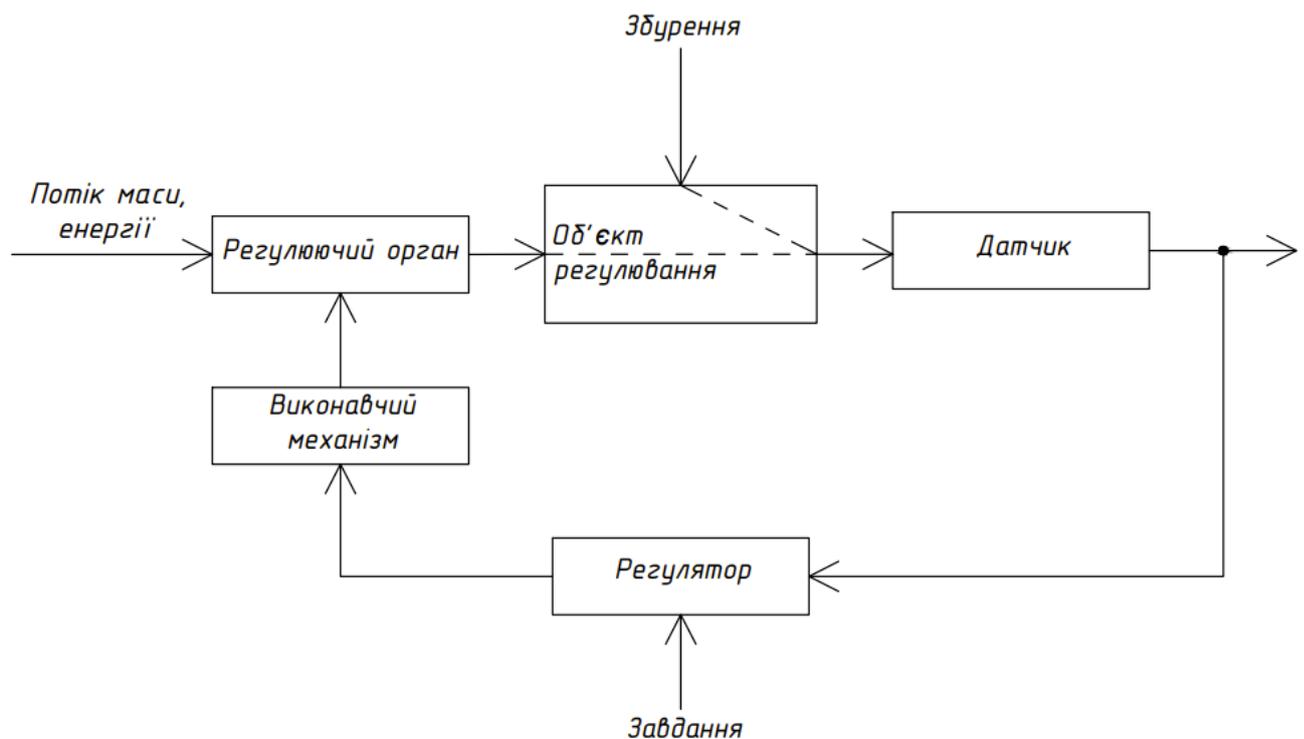


Рисунок 2.1 – Одноконтурна система регулювання

КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ				
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
Разробив		Пашковський		
Перевірів		Тиханський М.П.		
Н.контроль		Маринич І.А.		
Затвердив				
РОЗДІЛ 2				
		Літера	Аркуш	Аркушів
			32	
КНУ АКИТ-20				

Ця система працює на основі принципу керування, який реагує на відхилення від заданого значення. Реальне значення визначається за допомогою датчиків температури або тиску, в залежності від регульованого параметру. Вихідний сигнал аналізується в порівнянні з завданням, а програмований логічний контролер обробляє інформацію та на основі отриманих даних відправляє відповідні сигнали керування до виконавчого механізму.

Погодозалежне керування може бути використане для налаштування температури теплоносія в системі опалення. Цей процес включає в себе одноконтурну систему, в якій задачі створюються на основі температури зовнішнього середовища. Ця температура вимірюється за допомогою температурного графіка теплової мережі.

Крім того, можлива комбінована система регулювання, яка базується на принципах регулювання за відхиленням та за збуренням. У цьому випадку температура теплоносія з теплової мережі використовується як збурення.

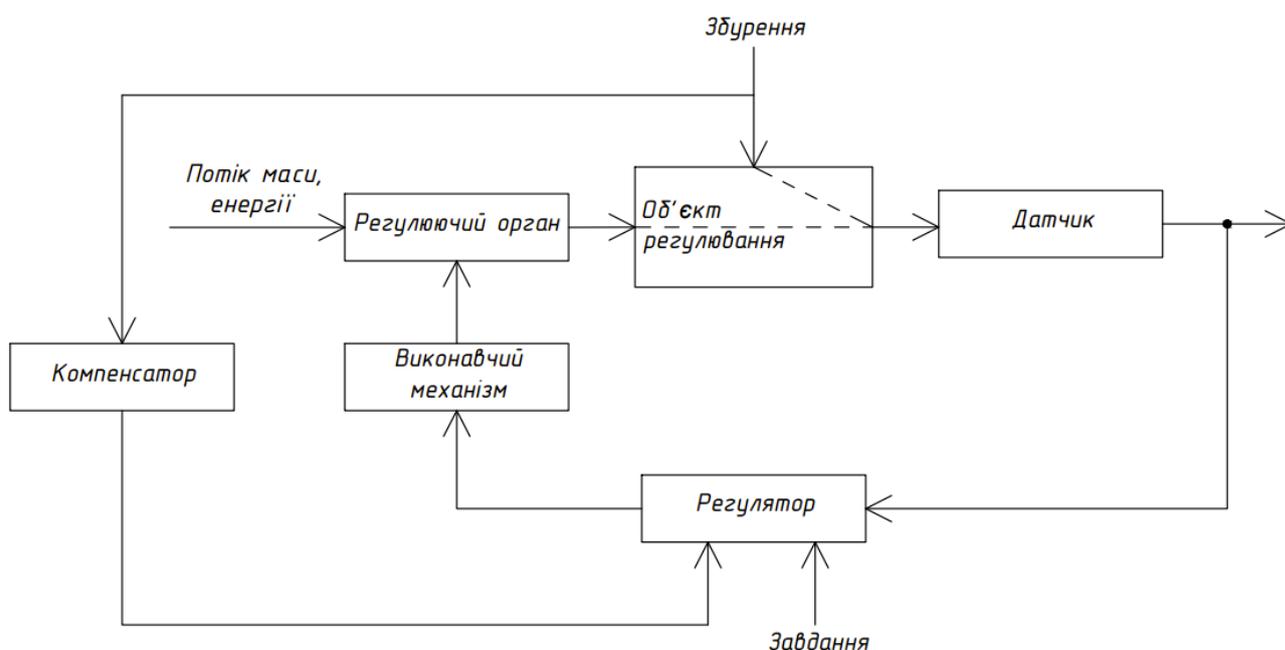


Рисунок 2.2 – Комбінована система регулювання

Ця система працює на основі принципу керування, який реагує на відхилення від заданого значення. Реальне значення визначається за допомогою

датчиків температури та тиску. Також використовується принцип регулювання за збуренням, для вимірювання якого також використовується датчик температури. Вихідний сигнал піддається аналізу в контексті завдання, тоді як збурення проходить процес компенсації. Після цього програмований логічний контролер обробляє інформацію та на основі отриманих даних відправляє відповідні сигнали керування до виконавчого механізму.

2.2 Обґрунтування вибору системи автоматичного керування параметрами тепlopункту

Виберемо одноконтурні САР для регулювання температури та тиску в системі опалення. Для контролю температури теплоносія в системі опалення використаємо погодозалежне управління, що дозволить уникнути використання комбінованої системи регулювання та врахувати температуру навколишнього середовища. Маємо налаштувати параметр відповідно до вимірюваних значень температури середовища зовні або внутрішньої температури приміщень.. Вимірювання температури в приміщеннях не є цілеспрямованим, оскільки вона буде відрізнятися в різних приміщеннях, і потрібно встановлювати датчики в кожному приміщенні. Крім того, всі ці сигнали потрібно вводити в ПЛК, що також вимагає додаткових модулів, що значно збільшує вартість системи автоматизації.

Керування температурою здійснюється через електропривідний клапан, тоді як регулювання тиску здійснюється шляхом зміни частоти обертання циркуляційних насосів в трубопроводах.

Регулювання проводиться за допомогою ПІ-регулятора. Цей регулятор забезпечує відсутність статичних помилок у регулюванні, відносно простоту впровадження завдяки вбудованому блоку ПІ-регулятора в більшості сучасних програмованих логічних контролерів (ПЛК), а також відрізняється низькою чутливістю до шумів у вимірювальному каналі.

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		34

2.3 Синтез та моделювання системи автоматичного керування

На першому етапі необхідно провести розрахунок регулятора для синтезу одноконтурної САР. Мета регулятора - регулювання температури зворотного теплоносія у системі опалення.

Складемо передавальну функцію об'єкта:

$$W_{об}(s) = \frac{0.29}{(1348.2 \cdot s + 1)(674.1 \cdot s + 1)} e^{-650s}$$

З метою отримання його перехідної характеристики виконаємо моделювання в середовищі MATLAB Simulink:

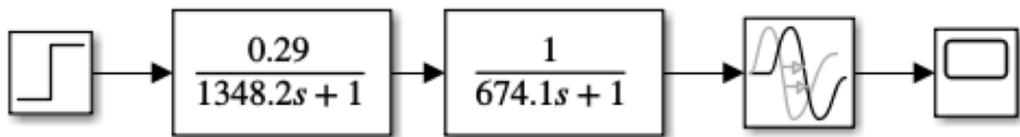


Рисунок 2.3 – Структурна схема моделі об'єкта керування

Отримаємо перехідну характеристику

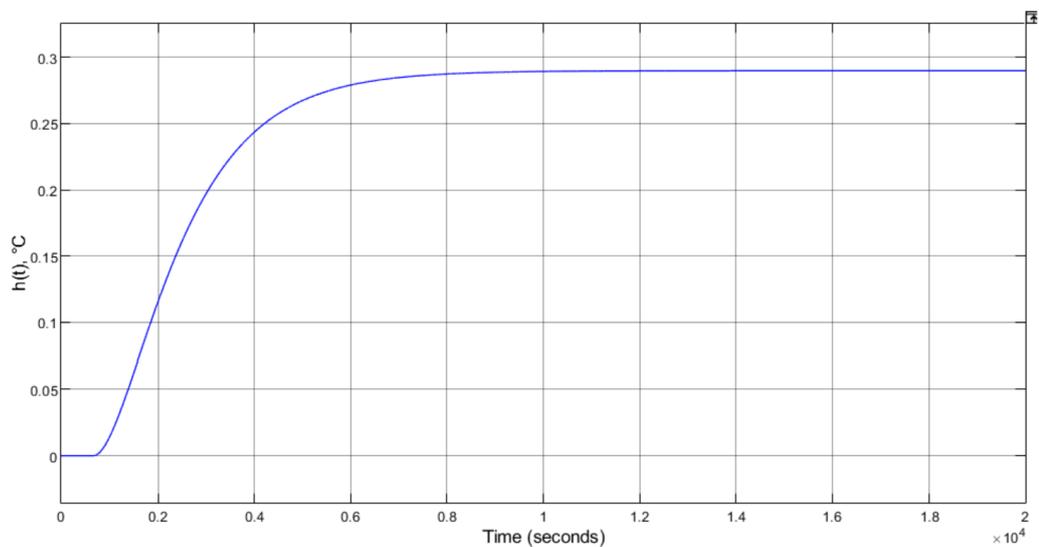


Рисунок 2.4 – Перехідна характеристика об'єкта керування

Розрахуємо регулятор за допомогою методу розширеної амплітудно-фазової характеристики (РАФХ). Для досягнення цього визначимо такий ступінь коливальної стійкості m , який дозволить нам отримати значення ступеня загасання. $\psi = 0.95$

$$\psi = 1 - e^{-2\pi m}, \quad e^{-2\pi m} = 1 - \psi$$

$$\ln e^{-2\pi m} = \ln(1 - \psi)$$

$$-2\pi m = \ln(1 - \psi)$$

$$m = \frac{\ln(1 - \psi)}{-2\pi} = \frac{\ln(1 - 0.95)}{-2\pi} = 0.477$$

Передавальна функція регулятора:

$$W_p(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right)$$

Для розрахунку регулятора методом РАФХ побудуємо амплітудно-фазову і розширену амплітудно-фазову характеристику об'єкта:

```
>> w = 0:0.00001:1;
m = 0.477;
s = 1j*w;
s_e = w*(1j-m);
W=(0.29.*exp(-650.*s)./(1348.2.*s+1)).*(1./(674.1.*s+1));
Wexp = (0.29.*exp(-650.*s_e)./(1348.2.*s_e+1)).*(1./(674.1.*s_e+1));
fig = figure;
plot(real(W), imag(W))
hold on
plot(real(Wexp), imag(Wexp))
plot(-1,0,'ko');
xlabel('Re(ω)')
ylabel('Im(ω)')
grid on
title("АФХ і РАФХ об'єкта")
legend("АФХ", "РАФХ", "Точка (-1, j0)")
fig.CurrentAxes.XAxisLocation = "origin";
fig.CurrentAxes.YAxisLocation = "origin"; axis([-1.7 1 -1.6 1]);
fx >> |
```

