

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеню вищої освіти – магістр
за освітньо-професійною програмою
«Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті»
зі спеціальності
*174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка*

тема роботи:

***«Система автоматизованого керування параметрами
теплоносія теплового насосу (повітря-вода)»***

Виконав ст. гр. ЗАКІТР-23м	_____	Д.В. Староцу́к
Керівник	_____	О.І. Савицький
Нормоконтроль	_____	Маринич І. А.
Завідувач кафедри	_____	Рубан С. А.

Кривий Ріг – 2024

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Магістр

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології п
робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри: к.т.н. Рубан С.А.

« 5 » липня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студентові групи ЗАКІТР-23м Старощуку Дмитру Васильовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Система автоматизованого керування параметрами теплоносія теплового насосу (повітря-вода)»

затверджено наказом по університету № 628с від 09.07.2024 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 01.12.2024 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 95с.,
додатки, презентація у Microsoft PowerPoint (17 слайдів) в електронному
та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-3

доц. Савицький О.І.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>10.07.24</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>15.07.24</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>18.08.24</i>
4	<i>Розділ 3</i>	<i>19.09.24</i>
5	<i>Висновки</i>	<i>15.10.24</i>
6	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>20.11.24</i>
7	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>28.11.24</i>
8	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>01.12.24</i>

6. Дата видачі завдання: 28.06.2024р.

Керівник _____ / Савицький О.І./

7. Запевнення: Я, Старошук Дмитро Васильович, 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.

Здобувач _____ / Старошук Д.В./

АНОТАЦІЯ

Старощук Д.В. Система автоматизованого керування параметрами теплоносія теплового насосу (повітря-вода)

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеню вищої освіти магістр за освітньо-професійною програмою «Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті» зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології та робототехніка– Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом дослідження є система керування параметрами опалення приміщень, що базується на тепловому насосі «повітря-вода» з використанням шахтного повітря.

У першому розділі проведено аналіз методів підвищення ефективності процесу, описано технологічні особливості об'єкта дослідження та розглянуто декілька систем, які використовують шахтне повітря для опалення за допомогою теплових насосів «повітря-вода», із подальшим їх аналізом. Сформульовано вимоги до автоматизованої системи керування параметрами теплоносія.

У другому розділі здійснено ідентифікацію математичної моделі об'єкта та синтезовано керування процесом. Представлено структурну, функціональну та алгоритмічну схеми системи, а також описано математичні моделі теплового балансу опалювальних приміщень, процесів використання шахтного повітря та елементів системи.

У третьому розділі розроблено модель автоматизованої системи керування параметрами теплоносія та програмне забезпечення для її контролю і керування.

Ключові слова:

АВТОМАТИЗАЦІЯ, КЕРУВАННЯ, ОПАЛЕННЯ, ТИСК, ТЕПЛОВИЙ НАСОС, ТЕПЛОНОСІЙ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, SCHNEIDER ELECTRIC, ПЛК M340.

ANNOTATION

Staroshchuk D.V. Automated Control System for Heat Carrier Parameters of a Heat Pump (Air-to-Water)

Graduation master`s work for obtaining an educational degree «Master» for the educational and professional program « Cyber-physical systems in industry, business and transport » in specialty 174 – «Automation, computer-integrated technologies, and robotics». – Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2024

The research object is a control system for room heating parameters based on an air-water heat pump utilizing mine air.

The first chapter analyzes methods for improving process efficiency, describes the technological process of the object, and considers several systems using mine air for heating via air-water heat pumps, followed by their analysis. The requirements for an automatic coolant parameter control system are formulated.

In the second chapter, the mathematical model of the object was identified, and process control synthesis was performed. Structural, functional, and algorithmic schemes of the system are presented, along with a mathematical description of the heat balance of heated premises, the processes of mine air utilization by heat pumps, and the mathematical description of system elements.

The third chapter provides the developed model of the automatic heat carrier parameter control system and software for its management and monitoring.

Keywords:

AUTOMATION, CONTROL, HEATING, PRESSURE, HEAT PUMP, HEAT CARRIER, MINE VENTILATION, FREQUENCY CONVERTER, SCHNEIDER ELECTRIC, PLC M340.

ВСТУП

Сьогодні використання відновлюваних джерел енергії є одним із пріоритетних напрямків енергетики. Такі джерела вважаються важливим доповненням до традиційних енергоресурсів.

Україна споживає значні обсяги первинної енергії, але стрімке зростання цін на викопне паливо та загострення екологічних проблем, спричинених забрудненням від традиційних енергетичних установок, вимагають нових підходів. Використання екологічно чистої та доступної відновлюваної енергії, як-от сонячного випромінювання, вітру та теплових насосів, стає все актуальнішим. За прогнозами, протягом наступних 10-15 років такі джерела займуть помітне місце у світовому енергетичному балансі, заміщуючи викопне паливо та сприяючи покращенню стану довкілля.

Розвиток теплових насосів набуває високих темпів. Вони є перспективними як екологічно чисті та енергоефективні джерела тепла для децентралізованих споживачів. Установлення теплового насоса з високим коефіцієнтом ефективності та оптимальним алгоритмом керування знижує період окупності системи до п'яти років, навіть за умов високих витрат на придбання та монтаж. Джерелами енергії для теплових насосів є низькопотенційна енергія: тепло ґрунту, ґрунтових вод, відпрацьована вода централізованих систем опалення. Їх можна ефективно використовувати для часткової заміни котелень на органічному паливі або у поєднанні зі скидним, геотермальним чи сонячним теплом.

Отже, мета цього проєкту полягає в аналізі можливостей застосування теплових насосів у промислових умовах на прикладі шахти. Джерелом низькопотенційного тепла виступає значний обсяг повітря, що видаляється вентиляційною системою шахти. У рамках проєкту передбачається вибір

оптимального теплового насоса, розрахунок його параметрів та розробка системи автоматизованого управління параметрами теплоносія.

РОЗДІЛІ

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ

1.1 Загальний опис теплових насосів

Ці насоси являють собою технологічні, екологічні та економічні апаратні системи, які використовуються для гарячого водопостачання, опалення, охолодження повітря вентиляції приміщень. Працюють вони за принципом трансформації тепла з низько потенційного джерела (грунтових вод, озер, морів, тепла земних надр) у теплоносій з вищою температурою. Ідея теплових насосів виникла давно - понад сто п'ятдесят років тому, та лише зараз їх вартість, надійність та якість досягли рівня, прийнятного для широкого використання. Інтерес до теплових насосів обумовлений зростанням цін на енергоресурси та обмеженням використання не екологічних пристроїв. Теплові насоси широко впроваджуються як у країнах Європи, так і других частинах світу. У Швеції їх встановлено більше 500 000, а у Фінляндії кількість продажів постійно зростає. При чому там використовується тепло Балтійського моря (+4-6°C) для теплових насосів. Енергокомітет світу прогнозує, що до 2025 року ТН стануть основою проектів теплопостачання будинків у країнах Європи і Америки. Для роботи ТН необхідна енергія для приводів компресорів та додаткове джерело тепла. Повітря є одним із найбільш дешевих і доступних варіантів низькопотенційного тепла, але через низькі їх початкові температури, теплоємність повітря обмежене в ефективності для великих установок. У цьому проекті розглядається варіант використання шахтного вентиляційного повітря як джерела низькопотенційного тепла.

Переваги теплових насосів:

- Висока ефективність використання електроенергії у порівнянні з традиційними нагрівачами.

- Екологічність: відсутність викидів шкідливих речовин.
- Використання озонобезпечного фреону.
- Надійна автоматизована робота без необхідності постійного нагляду.
- Низькі експлуатаційні витрати.
- Тривалий термін експлуатації без капітального ремонту.
- Компактність і невелика вага.
- Різноманітність джерел тепла: ґрунт, вода, повітря.

Сфери застосування:

- Опалення та гаряче водопостачання житлових і виробничих приміщень.

- Кондиціонування та охолодження приміщень.

- Видалення зайвої вологості, що особливо важливо для зберігання продуктів, зерна, деревини тощо.

В Україні основним виробником теплових насосів є компанія «ВДЕ» (Відновлювані Джерела Енергії), яка реалізувала понад 124 проекти, зокрема в промисловості, сільському господарстві та соціальній сфері. Загальна теплова потужність цих установок становить близько 3,8 МВт.

1.2 Принцип роботи теплового насосу

Робота теплового насоса базується на термодинамічних циклах — процесах, у яких параметри робочого тіла (тиск, температура, об'єм, ентропія) повертаються до початкового стану.

Термодинамічні цикли застосовуються у теплових машинах для перетворення тепла в механічну роботу, а також для охолодження чи нагрівання у зворотному циклі.

Тепловий насос складається з робочого тіла, що проходить через цикл між нагрівачем і холодильником. Основні контури теплового насоса наведено на рисунку 1.1.

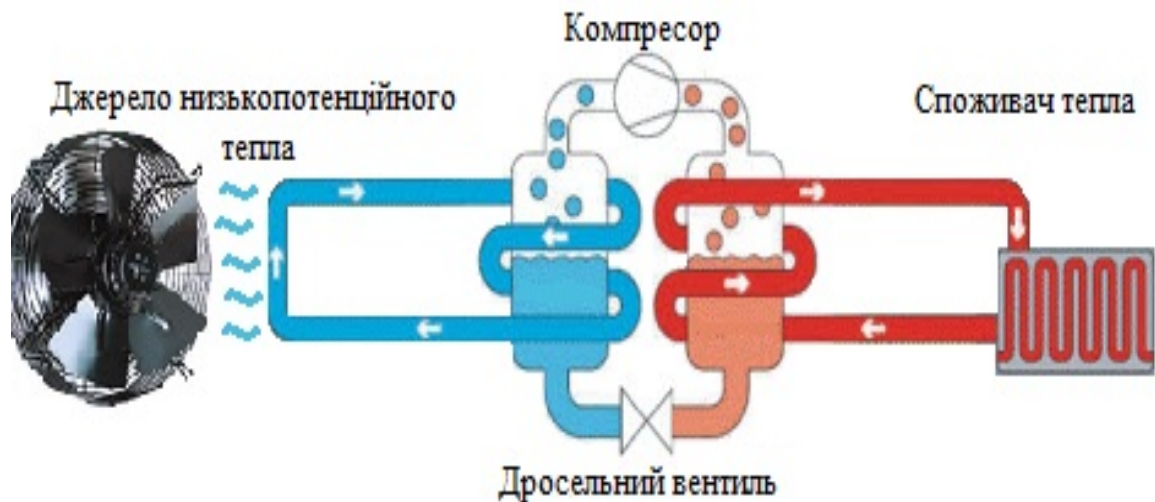


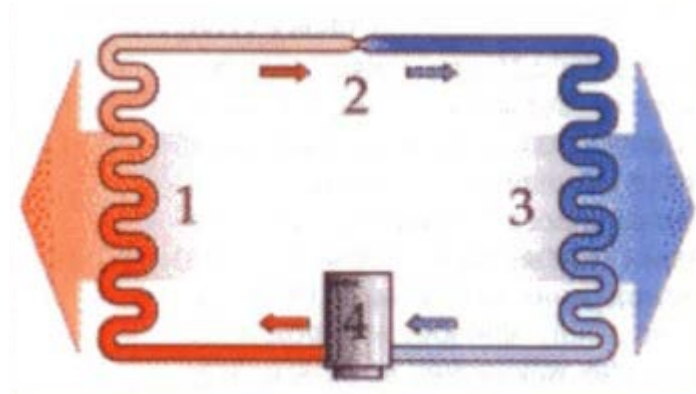
Рисунок 1.1 –Контурна схема теплового насосу

Тепловий насос (рис. 1.2) складається з трьох основних контурів: земляного, внутрішнього та опалювального.

1. Земляний контур (може бути повітряним, водним або ґрунтовим) забезпечує відбір низькопотенційного тепла з джерела. У різних моделях теплових насосів температура в цьому контурі зазвичай становить від -13 до $+5$ $^{\circ}\text{C}$.

2. Внутрішній контур виконує функцію "перекачування" тепла, тобто його підвищення до рівня, придатного для використання. Завдяки холодоагенту (робочому тілу) тепла енергія перетворюється, підвищуючи температуру до необхідного рівня.

3. Опалювальний контур приймає тепло від внутрішнього контуру та забезпечує температуру $55\text{--}65$ $^{\circ}\text{C}$, що використовується для обігріву приміщень або гарячого водопостачання.



1 – конденсатор; 2 – дросельний вентиль; 3 – випарник; 4 – компресор

Рисунок 1.2 – Схема складу теплового насосу

Крім того, у внутрішньому контурі є:

- Терморегулятор, який є керуючим пристроєм;
- Холодоагент, що циркулює в системі (газ із певними фізичними характеристиками).

Холодоагент під тиском через дросельний вентиль поступає у випарник, де за рахунок різкого зменшення тиску відбувається випаровування. При цьому холодоагент віднімає тепло у внутрішніх стінок випарника, а випарник, в свою чергу, відбирає тепло в земляного контуру, за рахунок чого відбувається його постійне охолодження. Компресор засмоктує з випарника холодоагент, стискає його, за рахунок чого температура холодоагенту підвищується й виштовхує в конденсатор. Крім того, в конденсаторі нагрітий у результаті стискання холодоагент віддає отримане тепло (температура порядку 85-125 °С) в опалювальний контур і остаточно переходить в рідкий стан. Процес повторюється знову. При досягненні необхідної температури терморегулятор розмикає електричний ланцюг, і компресор зупиняється. При зниженні температури в опалювальному контурі терморегулятор знову включає компресор. Холодоагент в теплових насосах виконує зворотний цикл Карно.

1.3 Характеристика технологічного процесу вентиляції шахти як джерела низько потенційного тепла

Система вентиляції виконує важливу роль у забезпеченні чистоти, температури, вологості та рухливості повітря, які регулюються відповідно до санітарних норм. Ці вимоги враховують допустимі концентрації шкідливих речовин (гази, пари, пил), а також параметри повітря, необхідні для комфортного самопочуття людей та специфіки технологічного процесу [1].

Характеристика шахтного повітря подана у Таблиці 1.1, що дозволяє оцінити потенціал його використання як джерела низькопотенційного тепла.

У виробничих приміщеннях параметри повітря, такі як температура і вологість, мають особливе значення. Вони визначаються як вимогами технологічного процесу, так і умовами зберігання матеріалів, обладнання чи будівельних конструкцій. Наприклад, у фондосховищах, архівах і складах підтримання оптимальних параметрів повітря є критично важливим для збереження цінних предметів.

Зовнішні забруднення, такі як промислові викиди чи вихлопні гази транспорту, можуть потрапляти у приміщення разом із свіжим повітрям. Виведення таких шкідливих речовин є одним із завдань вентиляції.

Зменшення виділення тепла, вологи та інших шкідливих речовин у приміщеннях сприяє підвищенню ефективності роботи вентиляційної системи.

Основними характеристиками вентиляції є об'єм і кратність повітрообміну:

- Об'єм вентиляції визначає кількість повітря (у кубічних метрах), що надходить до приміщення за годину. Мінімальна норма – 30 куб. м/год [2].
- Кратність повітрообміну показує, скільки разів за годину повітря в приміщенні повністю змінюється. При кратності менше 0,5 на годину виникає відчуття задухи.

Таблиця 1.1 – Параметри повітря вентиляції шахт Кривбасу

Номер позиції	Наименование выработки	Горизонт	Площадь поперечного сечения, м ²	Скорость движения воздуха, м/с	Температура, °С			Влажность, %			Давление, мм.рт.ст		
					август	ноябрь	февраль	август	ноябрь	февраль	август	ноябрь	февраль
Шахта «Октябрьская» - Кривбасс													
1	Устье подающего ствола	-2	50	5,0	26,1/ 23,9	11,5/9 ,4	0	78	78	81	750	755	752
2	Околоствольный двор	-1115	28	1,2	25,5/ 23,6	18,2/1 6,0	12,2/ 10,5	84	90	85	860	862	865
3	Квершлаг откаточный	-1115	18	1,6	20,8/ 19,2	19,0/1 7,5	16,2/ 14,2	91	91	81	860	812	866
4	Очистной блок 145 оси	-1180	4	0,65	21,3/ 20,3	21,5/2 0,0	20,0/ 18,4	92	91	88	870	870	870
5	Околоствольный двор вентиляционного ствола	-1115	20	5,0	21,1/ 20,0	19,0/1 8,0	20,2/ 19,2	100	91	91	850	850	850
6	Вентиляционный ствол	-693	19,5	7,5	19,5/ 19,1	17,0/1 6,8	16,2/ 16,2	100	98	100	800	800	815
7	Канал ГВУ	-10	19,0	7,8	18,0/ 18,0	14,1/1 3,2	14,0/ 14,0	100	100	100	745	740	755
7	Канал ГВУ	-10	19,0	8,2	15,0/ 15,0	14,1/1 3,2	8,0/ 7,8	100	100	100	730	730	747
Шахта им. Ленина – Кривбасс													
1	Устье подающего ствола	-2	50	4,5	32,1/ 21,0	11,8/9 ,2	0/0	40	68	100	750	760	749
2	Околоствольный двор	-1350	12,3	1,6	26,2/ 20,7	19,8/1 7,8	20,0/ 17,0	71	73	71	870	880	880
3	Квершлаг откаточный	-1350	10,0	3,7	20,8/ 20,0	19,8/1 7,8	20,0/ 17,0	91	83	74	871	880	890
4	Очистной блок 95 оси	-1350	9,8	0,63	23,0/ 22,0	20,4/1 8,8	20,0/ 17,5	92	91	80	880	880	890
5	Околоствольный двор вентиляционного ствола	-1190	19,5	7,5	19,8/ 19,8	19,0/1 8,0	17,8/ 18,0	98	91	95	880	880	880
6	Вентиляционный ствол	-790	19,5	8,0	19,8/ 18,0	17,0/1 6,8	14,0/ 13,8	100	91	96	815	820	825
7	Канал ГВУ	-10	19,0	8,2	15,0/ 15,0	14,1/1 3,2	8,0/ 7,8	100	100	98	742	744	748

Головне завдання вентиляції – забезпечення необхідного повітрообміну в заданих метеорологічних умовах. Це досягається шляхом видалення забрудненого чи нагрітого повітря і подачі свіжого повітря у приміщення [3].

1.4 Опис теплової насосної установки як об'єкта керування

У даній роботі для прикладу розглядається декілька теплових насосних установок , одна з них - DS 6500 виробництва компанії Waterkotte з тепловою потужністю 500 кВт.

Теплові насоси серії DS 6500 (рис. 1.3) є одними з найпотужніших на ринку та здатні забезпечувати потужність до 0,5 МВт. Завдяки своїм високим технічним характеристикам ці установки знаходять застосування в масштабних опалювальних системах, які обслуговують:

- громадські будівлі;
- торговельні центри;
- великі виробничі приміщення.

Такі установки характеризуються надійністю, енергоефективністю та здатністю забезпечувати стабільний тепловий режим у великих об'єктах, що робить їх ключовими компонентами сучасних інженерних систем.



Рисунок 1.3 – Тепловий насос DS 6500

Специфіка:

- Потужність 164 кВт - 500 кВт
- Поршневі або гвинтові компресори
- Температура на виході до 65°C

У цій серії всі вузли розташовані в сучасному вкритому лаком сталевому рамному каркасі, що забезпечує зручність обслуговування. Вузол теплового насоса встановлений у покритій лаком (RAL 7035, світло-сірий) обертовій захисній рамі. Ця сталева рама служить для простого монтажу та доставки в будівлю. Усі вузли розташовані зручно для обслуговування і легко доступні. Трубні з'єднання повинні мати гнучку конструкцію для запобігання механічного шуму всередині пристрою.

