

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ЧОРНОВОЛ Олександр Володимирович

**РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ
КОГЕНЕРАЦІЙНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ**

напрямок підготовки: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
фахове спрямування: Комп'ютерні системи управління та автоматика
Кваліфікаційна робота за освітнім рівнем "Бакалавр"

Виконав студент групи АКІТ-41
Чорновол О.В.

Науковий керівник:
к.т.н., П.В.Гуменний

Кваліфікаційну роботу допущено до захисту:
" _____ " 20 ____ р.
Завідувач кафедри
_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2023

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри СКС
_____ А.І.Сегін
" ____ " _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ЧОРНОВОЛУ Олександр Володимировичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Розробка комп'ютерно інтегрованої системи когенераційного енергозабезпечення будинку / Development of a computer-integrated system of cogeneration energy supply for the house.

керівник роботи к.т.н., Гуменний П.В.

затверджені наказом по університету від «08» грудня 2022 р. № 491

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи: 15.05.2023р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Області застосування когенераційних систем.

2. Способи управління когенераційними системами.

3. Підходи до вирішення проблеми змінності навантаження.

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз когенераційних систем.

2. Дослідження систем автоматизованого управління когенераційними системами.

3. Розробка комп'ютерно - інтегрованої системи когенераційного енергозабезпечення будинку.

4. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Гуменний П.В.		
2	Гуменний П.В.		
3	Гуменний П.В.		
4	Сапожник Г.В.		

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз когенераційних систем	11.2022р. – 12.2022р.	
2	Дослідження систем автоматизованого управління когенераційними системами	01.2023р. – 02.2023р.	
3	Розробка комп'ютерно - інтегрованої системи когенераційного енергозабезпечення будинку	03.2023р. – 04.2023р.	
4	Охорона праці	04.2023р. – 05.2023р.	

Студент

_____ (підпис)

Чорновол О.В.

Керівник роботи

к.т.н., Гуменний П.В.

(підпис)

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 64 сторінках, містить 15 рисунків та 25 джерел за переліком посилань.

Мета роботи.

Метою даної роботи є розробка комп'ютерно-інтегрованої системи когенераційного енергозабезпечення будинку.

Методи дослідження.

Методи дослідження, використані в цій роботі, включали огляд літератури, проектування системи та розробку прототипу. Огляд літератури був проведений з метою визначення сучасного стану когенераційних систем для будинків. Прототип був розроблений для перевірки здійсненності системи та виявлення будь-яких потенційних проблем.

Результати роботи.

Результати роботи показали, що система здатна задовольнити бажані вимоги до продуктивності. Система здатна генерувати електричну та теплову енергію з ефективністю понад 80%. Система також змогла зменшити вплив на навколишнє середовище за рахунок зменшення викидів парникових газів та забруднення повітря.

Рекомендації щодо використання результатів роботи.

Результати даної роботи можуть бути використані для подальшого розвитку системи та розширення її можливостей. Систему можна зробити більш ефективною за рахунок удосконалення конструкції компонентів та оптимізації системи управління.

Ключові слова: КОГЕНЕРАЦІЯ, ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ, КОМП'ЮТЕРНО - ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

ABSTRACT

The work is completed on 64 pages, contains 15 images and 25 sources according to the list of references.

Purpose of the work.

The aim of this work is to develop a computer-integrated system of cogeneration energy supply for a house. The system developed in this work was designed to be able to provide energy to the house efficiently and qualitatively, while reducing the impact on the environment.

Research methods.

The research methods used in this paper included literature review, system design, and prototype development. The literature review was conducted to determine the current state of the art of cogeneration systems for homes. The prototype was designed to test the feasibility of the system and identify any potential problems.

Results.

The results showed that the system is able to meet the desired performance requirements. The system is able to generate electricity and heat with an efficiency of over 80%. The system was also able to reduce the environmental impact by reducing greenhouse gas emissions and air pollution.

Recommendations for using the results of the work.

The results of this work can be used to further develop the system and expand its capabilities. The system can be made more efficient by improving the design of components and optimizing the control system. The system can also be expanded by using renewable energy sources such as solar and wind energy.

Keywords: COGENERATION, ENERGY SUPPLY, COMPUTER-INTEGRATED SYSTEM, SOFT.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ	14
1.1 Аналіз когенераційних систем на основі газу.	14
1.2 Аналіз когенераційних систем на основі електрики	16
1.3 Аналіз недоліків газових та електричних когенераційних систем	18
2 ДОСЛІДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ	20
2.1 Види когенераційних систем	20
2.2 Дослідження компонентів когенераційних установок	23
2.3 Програмні засоби управління когенераційними системами	30
3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	34
3.1 Розробка алгоритму системи когенераційного енергозабезпечення	34
3.3 Модель системи управління	38
3.4 Реалізація операторно-структурної схеми	39
3.5 Розрахунок коефіцієнтів регуляторів методом Циглера-Нікольса	40
3.7 Розробка алгоритму системи управління	43
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	45
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів виробництва	45
ВИСНОВОК	49
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	51
ДОДАТКИ	54
Додаток А	54
Додаток Б	59
Додаток В	62

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Чорновол О.В.</i>			РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КОГЕНЕРАЦІЙНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архивів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Гуменний П.В.</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Заставний О.М.</i>						
<i>Консульт.</i>		<i>Сапожник Г.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Сегін А.І.</i>						
						ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		

ВСТУП

Актуальність теми. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи когенераційного енергозабезпечення будинку є актуальною темою з ряду причин. Когенерація є високоефективним способом виробництва тепла та електроенергії, що може призвести до значної економії витрат на електроенергію. Комп'ютерно-інтегровані системи можуть забезпечити ряд переваг, таких як підвищення ефективності, надійності та простоти використання. Очікується, що попит на системи когенерації зросте в найближчі роки, оскільки уряди та підприємства прагнуть зменшити свою залежність від викопного палива.