Рисунок 2.5 – Код знаходження характеристик у MATLAB

						Арк.
						36
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	

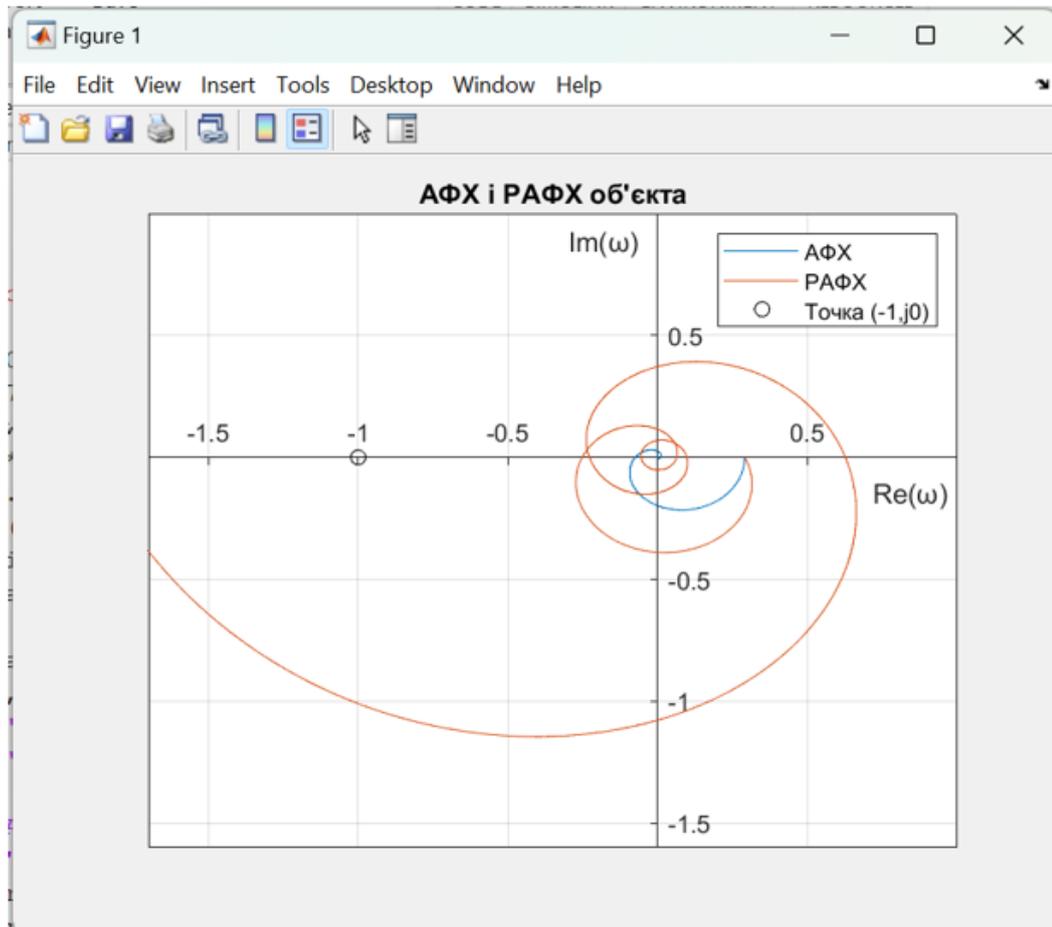


Рисунок 2.6 – АФХ і РАФХ об'єкта

Напишемо код для отримання лінії заданого ступеню коливальної стійкості в координатах $K_I = f(K_{II})$, для цього скористаємось формулами розрахунку для ПІ- регулятора:

$$\begin{cases} K_{II} = -\frac{P^{\text{розш}}(m, \omega) + Q^{\text{розш}}(m, \omega) \cdot m}{(A^{\text{розш}}(m, \omega))^2} \\ K_I = -\frac{\omega(m^2 + 1) + Q^{\text{розш}}(m, \omega)}{(A^{\text{розш}}(m, \omega))^2} \end{cases}$$

де

$$A^{\text{розш}}(m, \omega) = \sqrt{(P^{\text{розш}}(m, \omega))^2 + (Q^{\text{розш}}(m, \omega))^2}$$

```

>> w = 0:0.000001:0.00123;
m = 0.477;
s_e = w*(1j-m);
Wexp = (0.29.*exp(-650.*s_e)./(1348.2.*s_e+1)).*(1./(674.1.*s_e+1));
Re = real(Wexp);
Im = imag(Wexp);
A2 = Re.^2+Im.^2;
Kp = -(Re+Im.*m)./A2;
Ki = -w*(m^2+1).*Im./A2;
[Kim, m] = max(Ki);
Kpm = Kp(Ki==Kim);
fig = figure;
plot(Kp, Ki)
hold on;
plot(Kpm, Kim, "ro")
plot(Kp(m+find(Ki(m:end)<Kim*0.95,1)), Kim*0.95, "ro")
title("Крива m=0.477 у координатах Ki=f(Kp) ")
xlabel('Kp')
ylabel('Ki')
grid on
fig.CurrentAxes.XAxisLocation = "origin";
fig.CurrentAxes.YAxisLocation = "origin";
fx >>

```

Рисунок 2.7 –Код у МАТЛАВ

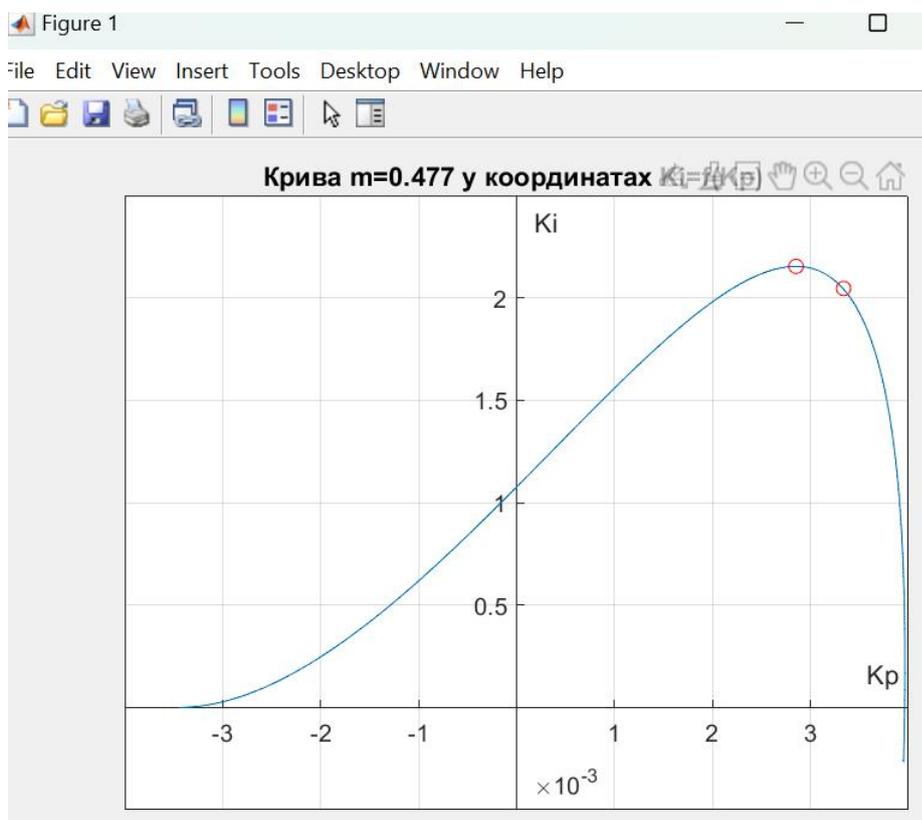


Рисунок 2.8 – Графік $m = 0.477$ у координатах $K = f(K)$

В якості оптимальних параметрів регулятора вибираємо параметри при значенні $K_I = 0,95 K_{I,max}$.

Отже, маємо такі параметри для ПІ-регулятора:

$$K_{\text{П}} = 3.34 K_I = 0.0021 T_I = \frac{K_{\text{П}}}{K_I} = \frac{3.34}{0.0021} = 1590.48$$

Передавальна функція отриманого регулятора:

$$W_p(s) = 3.34 \left(1 + \frac{1}{1590.48s} \right)$$

Для розімкненої системи з ПІ-регулятором, з метою перевірки правильності розрахунків, побудуємо АФХ і РАФХ.

```
>> w = 0:0.00001:1;
m = 0.477;
s = 1j*w;
s_e = w*(1j-m);
Wob=(0.29.*exp(-650.*s)./(1348.2.*s+1)).*(1./(674.1.*s+1));
Wob_e = (0.29.*exp(-650.*s_e)./(1348.2.*s_e+1)).*(1./(674.1.*s_e+1));
Wr= 3.34.*(1+1./(1590.48.*s));
W =Wr.*Wob;
Wr_e= 3.34.*(1+1./(1590.48.*s_e));
Wexp =Wr_e.* Wob_e;
fig = figure;
plot(real(W), imag(W))
hold on
plot(real(Wexp), imag(Wexp))
plot(-1,0, 'ko');
xlabel('Re(ω)')
ylabel('Im(ω)')
grid on
title("АФХ і РАФХ розімкненої системи з ПІ-регулятором")
legend("АФХ", "РАФХ", "Точка (-1, j0)")
fig.CurrentAxes.XAxisLocation = "origin";
fig.CurrentAxes.YAxisLocation = "origin";
axis([-1.5 1.5 -1.5 1.5]);
x >> |
```

Рисунок 2.9 – Код у MATLAB

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		39

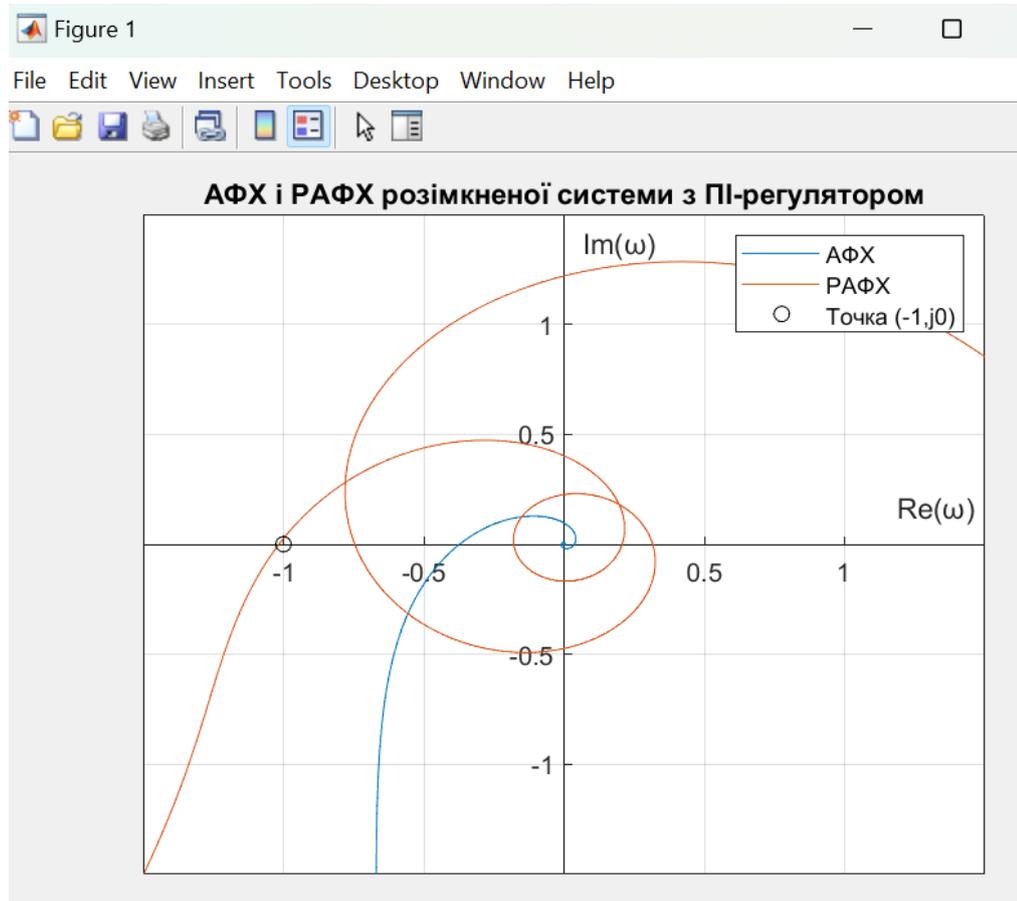


Рисунок 2.10 – АФХ і РАФХ розімкненої системи з ПІ-регулятором

Згідно рис. 2.10 розширена амплітудно-фазова характеристика проходить через точку $(-1; j0)$. Ми дійшли висновку, що розрахунок був виконаний вірно і наша система має встановлений нами ступінь коливальної стійкості.

Проведемо розрахунок ПІ-регулятора експрес-методами. З цією метою використаємо процес апроксимації об'єкта аперіодичною ланкою першого порядку за допомогою методу логарифмування.