Модуль теплового насоса:

В якості компресора використовується високоефективний герметичний поршневий компресор, який еластично закріплений на внутрішньому шасі, опційно можливе двоступеневе регулювання потужності. Використовуються тільки агрегати з великим терміном служби, які не вимагають технічного обслуговування. Пластинчасті теплообмінники з високоякісної сталі в проточній схемі виконані відповідно до найсучаснішого рівня технічного розвитку та адаптовані для використання нових негорючих хладагентів. Згідно з результатами останніх промислових досліджень це в поєднанні зі складноефірним маслом (здатне до біологічного розщеплення) забезпечує оптимальні умови змащення, низькі втрати на тертя і тим самим максимальний термін служби компресора. Холодильний цикл реалізований відповідно до правил техніки безпеки. Контроль безпеки на стороні входу допомогою датчика тиску в випарнику

Електричне обладнання:

Електричне обладнання, що складається з розподільної коробки з листової сталі, з'єднаної кабелем з компресором і з запобіжними пристроями теплового

насоса. Всередині встановлена система управління тепловим насосом, включаючи електричне обладнання для постачання та управління насосом для відбору тепла від джерела тепла і насосом системи опалення. Крім того, в розподільній коробці знаходяться інтерфейс RS 232 для обслуговуючої ЕВМ, підключення до телефонної лінії, а також головне підключення RS 485 для спеціальних функцій, наприклад, для зовнішнього управління і т. Д. Електрична система управління виконана у вигляді релейного плати. Релейна плата -це внутрішній термінал для підключення всіх датчиків, всіх пристроїв цифрового опитування і всіх релейних виходів (реле для насоса-джерела, насоса-опалення, насоса-теплої води), включаючи підключення компресора. Крім того, до пристрою за допомогою плоских штекерів підключені синхронізований блок живлення 24 В постійного струму і регулятор. Потужність реле: АС 1х 230 В, 5 А. Блокуючі вимикачі: пресостат низького і високого тиску. Контроль за допомогою температурних датчиків, 3 на стороні входу, 3 на стороні виходу. Серійно встановлені: контроль послідовності фаз за допомогою реле.

Тепловий насос VERSATI класу «повітря-вода».

Компанія GREE представляє систему VERSATI, здатну не тільки круглий рік підтримувати в приміщенні комфортну температуру, але і нагрівати воду для побутових потреб. Використання передових технологій GREE дозволило створити високоефективну, економічну в використанні, безпечну для навколишнього середовища і при цьому дуже компактну багатофункціональну систему.

Серце системи VERSATI – тепловий насос «повітря – вода » (рис. 1.4). Вода, охолоджена або підігріта з його допомогою до потрібної температури, може використовуватися в гідравлічних системах холодо- і теплопостачання, гарячого водопостачання.



Рисунок 1.4 – Тепловий насос VERSATI

З системою VERSATI пропонується використовувати фенкойли різного типу і потужності, «теплі підлоги», можливо вбудувати в неї накопичувальний водяний бак, підключити сонячні батареї.

В системі VERSATI (рис. 1.5) використовується озонобезпечний фреон R410A. Робочий діапазон температури зовнішнього повітря: від -20 до $+48$ °C. Пропонуються моделі продуктивністю від 6 до 15 кВт.

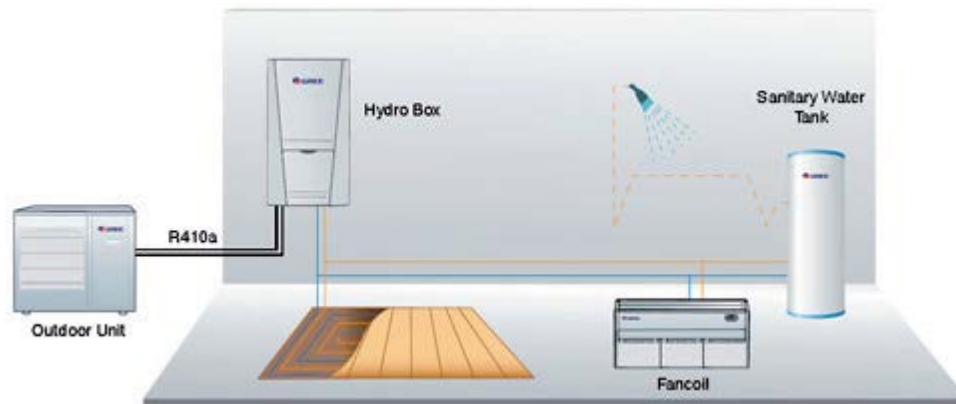


Рисунок 1.5 – Система VERSATI

Найбільше підходять для умов вентиляційних шахт теплові насоси OSTOPUS

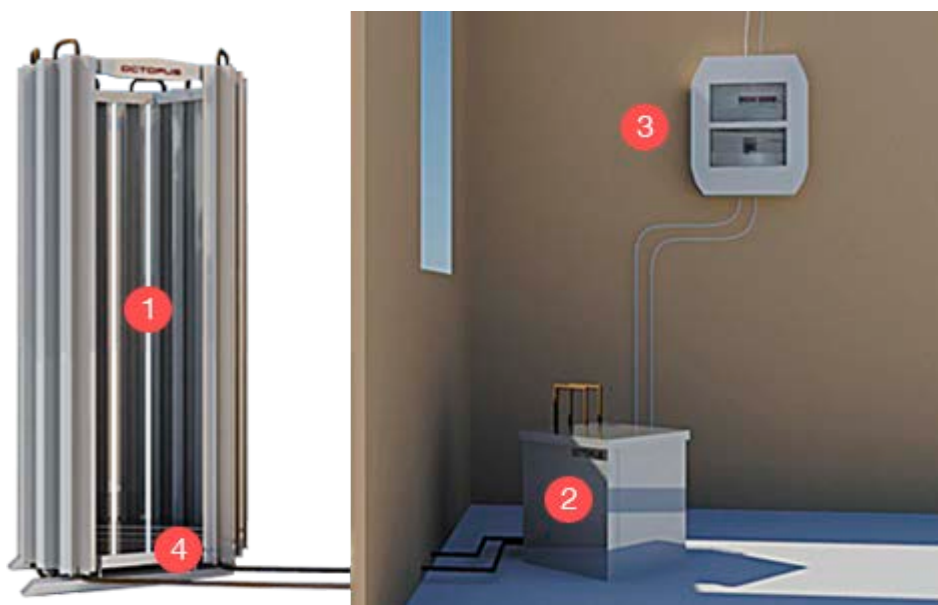
Компанія Ostopus Energy AB виробляє теплові насоси OSTOPUS з 1980 року. Головною ідеологією Ostopus стало створення надекономічних систем

опалення, використовуючи альтернативні джерела енергії, які максимально зберігають природні ресурси і не мають негативного впливу на навколишнє середовище.

Компанія Ostopus Energy AB стала членом Європейської Асоціації Виробників Теплових насосів, що підтвердило відповідність теплових насосів OSTOPUS найвищим стандартам якості Європейського союзу.

Офіційне представництво в Україні працює з 2008 року і успішно просуває енергозберігаючі проекти по установці теплових насосів OSTOPUS.

OSTOPUS (рис. 1.6) – створений за сучасними технологіями, що не має аналогів повітряно-водяний тепловий насос з пасивним випарником, не вимагає вентилятора (отже працює безшумно) і розмерзання випарника.



- 1 – Зовнішній блок; 2 – Внутрішній компресорно-конденсаторний блок;
3 – Блок управління і автоматики; 4 – Термо-регулюючий вентиль.

Рисунок 1.6 – Система OSTOPUS

Зовнішній блок цього насоса виконується без вентилятора і це є більш економічним вибором для умов уже існуючого потоку повітря, який здійснюється головними вентиляційними установками (ГВУ) шахти.

Для цих умов більше підходить новий тип насосу і його зовнішні блок, приклад якого показано на рис.1.7



Рисунок 1.7 – Зовнішній блок нового теплового насосу компанії Ostorpus Energy AB

Ці теплові насоси, як найбільш доцільні, бо не мають вентилятора, і будуть розглянуті у даному проекті.

Для покриття вихідного отвору і щоб забезпечити вихідну потужність до 500 кВт, треба установити 16 зовнішніх блоків і відповідно таку ж кількість внутрішніх компресорно - конденсаторних блоків.

При цьому виникає потреба по здійсненню узгодженого управління цими насосам з урахуванням змінних в часі умов до параметрів гарячої води на виході теплового насосу.

Сучасні методи моделювання процесів, як окремих механізмів та цілих індустріальних комплексів, почали використовувати технологію цифрових двійників, наприклад компанія AVEVA, яка спеціалізується на розробці систем автоматизації верхнього рівня, почала займатися цифровими двійниками цілих підприємств. В неї є і напрямок цифрових двійників альтернативних джерел

енергії, таких як сонячні панелі, теплові насоси, вітрогенератори та їх комбінованого використання [21]. При цьому застосовується штучний інтелект для збору і упорядкування всієї накопиченої інформації по цим об'єктам за великий проміжок часу. Це потім допомагає більш ефективно використовувати активи підприємства, продовжувати їх життєвий цикл.

1.6 Вимоги до системи

Призначення системи

Призначення системи, що проектується – забезпечення промислових і житлових споруд горячим водопостачанням за допомогою альтернативних джерел енергії – теплонасосних установок.

Через специфіку данної системи, а зокрема – обраного джерела низькопотенційного тепла, область її найбільш ефективного використання обмежена промисловими об'єктами, що постійно викидають великі об'єми повітря через свою систему вентиляції, наприклад – шахти.

В результаті створення системи заплановане досягнення значної економії підприємств на опаленні промислових приміщень методом часткового або повного переходу на опалення за допомогою нетрадиційних джерел енергії.

Вимоги до системи в цілому

Система, що проектується, повинна відповідати наступним вимогам:

- система повинна забезпечувати роботу у двох режимах – автоматичному і ручному. В автоматичному режимі система повинна сама керувати продуктивністю компресора для забезпечення підтримання потрібного рівня тиску холодоагенту. В ручному режимі система повинна забезпечувати рівень тиску, що заданий оператором;
- система повинна мати довгий життєвий цикл;

- система повинна бути побудована з використанням стандартизованих рішень;

- система повинна бути реалізована як відкрита система, і повинна допускати розширення функціональних можливостей;

- система повинна забезпечувати можливість модернізації шляхом заміни технічного і програмного забезпечення;

Вимоги до персоналу системи

Для експлуатації системи визначені наступні ролі:

- Оператор;
- Адміністратор.

Основні обов'язки оператора:

- вмикання і вимикання обчислювального комплексу і пристроїв, що входять до нього;

- завантаження операційної системи і її запуск;
- запуск завдань інформаційної підсистеми;
- введення-виведення інформації;
- введення в дію резервних пристроїв з перебудовою необхідних параметрів системи;
- робота з сервісними програмами операційної системи.

Основні обов'язки адміністратора:

- Модернізація, налаштування і моніторинг комплексу технічних засобів;

- Встановлення, модернізація, налаштування і моніторинг працездатності програмного забезпечення;

- Здійснення моніторингу інформаційної безпеки;
- Вдосконалення системи;
- Відновлення системи у випадку збоїв.

Вимоги безпеки

Всі зовнішні елементи технічних засобів системи, що знаходяться під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику, а самі технічні засоби мати занулення або захисне заземлення.

Система електроживлення повинна забезпечувати захисне відключення при перевантаженнях і коротких замиканнях в ланцюгах навантаження, а також аварійне ручне відключення.

Загальні вимоги пожежної безпеки повинні відповідати нормам на побутове електрообладнання. У разі загоряння не повинно виділятися отруйних газів і димів. Після зняття електроживлення повинно бути допустимо застосування будь-яких засобів пожежогасіння.

Фактори, що мають шкідливий вплив на здоров'я з боку всіх елементів системи (в тому числі інфрачервоне, ультрафіолетове, рентгенівське і електромагнітне випромінювання, вібрація, шум, електростатичні поля, ультразвук малої частоти і т.д.), не повинні перевищувати діючих норм.

Висновки до першого розділу

У першому розділі було проведено аналіз енергетичних потреб адміністративної будівлі на основі статистичних даних. Досліджено можливості використання сонячної та вітрової енергії в умовах регіону Кривбасу. Розглянуто існуючі джерела електричної енергії, зокрема сонячні панелі та вітрогенератори, а також джерела теплової енергії, такі як сонячні колектори, опалювальні котли та теплові насоси. Виокремлено переваги та недоліки цих джерел енергії в системах енергопостачання, на основі чого були сформульовані основні завдання дослідження:

- побудова та дослідження термодинамічної моделі будівлі;
- дослідження математичної моделі теплового насоса;
- побудова структурної схеми опалення будівлі;
- побудова та опис нейроконтролера системи опалення будівлі;

- визначення апаратурної складової системи енергопостачання;
- моделювання роботи системи опалення у середовищі MatLab Simulink з використанням різних типів контролерів з метою зменшення вартості на опалення.

РОЗДІЛ 2

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

2.1 Складання структурної схеми

Структурна схема – це графічне представлення основних функціональних частин пристрою, їх взаємозв’язків і призначення. Функціональна частина – це складова системи, що виконує певну задачу: елемент, пристрій, функціональна група чи ланка.

Призначення структурної схеми:

- Відображення загальної структури пристрою, його основних блоків, вузлів і частин.
- Пояснення взаємозв’язків між складовими елементами.
- Демонстрація принципу роботи пристрою в різних режимах і взаємодії його частин.

На схемах такого типу зазвичай використовуються умовні графічні позначення або прямокутники, що символізують функціональні частини системи (елементи, пристрої, функціональні групи). Взаємозв’язки між частинами зображуються у вигляді ліній із стрілками, які вказують послідовність і напрям взаємодії.

При використанні прямокутників всередині них зазначають:

- Найменування функціональної частини.
- Тип елемента.
- Посилання на відповідні документи.

У випадку, якщо функціональних частин багато, замість найменування і типів можуть бути вказані порядкові номери, а розшифровка елементів записується в таблиці, яка додається до схеми.

Типи схем:

- Структурна схема – найменш деталізована, використовується на початкових етапах проектування для загального ознайомлення з пристроєм.
- Принципова схема – детально розкриває всі електричні зв'язки між елементами.
- Функціональна схема – відображає взаємодію основних частин системи відповідно до її функціонального призначення.

Структурна схема системи, яка розробляється, наведена на рисунку 2.1. Вона дає загальне уявлення про основні блоки для керування компресором теплового насосу, їх функції та взаємодію, що є необхідним для подальшого етапу моделювання та проектування.

Деякі теплові насоси вже з заводів ідуть з так званою функцією інвертування, тобто оснащені перетворювачами частоти або постійного струму, що дає можливість адаптуватися до умов замовника.

У нашому випадку, коли застосовується багато насосна станція, такий підхід стає не вигідним, як по первинним капітальними витратами, так і по експлуатаційним.

Це обумовлено великими витратами холостого ходу теплових насосів за умов зменшення попиту на теплову енергію.

Крім цього, як відомо, любе збільшення кількості елементів у системі веде до зниження її надійності і зменшеною продуктивністю за рахунок збільшення часу простої по оновленню роботи здатності системи та конкретного її апарата або підсистеми.

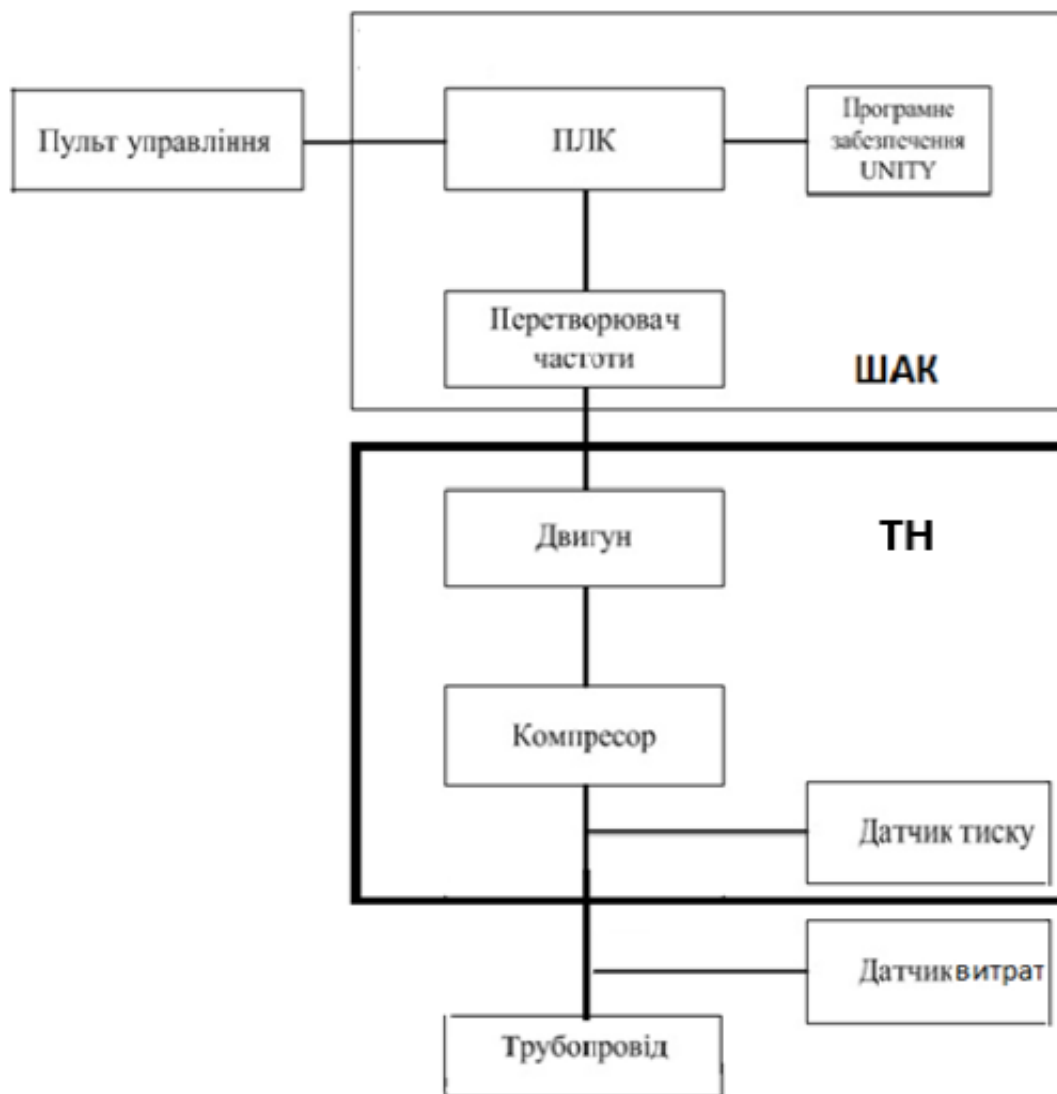


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи для одного теплового насосу

Схема керування усією станцією теплових насосів показана на рис.2.2.

На рис.2.2 представлена структурно - функціональна схема САК потоками теплової енергії від теплових насосів встановлених на виході вентиляційної шахти. При цьому, зі всього переліку апаратів споживачів теплової енергії обрано тільки кінцеві, а саме компресори однієї ділянки, на яких і буде показано аналіз функціонування процес генерації і розподілення теплової енергії на кінцевих станціях розподільниках.