Когенерація – це одночасне виробництво тепла та електроенергії з одного джерела палива. Це можна зробити кількома способами, але найпоширенішим методом є використання газової турбіни для виробництва електроенергії. Відпрацьоване тепло від турбіни потім можна використовувати для нагріву води або повітря, які можна використовувати для опалення приміщень або гарячої води.

Когенераційні системи є більш ефективними, ніж традиційні методи виробництва тепла та електроенергії, такі як окремі котельні та електростанції. Це тому, що відпрацьоване тепло від турбіни не витрачається даремно, а натомість використовується для отримання додаткової енергії. У результаті когенераційні системи можуть призвести до значної економії витрат на електроенергію.

Комп'ютерно-інтегровані системи можуть забезпечити ряд переваг для когенераційних систем. Наприклад, їх можна використовувати для моніторингу та керування системою, що може допомогти підвищити ефективність і надійність. Вони також можуть бути використані для надання

даних про продуктивність системи, які можуть бути використані для прийняття обґрунтованих рішень про те, як керувати системою.

Очікується, що в найближчі роки попит на когенераційні системи зросте. Це пов'язано з низкою факторів, включаючи зростання вартості енергії, необхідність скорочення викидів парникових газів і збільшення доступності відновлюваних джерел енергії. Як наслідок, розробка комп'ютерно-інтегрованої системи когенераційного енергетичного опалення будинку є своєчасною та актуальною темою.

Крім перерахованих вище причин, існує ряд інших причин, чому розробка комп'ютерно-інтегрованої системи когенераційного енергетичного опалення будинку є актуальною темою. Наприклад, системи когенерації можуть допомогти зменшити забруднення повітря та покращити якість повітря. Вони також можуть допомогти створити робочі місця та підняти економіку.

Мета кваліфікаційної роботи полягає в розробці комп'ютерно - інтегрованої системи когенераційного опалення будинку. Система повинна бути ефективною, надійною та простою у використанні. Вона також буде спроектована таким чином, щоб можна було здійснювати моніторинг та управління системою, а також надавати дані про продуктивність системи.

Система буде розроблена з використанням низки різних технологій, в тому числі:

- Газові турбіни
- Теплообмінники
- Котли
- Насоси
- Датчики

						ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк. 9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- Контролери
- Системи збору даних

Система буде протестована та оцінена в ряді різних середовищ, в тому числі:

- Житлові будинки
- Комерційні будівлі
- Промислові об'єкти

Результати тестування та оцінки будуть використані для покращення дизайну системи. Система буде доступна для громадськості, як тільки вона буде розроблена і протестована. Очікується, що система стане цінним інструментом для власників житла, бізнесу та промисловості.

Система матиме ряд переваг, серед яких:

- Зменшення витрат на електроенергію
- Підвищення енергоефективності
- Покращення якості повітря
- Зменшення викидів парникових газів
- Збільшення кількості робочих місць
- Зростання економіки

Очікується, що система зробить значний внесок у скорочення витрат на енергію та викидів парникових газів.

Об'єкт дослідження. Процес автоматизованого керування системою когенераційного енергозабезпечення будинку.

Предмет дослідження. Комп'ютерно-інтегрована система когенераційного енергозабезпечення будинку

Методи дослідження. Для досліджені комп'ютерно-інтегрованої системи буде розроблена комп'ютерна імітаційна модель для імітації роботи

системи. Імітаційна модель буде використовуватися для прогнозування продуктивності системи за різних умов.

Методи дослідження будуть використані для збору даних та інформації, які будуть використані для розробки, тестування та оцінки комп'ютерно-інтегрованої системи когенераційного опалення будинку. Дані та інформація будуть використані для покращення дизайну системи та підвищення її ефективності, надійності та простоти використання. Методи будуть використовуватися систематично та об'єктивно, щоб забезпечити достовірність та надійність результатів дослідження.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені рішення, алгоритми керування та їх реалізація можуть бути використані при реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи когенераційного енергопостачання будинку.

Напрямки подальшого розвитку. Нижче наведені деякі напрямки подальшого розвитку комп'ютерно-інтегрованої системи когенераційного опалення будинку:

- Підвищення ефективності роботи системи.
- Зменшення вартості системи.
- Збільшення зручності використання системи.
- Розширення можливостей системи.

Нижче наведено кілька конкретних прикладів того, як можна вдосконалити систему:

Ефективність системи можна підвищити, використовуючи більш ефективні компоненти та оптимізуючи дизайн системи.

Вартість системи можна зменшити, використовуючи дешевші компоненти та виготовляючи систему у більших кількостях.

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Систему можна зробити більш зручною для користувача, надавши кращі інструкції та зробивши елементи керування простішими у використанні.

Можливості системи можна розширити, додавши нові функції, наприклад, можливість виробляти електроенергію та забезпечувати гарячу воду.

Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи когенераційного опалення будинку є складним і відповідальним завданням. Однак, потенційні переваги системи є значними. Система має потенціал для зменшення витрат на енергію, покращення якості повітря та пом'якшення наслідків зміни клімату. Система є цінним інструментом, який може допомогти зробити світ чистішим і стійкішим.