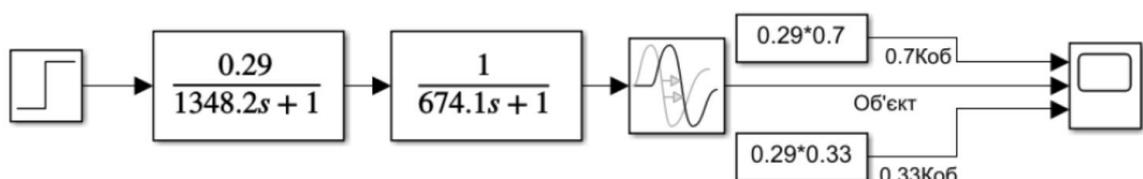


Рисунок 2.11 – Структурна схема для апроксимації об'єкта керування

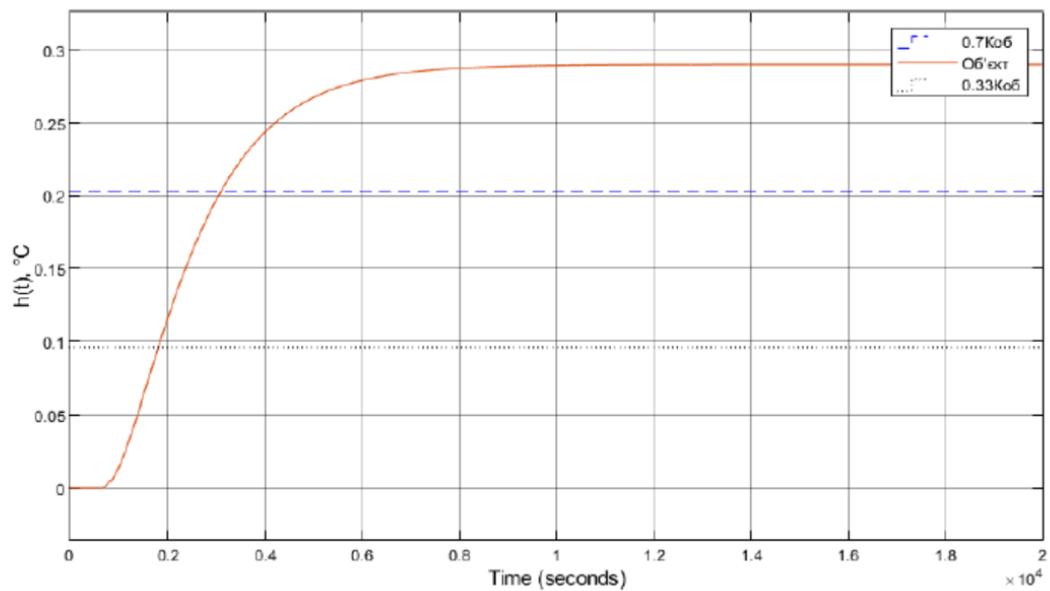


Рисунок 2.12 – Перехідна характеристика об'єкта

Використовуючи методу логарифмування проведемо апроксимацію даного процесу аперіодичною ланкою із запізненням:

$$T = 1.25 (t_B - t_A)$$

$$\tau = 0.5 (3 t_A - t_B)$$

$$t_A = f (0.33 K_{об})$$

$$t_B = f (0.7 K_{об})$$

З рисунку 2.12 отримуємо:

$$K_{об} = 0.29$$

$$t_A = f (0.33 K_{об}) = 1801$$

$$t_B = f (0.7 K_{об}) = 3093$$

					<i>КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		41

$$T = 1.25(t_B - t_A) = 1.25(3093 - 1801) = 1615$$

$$\tau = 0.5(3t_A - t_B) = 0.5(3 \cdot 1801 - 3093) = 1155$$

Отримали передаточну функцію апроксимованого об'єкта:

$$W_{\text{апроксимована}}(s) = \frac{0.29 \cdot e^{-1155s}}{1615s + 1}$$

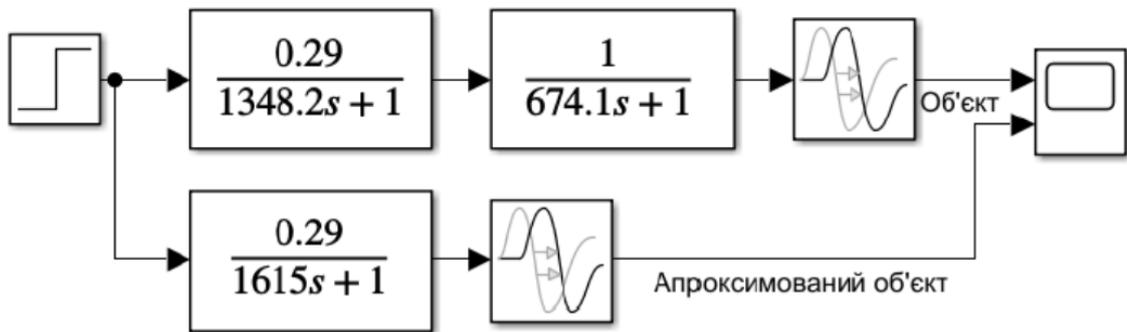


Рисунок 2.13 – Структурна схема моделі для перевірки апроксимації об'єкта

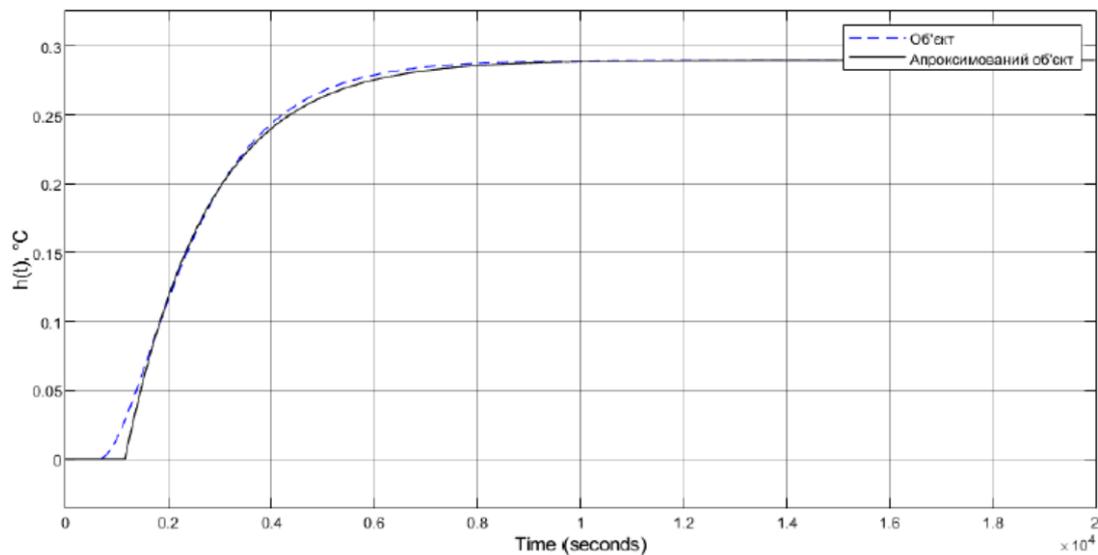


Рисунок 2.14 – Перехідні характеристики об'єкта керування та апроксимованого об'єкта керування

Аналізуємо рисунок 2.14. Бачимо, що перехідні характеристики накладаються одна на одну. тобто початковий об'єкт було апроксимовано правильно.

Розрахуємо ПІ-регулятор на такий об'єкт:

$$W_{об}(s) = \frac{0.29}{1615s + 1} e^{-1155s}$$

Ми отримаємо відповідні налаштування ПІ-регулятора, використовуючи експрес-метод часткової компенсації, який також розрахований для отримання значення ступеня загасання. $\psi = 0.95$:

$$K_{ПІ} = \frac{1}{K_{об}} (0.739c - 1)$$

$$K_{ПІ} = \frac{1}{0.29} \left(0.739 \frac{1615}{1155} \left(1 + \frac{1155}{1615} \right)^2 - 1 \right) = 7.03$$

$$T_I = \tau_{об} \frac{6.36 \cdot K_{об} \cdot K_{ПІ}}{\frac{T_{об}}{\tau_{об}} \left(1 + \frac{\tau_{об}}{T_{об}} \right)^3}$$

$$T_I = 1155 \cdot \frac{6.36 \cdot 0.29 \cdot 7.03}{\frac{1615}{1155} \left(1 + \frac{1155}{1615} \right)^3} = 2122.66$$

Передавальна функція отриманого регулятора:

$$W_p(s) = 7.03 \left(1 + \frac{1}{2122.66s} \right)$$

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		43

За методом Ротача розрахуємо ПІ-регулятор. Він розрахований на значення ступеню загасання $\psi = 0.9$, для цього використаємо номограму на рисунку 2.15 [6].

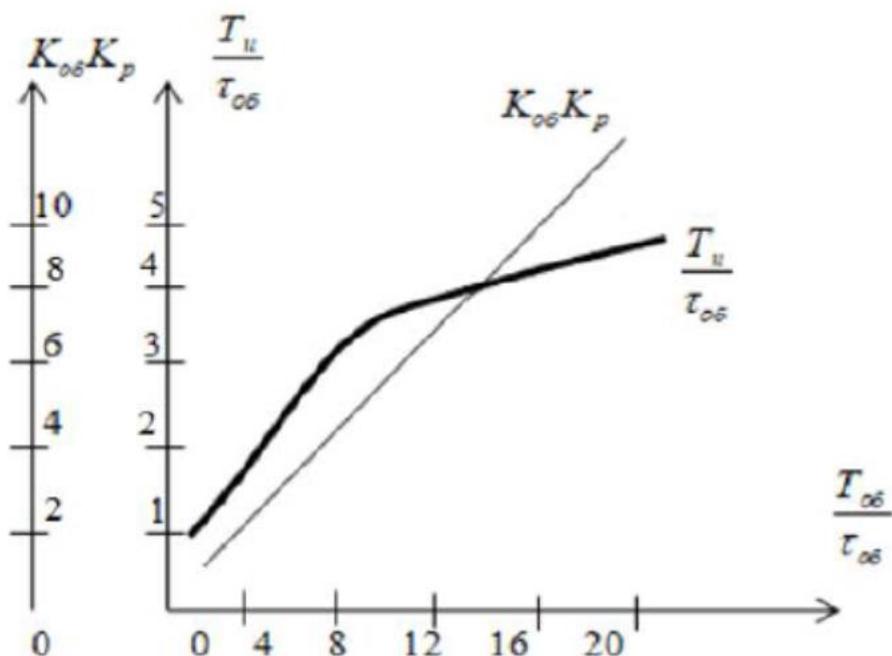


Рисунок 2.15 – Графік для визначення параметрів регулятора

Отримано параметри для налаштування ПІ-регулятора:

$$K_{PI} = 1.72, T_I = 1155$$

Передавальна функція отриманого регулятора:

$$W_p(s) = 1.72 \left(1 + \frac{1}{1155s} \right)$$

Визначимо прямі, інтегральні та кореневі показники систем. Їхні значення важливі для визначення оптимальних налаштувань ПІ-регулятора для даної системи автоматичного регулювання.

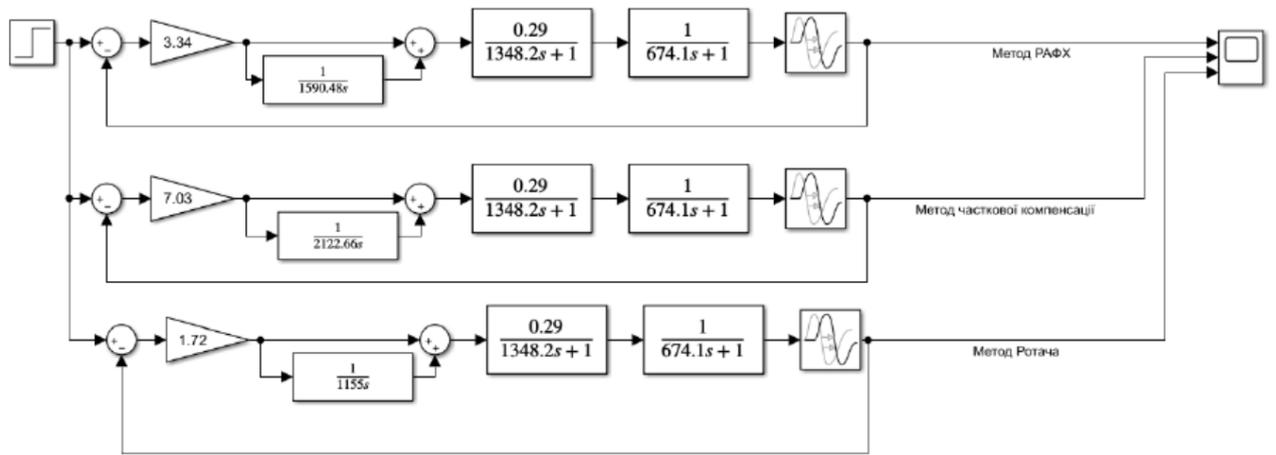


Рисунок 2.16 – Структурна схема моделі систем за каналом «Завдання-Вихід»

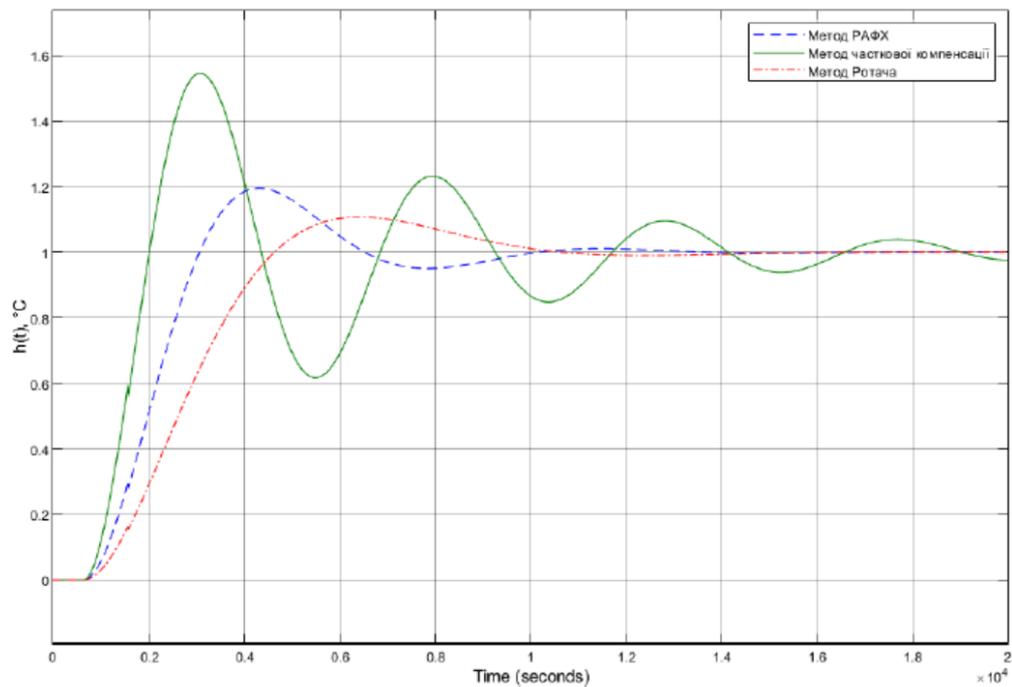


Рисунок 2.17 – Перехідні характеристики систем за каналом «Завдання-Вихід»

Визначення ступеню загасання:

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1}$$

Визначення перерегулювання:

$$\sigma = \frac{y_1}{y(\infty)} 100\%$$

Таблиця 2.1 – Прямі показники якості систем за каналом «Завдання-Вихід»