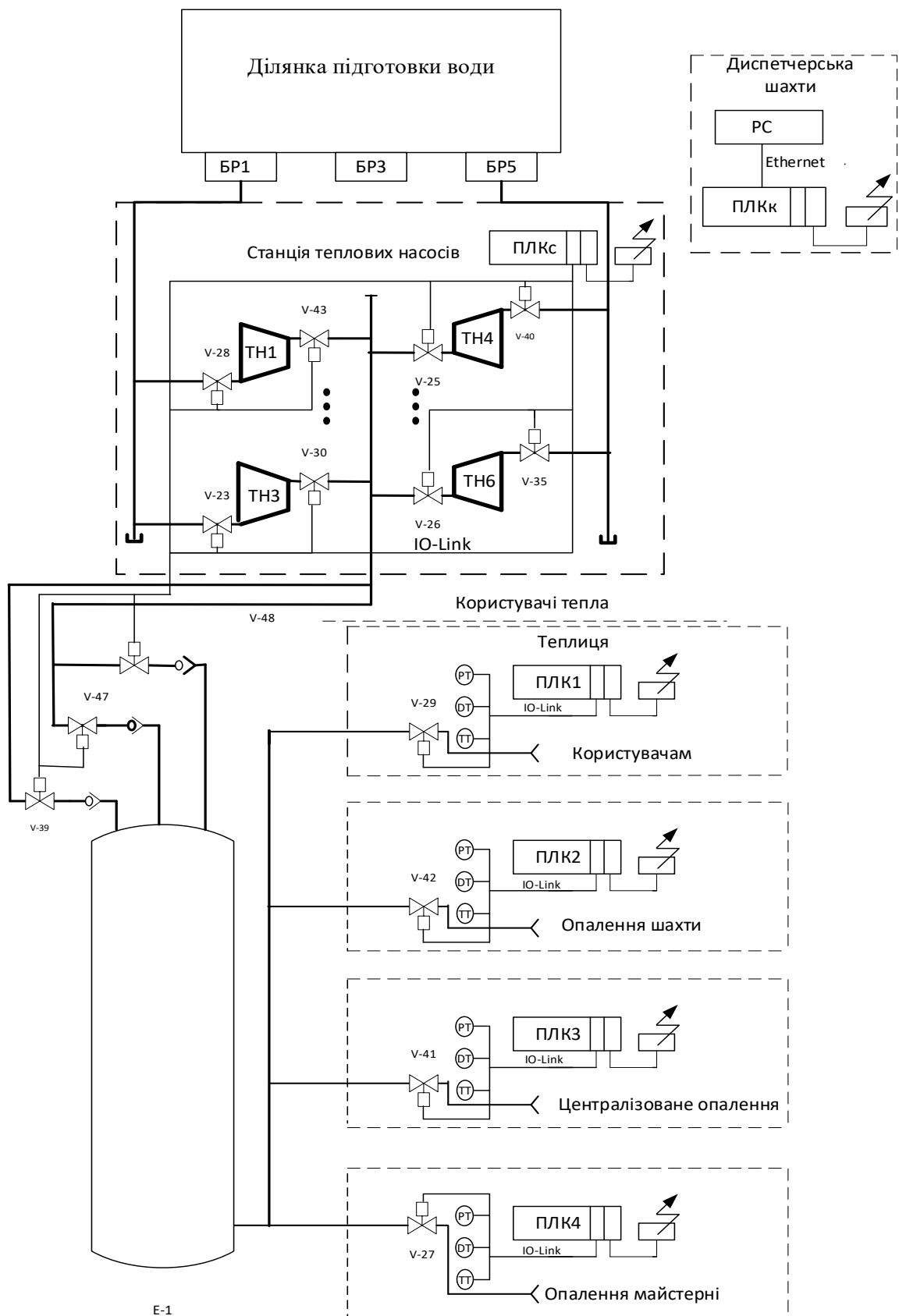


Рисунок 2.2 - Структурна схема автоматизації керування станцією теплових насосів

На станції розміщено шість теплових насосів повітря – вода по 80 кВт, які отримують живлення енергією теплого повітря практично з постійною температурою в 19°C і в зимку і літом. В схемі не показані вентиля та зворотні клапани, які не керуються автоматикою. Кожен тепловий насос має керовані заслінки на вході, виході його. Магістраль теплових потоків виконана як колектор з можливістю автоматичного під'єднання і виконана з одної труби до якої підключені всі теплові насоси.

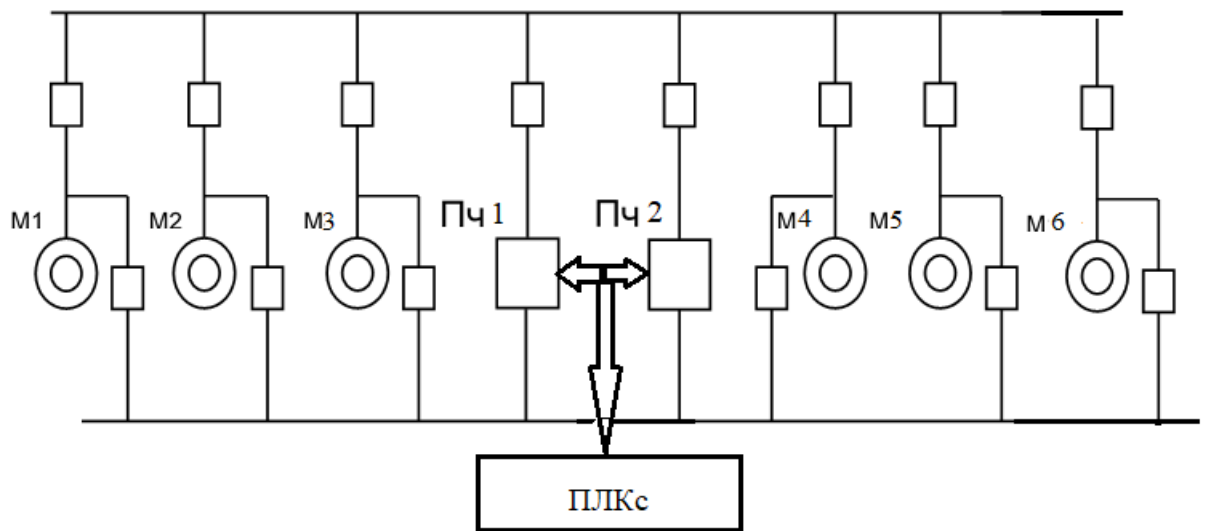


Рисунок 2.3 – Структурна схема керування ПЧ1 та ПЧ2 по мережі ІО - Link

На станції теплових насосів установлений програмований контролер - ПЛКс, який пов'язаний з усіма заслінками периферійною мережею ІО-Link.

По цій мережі контролер отримує усю діагностичну інформацію про стан теплових насосів та його вхідні та вихідні параметри, такі як тиск, температуру, витрати, сигнали з блокіровок та інші.

У кожного користувача теплової енергії на пункті приймання встановлюється ряд приладів, які заміряють параметри теплоносія який їм постачається: тиск, температуру, витрати та прилади і заслінки прийому та

розподілення тепла у цій ділянці. Уся інформація від приладів вимірювання та виконавчих механізмів збирається в локальних ПЛК1- ПЛК4.

Зв'язок усіх локальних ПЛК здійснюється через бездротову мережу LoRa до контролера - концентратора ПЛКк центральної диспетчерської шахти.

В двох крайніх теплових насосах застосовані перетворювачі частоти (рис. 2.3) ATV 61 Schneider Electric для можливості адаптації до зміни умов споживання по потребах користувачів і зміни параметрів навколишнього середовища. Це призводить до 20 % економії електричної енергії яка витрачається на живлення компресорів.

На рис. 2.2 показана схема функціональна автоматизації керування станцією теплових насосів, яка працює з буферною ємністю E_1 для стабілізації витрат з шести теплових насосів.

При цьому ємність оснащена датчиком рівня ультразвуковий датчик рівня води – Senix Tough Sonic REMOTE 30 (9 метрів).

Цей дистанційний датчик, який вимірює рівень гарячої рідини за допомогою ультразвукових хвиль і він встановлюється у верхній частині ємності E_1 . Він дозволяє точно виміряти рівень води до 9 метрів та контролювати його в реальному часі.

Ємність встановлена для стабілізації подачі теплої води споживачам при роботі теплових насосів, як дискретних генераторів теплової енергії.

В цілому це ще й призводить до економії електричної енергії, якої для своєї роботи потребують теплові насоси.

На рис.2.4 – наведено алгоритм роботи підсистеми заливання гарячої води з теплових насосів в буферну ємність.

Система дискретного керування завантаженням ємності здійснюється програмованим контролером ПЛКс рис.2.2.

При цьому обирається відповідна комбінація вентилів V30 – V48 в залежності від потреб кінцевих споживачів.

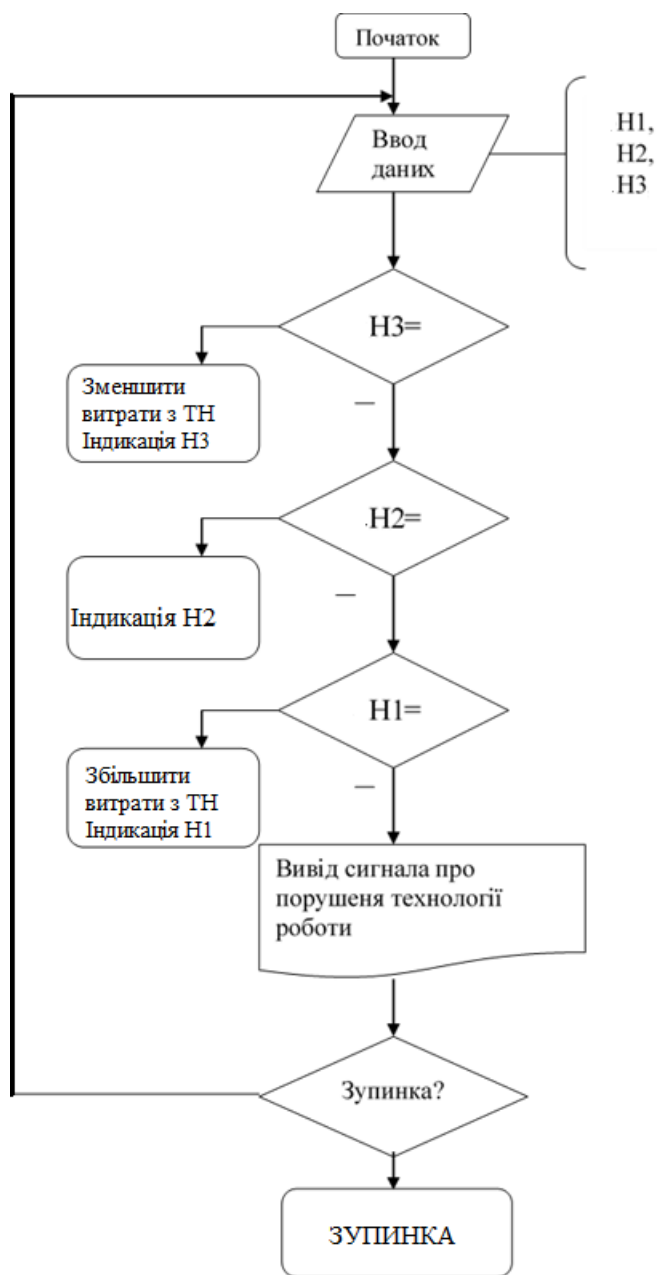


Рисунок 2.4 – Алгоритм роботи підсистеми заливання гарячої води з теплових насосів в буферну ємність

При спрацюванні датчика рівня N1 видається сигнал САК станції теплових насосів на збільшення подачі теплої води.

При спрацюванні датчика рівня N2 видається сигнал САК станції теплових насосів на стабілізацію подачі теплої води.

При спрацюванні датчика рівня N3 видається сигнал САК станції теплових насосів на зменшення подачі теплої води.

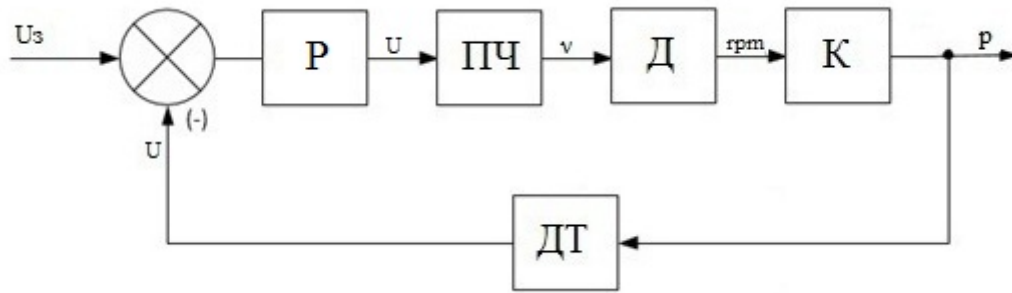
2.2 Розробка функціонально - алгоритмічної схеми

Схеми автоматизації розробляють на всіх стадіях проектування. Вони використовуються для обґрунтування основних технічних рішень при експертизі і затвердженні технічного проекту так і робочого проекту, для підготовки та виконання робіт з монтажу (стадія впровадження проекту) та налагодження систем автоматизації, навчання операторів-технологів роботі на автоматизованій установці (стадія нагляду).

Схеми функціональні автоматизації розробляються після вивчення технології виробництва (або технології інженерної системи), особливостей його функціонування, дій виробничого персоналу (враховуються їх зауваження і побажання) по запуску, зупинці згідно вимог технологічного процесу, підтримці при необхідності зміни режиму та роботи в аварійних та перед аварійних ситуаціях, правил безпечної експлуатації згідно розроблених інструкцій та охорони праці згідно правил конкретного виробництва (устаткування); технічного завдання на автоматизацію об'єкта, досвіду експлуатації систем автоматизації на цьому підприємстві та на аналогічних діючих об'єктах і технологіях.

Функціональна схема (рис. 2.5) – схема, що роз'яснює певні процеси, що відбуваються у певних функціональних ланцюгах виробу (устаткування) чи у виробі (устаткуванні) в цілому.

Розглядається тільки ті частини проекту які потребують вивчення динаміки функціонування об'єкту, його перехідних характеристик окремих елементів і в данному випадку, це система автоматичного керування головною апаратною частиною цієї великої системи використання таких засобів, як теплові насоси з використання тепла вентиляційних потоків повітря.



Р – регулятор (W_p – передавальна функція регулятора); ПЧ – перетворювач частоти ($W_{пч}$ – передавальна функція перетворювача частоти); Д – двигун ($W_{мд}$ – передавальна функція двигуна); К – компресор (W_k – передавальна функція компресора); ДТ – датчик тиску ($W_{дт}$ – передавальна функція датчика тиску)

Рисунок 2.5 – Функціонально - алгоритмічна схема системи:

Повні пояснення математичного опису передавальних функцій на рис.2.4 будуть показані нижче.

2.3 Математичний опис процесів теплового насосу

Існує два методи дослідження теоретичного опису теплообмінних апаратів, які застосовуються в умовах кондиціонування повітря:

- як об'єктів з розподіленими параметрами;
- як об'єктів з зосередженими параметрами.

Калорифери підігріву повітря і поверхневі повітроохолоджувачі є об'єктами регулювання з розподіленими параметрами, і динаміка їх описується диференціальними рівняннями в часткових похідних. Тільки цей метод математичного дослідження дозволяє аналітично отримати величину запізнювання цих об'єктів регулювання та може вважатися точним.

Другий метод математичного дослідження – апроксимація цих технологічних апаратів моделями з зосередженими параметрами – є наближеним, однак у багатьох випадках достатніми для попередніх інженерних розрахунків [5].

Теплообмінні апарати, що застосовуються в установках кондиціонування повітря, діляться на дві групи:

- з безпосереднім контактом повітря і тепло або холодоносія (камери зрошення, парові зволожувачі та апарати місцевого зволоження);
- з передачею тепла через стінку, яка відокремлює повітря від тепло- або холодоносія (апарати сухого або поверхневого типу, трубчасті і ребристі повітроохолоджувачі і підігрівачі повітря).

Установка кондиціонування повітря являє собою комбінацію теплообмінних апаратів різного призначення.

При складанні матеріального балансу необхідно вважати, що в дії знаходиться тільки регулятор температури і в даний момент постійна температура $t = \text{const}$.

В процесах вентиляції теплота підводиться до повітря або відводиться від нього, завдяки чому відбувається підігрівання або охолодження. Вологе повітря, при деякій температурі, вміщує явну теплоту сухого повітря, явну теплоту водяної пари, приховану теплоту випаровування і теплоту перегрівання водяної пари. Суму цих чотирьох складових називають питомою ентальпією (I) або тепловмістом.

Питому ентальпію сухого повітря $I_{\text{с.пов.}}$ при $t = 0$ °С приймають рівною нулю. Тоді питома ентальпія сухого повітря, за довільної температури, рівна

$$I_{\text{с.пов.}} = c_{\text{с.пов.}} \cdot t, \quad \text{кДж/кг},$$

де $c_{\text{с.пов.}} = 1,005$ кДж/(кгК) – середня питома теплоємність сухого повітря в діапазоні температур вентиляційних процесів.

Питома теплота пароутворення для води при $t_0 = 0^\circ\text{C}$ рівна 2500 кДж/кг і ентальпія пари у вологому повітрі при цій температурі також рівна $I_{\text{п}} = 2500 \text{ кДж/кг}$.

Ентальпію водяної пари в повітрі $I_{\text{п}}$, при довільній температурі t , обраховують за формулою [15]

$$I_{\text{п}} = 2500 + c_{\text{п}} \cdot t, \text{ кДж/кг},$$

де $c_{\text{п}}$ – питома теплоємність водяної пари за сталого тиску і $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ($c_{\text{п}} = 1,86 \text{ кДж/кгК}$).

От же питому ентальпію вологого повітря можна обраховувати за формулою

$$I_{\text{пов}} = I_{\text{с.пов}} \cdot (t - t_0) + \frac{d}{1000} \cdot [c_{\text{п}} \cdot (t - t_0) + I_{\text{п}}] = 1,005t + \frac{d}{1000} \cdot (1,86t + 2500),$$

де d – вологовміст повітря в $\text{г}/(\text{кг с.пов})$.

Оскільки питома теплоємність вологого повітря $c_{\text{в.пов}} = 1,005 + 1,86d \cdot 10^{-3}$, то вираз можна записати у вигляді

$$I_{\text{пов}} = c_{\text{в.пов}} \cdot t + 2500d \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/кг с.пов.}$$

Якщо в результаті конвективного теплообміну повітря передається явна теплота, то воно нагрівається і його температура підвищується. Ентальпія повітря також змінюється за зміни температури. При виділенні в повітря водяної пари з тією ж температурою (пара надходить від певних джерел) йому передається в основному прихована теплота пароутворення. Ентальпія повітря при цьому також зростає, але завдяки зміні ентальпії водяної пари в повітрі. Температура повітря при цьому залишається сталою (незмінною).

При складанні рівняння теплового балансу вважають, що по всьому об'єму відбувається хороше перемішування повітря і в рівняння підставляють середні значення величин. Тому передавальні функції можуть бути отримані з

розрахунком на те, що технологічні апарати установок кондиціонування повітря є об'єктами регулювання з зосередженими параметрами.

У системах кондиціонування повітря відхилення температури повітря від заданих значень, що виникають внаслідок тих чи інших збурень, повинні усуватися за порівняно невеликий час. При повільних змінах теплових навантажень (при змінах температури зовнішнього повітря, сонячного нагріву будівельних огорож і т.д.) Системи регулювання, як правило, встигають реагувати на відхилення параметрів повітря від заданих значень, тому аналіз питань регулювання систем кондиціонування при повільних змінах теплових навантажень не має по суті практичного значення.

Найбільш складним з точки зору динаміки об'єктом регулювання в установці кондиціонування повітря є камера зрошення. У процесі регулювання температура точки роси після камери зрошення може змінюватися зі зміною наступних регулюючих впливів:

- ентальпії води, що розбризкується через форсунки;
- співвідношення обсягів свіжого і рециркуляційного повітря (зміною ентальпії повітряно-парової суміші);
- теплової потужності калорифера першого підігріву.

При одиничних збурення по цих каналах криві розгону будуть різними і, отже, будуть відрізнятися параметри камери зрошення як об'єкта автоматичного регулювання.

Таким чином, динаміка камери зрошення не може описуватися одним диференціальним рівнянням, і при визначенні настроювальних параметрів регулятора необхідно враховувати особливості камери зрошення як об'єкта зі змінною структурою. У першому наближенні слід усереднювати параметри об'єкта по всіх каналах регулюючих впливів [6].

Перехідні функції камери зрошення досить добре апроксимуються диференціальними рівняннями другого порядку

$$a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = kx.$$

Передавальна функція камери зрошення, отримана шляхом складання тепло-вологісних балансів в сталому і перехідному режимах,

$$W(p) = k \frac{1 + T_1 p}{1 + T_2 p}.$$

Ця передавальна функція дозволяє представити камеру зрошення як інтегрально-диференціальну ланку.