Апробація. О.В. Чорновол Дослідження систем когенераційного енергозабезпечення будинку. / О.В. Чорновол, П.В. Гуменний //Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології” (АКІТ-2023), Тернопіль, 2023 - с.44-47.

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ

1.1 Аналіз когенераційних систем на основі газу.

Когенераційні системи - це ефективний спосіб виробництва енергії шляхом використання як теплової, так і електричної енергії, що утворюється при спалюванні палива. Основною перевагою когенераційних систем є їх високий коефіцієнт корисної дії, який може досягати 90%. Це досягається за рахунок використання тепла, яке вже втрачається під час виробництва електроенергії на традиційних електростанціях. Крім того, когенераційні системи допомагають зменшити викиди в атмосферу та підвищити стійкість електромереж до надзвичайних ситуацій.

Існує декілька видів когенераційних систем, які можуть бути використані для виробництва енергії, однією з яких є система на основі газу.

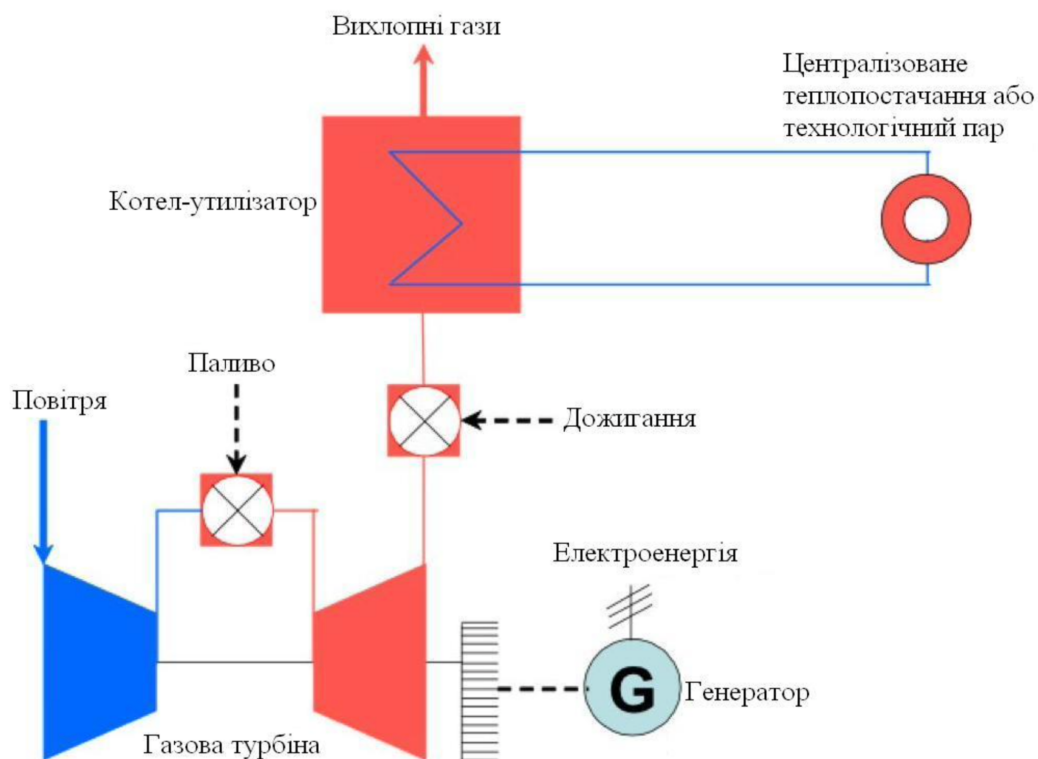


Рисунок 1.1 – Схема газової когенераційної установки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Газові когенераційні системи є найпоширенішим типом когенераційних систем. Вони використовуються в різних сферах, включаючи комерційні будівлі, промислові об'єкти та лікарні. Газові когенераційні системи є ефективними та надійними, і вони можуть допомогти зменшити витрати на енергію та викиди в атмосферу.

Газові когенераційні системи є дуже ефективними та екологічно чистими джерелами енергії. Природний газ має високу енергетичну щільність і може добре використовуватися як паливо для виробництва електричної та теплової енергії. Однією з головних переваг використання газу в когенераційних системах є його доступність та надійність постачання. Природний газ є одним з найдоступніших видів палива, який можна легко транспортувати трубопроводами від його джерел до місць споживання. Крім того, в порівнянні з нафтою і вугіллям, природний газ є досить чистим паливом, що дозволяє зменшити кількість викидів шкідливих газів в атмосферу.

Використання когенераційних систем може забезпечити ряд переваг, серед яких:

Підвищення ефективності: Когенераційні системи можуть мати ККД до 90%, що означає, що вони можуть виробляти більше енергії з меншою кількістю палива. Це може призвести до значної економії витрат на електроенергію.

Зменшення викидів: Когенераційні системи можуть допомогти зменшити викиди шкідливих газів, таких як вуглекислий газ та оксиди азоту. Це може покращити якість повітря та сприяти боротьбі зі зміною клімату.

Підвищена надійність: Когенераційні системи можуть забезпечити більш надійне джерело енергії, ніж традиційні електростанції. Це пов'язано з

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тим, що вони можуть продовжувати працювати навіть під час перебоїв в електропостачанні.

Загалом, когенераційні системи можуть бути цінним інструментом для підприємств та організацій, які прагнуть зменшити свої витрати на енергію, покращити якість повітря та зробити свій внесок у боротьбу зі зміною клімату.