Прямий показник якості	Метод РАФХ	Метод часткової компенсації	Метод Ротача
Час перехідного процесу	$t_m=5982$	$t_m=15736$	$t_m=8594$
Максимальне динамічне відхилення	$y_{max}=1.195$	$y_{max}=1.546$	$y_{max}=1.11$
Ступінь загасання	$\psi = 0.94$	$\psi = 0.58$	$\psi = 0.99$
Перерегулювання	$\sigma = 19.5\%$	$\sigma = 54.6\%$	$\sigma = 11\%$
Статична похибка	$\Delta_{cm} = 1-1=0$	$\Delta_{cm} = 1-1=0$	$\Delta_{cm} = 1-1=0$

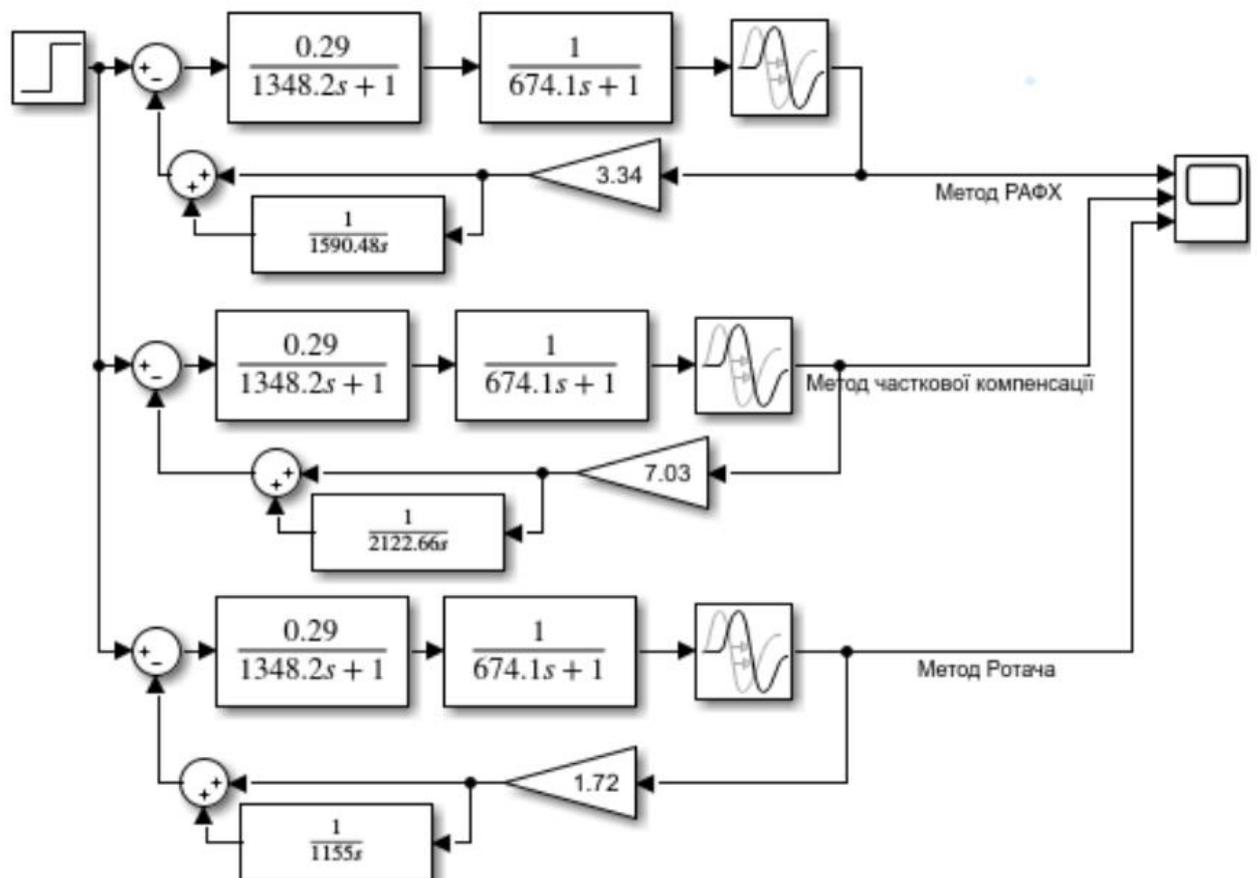


Рисунок 2.18 – Структурна схема моделі систем за каналом «Збурення-Вихід»

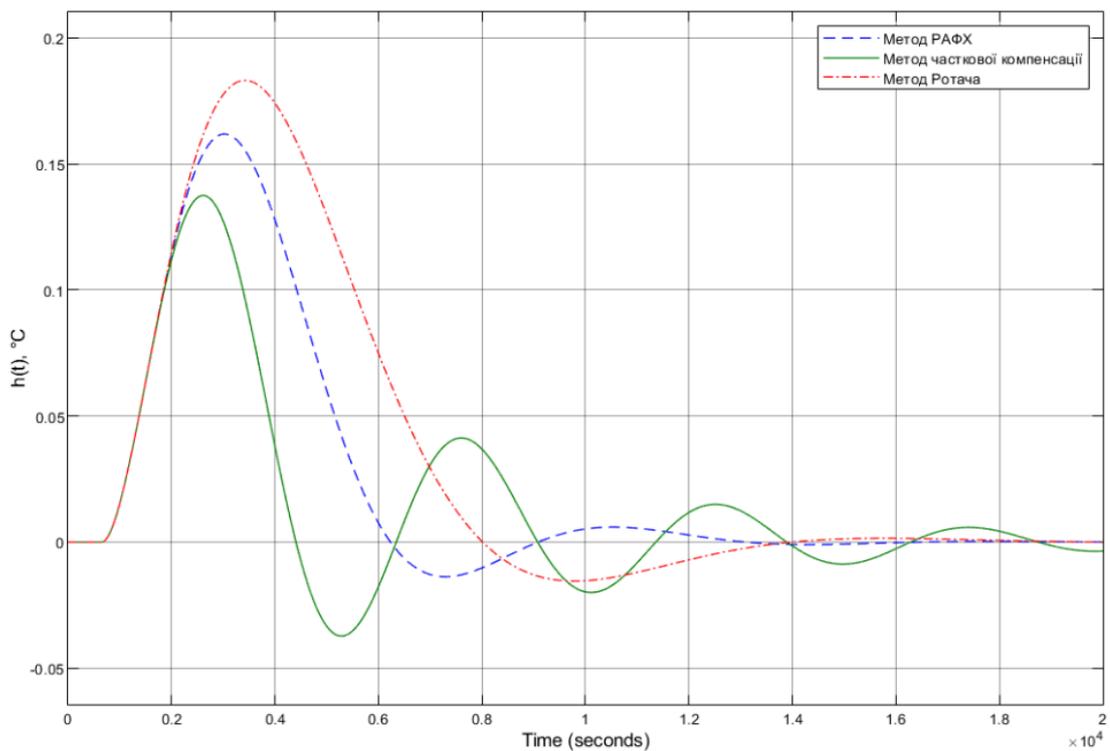


Рисунок 2.19 – Перехідні характеристики систем за каналом «Збурення-Вихід»

Таблиця 2.2 – Прямі показники якості систем за каналом «Збурення-Вихід»

Прямий показник якості	Метод РАФХ	Метод часткової компенсації	Метод Ротача
Час перехідного процесу	$t_m=5158$	$t_m=3885$	$t_m=6504$
Максимальне динамічне відхилення	$y_{max}=0.1619$	$y_{max}=0.1375$	$y_{max}=0.1832$
Ступінь загасання	$\psi = 0.96$	$\psi = 0.7$	$\psi = 0.99$
Перерегулювання	$\sigma = 19.5\%$	$\sigma = 54.6\%$	$\sigma = 8.46\%$
Статична похибка	$\Delta_{cm} = 0-0=0$	$\Delta_{cm} = 0-0=0$	$\Delta_{cm} = 0-0=0$

Визначення перерегулювання:

$$\sigma = \frac{y_2}{y_1} 100\%$$

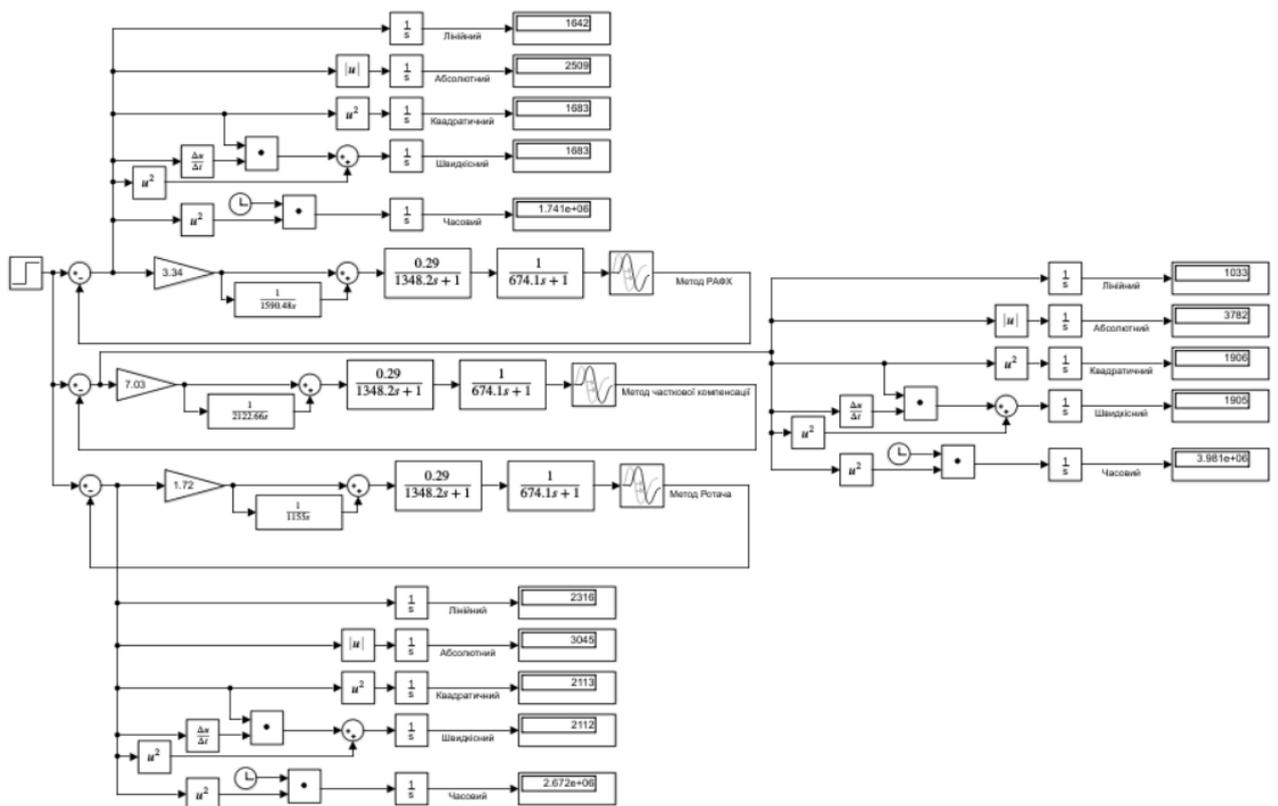


Рисунок 2.20 – Структурна схема моделі для розрахунку інтегральних показників якості систем за каналом «Завдання-Вихід»

Таблиця 2.3 – Інтегральні показники якості систем за каналом «Завдання-Вихід»

Інтегральний показник	$I_{лін}$	$I_{абс}$ $_{лін}$	$I_{кв}$ $_{лін}$	$I_{шв}$ $_{лін}$	$I_{час}$ $_{лін}$
Метод РАФХ	1642	2509	1683	1683	1.741+06
Метод часткової компенсації	1033	3782	1906	1905	3.981e+06
Метод Ротача	2316	3045	2113	2112	2.672e+06

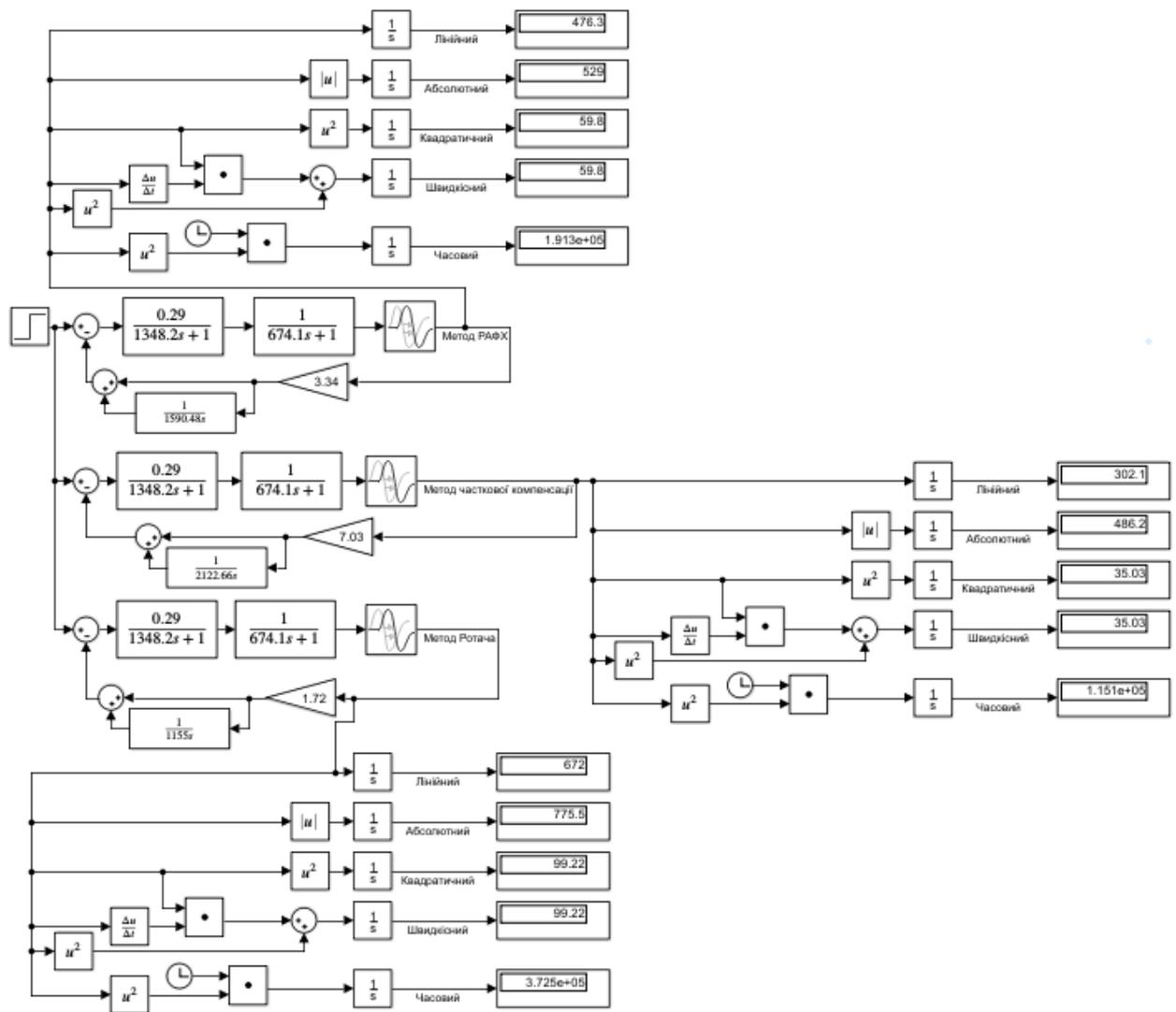


Рисунок 2.21 – Структурна схема моделі для обчислення інтегральних показників якості систем за каналом «Збурення-Вихід»