Рішення диференціального рівняння, відповідного передавальній функції, має вигляд

$$y(t) = k \left(1 - \frac{T_2 - T_1}{T_2} e^{-\frac{t}{T}} \right).$$

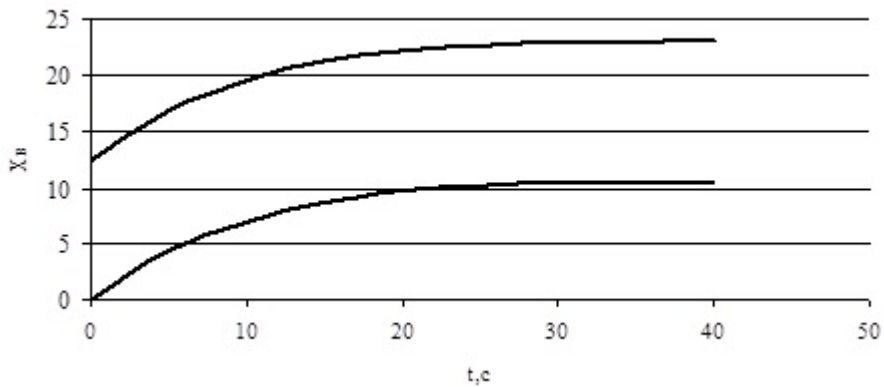


Рисунок 2.6 – Перехідні характеристики процесів камери зрошення

Теоретично перехідна характеристика 1, побудована за цим рівнянням, показана на рис. 2.6, А крива 2 відповідає аперіодичній ланці з передавальною функцією

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}.$$

Як видно з отриманих кривих, наявність похідної в чисельнику передавальної функції позначається в стрибкоподібній зміні параметра в початковий момент часу, потім обидві криві практично не розрізняються.

Камери зрошення кондиціонерів великої теплової потужності можуть з достатньою для практичних розрахунків точністю апроксимувати аперіодичною ланкою і ланкою запізнювання з передавальною функцією

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} e^{-p\tau}.$$

Розглянемо передавальні функції камери зрошення при різних режимах роботи.

При зниженні ентальпії повітря

$$W_1(p) = \frac{\Delta\theta_{c_2}(p)}{\Delta\beta(p)} = k_\beta \frac{T_0 p + 1}{T_1 p + 1},$$

де β – Коефіцієнт зрошення;

$$T_0 = \frac{M_w}{G_w};$$

$$T_1 = \frac{T_0}{(1 - \beta) + \beta \Pi_1 \frac{G_B c_B}{G_w c_w}};$$

$$k_\beta = \frac{(\theta_{w_k} - \theta_{w_x}) c_B^n}{(1 - \beta) + \beta \Pi_1 \frac{G_B c_B}{G_w c_w}};$$

G_B - Витрата оброблюваного повітря, кг / с;

G_w - Витрата води, що розбризгується, кг / с;

c_w - Питома теплоємність води, Дж / (кг * К);

θ_{w_n} , θ_{w_k} - Початкова і кінцева температура води, °С ;

M_w - Маса води в піддоні камери, кг;

θ_{c_2} - Температура повітря по сухому термометру після камери, °С ;

$$\Pi_1 = \bar{I} \left[\frac{R - B_1 M_1 (\theta_{c_1} - \theta_p)}{1 + M_1 R} - \frac{B_1 g (\theta_{c_1} - \theta_2)}{R} \right]$$

R - Безрозмірний коефіцієнт, що враховує початкові параметри повітря

і води.

$$R = 1.8 + 0.0022(\theta_p + \theta_{w_H}) + 0.00077(\theta_p^2 + \theta_p \theta_{w_H} + \theta_{w_H}^2)$$

$$M_1 = \frac{\theta_p - \theta_{w_K}}{\theta_{c_1} - \theta_p}$$

Де M_1 - Температурний критерій;

θ_p - Температура точки роси;

c - Постійний коефіцієнт;

g, n - Показники ступеня;

β - Відношення мас або об'ємів рециркуляційної води і води що розбризкується;

θ_{w_x} - Температура холодної води, що надходить, °C ;

$$B_1 = 0.022 + 0.00077(\theta_p + 2\theta_{w_H})$$

θ_{c_1} - Температура повітря по сухому термометру до камери зрошення, °C .

Характерною особливістю постійної часу і коефіцієнта підсилення є їх залежність від співвідношення мас або об'ємів холодної та рециркуляційної води і початкових параметрів повітря і води. При $\beta \rightarrow 0$ величина $T_1 \rightarrow T_0$ і в цьому рішенні камера зрошення може розглядатися як підсилювальний ланцюг. При $\beta \rightarrow 1$ T_1 збільшується, і перехідний процес наближається до аперіодичного.

При зміні витрати повітря (кількісне регулювання)

$$W_2(p) = \frac{\Delta\theta_{c_2}(p)}{\Delta G_B(p)} = k_c \frac{1 + T_2 p}{1 + T_1 p}$$

однак значення постійних часу в цьому випадку інші.

При адіабатичних процесах

$$W_1(p) = \frac{\Delta\theta_{c_2}(p)}{\Delta\theta_{c_1}(p)} = \frac{k_1}{T_1 p + 1}$$

Дослідження динамічних властивостей вимірювальних перетворювачів температури при їх роботі в повітряних потоках різної швидкості показали, що вони можуть описуватися передавальною функцією аперіодичної ланки,

$$W_D = \frac{1}{T_D p + 1}$$

Постійна часу є функцією швидкості повітряного потоку, що омиває перетворювач, і в загальному випадку визначається з виразу

$$T_D = T_\infty + A v^{-n}$$

де T_∞ - постійна часу при $v \rightarrow \infty$;

A, n - постійні величини, що залежать від конструкції і теплофізичних властивостей вимірювального перетворювача.

Передавальна функція об'єктів регулювання секцій підігріву в кожній точці діапазону регулювання може бути приведена до вигляду

$$W(p) = \frac{k_{p.o.} k_k e^{-\tau p}}{T p + 1}$$

де $k_{p.o.}$ - коефіцієнт посилення регулюючого органу (регулюючий орган є безінерційною ланкою);

k_k - Коефіцієнт посилення секції камери підігріву;

p - Комплексна змінна;

τ - Запізнювання (секції підігріву спільно з вимірювальним перетворювачем температури);

T - Постійна часу (секції підігріву спільно з вимірювальним перетворювачем температури).

Температуру припливного повітря можна регулювати шляхом зміни витрати гарячої води, що проходить через калорифер; витрати повітря через калорифер зі здвоєним повітряним клапаном; температури води (додаванням до гарячої води холодної зі стороннього джерела).

Секція підігріву може описуватися передавальною функцією виду

$$W_{\kappa}(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{T_{\kappa}p + 1}$$

Здвоєний повітряний і регулює клапани на лінії теплоносія наближено можна вважати без інерційні елементами системи регулювання

$$W_{p.o.}(p) = k_{p.o.}$$

Коефіцієнти підсилення клапанів розраховуються за їх робочими витратними характеристиками з урахуванням змінних тисків на клапанах і характеристик з'єднань.

Таким чином, передавальна функція теплового насосу

$$W_0(p) = W_{\kappa}(p)W_t(p)W_p(p) = \frac{k_{\kappa}k_t k_{p.o.}}{(T_{\kappa}p + 1)(T_t p + 1)}$$

У загальному випадку коефіцієнт посилення, час запізнювання, постійна часу є величинами, що змінюються всередині діапазону регулювання, і, отже, отримати однакову якість регулювання у всьому діапазоні регулювання без прийняття спеціальних заходів неможливо.

Якщо величини τ_0 і $\frac{\tau_0}{T_0}$ в заданому діапазоні регулювання змінюються незначно, то можна лінеаризувати статичну характеристику за рахунок, наприклад, спеціально підібраного з'єднання виконавчого механізму з регулюючим органом і отримати практично однакову якість регулювання у всьому діапазоні регулювання. Якщо величини τ_0 і $\frac{\tau_0}{T_0}$ змінюються значно, то мова може йти про забезпечення якості «не гірше» заданого в діапазоні регулювання[7].

З урахуванням вищесказаного передавальні функції по основних каналах регулювання мають вигляд:

«Температура зовнішнього повітря - температура на виході з установки»

$$W(p) = \frac{1.2e^{-20p}}{73p+1}$$

«Температура зовнішнього повітря - температура в контурі підігріву»

$$W(p) = \frac{1.15e^{-200p}}{320p+1}$$

«Співвідношення холодної та рециркуляційної води - температура води»

$$W(p) = -\frac{1.3e^{-7p}}{321p+1}$$

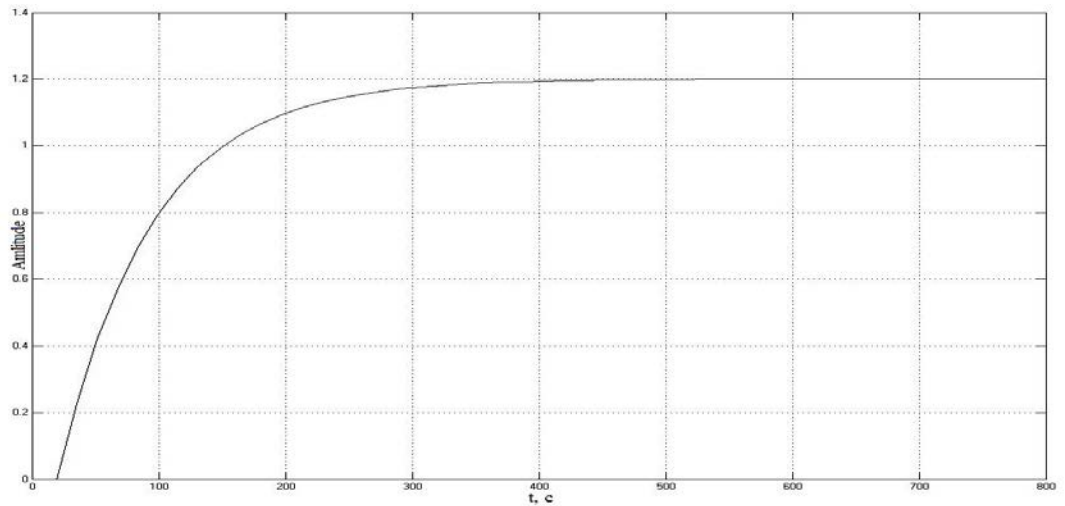


Рисунок 2.7 – Перехідна характеристика неінерційного об'єкта (температура повітря на виході з установки процесу кондиціонування)

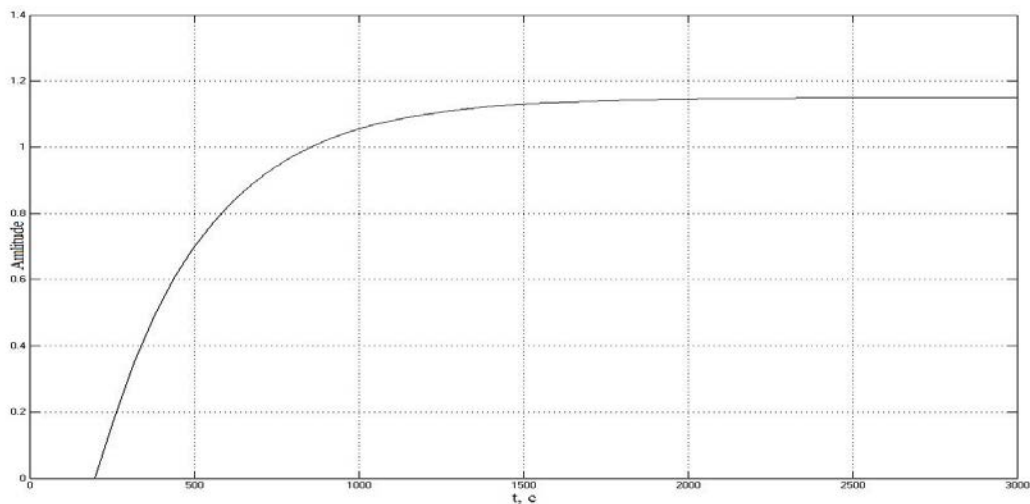


Рисунок 2.8 – Характеристика інерційного об'єкта (температура підігріву)

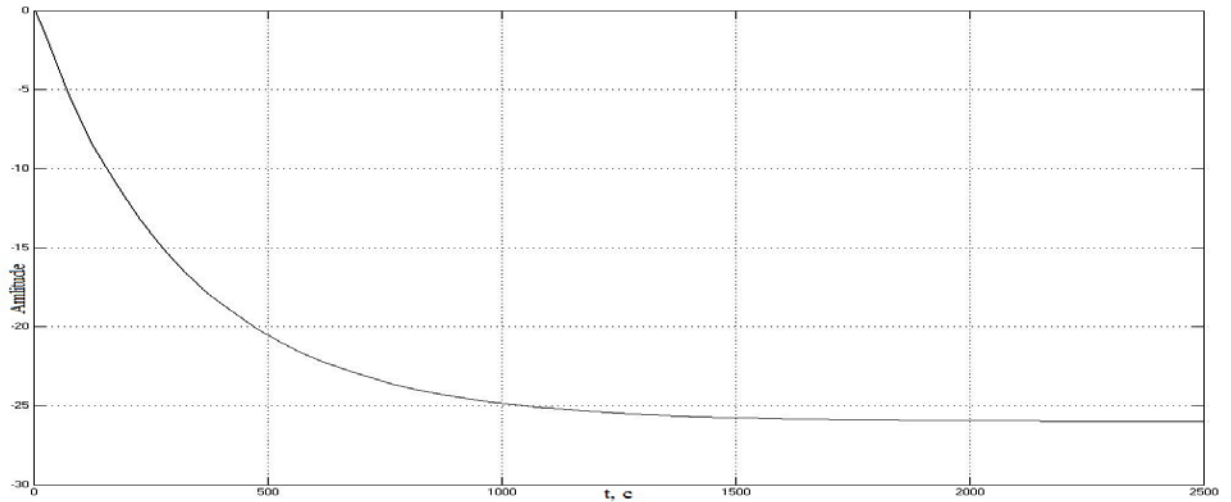


Рисунок 2.9 –Характеристика інерційного об'єкта (співвідношення холодна-рециркуляційна вода).

2.4 Математичний опис елементів схеми

Датчик тиску (ДТ)

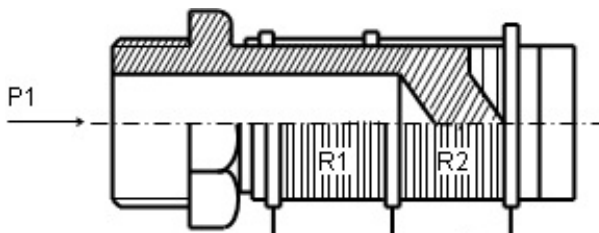


Рисунок 2.10 – Датчик тиску

Подібного роду вимірювачі тиску (рис. 2.10) являються пропорційною ланкою з коефіцієнтом передачі:

$$K = IR_0 k_d \frac{r_c}{E\delta} (1 - 0,5\lambda),$$

де I -струм живлення схеми, А; R_0 -первісний опір датчиків R1 та R2, Ом; k_d -тензочутливість датчика; E -модуль пружності матеріалу труби датчика, Н/м²; δ -товщина стінки, м; λ -коефіцієнт Пуасона ($\lambda = 0,2 \div 0,4$).

Передавальна функція елемента: $W_{ок}(p) = K.[8]$

Перетворювач частоти (ПЧ)

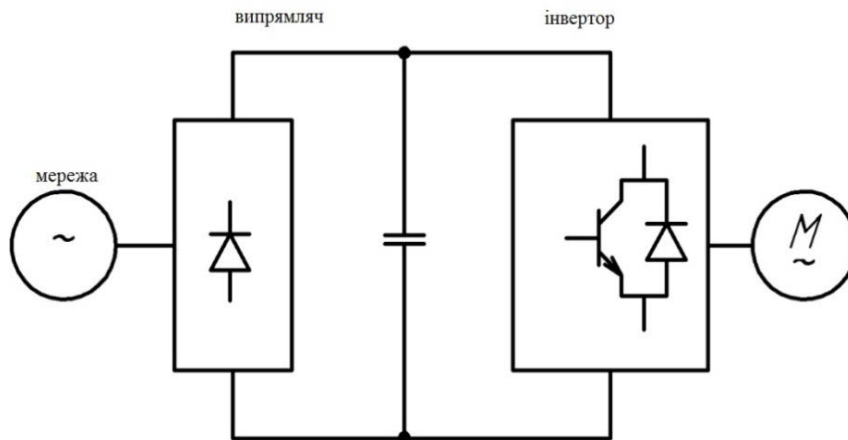


Рисунок 2.11 – Структура перетворювача частоти

Обраний перетворювач для компресора Altivar 61HC40N4 показаний на рис.2.11



Рисунок 2.12 – Перетворювача частоти Altivar 61 ATV 61HD30N4

Перетворювачі частоти (рис 2.12) являються аперіодичною ланкою першого порядку.

$$\text{Передавальна функція елемента: } W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{K_{\text{ПЧ}}}{T_{\text{ПЧ}}p+1},$$

де $T_{пч} = T_p + \frac{1}{2mf}$ – постійна часу перетворювача. Для напівпровідникових перетворювачів $T_{пч} \approx 0,01$ с. Прийємо $K_{пч} = 40$.

Асинхронний двигун (Д)

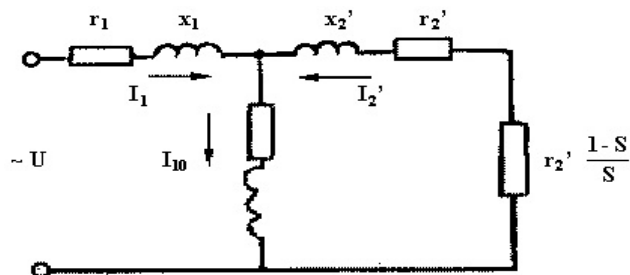


Рисунок 2.13 – Схема заміщення АД

У якості привідного двигуна обираємо асинхронний двигун (рис. 2.13).

Представимо його передавальну функцію через електромагнітну та механічну складові.

Передавальна функція електромагнітної складової має вигляд:

$$W_{ед}(p) = \frac{K_d}{T_e p + 1},$$

де K_d – коефіцієнт передачі двигуна, $T_e = L_2'' / R_2'$ – постійна часу електромагнітної складової двигуна, $L_2'' = L_2' - L_m^2 / L_1$ – еквівалентна зведена індуктивність фази ротора, $L_1 = 0,022$ Гн – повна еквівалентна індуктивність фази статора, $L_m = 0,0205$ Гн – індуктивність головного полюсу, $R_2' = 0,017$ Ом – зведений активний опір ротора.

Передавальна функція механічної складової має вигляд:

$$W_{мд}(p) = \frac{1}{T_m p + 1},$$

де $T_m = J\Omega_0 / M_{п.ф.}$ – механічна стала часу, J – момент інерції, Ω_0 – синхронна кутова швидкість, $M_{п.ф.} = 2M_{кр} / S_{кр}$ – фіктивне значення пускового моменту, $M_{кр} = k \cdot M_{ном}$ – критичний момент двигуна, $k = 3,5$ – перевантажувальна здатність двигуна, $M_{ном} = P_{ном} \cdot 9550 / n_2$ – номінальний

момент двигуна, $P_{\text{ном}} = 110$ кВт – номінальна потужність двигуна, $n_2 = 1771$ об/мин – частота обертання ротору, $S_{\text{кр}} = S_{\text{ном}} \cdot (k + \sqrt{(k^2 - 1)})$ – критичне ковзання двигуна, $S_{\text{ном}} = 0,016$ – номінальне ковзання двигуна.

Компресор (К)

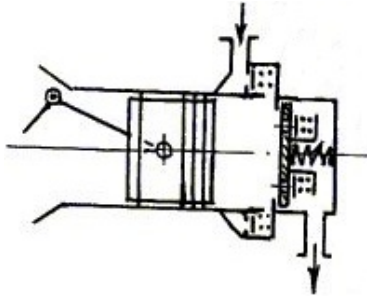


Рисунок 2.14 – Компресор

Для реалізації компресора (рис 2.14) в одиночних трубопроводах використовується аперіодична ланка першого порядку. Отже передавальна функція компресору має наступний вигляд:

$$W_k(p) = \frac{K_k}{T_k p + 1}$$

де T_k – інерційна стала часу компресорної машини. В нашому випадку $T_k = 4$, $K_k = 0,0006$. [9]

2.5 Обґрунтування і вибір технічного забезпечення

Вибір ПЛК

ПЛК - програмований логічний контролер, являє собою мікропроцесорний пристрій, призначене для збору, перетворення, обробки, зберігання інформації і вироблення команд управління, що має кінцеву кількість входів і виходів, підключених до них датчиків, ключів, виконавчих механізмів до об'єкта управління, і призначений для роботи в режимах реального часу.