1.2 Аналіз когенераційних систем на основі електрики

Когенераційні системи на основі електрики зазвичай використовують у випадках, коли вже є стабільні джерела електроенергії, але потрібні додаткові джерела тепла. Основним елементом такої системи є електрогенератор, який працює на паливі і виробляє електроенергію, що використовується в будинку, а також відпрацьований тепловий потік, який може бути використаний для опалення будинку або гарячого водопостачання. Однією з головних переваг використання когенераційних систем на основі електроенергії є їхня економічна ефективність. Використовуючи ту саму енергію палива для виробництва електроенергії та тепла, когенераційні системи можуть знизити загальні витрати на споживання енергії в будинку.

Ось деякі з переваг використання когенераційних систем на основі електроенергії:

Економічна ефективність: Когенераційні системи можуть знизити загальні витрати на енергоспоживання в будинку, використовуючи ту саму енергію палива для виробництва електроенергії і тепла. Це пояснюється тим, що відпрацьоване тепло генератора можна використовувати для обігріву будинку або гарячого водопостачання, що зменшує потребу в додаткових джерелах тепла.

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Схема когенераційної системи на основі електрики

Екологічні переваги: Когенераційні системи можуть допомогти зменшити викиди парникових газів, використовуючи менше палива для виробництва тієї ж кількості енергії. Це відбувається тому, що використовується відпрацьоване тепло генератора, що зменшує кількість палива, яке потрібно спалити для виробництва тепла.

Надійність: Когенераційні системи можуть забезпечити більш надійне джерело енергії, ніж традиційні електростанції. Це пов'язано з тим, що вони можуть продовжувати працювати навіть під час перебоїв в електропостачанні.

Загалом, когенераційні системи на основі електроенергії можуть бути цінним інструментом для власників будинків і підприємств, які прагнуть зменшити свої витрати на електроенергію, покращити якість повітря та зробити свій внесок у боротьбу зі зміною клімату.

1.3 Аналіз недоліків газових та електричних когенераційних систем

Незважаючи на те, що когенераційні системи мають багато переваг, є деякі недоліки, які потрібно враховувати перед їх встановленням.

Недоліки газових когенераційних систем:

- висока вартість встановлення: встановлення газової когенераційної системи може бути досить дорогим, особливо для домогосподарств з обмеженим бюджетом. Вартість газової когенераційної системи може становити від \$50 000 до \$100 000 і більше;
- залежність від палива: газові когенераційні системи залежать від постачання природного газу. Якщо постачання газу припиняється, когенераційна система не може працювати. Це може бути проблемою в районах, схильних до дефіциту або перебоїв з постачанням природного газу;
- обмежена мобільність: газові когенераційні системи мають обмежену мобільність і не можуть бути легко переміщені з місця на місце;

Недоліки електричних когенераційних систем:

- обмеженість виробництва: електричні когенераційні системи можуть виробляти обмежену кількість електроенергії, що може бути недостатньо для покриття потреб будинку в електроенергії;
- висока вартість: як і у випадку з газовими когенераційними системами, встановлення електричної когенераційної системи може бути досить дорогим. Вартість електричної когенераційної системи може становити від \$100 000 до \$200 000 і більше;

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- залежність від електропостачання: електричні когенераційні системи залежать від наявності стабільного джерела електропостачання. Якщо відбудеться відключення електроенергії, когенераційна система не зможе виробляти тепло та електроенергію;

Таким чином, перед встановленням когенераційної системи потрібно ретельно зважити на її переваги та недоліки і обрати ту, яка найбільше відповідає потребам об'єкту та можливостям бюджету.

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2 ДОСЛІДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ

2.1 Види когенераційних систем

Існує багато різних видів когенераційних установок (КУ), які використовуються для виробництва електрики та тепла одночасно. Ось деякі найпопулярніші когенераційні установки:

Когенераційна установка з газовою турбіною. КУ з газовою турбіною - одна з найпоширеніших когенераційних систем. Вона працює на природному газі або газі з відновлюваних джерел енергії. Газ спалюється в турбіні, яка приводить в дію електричний генератор. Отримана електрична енергія і тепло використовуються для опалення будівель.