Таблиця 2.4 – Інтегральні показники якості систем за каналом «Збурення-Вихід»

Інтегральний показник	$I_{лін}$	$I_{абс\ лін}$	$I_{кв\ лін}$	$I_{шв\ лін}$	$I_{час\ лін}$
Метод РАФХ	476.3	529	59.8	59.8	1.913e+05
Метод часткової компенсації	302.1	486.2	35.03	35.03	1.151e+05
Метод Ротача	672	775.5	99.22	99.22	3.725e+05

Створимо АФЧХ для розімкнених систем та визначимо частотні показники якості.

```

Command Window
fx >> w = 0.00001:0.000001:1;
s = 1i*w;
Wob = (0.29.*exp(-650.*s)./(1348.2.*s+1)).*(1./(674.1.*s+1));
Wr = 3.34.*(1+1./(1590.48.*s));
W = Wob.*Wr;
Re = real(W);
Im = imag(W);
for i = 1: length(Re)
    if(sqrt(Re(i).^2+Im(i).^2)<=1)
        Re_b = Re(i);
        Im_b = Im(i);
        break
    end
end
fig = figure;
plot(Re, Im)
hold on
plot(Re_b, Im_b, "ko")
hold on
plot([0 Re_b], [0 Im_b])
hold on
ezplot(@(x,y) x.^2+y.^2-1);
xlabel('Re')
ylabel('Im')
grid on

title('Годограф АФЧХ РС для системи з регулятором розрахованим методом РАФХ')
axis([-1.2 1.2 -1.2 1.2])
fig.CurrentAxes.XAxisLocation = "origin";
fig.CurrentAxes.YAxisLocation = "origin";
    
```

Рисунок 2.22 – Код у МАТЛАВ для створення АФЧХ системи з ПІ-регулятором

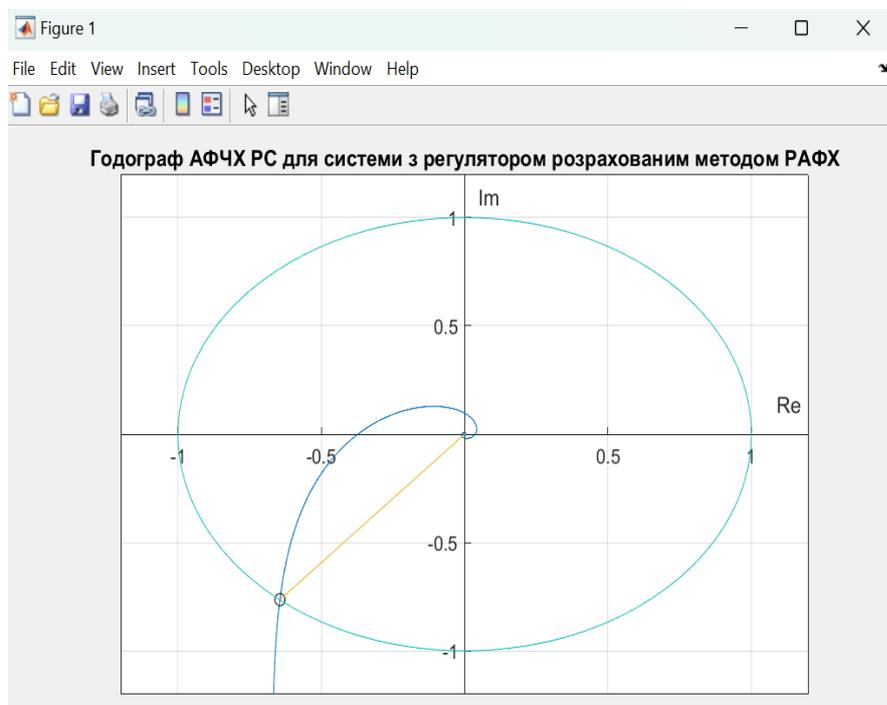


Рисунок 2.23 – Годограф АФЧХ для розімкненої системи з регулятором

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		50

Встановимо резерви стабільності для системи з регулятором, обчисленим за методом РАФХ.

Запас за фазою:

$$\beta = \arctg \left(\frac{\operatorname{Im}(\omega)}{\operatorname{Re}(\omega)} \right) \Big|_{A=1} = \arctg \left(\frac{-0.76425}{-0.64431} \right) = 49.87^\circ$$

Запас за модулем:

$$\Delta_M = |W_{PC}(j\omega_\pi) - 1| = |0.3725 - 1| = 0.6275$$

```

Command Window
>>
>> w = 0.00001:0.000001:1;
s = 1i*w;
Wob = (0.29.*exp(-650.*s)/(1348.2.*s+1)).*(1./(674.1.*s+1));
Wr = 7.03.*(1+1./(2122.66.*s));
W = Wob.*Wr;
Re = real(W);
Im = imag(W);
for i = 1: length(Re)
    if(sqrt(Re(i).^2+Im(i).^2)<=1)
        Re_b = Re(i);
        Im_b = Im(i);
        break
    end
end
fig = figure;
plot(Re, Im)
hold on
plot(Re_b, Im_b, "ko")
hold on
plot([0 Re_b], [0 Im_b])
hold on
ezplot(@(x,y) x.^2+y.^2-1);
xlabel('Re')
ylabel('Im')

grid on
title(['Годограф АФЧХ РС для системи з регулятором розрахованим ' ...
    'методом часткової компенсації'])
axis([-1.2 1.2 -1.2 1.2])
fig.CurrentAxes.XAxisLocation = "origin";
fig.CurrentAxes.YAxisLocation = "origin";
    
```

Рисунок 2.24 – Код у MATLAB для створення АФЧХ системи з ПІ-регулятором, розрахованим методом часткової компенсації

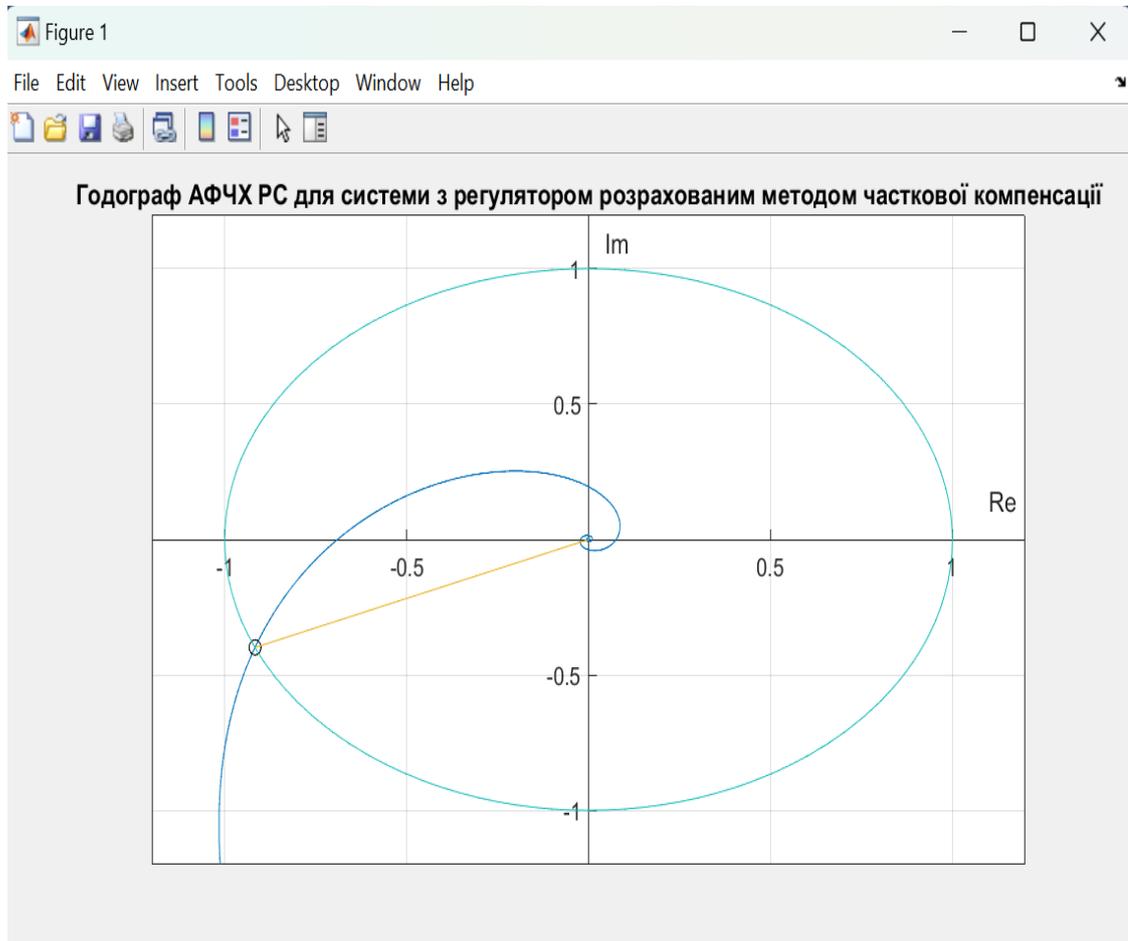


Рисунок 2.25 – Годограф АФЧХ для розімкненої системи з регулятором, розрахованим методом часткової компенсації

Встановимо резерви стабільності для системи з регулятором, обчисленим за методом РАФХ:

Запас за фазою:

$$\beta = \arctg \left(\frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)} \right) \Bigg|_{A=1} = \arctg \left(\frac{-0.398858}{-0.91668} \right) = 23.51^\circ$$

Запас за модулем:

$$\Delta_M = |W_{PC}(j\omega_\pi) - 1| = |0.6901 - 1| = 0.3099$$

Command Window

```

fig.CurrentAxes.YAxisLocation = "origin";
>> w = 0.00001:0.000001:1;
s = 1i*w;
Wob = (0.29.*exp(-650.*s)./(1348.2.*s+1)).*(1./(674.1.*s+1));
Wr =1.72.*(1+1./(1155.*s));
W = Wob.*Wr;
Re = real(W);
Im = imag(W);
for i = 1: length(Re)
    if(sqrt(Re(i).^2+Im(i).^2)<=1)
        Re_b = Re(i);
        Im_b = Im(i);
        break
    end
end
fig = figure;
plot(Re, Im)
hold on
plot(Re_b, Im_b, "ko")
hold on
>> plot([0 Re_b], [0 Im_b])
hold on
ezplot(@(x,y) x.^2+y.^2-1);
xlabel('Re')
ylabel('Im')
-
grid on
title(['Годограф АФЧХ РС для системи з регулятором розрахованим ' ...
    'методом Ротача'])
axis([-1.2 1.2 -1.2 1.2])
fig.CurrentAxes.XAxisLocation = "origin";
fig.CurrentAxes.YAxisLocation = "origin";

```

Рисунок 2.26 – Код у MATLAB для створення АФЧХ системи з ПІ-регулятором.