Для функціонування системи обираємо платформу автоматизації Modicon M340, ці контролери створені для автоматизації складних агрегатів і виробничих процесів. Виняткова швидкість обробки логічних інструкцій, арифметичних команд і табличних інструкцій роблять його одним з самих привабливих програмованих логічних контролерів, наявних на ринку. Завдяки можливості інтеграції розподілених архітектур контролери Modicon M340 є ідеальним рішенням для автоматизації інфраструктур, зокрема, водопостачання та транспорту.

Платформа автоматизації складається з шасі, блоку живлення, процесору, дискретних входів / виходів, аналогових входів / виходів, спеціальних модулів.

На рисунку 2.15 представлено готовий ПЛК Modicon M340.

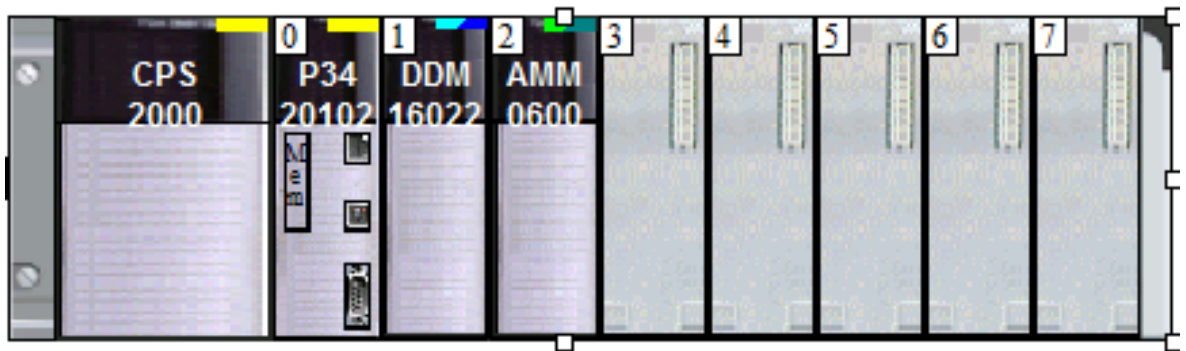


Рисунок 2.15 – ПЛК Modicon M340

Вибір перетворювача частоти.

Перетворювач частоти, його основний параметр – потужність обирається із характеристики і потужності теплового насосу, який має теплову потужність 80 кВт з коефіцієнтом перетворення електричної вхідної енергії в теплову 3,5- 4,5. Тоді для надійної роботи двигуна і можливості форсування перехідних процесів обираємо перетворювач на потужність 30кВт, 400В.

Схема під'єднання контролера і перетворювача показана на рис.2.16

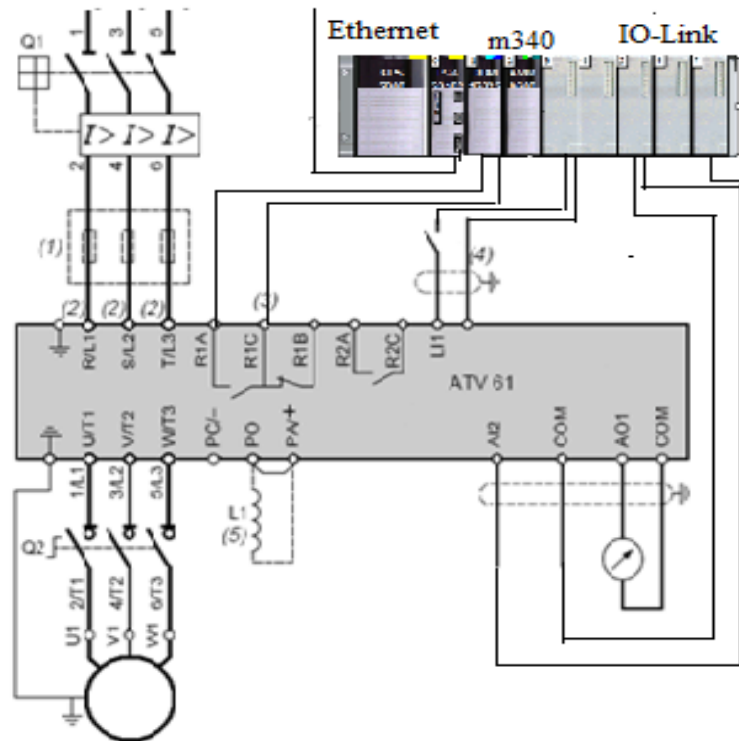


Рисунок 2.16 - Схема під'єднання контролера і перетворювача

Перетворювач частоти – електронний пристрій для зміни частоти електричного струму. Перетворювач частоти слугує для перетворення мережевого трифазного або однофазного змінного струму частотою 50 Гц у трифазний або однофазний струм, частотою 1 – 800 Гц.

Для функціонування системи перетворювач частоти повинен працювати з асинхронним двигуном потужністю 27 кВт при трифазному струмі мережі потужністю 380 В, і мати один аналоговий вхід і один аналоговий вихід. Отже обираємо перетворювач частоти Altivar 61, Перетворювач частоти (ПЧ) Altivar 61(рис. 2.15) призначений для управління асинхронними двигунами з живленням від 200 до 600 В і потужністю від 0,18 до 75 кВт.

Перетворювач Altivar 61 відрізняється надійністю і компактністю, простотою введення в експлуатацію. Вбудовані функції адаптовані для його застосування в простих виробничих механізмах.

Легкість введення в експлуатацію і сучасна концепція виробу дозволяють запропонувати економічне і надійне рішення розробникам простих компактних

машин (ОЕМ) і інтеграторам. Перетворювач Altivar 61 легко вбудовуються в більшість систем автоматизації завдяки запропонованим додатковим комунікаційним картками.

Приклади підтримуваних рішень:

- широкі можливості по завантаженню, редагуванню і збереженню конфігурацій приводу з використанням різних інструментальних засобів, таких як програмне забезпечення (ПО) по введенню в експлуатацію SoMove, ПО SoMove для використання мобільних телефонів, дистанційні термінали, а також пристрої конфігурації – завантажувач і мультизавантажувач;
- адаптованість до комунікаційних мереж і шин шляхом простої заміни карти входів-виходів управління ПЧ на одну з комунікаційних карт;
- інтерфейс користувача, аналогічний інтерфейсу ПЧ Altivar 61, який полегшує введення в експлуатацію і прискорює адаптованість до різних використань.

Перетворювач Altivar 61 володіє функціями, придатними для найбільш частих застосувань, зокрема:

- транспортувальне обладнання (невеликі конвеєри, електроталі і т.д.);
- фасувально-пакувальне обладнання;
- спеціальні механізми (мішалки, змішувачі, текстильні машини і т.д.);
- насоси, компресори та вентилятори.

Вибір перетворювача тиску.

Як відомо, в теплому контурі теплового насосу, в якому ми вимірюємо тиск, температура холодоагенту може досягати значень до 65°C, тиск сягає 48 бар, а холодоагент є токсичним. Тому для нашої системи обираємо датчик тиску MBS 32 фірми Danfoss (рис.2.17).



Рисунок 2.17 - Датчик тиску MBS 32 фірми Danfoss

Перетворювачі тиску MBS 32, призначені для використання майже у всіх промислових областях застосування, забезпечують надійне вимірювання тиску навіть в жорстких умовах навколишнього середовища.

Широка номенклатура перетворювачів тиску передбачає вихідний сигнал по напрузі (варіанти для всіх стандартних діапазонів), перетворювачі для вимірювання абсолютного або відносного тиску, різні діапазони вимірювання від 0-1 до 0-600 бар, різноманітні варіанти для під'єднання імпульсних ліній тиску і електричних з'єднань.

Відмінна вібростійкість, міцна конструкція, а також високий ступінь електромагнітної сумісності та захисту від радіоперешкод забезпечують відповідність MBS 32 найбільш суворим вимогам, які пред'являються до промислових установок.

- Вихідні сигнали 0-5 В, 1-5 В, 1-6 В або 0-10 В.
- Робоча температура від -40 до 85 ° С.
- Діапазон вимірювання 0 - 600 бар.
- Пропонуються різноманітні пристрої для під'єднання тиску.
- Для використання в несприятливих промислових умовах .

Для контролю рівня теплої води в ємностях системи обрано ультразвуковий датчик рівня води – Senix ToughSonic REMOTE 30 (9 метрів з інтерфейсом - RS-485), рис. 2.18, де технічні характеристики представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики

Живлення	10—30 В постійного струму
Споживаний струм	35 мА при 24 В постійного струму
Максимальна дальність	9.1 м
Оптимальний діапазон	25.4 см—6.1 м
Температура	-40°С до 70°С
Вологість	0—100%
Захист	NEMA-6P, IP68. На 75% кращий захист від перенапруг, ніж IEC-61000-4-5.
Перетворювач	Міцний п'єзоелектричний
Компенсація	Температурна компенсація
Роздільна здатність	0.172 мм
Повторювальність	Номінальна 0.2% діапазону при постійній температурі
Частота оновлення	10 Гц, 100 мс
Інтерфейс	RS-485
Швидкість передачі	9600, регулюється до 11520
Протокол	Адресний Modbus-RTU
Корпус	з нержавіючої сталі типу 316
Кабель	Стійкий до ультрафіолетового випромінювання герметизований 4-жильний До 2 м в довжину
Захисту від занурення	Так, герметична епоксидна заливка



- Рисунок 2.18 - Senix ToughSonic REMOTE 30

Вони використовують ультразвукові хвилі для вимірювання відстані до рідини та визначення рівня.

2.6 Моделювання системи ГВП та опалення рядової будівлі тепловим насосом

Розробимо модель з тепловим насосом як джерелом теплової енергії відповідно до рівнянь, наведених вище. Модель підсистеми теплового насоса зображена на рисунку 2.19

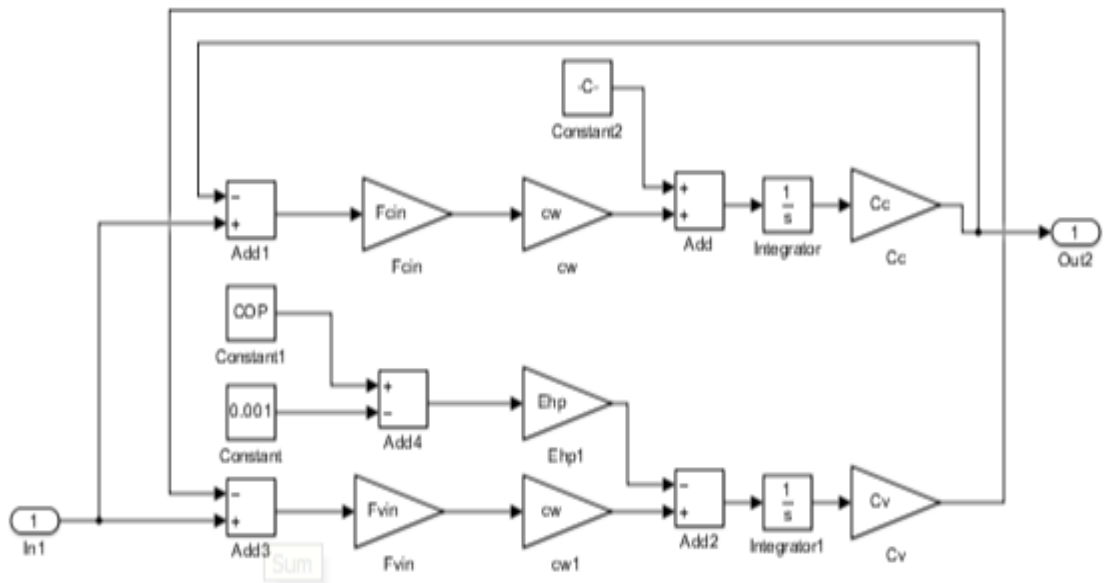


Рисунок 2.19 – Модель теплового насоса

У даній системі використовується двопозційний регулятор, який керує роботою теплового насоса включаючи та виключаючи його залежно від температури всередині приміщення.

На рисунку 2.21 та 2.22 зображені вихідні характеристики системи: температура зовні та всередині, тепловий потік на виході теплового насоса за 24 та 48 годин роботи системи.

Модель системи опалення тепловим насосом зображена на рисунку 2.20

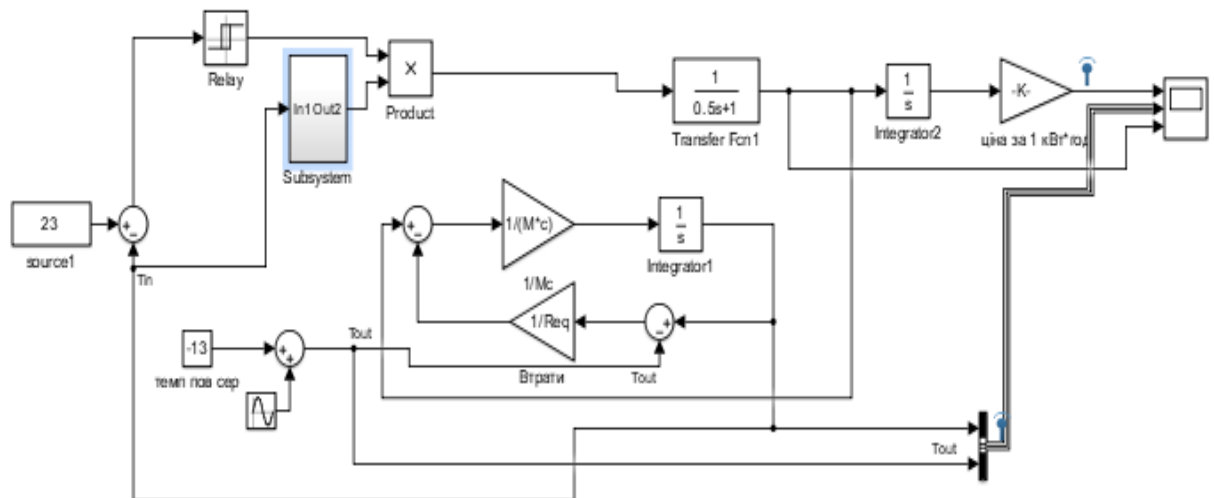


Рисунок 2.20 – Модель системи опалення будівлі з використанням теплового насоса

У даній системі використовується двопозиційний регулятор, який керує роботою теплового насоса включаючи та виключаючи його залежно від температури всередині приміщення.

На рисунку 2.21 та 2.22 зображені вихідні характеристики системи: температура ззовні та всередині, тепловий потік на виході теплового насоса за 24 та 48 годин роботи системи.

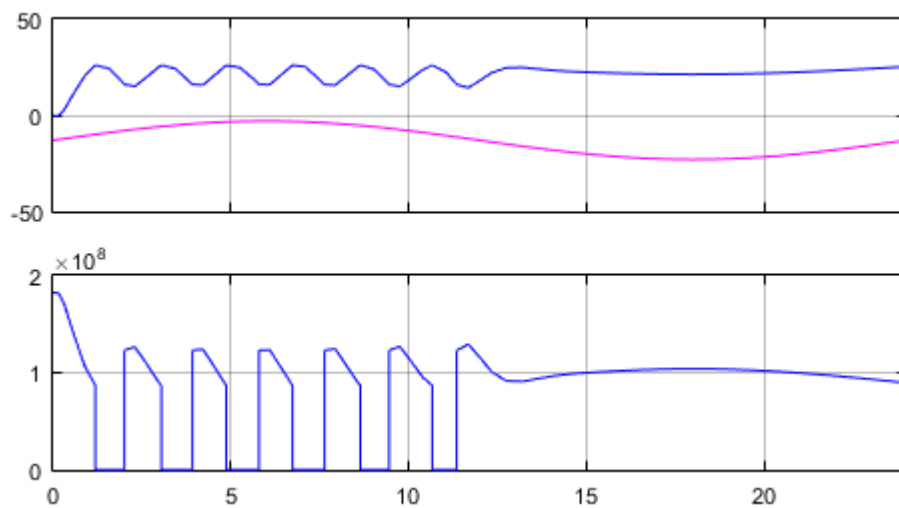


Рисунок 2.21 – Характеристики системи з двопозиційним регулятором за 24 год

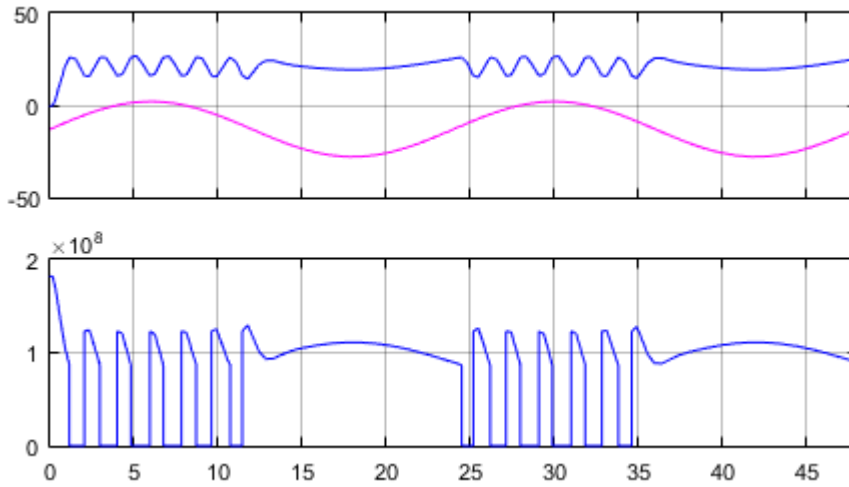


Рисунок 2.22 –характеристики системи з двопозиційним регулятором за 48 год

Регулятор вмикає та вимикає ТН при досягненні нижніх та верхніх температур всередині будівлі.

Схема системи з PD регулятором приведена на рис. 2.23.

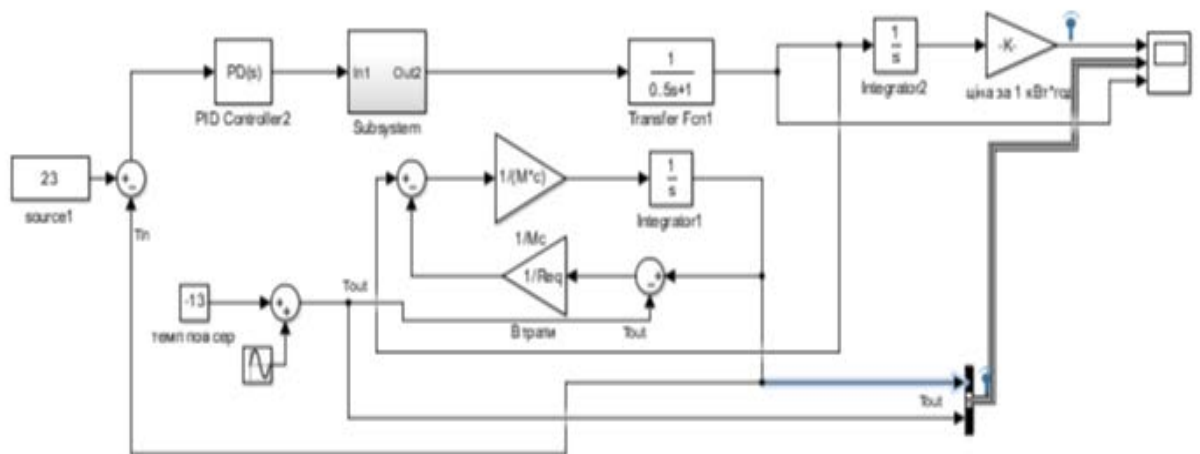


Рисунок 2.23 –Система з PD регулятором

На рисунку 2.24 зображені параметри налаштування регулятора.