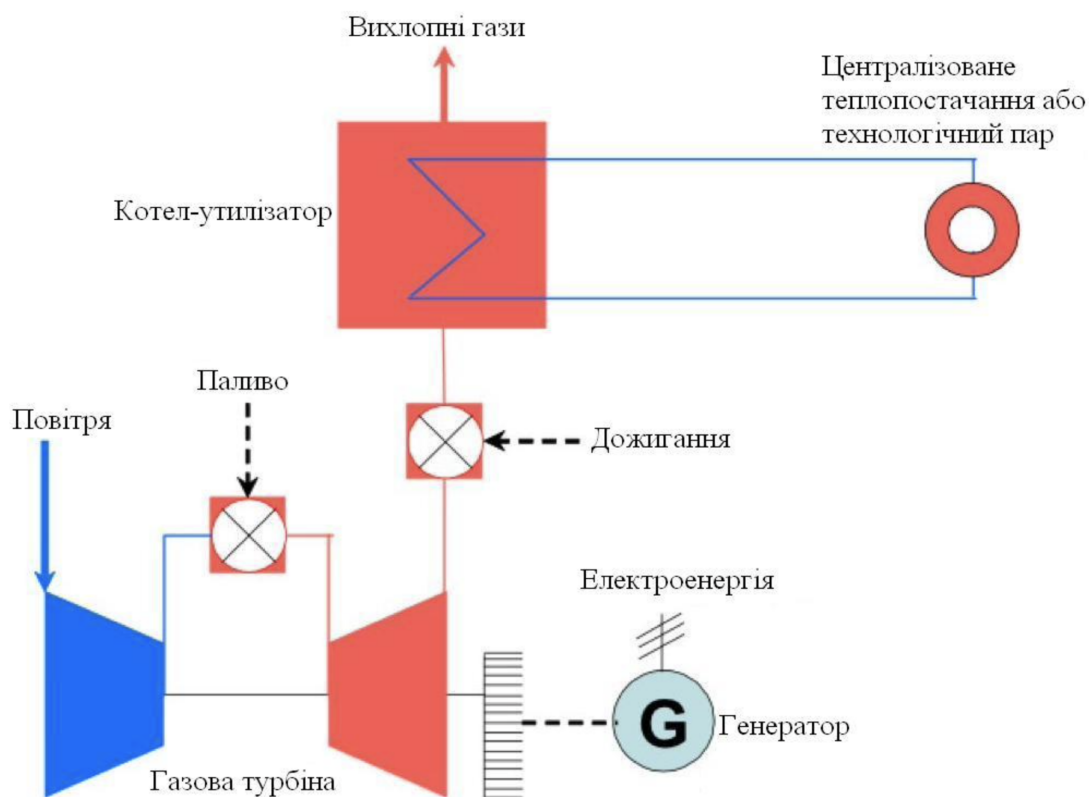


Рисунок 2.1 – Схема КУ з газовою турбіною

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Газотурбінні когенераційні установки зазвичай використовуються у великих будівлях, таких як лікарні, готелі та офісні будівлі. Вони також можуть використовуватися на промислових об'єктах. Газотурбінні когенераційні установки є відносно ефективними, з електричним ККД до 40% і тепловим ККД до 80%.

Когенераційна установка з двигуном внутрішнього згоряння. КУ з двигуном внутрішнього згоряння працює на дизельному паливі або природному газі. Ця установка складається з двигуна, який приводить в дію генератор електроенергії та опалювальне обладнання. Отримана електрична енергія і тепло використовуються для опалення будівель.

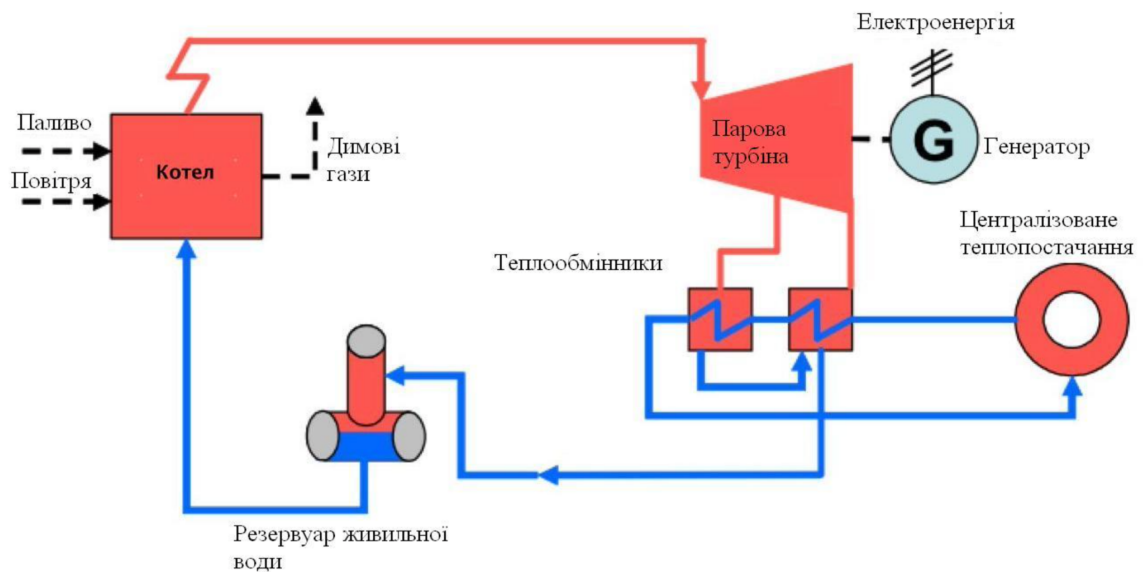


Рисунок 2.2 – Схема КУ з двигуном внутрішнього згоряння

Когенераційні установки на двигунах внутрішнього згоряння зазвичай використовуються в менших будівлях, ніж газотурбінні когенераційні установки. Вони також можуть використовуватися в промислових умовах. Когенераційні установки на двигунах внутрішнього згоряння є менш

ефективними, ніж газотурбінні когенераційні установки, з електричним ККД до 30% і тепловим ККД до 70%.

Когенераційна установка з турбовентилятором. Ця когенераційна установка використовує турбовентилятор, що працює на природному газі. Вона складається з двигуна і генератора, які взаємодіють з турбовентилятором. Отримана електрична енергія і тепло використовуються для опалення будівель.