Встановимо резерви стабільності для системи з регулятором, обчисленим за методом Ротача:

Запас за фазою:

$$\beta = \arctg \left(\frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)} \right) \Bigg|_{A=1} = \arctg \left(\frac{-0.83027}{-0.55664} \right) = 56.16^\circ$$

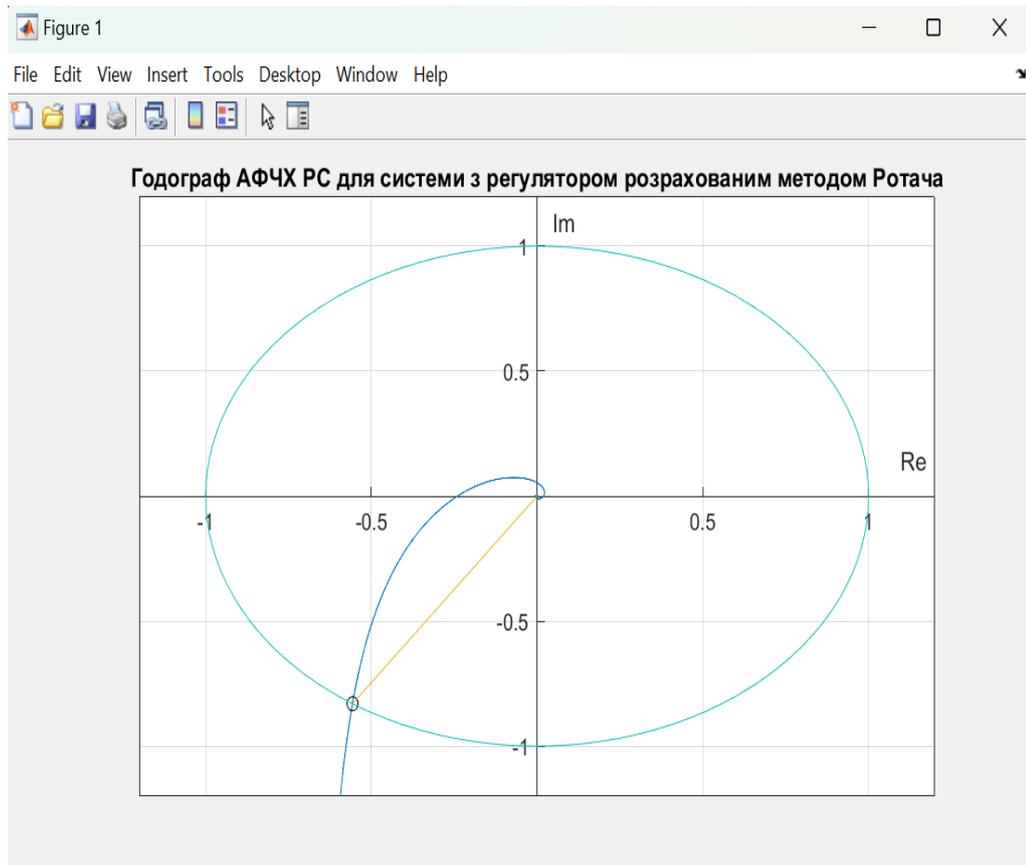


Рисунок 2.27 – Годограф АФЧХ для системи з регулятором, розрахованим за методом Ротача, в розімкненому стані

Запас за модулем:

$$\Delta_M = |W_{PC}(j\omega_\pi) - 1| = |0.2401 - 1| = 0.7599$$

Таблиця 2.5 – Частотні показники якості систем

Частотний показник	Запас за фазою β	Запас за модулем Δ_M
Метод РАФХ	49.87°	0.63
Метод часткової компенсації	23.51°	0.31
Метод Ротача	56.16°	0.76

Таблиця 2.6 – Показники якості систем

Показник якості	Метод РАФХ	Метод часткової компенсації	Метод Ротача
Прямі показники якості за каналом «Завдання-Вихід»			
Час перехідного процесу	$t_{mn} = 5982$	$t_{mn} = 15736$	$t_{mn} = 8594$
Максимальне динамічне відхилення	$y_{\max} = 1.195$	$y_{\max} = 1.546$	$y_{\max} = 1.11$
Ступінь загасання	$\psi = 0.94$	$\psi = 0.58$	$\psi = 0.99$
Перерегулювання	$\sigma = 19.5\%$	$\sigma = 54.6\%$	$\sigma = 11\%$
Статична похибка	$\Delta_{cm} = 0$	$\Delta_{cm} = 0$	$\Delta_{cm} = 0$

Прямі показники якості за каналом «Збурення-Вихід»			
Час перехідного процесу	$t_{mn} = 5158$	$t_{mn} = 3885$	$t_{mn} = 6504$
Максимальне динамічне відхилення	$y_{\max} = 0.1619$	$y_{\max} = 0.1375$	$y_{\max} = 0.1832$
Ступінь загасання	$\psi = 0.96$	$\psi = 0.7$	$\psi = 0.99$
Перерегулювання	$\sigma = 8.46\%$	$\sigma = 27.13\%$	$\sigma = 8.46\%$
Статична похибка	$\Delta_{cm} = 0$	$\Delta_{cm} = 0$	$\Delta_{cm} = 0$

Інтегральні показники якості						
За каналом	«Завдання-Вихід»	«Збурення-Вихід»	«Завдання-Вихід»	«Збурення-Вихід»	«Завдання-Вихід»	«Збурення-Вихід»
$I_{\text{лін}}$	1642	476.3	1033	302.1	2316	672
$I_{\text{лін}}^{\text{абс}}$	2509	529	3782	486.2	3045	775.5
$I_{\text{лін}}^{\text{кв}}$	1683	59.8	1906	35.03	2113	99.22
$I_{\text{лін}}^{\text{шв}}$	1683	59.8	1905	35.03	2112	99.22
$I_{\text{лін}}^{\text{час}}$	1.741+0 6	1.913e+ 05	3.981e+ 06	1.151e+ 05	2.672e+ 06	3.725e+ 05
Частотні показники якості						
Запас за фазою	49.87°		23.51°		56.16°	
Запас за модулем	0.63		0.31		0.76	

Оцінюючи важливість показників якості, представлених у таблиці 2.6, видно, що система з регулятором, налаштованим методом РАФХ, демонструє значно кращі прямі показники якості через канал «Завдання-Вихід». Час перехідного процесу у цій системі є коротшим, ніж у інших. Однак головне, що така система має вибрану нами ступінь загасання, який був вибраний майже рівним одиниці, для досягнення майже аперіодичного процесу.

Системи, що працюють за каналом «Збурення-Вихід», відображають майже однакові показники максимального динамічного відхилення. Системи з регулятором виявляють значно менше перерегулювання, не дивлячись на те, що регулятор розраховується за методами Ротача і РАФХ, а це означає, що вони мають час перехідного процесу довший, ніж система, розрахована методом часткової компенсації [14, 18].

Система з регулятором, розрахованим за методом Ротача, відзначається найвищими значеннями інтегральних показників якості.

Додатково, аналізуючи частотні характеристики якості, можна встановити, що система з регулятором, обчисленим за методом Ротача, володіє більшим запасом стабільності, як за фазою, так і за амплітудою.

Це свідчить про меншу ймовірність виходу системи за межі стійкості через параметричні зміни об'єкта в порівнянні з іншими методами регулювання. Однак слід відзначити, що значення частотних показників якості не сильно відрізняються у систем з регуляторами, розрахованими методами РАФХ та Ротача. Після аналізу всіх показників якості було вирішено використовувати в системі ПІ-регулятор, розрахований методом РАФХ.

$$K_{\Pi} = 3.34 \frac{\%VM}{\circ C}$$

$$T_I = 1590.48c$$

					<i>КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		56

Вигляд обраного регулятора:

$$W_p(s) = 3.34\left(1 + \frac{1}{1590.48s}\right)$$

2.4 Параметри каналів вимірювання системи

Кожен канал вимірювання об'єднує в собі датчик та програмований логічний контролер.

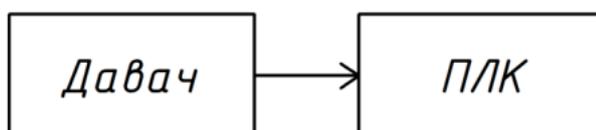


Рисунок 2.28 – Загальна структура вимірювального каналу

В одноконтурній САР температура теплоносія з системи опалення вимірюється через один канал. Цей Канал забезпечує процес вимірювання температури зворотного теплоносія в системі опалення.

Складовими вимірювального каналу є датчик та програмований логічний контролер (ПЛК):

Датчик представляє собою термоперетворювач опору Pt1000 «STw-04» від компанії RautAutomatic, який має діапазон вимірювання від 0 до 150°C і клас точності 0.5. ПЛК має клас точності 0.1.

Межа основної приведенної похибки датчика: $\varepsilon_D = 0.5\%$

Межа основної приведенної похибки ПЛК: $\varepsilon_{ПЛК} = 0.1\%$

Межа основної приведенної похибки вимірювального каналу:

$$\varepsilon_{D-ПЛК} = \sqrt{\varepsilon_D^2 + \varepsilon_{ПЛК}^2} = \sqrt{0.5^2 + 0.1^2} = 0.51\%$$

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		57

Межа абсолютної похибки вимірювального каналу:

$$\Delta_{\text{д-плк}} = \varepsilon_{\text{д-плк}}(X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \frac{1}{100} = 0.51(150 - 0) \frac{1}{100} = 0.8^{\circ}\text{C}$$

Результат розрахунку за вимірювальним каналом:

$$X_{\text{д-плк}} = x \pm \Delta_{\text{д-плк}} = x \pm 0.8^{\circ}\text{C}$$

2.5 Параметри виконавчих каналів системи

Максимальну витрату регулюючого середовища прийmemo рівною:

$$Q_{\text{max}} = 40 \text{ м}^3/\text{год}$$

Мінімальний перепад тиску на цілком відкритому РО:

$$\Delta P_{\text{мін}} = 1 \text{ атм}$$

Розраховуємо умовну проникну здатність:

$$K_{vy} = \frac{Q_{\text{max}}}{\sqrt{\Delta P_{\text{мін}}}} \sqrt{\gamma} = \frac{40}{\sqrt{1}} \sqrt{1} = 40$$

Отримали $K_{vy}=40$. Цей клапан створений для гладкого керування потоком теплоносія або холодоносія в системах опалювання.

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		58

2.6 Вибір технічного забезпечення системи автоматизованого керування

2.6.1 Обґрунтування і вибір теплолічильника для системи тепlopостачання

На підставі максимальних та мінімальних витрат теплоносія обираємо двопоточний теплолічильник Multical 602, з витратоміром ULTRAFLOW 54 (ТМ Kamstrup) [7].



Рисунок 2.29 – Зовнішній вигляд витратоміра ULTRAFLOW 54 виробництва ТМ Kamstrup

Таблиця 2.7 - Характеристики теплолічильника

Ду	Діапазон вимірювання	Мінім. витрата, м ³ /год	Номінальна витрата, м ³ /год	Макс. витрата, м ³ /год	Тип з'єднання	Монтажна довжина, мм
25	0,06-6-12 м ³ /год	0,06	6	12	DN25 фланцевий	260

Теплолічильник MULTICAL602 складається з:

- первинний ультрозвуковий перетворювач витрати ULTRAFLOW 54– 2 шт.;
- термоперетворювачів опору з гільзою – 2 шт.;

					<i>КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		59

- теплообчислювач MULTICAL 602 (з елементом живлення - батарейка 3,6 V)
- 1 шт. та роз'ємом M-Bus для підключення до контролера та модема передачі даних.

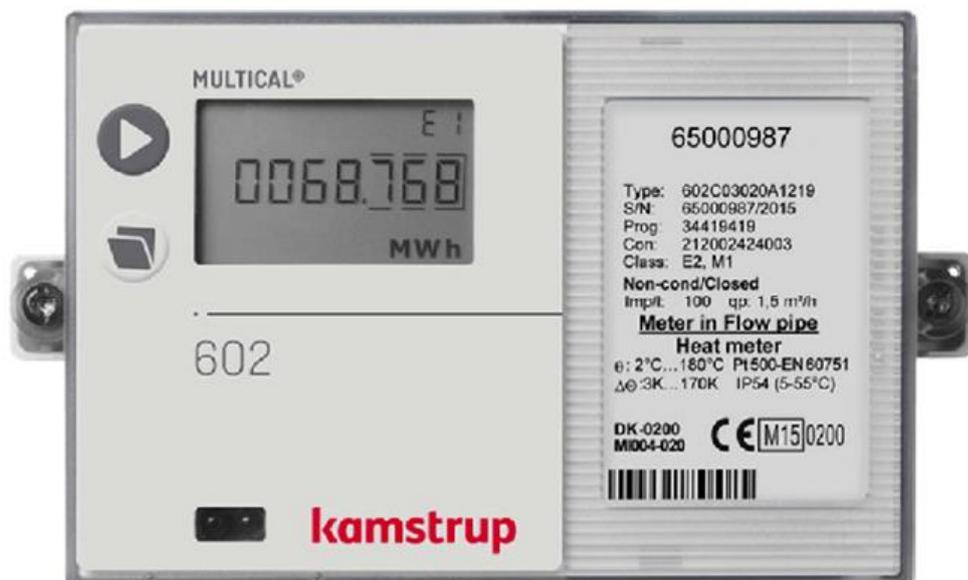


Рисунок 2.30 – Зовнішній вигляд однопоточного теплолічильника Multical 602

2.6.2 Обґрунтування і вибір теплолічильника для системи гарячого водопостачання

В результаті відомих максимальних та мінімальних витрат гарячої води обираємо однопоточний теплолічильник QALCOMET HEAT 1 [26], з витратоміром с виробництва AXIS Industries[8].

Таблиця 2.8- Характеристика теплолічильника

Ду	Діапазон вимірювання	Мінім. витрата, м ³ /год	Номінальна витрата, м ³ /год	Макс. витрата, м ³ /год	Тип з'єднання	Монтажна довжина, мм
25	0,035-3,5-7,0 м ³ /год	0,035	3,5	7	DN25 фланцеви й	260



Рисунок 2.31 – Зовнішній вигляд однопоточного теплотічильника QALCOMET HEAT1

Теплотічильник QALCOMETHEAT1 складається [26]:

- два первинних ультразвуковий перетворювача витрати Qalcosonic Flow 2 ;
- три термоперетворювачі опору з гільзою;
- один теплообчислювач (на батарейці 3,6 V) з роз'ємом M-Bus для підключення до контролера та модема передачі даних.



Рисунок 2.32 – Зовнішній вигляд витратоміра виробництва AXIS Industries

						Арк.
						61
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	

2.6.3 Обґрунтування і вибір програмованого контролера

Програмований логічний контролер (ПЛК) - це електронний апарат, який використовується для автоматизації різноманітних технологічних процесів, включаючи керування конвеєрними системами, насосами на водопостачальних станціях, верстатами з числовим програмним управлінням і так далі. В основі його роботи лежить апаратно-програмна система реального часу, яка представляє собою комп'ютер, що використовується для запуску операційної системи реального часу та прикладних програм, які виконують необхідні алгоритми. Ця система відрізняється від звичайних комп'ютерів завдяки значній кількості введення-виведення для датчиків та виконавчих пристроїв. Крім того, вона може ефективно функціонувати в умовах, які для звичайних комп'ютерів вважаються небезпечними: широкий спектр температур, висока вологість, інтенсивні електромагнітні поля, вібрації. [18].