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	4770.426	4897.2421
I		
D	1309.4123	987.0351
N	4.6068	197.5967

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	0.489 seconds	0.678 seconds
Settling time	1.43 seconds	1.78 seconds
Overshoot	5.37 %	2.96 %
Peak	0.707	0.697
Gain margin	37.6 dB @ 29.9 rad/s	49.6 dB @ 171 rad/s
Phase margin	97.7 deg @ 2.03 rad/s	104 deg @ 1.75 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

Рисунок 2.24 – Параметри регулятора

На рисунку 2.25 зображені вихідні характеристики системи: температура ззовні та всередині, тепловий потік на виході теплового насоса.

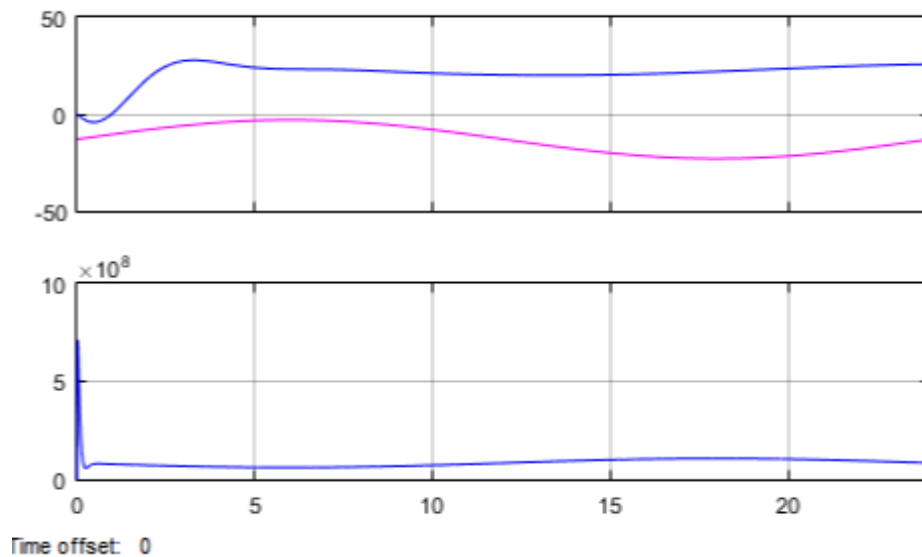


Рисунок 2.25 – Характеристики з PD - регулятором

Можна помітити, що температура в будівлі нормалізується на п'яту годину роботи. у порівнянні з двопозиційним регулятором.

Моделювання частини системи по каналу «керування швидкості двигуна компресора - вихідна температура теплового насосу»

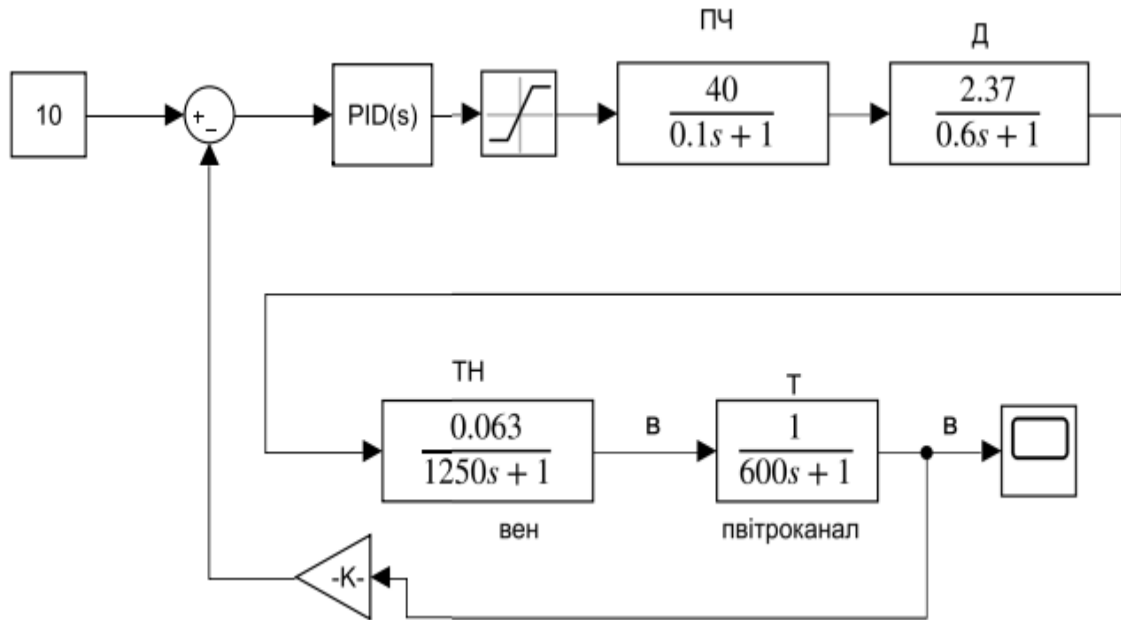


Рисунок 2.26 – Модель теплового насосу по каналу «швидкість компресора – температура вихідної гарячої води»

На рис.2.27 наведена перехідна характеристика наростання температури вихідної води теплового насосу.

На рис.2.28 наведена перехідна характеристика наростання температури вихідної води теплового насосу з покращеними параметрами регулятора.

На рис.2.29 наведена перехідна характеристика наростання температури вихідної води теплового насосу з покращеними параметрами регулятора, які розраховані в MatLab.

Далі у розділі 3 оцінку поведінки об'єкту керування можна зробити безпосередньо в системі автоматичного керування.

Обране апаратне забезпечення компанії Schneider Electric – контролери М340 дозволяють зробити таку оцінку в режимі Simuletion. Де теж можливо перевірити параметри регулятора.

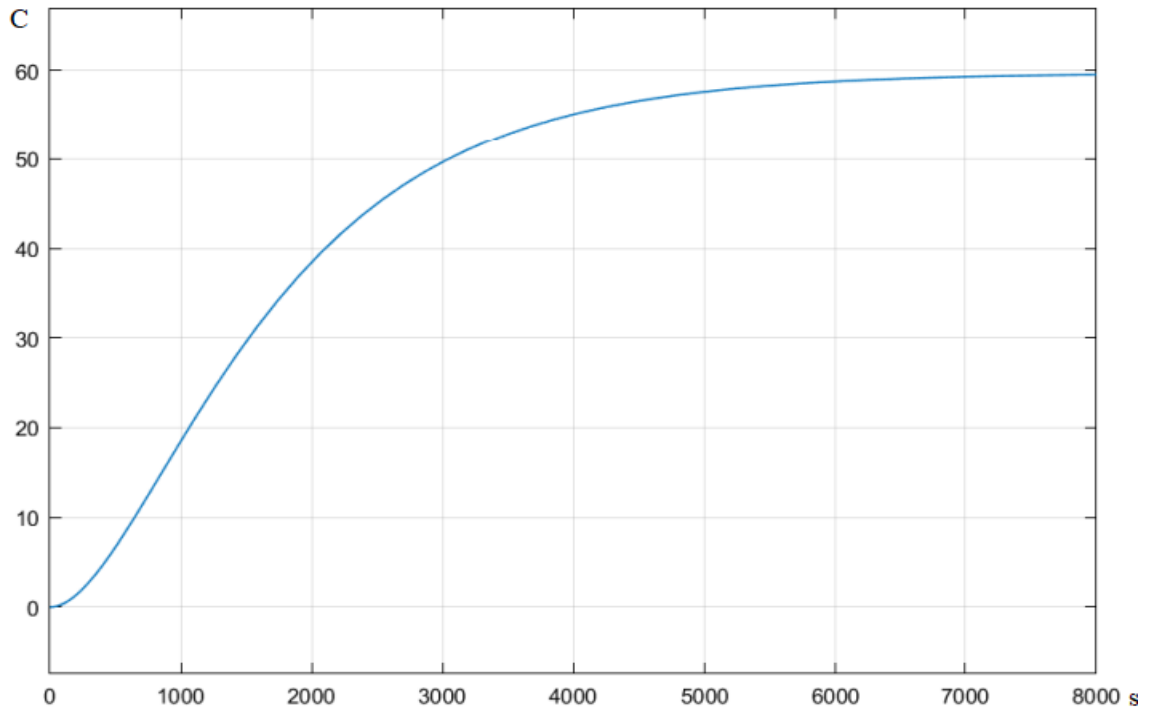


Рисунок 2.27 - Перехідна характеристика наростання температури вихідної води теплового насосу

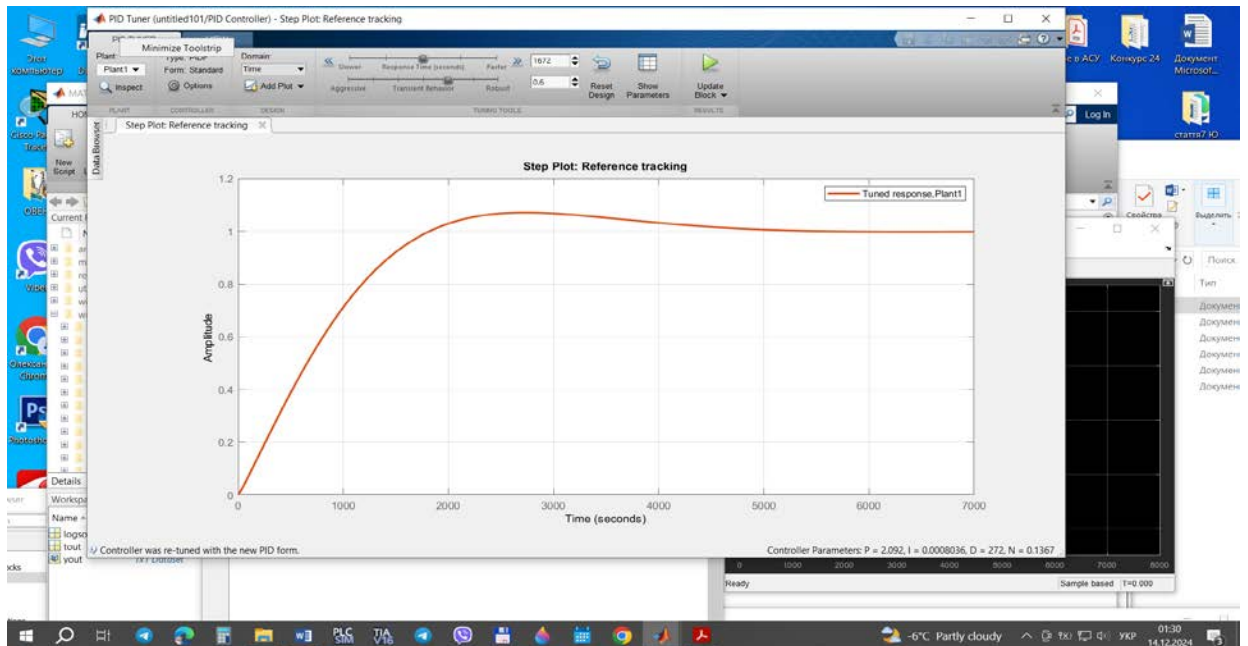


Рисунок 2.28 - Перехідна характеристика наростання температури вихідної води теплового насосу з покращеними параметрами регулятора

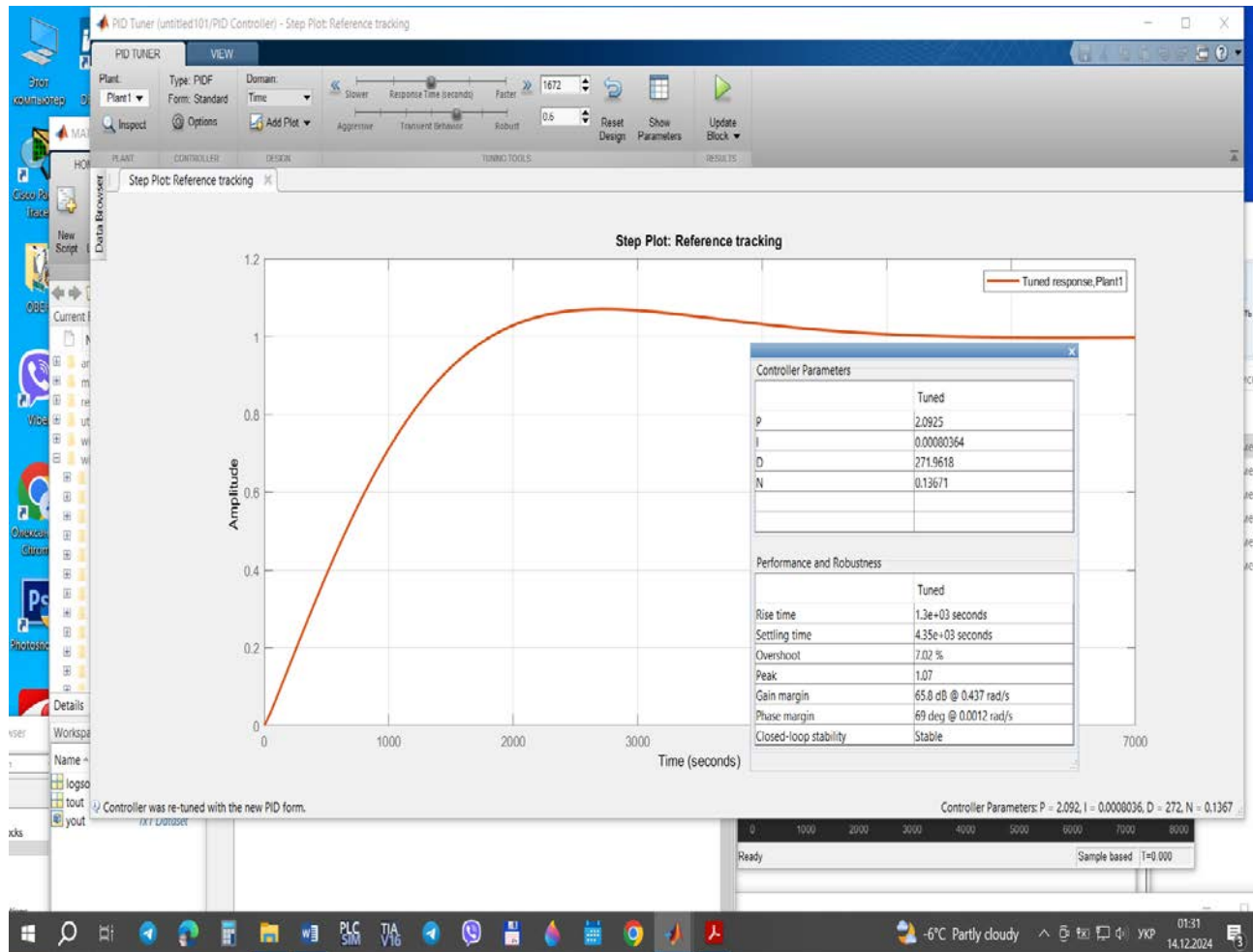


Рисунок 2.29 - Перехідна характеристика наростання температури вихідної води теплового насосу з таблицею параметрами регулятора в MatLab.

Застосування ПІД – регулятора приводить до зменшення часу перехідного процесу за рахунок перерегулювання але збільшує енерговитрати при форсуванні процесів.

Тому використання типу регулятора залежить від характеру споживачів і вибирається відповідно цьому.

Висновки до другого розділу

У процесі моделювання системи, була розрахована дискретна передаточна функція безперервної частини й перехідний процес замкненої системи. Моделювання системи було виконано з використанням регулятора, синтезованого у цій же частині даного проекту.

Також, у другому розділі було побудовано систему в додатку Matlab Simulink з використанням термодинамічних параметрів будівлі та підсистеми теплового насоса у якості джерела опалення. Було досліджено вихідні характеристики при використанні різних регуляторів: PD-контролера, двох позиційного регулятора. У результаті виявилось, що використання двох позиційного регулятора є вигіднішим приблизно на 10%. Було проведено аналіз, як за покращення термоізоляції будівлі на 50% витрати електроенергії понизилися на 31%. Тому треба сказати, що для зменшення витрат електроенергії, в першу чергу доцільно покращити теплоізоляцію будівлі.

Окрім цього, температура в приміщенні стабілізується менш ніж за 2 години роботи, на відміну від використання PD-контролера, де стабільна температура спостерігається лише після п'яти годин роботи системи.

У другому розділі було проведено всебічне дослідження системи автоматичного керування тиском теплоносія. В рамках роботи виконано:

- Розробку функціональної, структурної та структурної алгоритмічної схем системи.
- Визначення загальної передавальної функції системи.

Було проаналізовано ефективність застосування типових регуляторів (П, ПІ, ПІД) та виконано синтез оптимального регулятора для системи. У результаті синтезу отримано такі параметри якості системи:

- Тривалість перехідного процесу: $t_p = 14,4 \text{ с}$
- Перерегулювання: $\sigma = 8,41\%$
- Час досягнення першого максимуму: $t = 8,94 \text{ с}$

– Усталена похибка скорегованої системи: $\delta_{уст}=0,005$
= 0,005.

Також було обрано комплекс технічних і програмних засобів, необхідних для реалізації системи автоматичного керування. При виборі і обґрунтуванні кожного елементу технічного забезпечення системи ставилось питання як це забезпечує ефективність та стабільність роботи цієї системи. Крім того враховувалась сталість життєвого циклу усіх активів підприємства, тобто шахти і її особливі виробничі умови, та навколишнє середовище.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

3.1 Розробка програмного забезпечення

Для створення програмного забезпечення системи скористаємося програмним пакетом Unity Pro XL. Програму складемо на мові FBD.

Мова FBD (Function Block Diagram) – графічна мова програмування високого рівня, яка дозволяє створювати програми, як набір функцій, процедур та функціональних блоків, входи та виходи яких зв'язані між собою інформаційними зв'язками. Загалом FBD нагадує функціональну структуру, де кожна функція виконується з урахуванням роботи іншої функції. Основними елементами програми є FFV (функції, процедури та функціональні блоки) й зв'язки, що поєднують ці елементи між собою. Графічно в редакторі FBD ці елементи зображені у вигляді прямокутників з входами і виходами [12].

Програмування контролера.

Unity PRO XL. Unity Pro – єдине середовище розробки, налагодження додатків і операційне середовище для контролерів Modicon Premium, Atrium і Quantum, M340. Інструменти налагодження і діагностики, 5 мов IEC 61131-3 дозволяють Unity Pro підвищити продуктивність розробки і спростити обслуговування. Програмне забезпечення Unity Pro гарантує використання ваших вкладень найкращим чином, зниження витрат на навчання і пропонує неперевершений потенціал для розвитку.

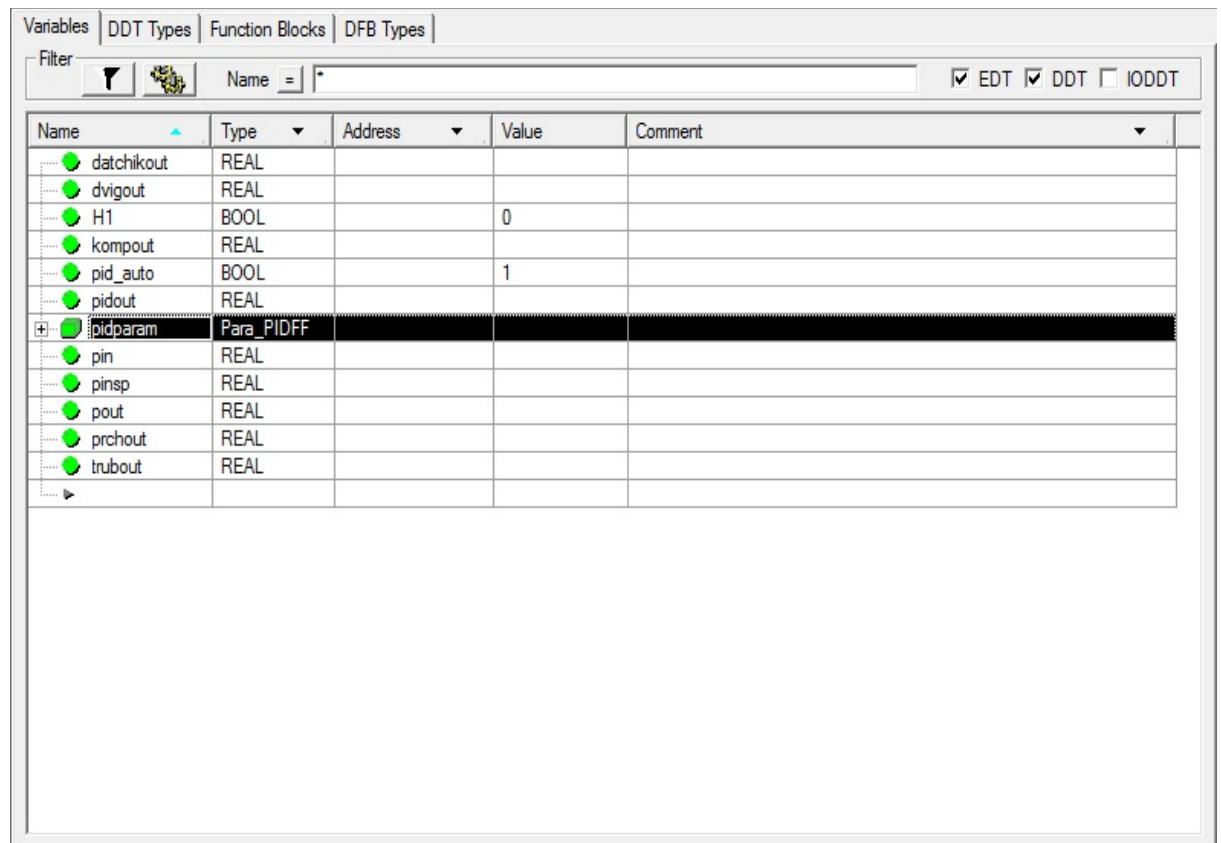
Unity Pro настільки досконале рішення, що дозволяє формувати свої власні прикладні стандарти, спрощуючи повторне використання в різних середовищах і покращуючи продуктивність і якість.