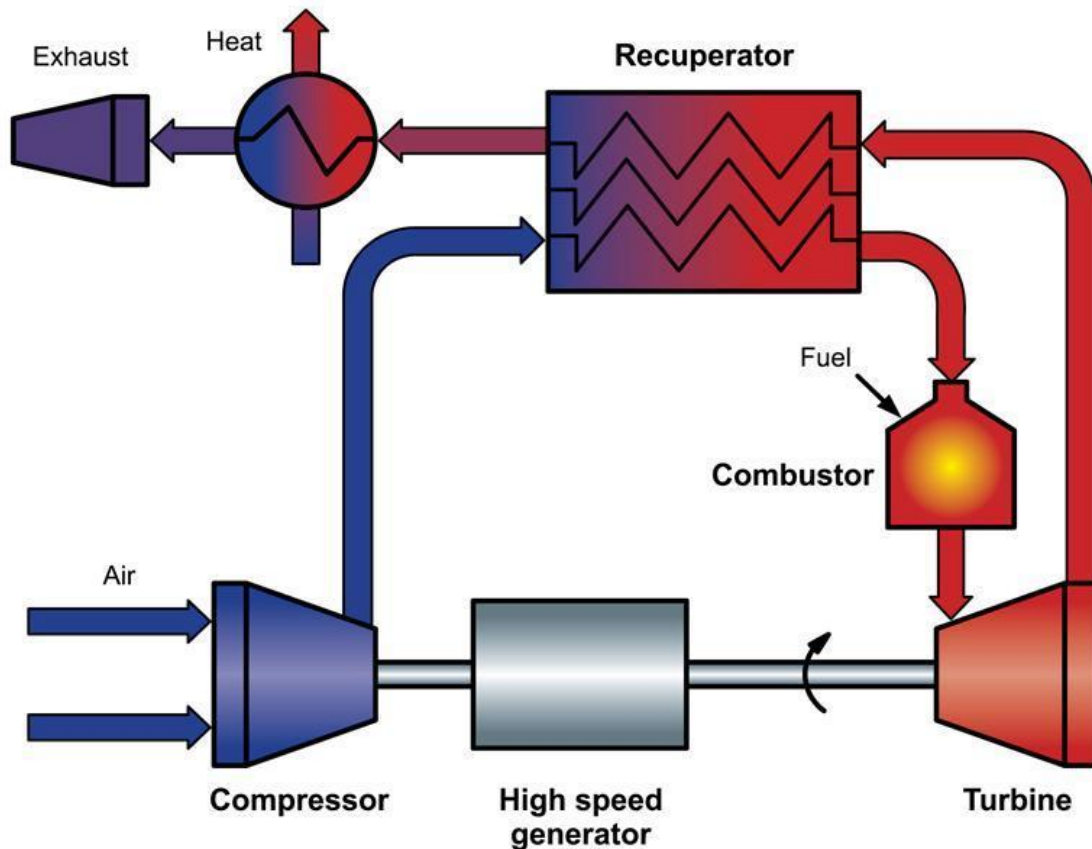


Рисунок 2.2 – Схема КУ з турбовентилятором

Турбогенераційні установки зазвичай використовуються у великих будівлях, таких як лікарні, готелі та офісні будівлі. Вони також можуть

використовуватися на промислових об'єктах. Турбовентиляторні когенераційні установки є відносно ефективними, з електричним ККД до 40% і тепловим ККД до 80%.

Когенераційна установка на паливних елементах. КУ на паливних елементах є однією з найефективніших когенераційних установок. Вона працює на водяній парі, що виробляється паливними елементами.

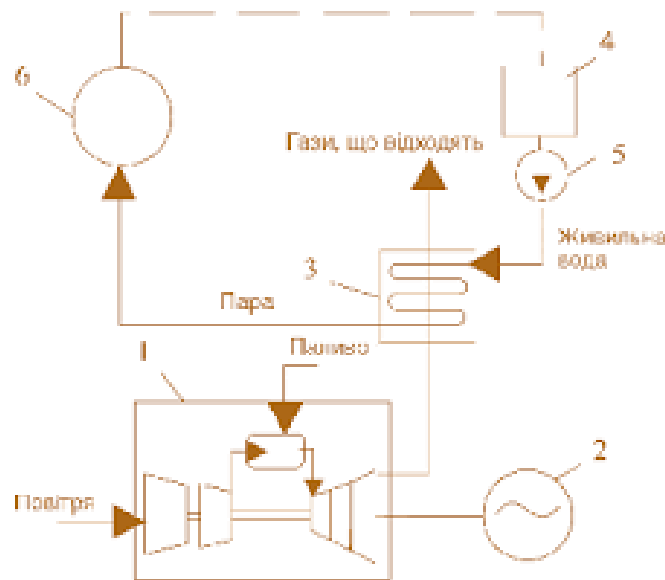


Рисунок 2.3 – Схема КУ на паливних елементах

Когенераційні установки на паливних елементах зазвичай використовуються в невеликих будівлях, таких як будинки і підприємства. Вони також можуть використовуватися в промислових умовах. Когенераційні установки на паливних елементах дуже ефективні, з електричним ККД до 60% і тепловим ККД до 80%.

2.2 Дослідження компонентів когенераційних установок

Газовий двигун: головний елемент когенераційної установки, який перетворює хімічну енергію палива на механічну енергію. У газового двигуна

когенераційної установки використовується те ж саме паливо, що й у звичайних газових двигунах, але установки забезпечують значно більшу ефективність використання палива. Тому, що відпрацьований тепловий потік може бути використаний для нагріву приміщень або генерації пари для виробничих потреб.