Програмований логічний контролер SIMATIC S7-300 був створений для розробки СА низького та середнього рівня складності [19]. Контролер S7-300 має модульну структуру, працює з природним охолодженням, надає можливість використовувати структури локального та розподіленого вводу-виводу, має широкі комунікаційні можливості, підтримує велику кількість функцій на рівні операційної системи, забезпечує високу зручність використання та обслуговування. Використання різних типів центральних процесорів з різною продуктивністю, а також наявність широкого спектру модулів введення-виведення для обробки дискретних і аналогових сигналів, функціональних модулів та комунікаційних процесорів, сприяє отриманню оптимальних рішень для розробки систем автоматичного управління в різних галузях промислового виробництва. Це збільшує ефективність використання контролерів SIMATIC S7-300. [19].

Програмований логічний контролер Modicon M172 призначений для автоматизації систем опалення, вентиляції, кондиціонування та насосної техніки і відзначається великою гнучкістю, здатністю до швидкого та ефективного налаштування та програмування. Користувач має в своєму розпорядженні

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		62

потужний центральний процесор та розширені можливості модульної системи управління в компактному форматі. Має функцію розширення системи. Виконується це способом додавання додаткових модулів. Надійний від перевіреного світового виробника Schneider Electric та дешевший відносно своїх



конкурентів таких як Siemens AG [20].

Рисунок 2.33 - Контролер S7-300 CPU312c



Рисунок 2.34 - Контролер TM172PDG42 серії Modicon M172 фірми Schneider Electric

Після порівняння характеристик, інтерфейсів та ціни вибираємо контролер TM172PDG42 серії Modicon M172 фірми Schneider Electric.

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		63

2.6.4 Обґрунтування і вибір перетворювача частоти

Перетворювач частоти — це електронний пристрій, який змінює частоту електричного струму або напруги. Він приймає вхідну синусоїдальну напругу певної частоти та амплітуди і перетворює її у вихідну імпульсну напругу змінної частоти та амплітуди, використовуючи метод ШІМ (широтно-імпульсна модуляція). Це дозволяє плавно змінювати частоту та амплітуду напруги, що подається на статорні обмотки асинхронного електродвигуна. Таким чином, можна досягти плавного регулювання швидкості обертання валу електродвигуна. [23].

Altivar 32 - це унікальна лінійка частотних перетворювачів, що мають вбудований логічний модуль. Частотні перетворювачі цієї серії мають потужність від 180 Вт до 15 кВт і можуть підключатися до електромережі з напругою від 200 до 500 Вольт. Пристрої з потужністю до 4 кВт мають вузьку конструкцію (ширина 45 або 60 мм), що дозволяє їх встановлювати поряд один з одним, що значно економить простір в шафі при розміщенні декількох частотних перетворювачів поряд. Перехідний момент електродвигуна в перетворювачах частоти Altivar 32 досягає 150-170% від його номінального значення.

Ці перетворювачі мають широкі функціональні можливості, які дозволяють їх використовувати для реалізації пристроїв з підвищеними вимогами до параметрів приводу. Це забезпечує високий рівень безпеки під час експлуатації. [24].

Перетворювачі частоти Hitachi з серії SJ700D, розроблені для управління трифазними асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором, відіграють роль важкоатлетів і лідерів за функціональністю серед інших перетворювачів частоти Hitachi. Ці векторні пристрої підходять для різних типів навантаження, включаючи середні та великі перевантаження, мають великий спектр параметрів, вбудований програмний контролер та виносний дисплей зі стандартним роз'ємом RJ45. [25].

Технічні характеристики перетворювачів частоти наведені у таблиці 2.9.

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.9 - Технічні характеристики перетворювачів частоти

Назва	Hitachi SJ700D-055HFEF3	Altivar 32 ATV32HU55N4
Потужність двигуна	5,5 кВт	5,5 кВт
Номінальний струм двигуна	15,2 А	14,3 А
Максимальний струм в перехідному режимі	22 А	21,5 А
Розсіювана потужність	241 Вт	233 Вт



Рисунок 2.35 - Перетворювач частоти Hitachi SJ700D-055HFEF3



Рисунок 2.36 - Перетворювач частоти Altivar 32 ATV32HU55N4

2.6.5 Вибір регулюючого клапана

Регулюючий клапан представляє собою варіант запірно-регулюючої арматури. Його використовують для трубопровідних систем різних типів: водяних або парових, що перевозять речовини.

Вибір клапану для регулювання водного потоку буде здійснюватися між односідельним фланцевим клапаном (КЗР) 25ч945п (рис.2.37) з електричним виконавчим механізмом і регулюючим клапаном Сальникова СА 27078 / 15нж29нж,15с29нж DN 15 - 50 PN 16 (рис.2.38). Технічні характеристики регулюючих клапанів наведені у табл. 2.10.

Таблиця 2.10 - Технічні характеристики регулюючих клапанів

Назва	(КЗР) 25ч945п	СА 27078
Робоче середовище	Рідкі й газоподібні середовища, нейтральні до матеріалів деталей, дотичних з середовищем	Рідкі і газоподібні середовища в системах регулювання і управління технологічними процесами.
Температура робочої середовища, ° С	Від -15 до +150	Від -15 до +110



Рисунок 2.37 - Регулюючий клапан (КЗР) 25ч945п



Рисунок 2.38 - Регулюючий клапан СА 27078

Ми вирішуємо обрати саме (КЗР) 25ч945п, так як в цій моделі температура робочого середовища вища.

2.7 Розробка програмного забезпечення

Для автоматизації теплопункту було обрано програмований логічний контролер TM172PDG42 серії Modicon M172 фірми Schneider Electric. Оскільки цей контролер відповідає стандарту IEC-61131, програмне забезпечення для ПЛК можна створювати у будь-якому середовищі розробки. Для розробки програми для нашого ПЛК ми скористаємося CODESYS та мовами програмування FBD/CFC і ST.

Алгоритм системи керування теплопунктом реалізовано за допомогою функціонального блоку ITP, який включає дві підсистеми, що реалізовані через функціональні блоки TemperatureControl (система регулювання температури теплоносія) та PressureControl (система регулювання тиску у системі).

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

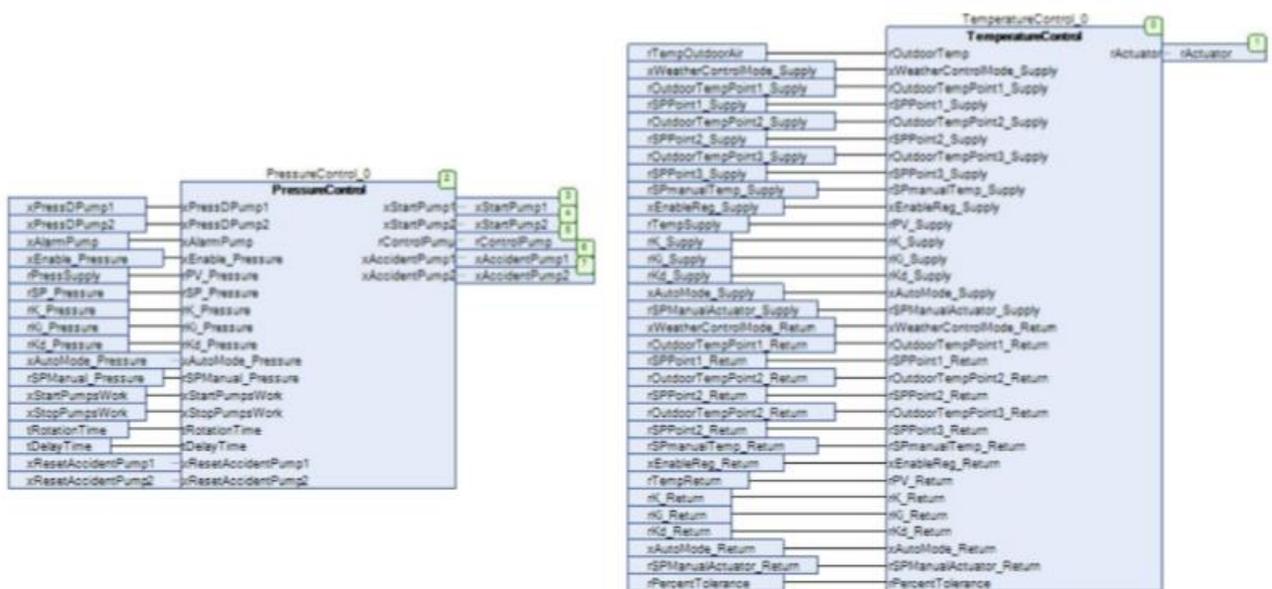


Рисунок 2.39 – Код функціонального блоку ITR на мові програмування FBD

З метою контролю температури теплоносія в системі опалення розроблено підсистему TemperatureControl, яка включає два ПІД-регулятори. Завданням ПІД-регулятора PID_REG_Supply є регулювання t теплоносія, що подається в систему опалення.

ПІД-регулятор PID_REG_Return регулює температуру теплоносія з системи опалення. Регулювання температури подачі здійснюється якщо температура зворотного теплоносія не перевищує встановлене значення на певний відсоток. У разі перевищення температура зворотного теплоносія стає пріоритетом для регулювання, і система автоматично переключається на контроль зворотного теплоносія.

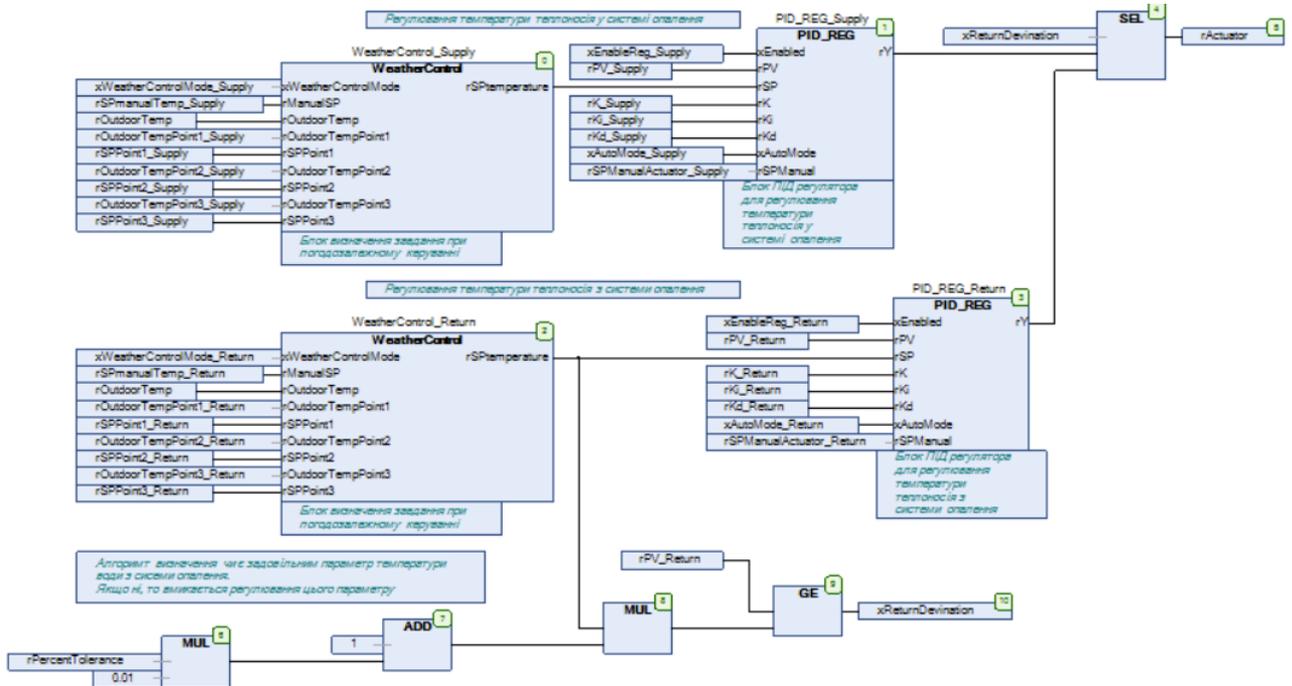


Рисунок 2.40 – Код функціонального блоку TemperatureControl на мові програмування FBD

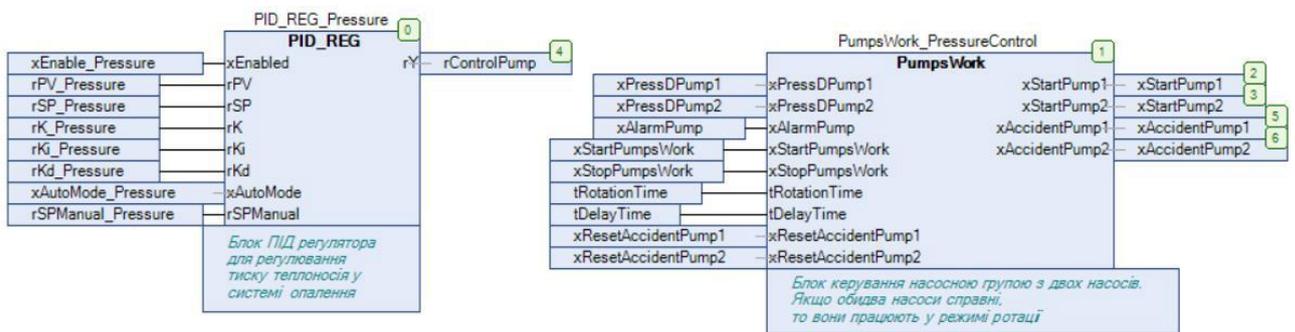


Рисунок 2.41 – Код функціонального блоку PressureControl на мові FBD

Лістинги кодів програм на мові ST приведені в додатках.

2.8 Розробка WEB-сервісу диспетчеризації та моніторингу стану тепловпункту

Створено інтерфейс для взаємодії людини та машини у формі WEB-сервісу, який контролює та відстежує стан теплового пункту адміністративної будівлі. WEB-сервіс розроблено з використанням HTML, CSS та Bootstrap3, а

також використовуються мови програмування PHP і JavaScript для реалізації динамічних сторінок та обробки даних з бази даних.