В основі програмного забезпечення Unity Pro лежить принцип відкритості, що робить можливим ефективну і просту взаємодію з іншим програмним забезпеченням проекту.

Застосування:

- Контроль виробництва;
- Контроль серійного виробництва;
- Інфраструктура;

Масив змінних програми наведено на рисунку 3.1.



Name	Type	Address	Value	Comment
datchikout	REAL			
dvigout	REAL			
H1	BOOL		0	
kompout	REAL			
pid_auto	BOOL		1	
pidout	REAL			
pidparam	Para_PIDFF			
pin	REAL			
pinsp	REAL			
pout	REAL			
prchout	REAL			
trubout	REAL			

Рисунок 3.1 – Установка змінних

Конфігурація ПЛК зображена на рисунку 3.8.

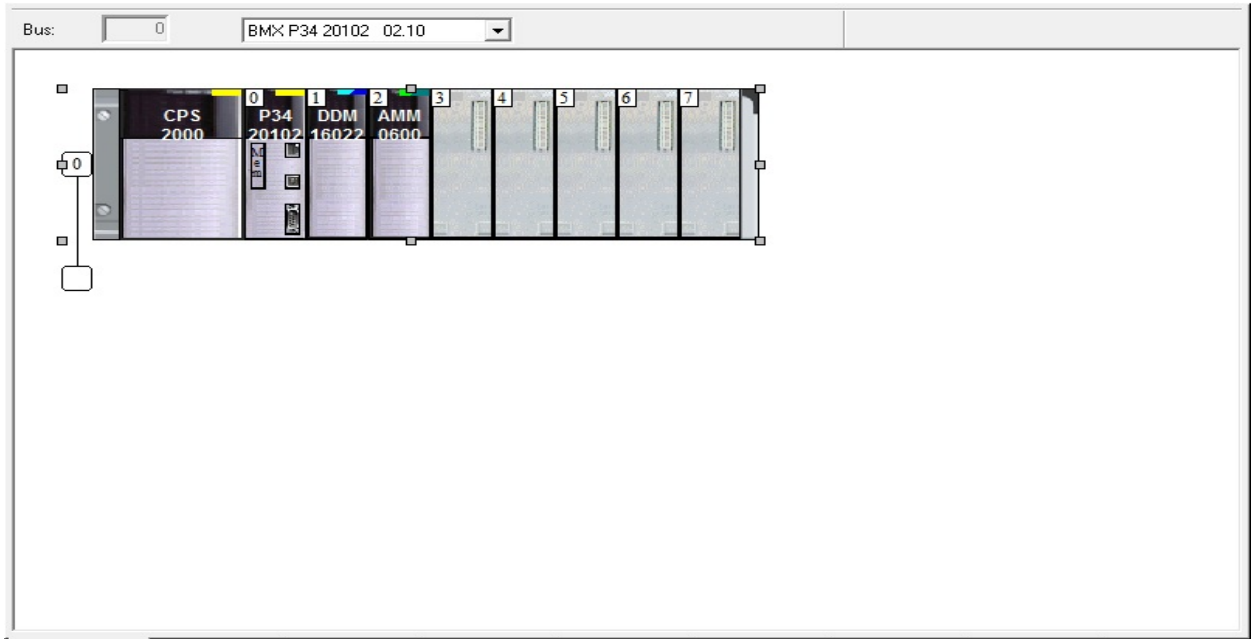


Рисунок 3.2 – Конфігурація PLC у Unity Pro

Як було сказано вище, в обраній мові програмування вибираємо відповідні блоки, згідно наведених вище алгоритмів. Потім вони наповнюються параметрами і виконуються у тій послідовності, як записані – зверху до низу.

Функціональні блоки наведено на рисунках 3.9 – 3.14.

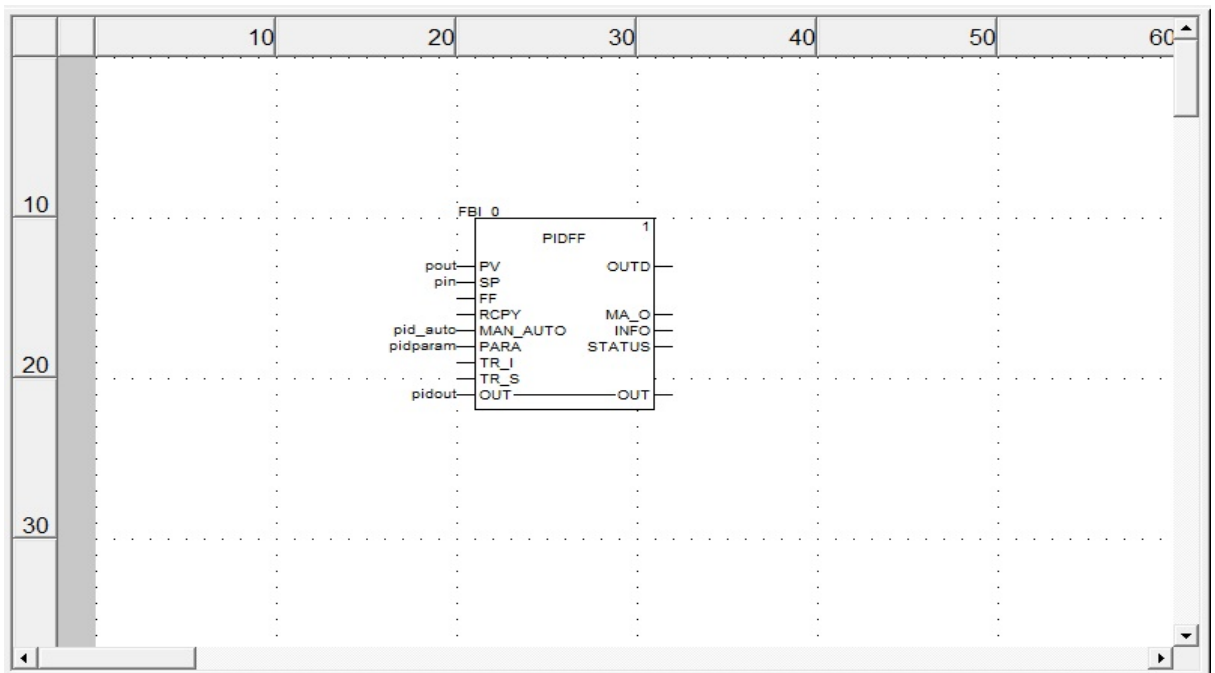


Рисунок 3.3 – Функціональний блок PID

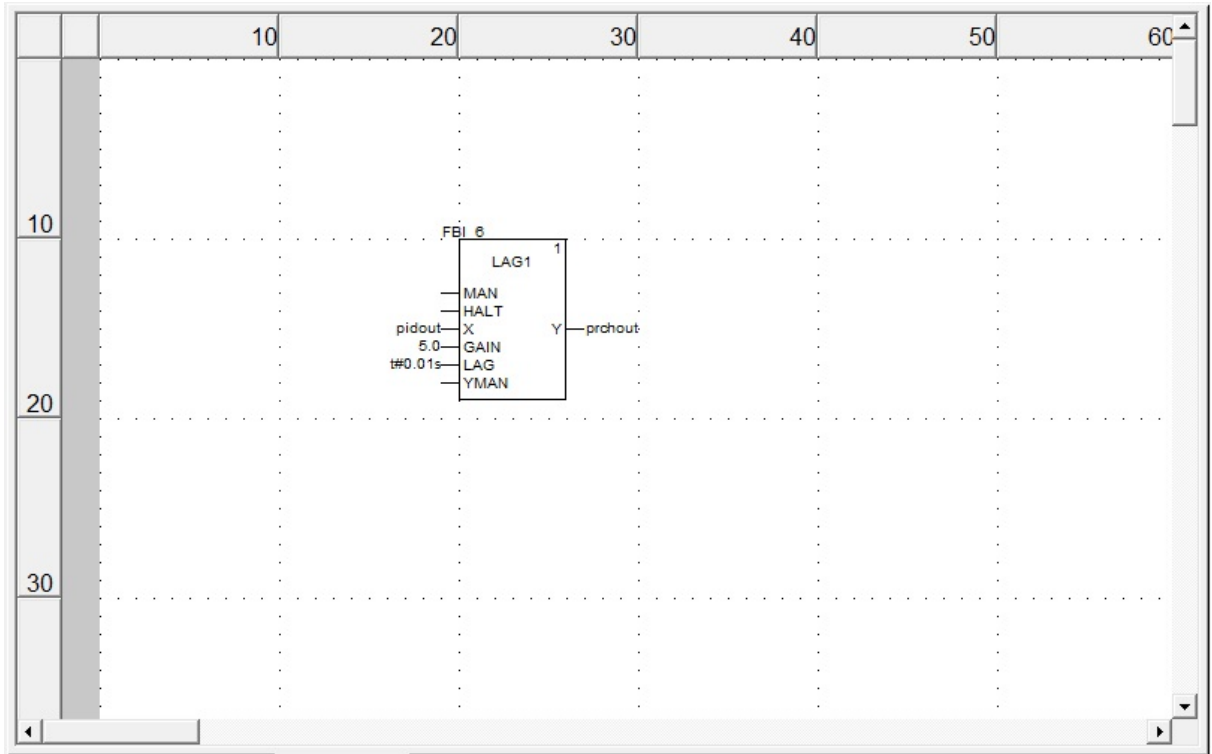


Рисунок 3.4– Функціональний інерційний блок 6

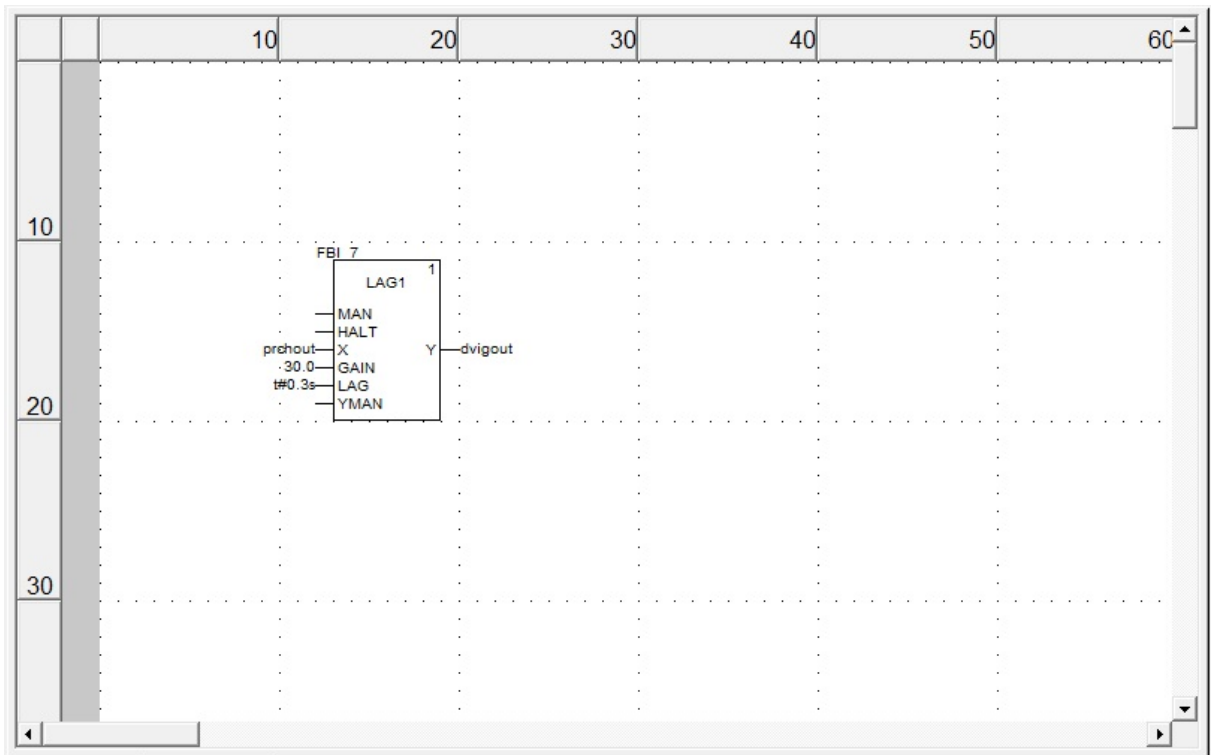


Рисунок 3.5 – Функціональний інерційний блок 7

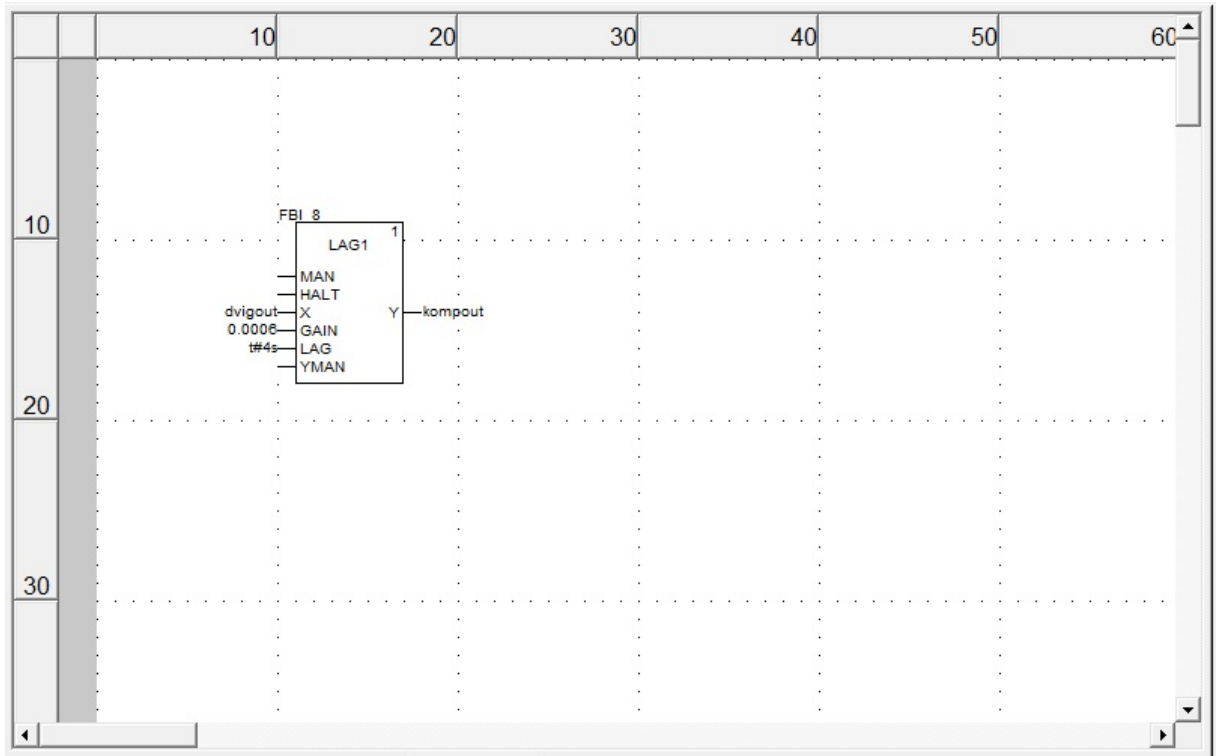


Рисунок 3.6 – Функціональний інерційний блок 8

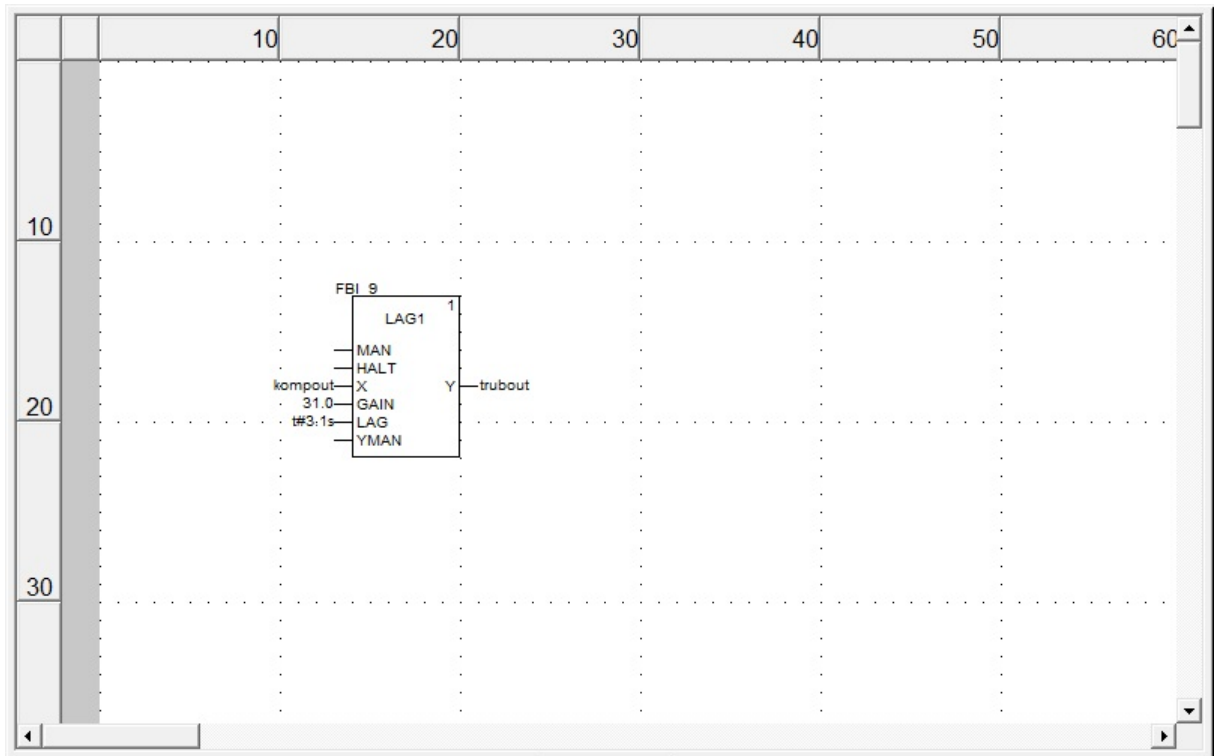


Рисунок 3.7 – Функціональний інерційний блок 9

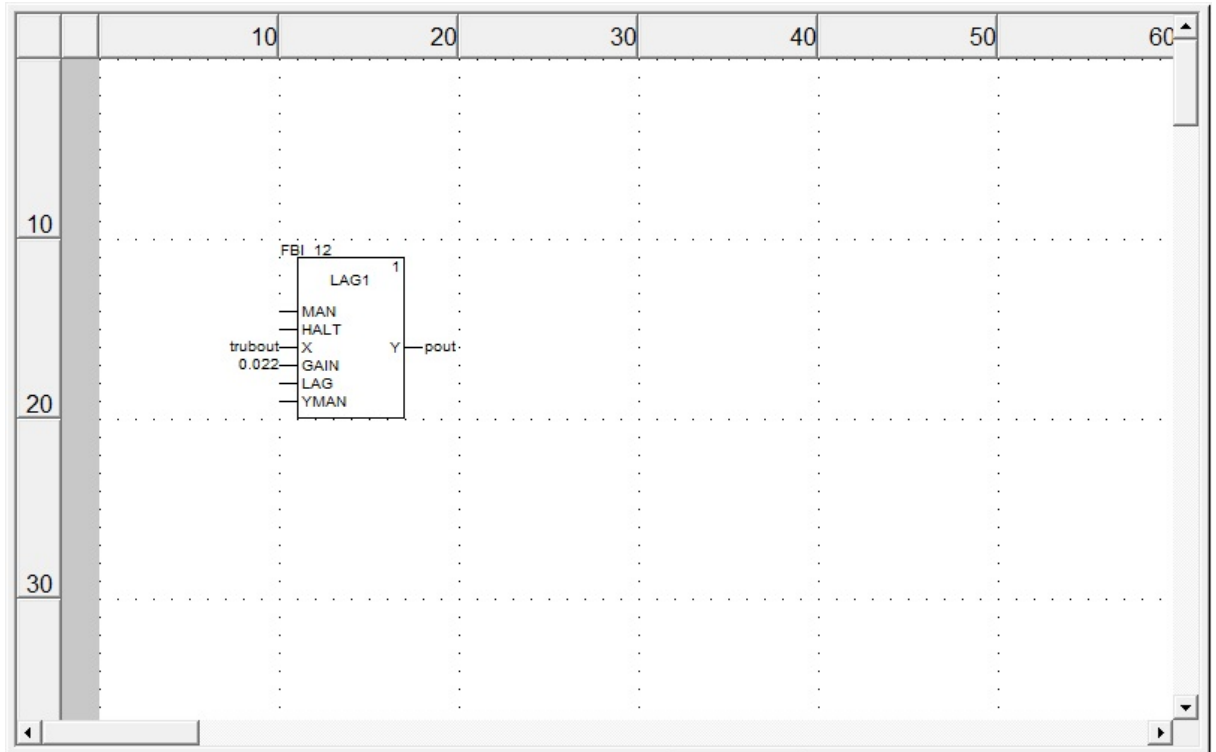


Рисунок 3.8 – Функціональний інерційний блок 12

Фрагмент програми виконаний для імітації роботи об'єкта (його безперервної частини), тобто в режимі *simulation*. Потім усі напрацювання, які відбулися у цьому режимі будуть перенесені в адресну програму і занесені в таблиці даних і основний робочий код.