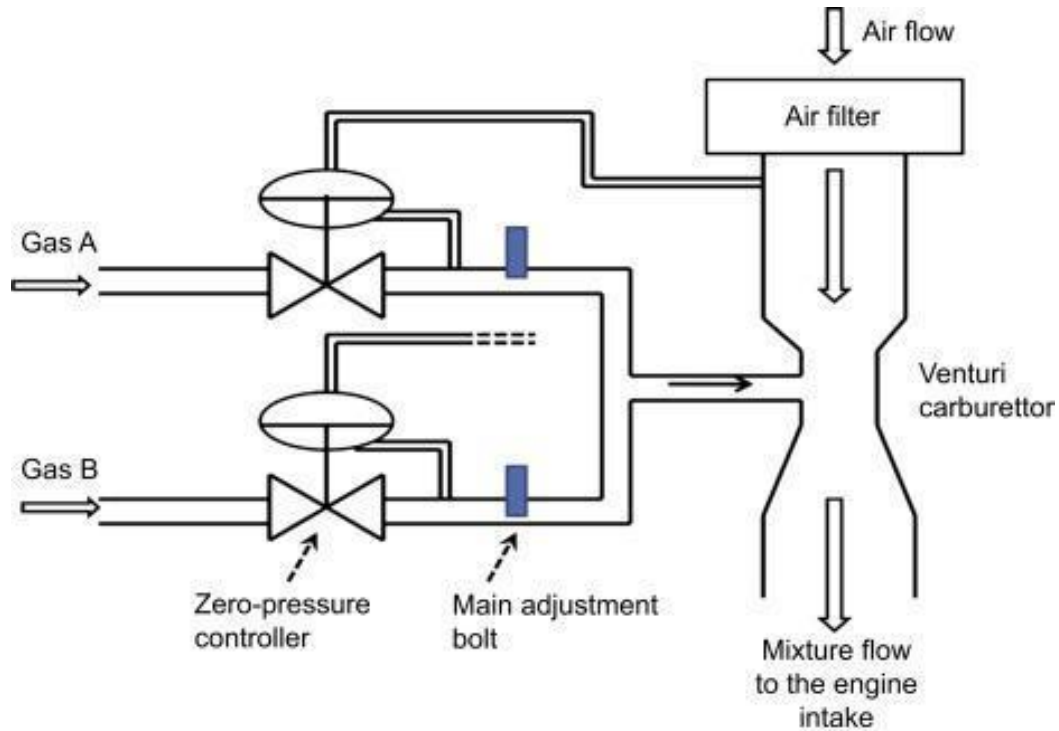


Рисунок 2.4 – Схема газового двигуна

Генератор: електричний генератор, який перетворює механічну енергію, що виробляється газовим двигуном, на електричну енергію. У більшості випадків генератори когенераційних установок є синхронними генераторами, що працюють зі змінним струмом. Генератор когенераційної установки може бути обладнаний додатковими пристроями для забезпечення ефективного використання виробленої теплової енергії, таких як рекуператори тепла або генератори підігріву води. Крім того, генератори

когенераційних установок можуть мати додаткові захисні пристрої, які забезпечують безпеку та захист установки від перевантаження та інших аварійних ситуацій.