У створеному сервісі присутня головна сторінка, на якій відображається комплексна інформація про стан системи. Основна WEB-сторінка включає такі елементи:

- графік, що відображає динаміку зміни ключових параметрів теплового пункту: температура та тиск теплоносія, температура зовнішнього середовища. Також передбачено можливість зміни режиму відображення параметрів;
- таблиця, що містить детальну інформацію про стан системи, включно з сигналізацією;
- блок для ручного введення даних в систему, який включає вибір режиму управління, включення/відключення системи та інші опції.

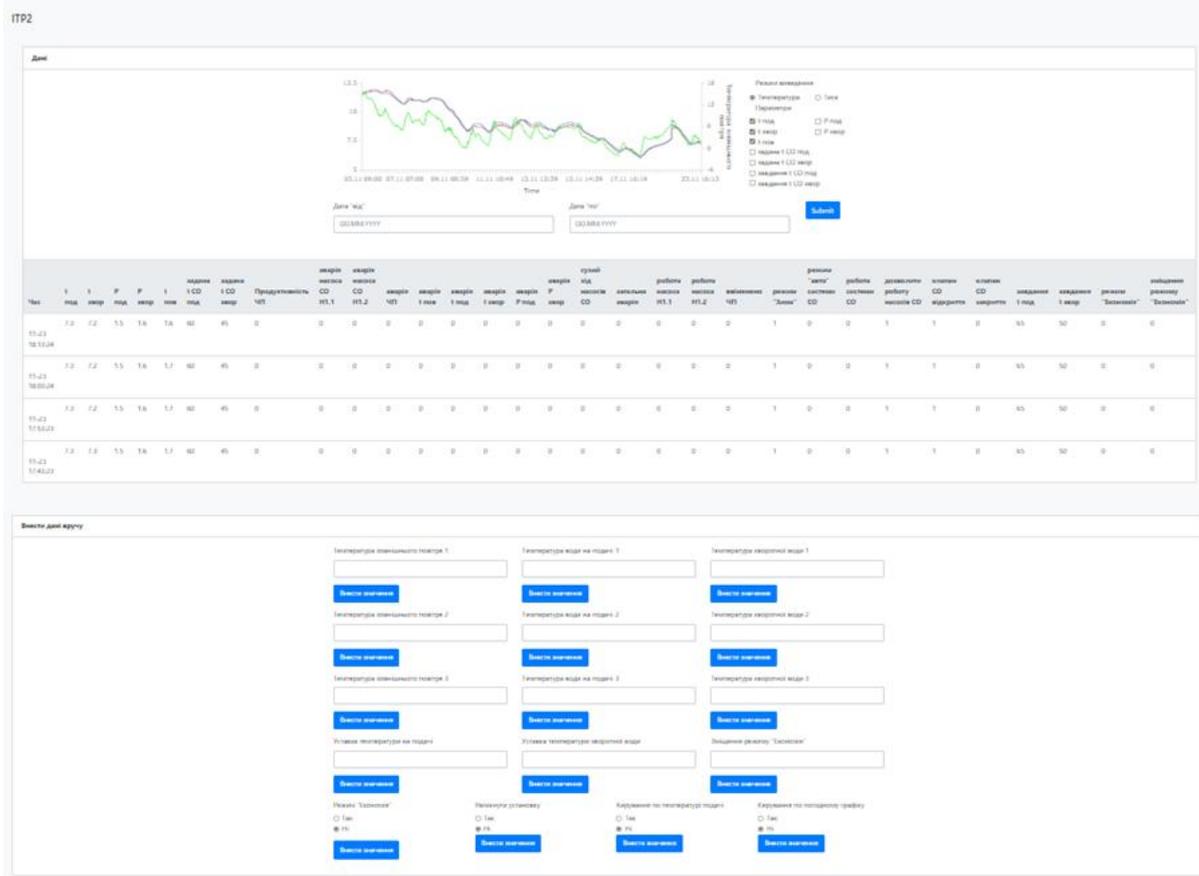


Рисунок 2.42 – Вигляд головної сторінки WEB-сервісу

На рисунку 2.43 представлено графік зміни технологічних параметрів теплового пункту, на якому відображено коливання значень температури теплоносія, що надходить до системи опалення, температури теплоносія, що виходить з системи опалення, та температури зовнішнього повітря. Для комфорту користувача, вісь температури зовнішнього повітря розташована лівише графіка.

Поряд з графіком розміщено два елементи типу radiobutton, які дозволяють керувати зовнішнім виглядом графіка. Система пропонує два режими відображення даних: режим відображення температури та режим відображення тиску. У кожному режимі можна обрати, які параметри показувати, а які приховувати, використовуючи елементи типу checkbox.



Рисунок 2.43 – Вигляд блоку з графіком зміни параметрів у теплопункті адміністративного корпусу

Під графіком розташовано два елементи dataricker, які дозволяють вибрати період часу для відображення інформації, перетворюючи графік в історичний тренд. Тренд в реальному часі, який є ключовим елементом інтерфейсу людина-машина, не зображено через велику інерційність системи. Інерційність робить використання цього тренду непрактичним з погляду використання ресурсів.

В розробленому сервісі передбачено різні рівні доступу для користувачів. Система включає два типи користувачів. Перший - оператор - користувач, який має можливість переглядати дані та вносити зміни в систему, вручну вводити температурні параметри, змінювати режим роботи системи. Другий - супервізор, який має доступ тільки до перегляду інформації на сторінці, але не може її змінювати.

Для використання системи диспетчеризації та моніторингу теплового пункту адміністративної будівлі необхідно мати логін та пароль, які запитуються при завантаженні сторінки.

Висновки до розділу

1. Проведено розрахунок ПІ-регуляторів та синтез системи автоматичного регулювання (САР), включаючи розрахунок вимірювальних та виконавчих каналів.

2. Для синтезу САР було використано три методи розрахунку ПІ-регуляторів: метод розширених амплітудо-фазових характеристик, метод часткової компенсації та метод Ротача. Аналіз САР з різними регуляторами проводився за допомогою прямих, інтегральних та частотних показників якості.

3. Після розрахунку вимірювального каналу САР, який включав канал вимірювання температури зворотного теплоносія з системи опалення, було встановлено, що обрані прилади відповідають вимогам до точності вимірювання параметру температури, не перевищуючи похибку в 0.8 °С.

4. Проведено розрахунок виконавчого каналу одноконтурної САР температури зворотного теплоносія з системи опалення.

5. Виконано вибір технічного забезпечення системи автоматизованого керування.

6. Розроблено програмне забезпечення для системи автоматичного керування. Алгоритм системи керування тепловим пунктом реалізовано за

					<i>КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ</i>	Арк.
						73
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

допомогою функціонального блоку ІТР, який включає дві підсистеми: система регулювання температури теплоносія та система регулювання тиску у системі.

7. Створено інтерфейс для взаємодії людини та машини у формі WEB-сервісу, який контролює та відстежує стан теплового пункту адміністративної будівлі.

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Приведена загальна характеристика теплових пунктів та технологічних процесів. Теплові пункти - це спеціалізовані приміщення, що використовуються для управління місцевими системами теплопостачання. В ТП здійснюється передача теплової енергії від зовнішніх теплових мереж до внутрішніх (систем опалення, систем вентиляції та ГВП).

2. Виконано огляд видів існуючих теплових пунктів для будівель: центральний тепловий пункт; індивідуальний тепловий пункт та блочний тепловий пункт.

3. Проведено аналіз призначення теплових пунктів та недоліків систем розподілу тепла.

4. Виконано аналіз об'єкта керування теплого пункту. Сукупність технічних пристроїв, що забезпечують реалізацію різних способів і схем приєднання тепловикористовуючих установок, утворює тепловий пункт.

5. Проаналізовано існуючі автоматизовані системи керування технологічними процесами теплого пункту. ТП виконує прийом теплоносія, його перетворення, розподіл між споживачами, здійснює облік теплоспоживання, автоматично забезпечуючи при цьому : необхідні параметри теплоносія в системах опалення та вентиляції; температуру води в системах ГВС; координація та стабілізація гідравлічних режимів у ТМ та системах теплоспоживання.

6. Проведено розрахунок ПІ-регуляторів та синтез системи автоматичного регулювання (САР), розрахунок вимірюваних каналів системи автоматичного регулювання, розрахунок виконавчих каналів системи автоматичного регулювання.

					<i>КНУ.КРБ.151.24.05.00.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ВИСНОВКИ	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Разробив</i>	<i>Пашковський</i>						75	2
<i>Перевірів</i>	<i>Тиханський М.П.</i>							
<i>Н.контроль</i>	<i>Маринич І.А.</i>							
<i>Затвердив</i>								
						<i>КНУ АКІТ-20</i>		

7. Для синтезу САР було використано три методи розрахунку ПІ-регуляторів: метод розширених амплітудо-фазових характеристик, метод часткової компенсації та метод Ротача. Аналіз САР з різними регуляторами проводився за допомогою прямих, інтегральних та частотних показників якості.

8. Після розрахунку вимірювального каналу САР, який включав канал вимірювання температури зворотного теплоносія з системи опалення, було встановлено, що обрані прилади відповідають вимогам до точності вимірювання параметру температури, не перевищуючи похибку в 0.8 °С.

9. Проведено розрахунок виконавчого каналу одноконтурної САР температури зворотного теплоносія з системи опалення.

10. Виконано вибір технічного забезпечення системи автоматизованого керування.

11. Розроблено програмне забезпечення для системи автоматичного керування. Алгоритм системи керування тепловим пунктом реалізовано за допомогою функціонального блоку ІТР, який включає дві підсистеми: система регулювання температури теплоносія та система регулювання тиску у системі.

12. Створено інтерфейс для взаємодії людини та машини у формі WEB-сервісу, який контролює та відстежує стан теплового пункту адміністративної будівлі.

					КНУ.КРБ.151.24.05.00.ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. District heating substation. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/District_heating_substation.

2. Автоматизація та диспетчеризація вентиляційних установок. URL: <https://intelprom.com.ua/ua/project-details/автоматизація-вентиляційних-установ/>.

3. Теплові пункти та їх пристрій. Принципова схема індивідуального теплового пункту. URL: <https://peskiadmin.ru/uk/teplovye-punkty-i-ih-ustroistvo-principialnaya-shema-individualnogo-teplovogo-punkta.html>.

4. Що собою являють залежна і незалежна системи опалення. РОБУВАТИ. URL: <https://pobuduvati.ru/zamiskij-budinok/trubi/6690-shho-soboj-javlajut-zalezhna-i-nezalezhna.html>.

5. Приєднання систем опалення до теплової мережі. UADEPE. URL: <https://uadepe.ru/interier/36634-priednannja-sistem-opalennja-do-teplovoi-merezhi.html>.

6. Індивідуальний тепловий пункт для багатоквартирного будинку: схеми та рішення. AW Therm. URL: <https://aw-therm.com.ua/individualnij-teplovij-punkt-shemi-ta-rishennya/>.

7. Тепловий пункт. ZNAIMO. URL: <https://znaimo.com.ua/Тепловий%20пункт>.

8. Пирков В.В. Сучасні теплові пункти. Автоматика і регулювання. К.: ДП «Такі справи», 2008. 252 с.: ил.

9. ДСТУ Б А.2.4-1-2009. Умовні зображення і позначки трубопроводів та їх елементів. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.

10. ДСТУ Б А.2.4-3-95 (ГОСТ 21.408-93). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.

					КНУ.КРБ.151.24.05.00.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разробив</i>		<i>Пашковський</i>			<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Тиханський М.П.</i>				77	2
<i>Н.контроль</i>		<i>Маринич І.А.</i>			СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		
<i>Затвердив</i>					<i>КНУ АКІТ-20</i>		

11. Майба Н.В. Індивідуальні теплові пункти як метод модернізації мереж централізованого теплопостачання *Будівництво та архітектура/ Теплогазопостачання і вентиляція*. КНУ України «Київський політехнічний інститут».

12. Кочубей, Л.В. Автоматизація систем теплопостачання: підручник. Київ: Либідь, 2009.

13. Бондаренко, С.М. Теплопостачання: основи проектування і експлуатації систем. Львів: Львівська політехніка, 2011.

14. Лобанов, А.М. Автоматизація теплових процесів і установок: навч посіб. Харків: ХНАДУ, 2014.

15. Тарасенко, Ю.В. Сучасні системи автоматизації теплових пунктів: аналіз та перспективи розвитку, *Науковий вісник НУБіП України*, 2017.

16. Мельник, П.І. Застосування інтелектуальних систем керування в теплових пунктах *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, 2016.

17. Основні типи електричних схем. МХС.LAB. URL: <http://mcs.lab-101.org.ua/Tema4.htm>.

18. Programmable logic controller. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller.

19. Siemens S7-300 Программируемый контроллер. SIEMENS. URL: <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-300.htm>.

20. Контролер M172 продуктив. з дисплеєм 42I/O Eth 2RS485 2SSR з ізоляцією. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/TM172PDG42SI/>.

21. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовних приладів і засобів автоматизації в схемах.

22. ДСТУ Б А.2.4-10-2009. Правила виконання специфікації обладнання, виробів і матеріалів.

23. Frequency changer. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency_changer.

					КНУ.КРБ.151.24.05.00.ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

24. Altivar 32. SE.COM. URL: <https://www.se.com/ww/en/product/ATV32HU55N4/variable-speed-drive-atv32---5.5-kw---400-v---3-phase---with-heat-sink>.

25. Перетворювачі частоти hitachi. ELTECH.KIEV.UA. URL: <https://eltech.kiev.ua/g2338404-sj700d-vektornye-075>.

26. QalcoMet Heat 1. Інвест Премекс. URL: https://axiomametering.net.ua/ru/heat_metering_device/qalcomet-heat-1/.

27. Моркун Н.В., Маринич І.А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2019. 50 с.

28. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).

29. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

30. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація)

31. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення Київ, Держстандарт України, 1998. 27 с. (Інформація та документація).

					КНУ.КРБ.151.24.05.00.ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		