Дискретну логічну програму в цій роботі не приводиться по завданню керівника проекту.

3.2 Розробка програми візуалізації

Для розробки програми візуалізації і анімації скористаємося операторськими екранами в середовищі *Unity Pro*. Операторські екрани дають можливість відображати та змінювати значення змінних за допомогою анімованих графічних елементів. Функціональність операторських екранів

наближена до функціональності графічних операторських панелей, що дає дуже потужний і зручний механізм для налагодження програми.

Екран оператора наведено на рисунку 3.9.

Screen1

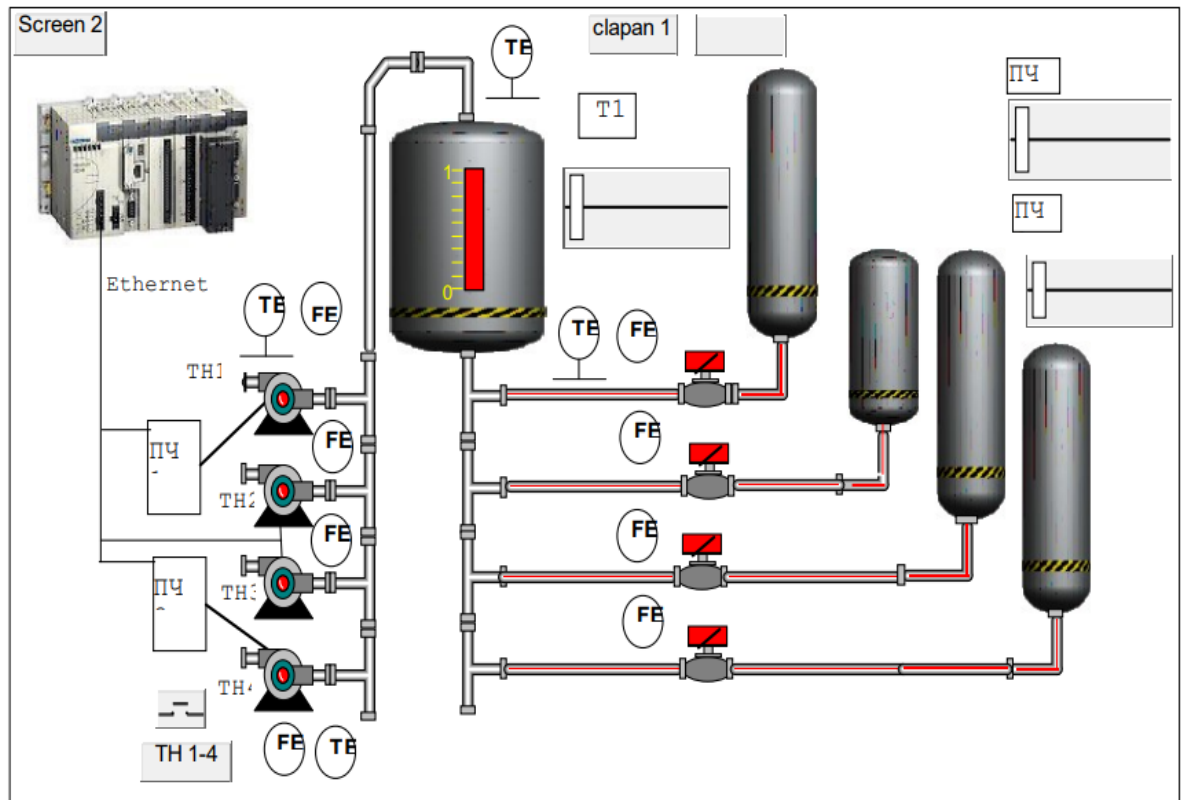


Рисунок 3.9 – Фрагмент екрана оператора (Screen1)

На екрані показані теплові насоси ТН1-ТН4 під'єднанні до ресиверу Е₁, з якого живляться чотири споживача гарячої води.

Керування здійснюється контролером М340. Регулювання теплових насосів здійснюється завдяки установленим перетворювачам частоти ПЧ.

На анімаційній схемі анімується також переключення чотирма клапанами живлення чотирьох споживачів.

Екрани анімації переключаються активними кнопками Screen1 Screen2

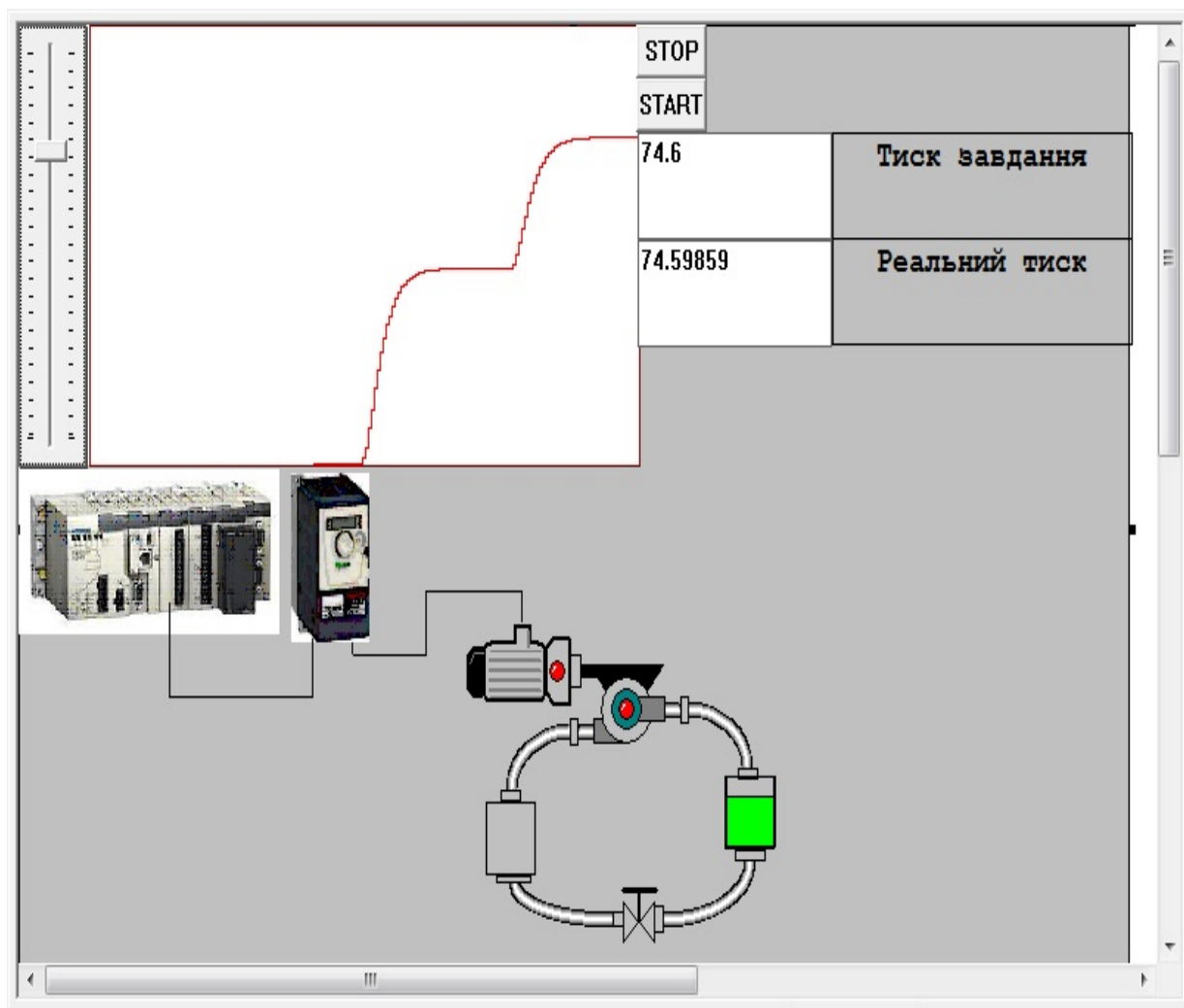


Рисунок 3.10 – Екран з анімацією теплового насоса

Висновки за розділом

Для створення програмного забезпечення системи обрано програмний пакет Unity Pro XL. Програму складено на мові FBD.

Мова FBD (Function Block Diagram) – графічна мова програмування високого рівня, яка дозволяє робити програми, як набір функцій, процедур та функціональних блоків, входи та виходи яких поєднані між собою інформаційними зв'язками. Загалом FBD, як функціональна структура, досить зручна, де кожна функція виконується з урахуванням роботи іншої функції. Основними елементами програми є FFB (функції, процедури та функціональні

блоки) й зв'язки, що поєднують ці елементи між собою. Графічно в редакторі FBD ці елементи зображені у вигляді прямокутників з входами і виходами [12].

Unity Pro – єдине середовище розробки, налагодження додатків і операційне середовище для контролерів Modicon Premium, Atrium і Quantum, M340. Інструменти налагодження і діагностики, 5 мов IEC 61131-3 дозволяють Unity Pro підвищити продуктивність розробки і спростити обслуговування. Програмне забезпечення Unity Pro дуже гнучка і найкращим чином застосована до різних замовників, зниження витрат на навчання і пропонує неперевершений потенціал для розвитку.

У процесі моделювання системи, була розрахована дискретна передаточна функція безперервної частини й перехідний процес замкненої системи. Моделювання системи було виконано з використанням регулятора, синтезованого у другій частині даного проекту. Отримано та побудовано відповідні часові (перехідну, імпульсну перехідну) та частотні (АЧХ, ФЧХ, АФХ, ЛАЧХ) характеристики системи.

Також було розроблено програмне забезпечення для керування системою за допомогою пакету Unity Pro XL на мові FBD.

ВИСНОВКИ

У роботі проведено дослідження об'єкта керування та технологічного процесу, розглянуто загальні відомості про теплові насоси і принцип їх дії. Проаналізовано існуючі системи опалення з використанням теплових насосів «повітря-вода». На основі дослідження сформульовано вимоги до проєктованої системи та зроблено такі висновки:

- Системи опалення з тепловими насосами впроваджуються в Україні повільними темпами.
- Керування тиском теплоносія у цих системах наразі здійснюється за допомогою дроселів.
- Теплові насоси є перспективним джерелом альтернативної енергії.
- Вентиляція шахт викидає значну кількість тепла, яке залишається невикористаним.
- Це тепло може бути застосоване для створення систем опалення з використанням теплового насоса.

Подальші дослідження були спрямовані на створення системи, у якій керування тиском здійснюється компресором. Такий підхід забезпечує підвищення продуктивності системи та зниження енерговитрат.

У межах роботи:

- Сформовано вимоги до системи автоматичного керування тиском теплоносія теплового насоса «повітря-вода» на базі мікропроцесорного комплексу.
- Проведено аналіз технологічного процесу шахтної вентиляції та існуючих систем опалення, що дозволило визначити вимоги до проєктованої системи.

- Складено задачі для розроблення функціональної, структурної та алгоритмічної структурної схем, а також для розрахунку часових і частотних характеристик системи.

- Проведено аналіз ефективності систем із різними типами регуляторів (П, ПІ, ПІД) для проєктованої системи.

- Обрано орієнтовний комплекс технічного та програмного забезпечення, який включає:

- ПЛК Modicon M340;

- Перетворювач частоти Altivar 61;

- Датчик тиску MSB 32;

- Операційну систему Windows;

- Інструментальну систему для програмування промислових контролерів Unity Pro.

Для моделювання системи керування тиском теплоносія та розробки програмного забезпечення обрано пакети Simulink і Unity Pro. Це забезпечує можливість створення ефективної та надійної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А. В. Коваль, В. В. Коваль, О. В. Коваль. Автоматизована система управління насосною станцією водопостачання з використанням технологій інтернету речей // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Автоматизація та комп'ютерні технології. 2015. № 809. С. 105-111.
2. Проць Я. І. Автоматизація неперервних технологічних процесів : навч. пос. для тех. спец. ВНЗ / Я. І. Проць, О. А. Данилюк, Т. Б. Лобур. – Тернопіль : ТДТУ ім. І. Пулюя, 2008. 239 с.
3. Василенко І. О. Зелені технології у промисловості: монографія. Дніпро: Акцент ПП, 2019. 366с.
4. Протокол засідання Європейської комісії від 16 лютого 2016 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/memo_16_311/МЕМО_16_311_EN.pdf
5. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. [Чинний від 2011-11-01]. Мінрегіонбуд України. К.: Укрархбудінформ, 2011. С. 123 (Державний стандарт України).
6. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами. ДСТУ Б В.2.5-44:2010 (EN 15450:2007, MOD). Київ Мінрегіонбуд України 2010.С.56 (Державний стандарт України).
7. Беляєв Ю. Б. Технічні засоби автоматизації; Курс лекцій для студентів спеціальності 6.092500 «Автоматизоване управління технологічними процесами» напрямку 0925 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», денна та заочна форми навчання / Ю. Б. Беляєв, С. А. Киричук, В. М. Сідлецький, М. Г. Іванченко. Київ : НУХТ, 2009. С. 101.
8. Головка Д. Б. Автоматика і автоматизація технологічних процесів / Д. Б. Головка, К. Г. Рего, Ю. О. Скрипник. Київ : Либідь, 1997. 232 с.

9. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування : підручник / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. Київ : Либідь, 1997. 544 с.

10. Пупена О. М. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro : навч. посібник / О. М. Пупена, І. В. Ельперін. Київ : Ліра, 2013. 376 с.

11. Правильний розрахунок теплової потужності системи опалення за площею приміщення [Електронний ресурс]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://teplospec.com/montazh-remont/pravilnyu-raschet-teplovoy-moshchnosti-sistemy-otopleniya-po-ploshchadi-pomeshcheniya.html> (дата звернення 30.09.2024 р.).

12. Energy efficiency trends and policies in buildings [Електронний ресурс]. Електронні дані. Режим доступу: <http://www.odysseemure.eu/publications/br/energy-efficiency-in-buildings.html> (дата звернення 22.10.2024 р.).

13. What is Energy Modeling & Building Simulation [Електронний ресурс]. Електронні дані. Режим доступу: <http://energy-models.com/what-is-energy-modeling-building-simulation.html> (дата звернення 24.10.2024 р.).

14. A. S. White. Simulation of Domestic Boiler Control [Text] / A. S. White. School of Engineering and Information Sciences, 2015, Vol. 11, p. 1-11.

15. Frederik Ruelens. Learning Agent for a Heat-Pump Thermostat With a Set-Back Strategy Using Model-Free Reinforcement Learning [Text]. Frederik Ruelens, Sandro Iacovella, Bert J. Claessens, Ronnie Belmans. Energies 2015, p. 1-18.

16. Kasper Vinther. Predictive control of hydronic floor heating systems using neural networks and genetic algorithms [Text.]. Ja D. Bendtsen, Kasper Vinther, Torben Green. 2017, IFAC PapersOnLine 50-1, p. 81-88.

17. Система опалення приватного будинку на основі теплового насосу та фотоелектростанції. В. М. Головка, В. І. Міхалін. Енергетика і автоматика" №2 2023 р. 63-70. DOI 10.31548/energiya2(66).2023.063.

18. Перетворювачі частоти Altivar 61. Каталог.Schneider Electric. URL:
https://www.altivar.com.ua/pdf/atv_61.pdf
19. Mapping the performance of reversible air-to-water heat pump for improving energy savings estimation in energy flexibility scenarios. Hamed Jafargholi a, Pietro Catrini a, Dhirendran MunithKumar b, Maurizio LaVillett a a, Domenico Panno a. Energy Conversion and Management Volume 315, 1 September 2024, 118762. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118762> Get rights and content
20. Жуковський С.С., Лабай В.Й. Аеродинаміка вентиляції: Навчальний посібник. Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2003. 372 с.
21. Жуковський С.С., Кінаш О.В. З історії розвитку вентиляції приміщень. Ринок інсталяцій №6/ 2004, с.60-61, №7-8/ 2004, с.95.
22. Енергозберігаюча теплиця для вирощування овочевих культур. URL:
<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1702193/>
23. Evaluation of the coefficient of performance of an air source heat pump unit and an air to water heat pump S. Tangwe*, K. Kusakana. Journal of Energy in Southern Africa • Vol 32 No 1 • February 2021: p. 27–40 DOI: <https://dx.doi.org/10.17159/2413-3051/2021/v32i1a7935>.
24. Modeling Assessment of Residential Air-to-Water Heat Pumps Coupled with Cooling Thermal Storage ii Modeling Assessment of Residential Air-to-Water Heat Pumps Coupled with Cooling Thermal Storage. Prepared by: Stephen Becker, Marc Hoeshele, Alea German Frontier Energy. Prepared for: Building Technologies Office, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy. May 2023.P45.
25. Environment-friendly and energy-saving greenhouse. URL:
<https://worldwide.espacenet.com/>
26. Greenhouse environment control system. URL:
<https://worldwide.espacenet.com/>

27. Моделювання компресора. Електронні дані. Режим доступу: <https://www.aveva.com/en/perspectives/blog/reinventing-process-simulation-complete-compressor-design-and-analysis-with-one-model/> . (дата звернення 24.10.2024 р.)

28.. ДБН В.2.6-31:2021. ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ. На заміну ДБН В.2.6-31:2016; чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. Київ: Держ. підприємство “Укрархбудінформ“, 2022. 23 с.

29. 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.

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

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

32. 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).

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