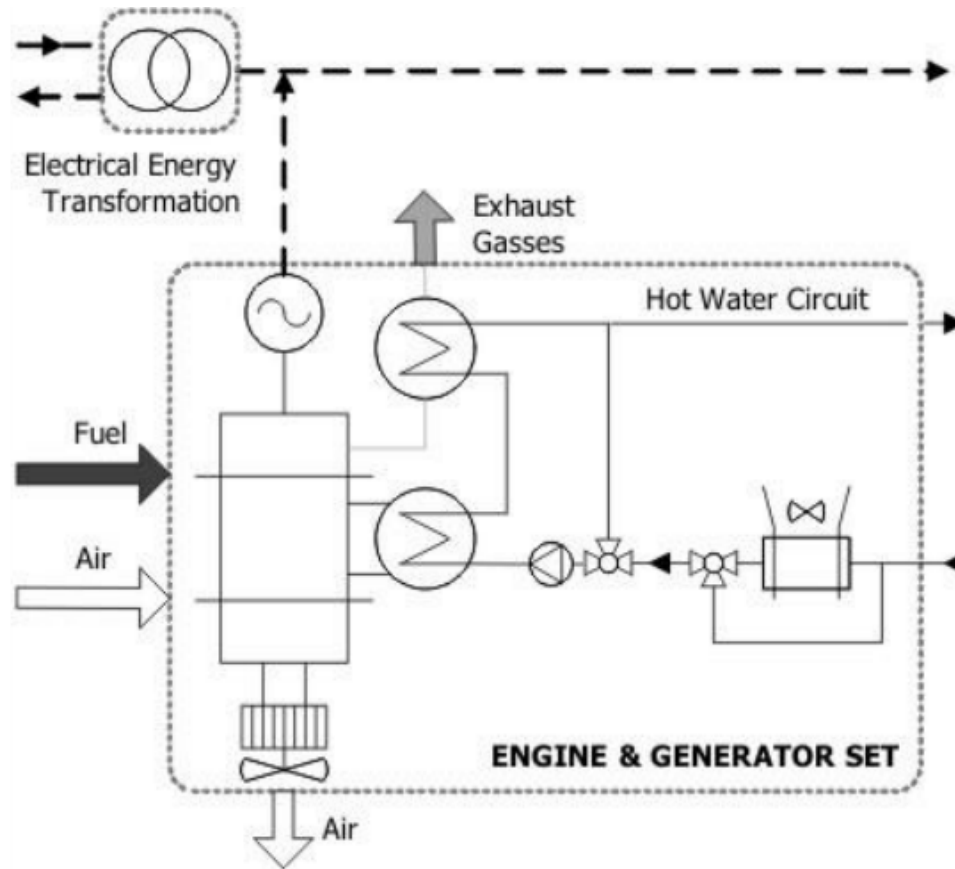


Рисунок 2.5 – Схема роботи генератора в поєднанні з двигуном

Теплообмінник: компонент, який забезпечує передачу тепла між двигуном і теплоносієм (наприклад, вода або пара). Тепло нагрітого газу, який виходить з двигуна, передається через теплообмінник до води, що циркулює в системі опалення та гарячого водопостачання. Гаряча вода, у свою чергу, використовується для опалення будівель, підігріву води для використання у побуті та інших процесів. Теплообмінники когенераційних установок можуть бути різних типів, таких як трубчасті, пластинчасті або блочні. Вони мають

ефективну конструкцію для забезпечення максимального теплообміну між газом та водою. Крім того, в когенераційній установці теплообмінники можуть бути оснащені автоматичними системами контролю, які дозволяють забезпечити оптимальну температуру та тиск води та газу для забезпечення максимальної ефективності та довговічності установки.

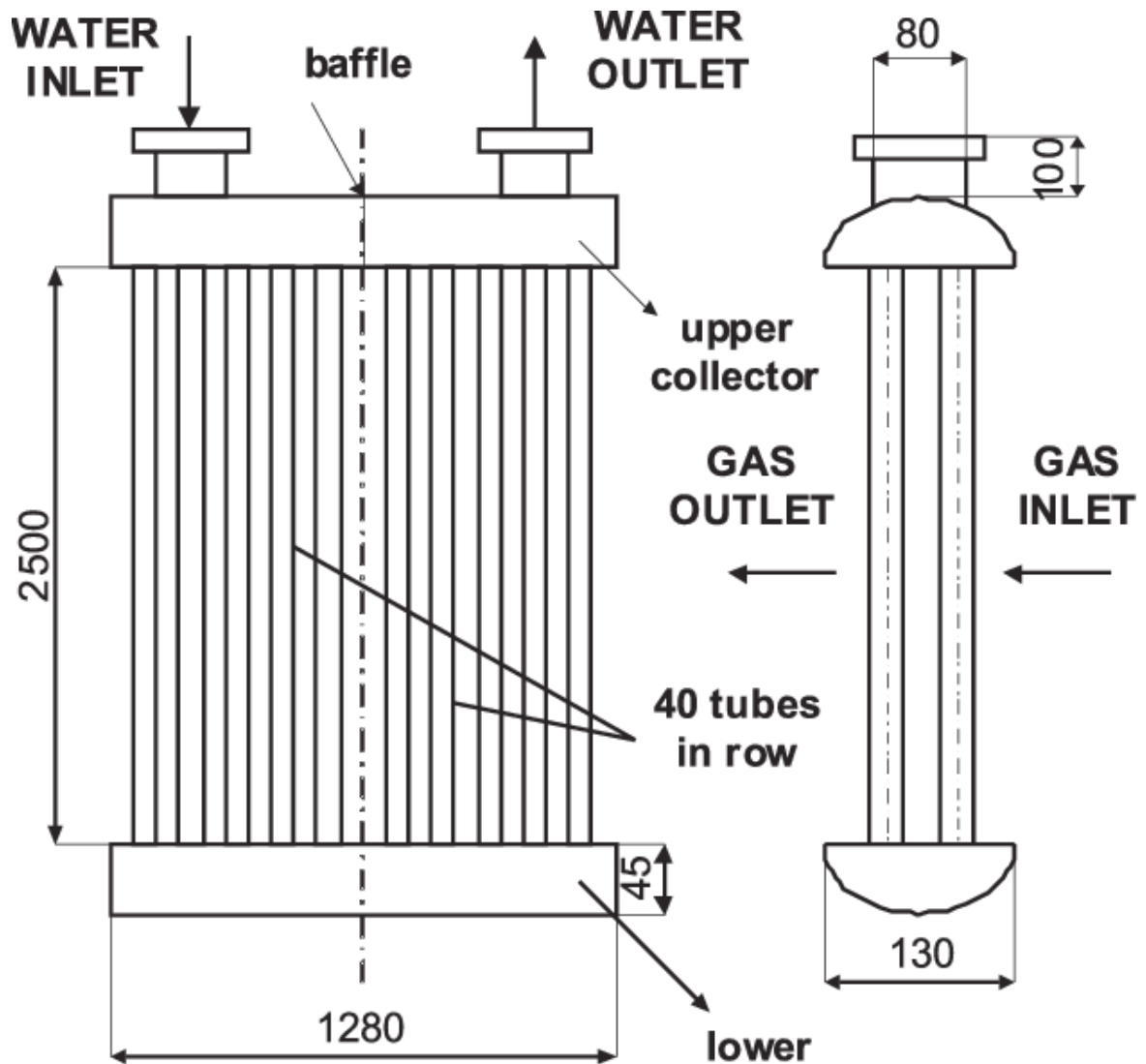


Рисунок 2.6 – Схема теплообмінника

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ

Арк.
25

Система припливу газу: складається з газопроводу, фільтрів, редуктора тиску і вимикача забезпечення безпеки. Ця система відповідає за такі етапи: підготовка, компресія, транспортування, контроль та регулювання газу.

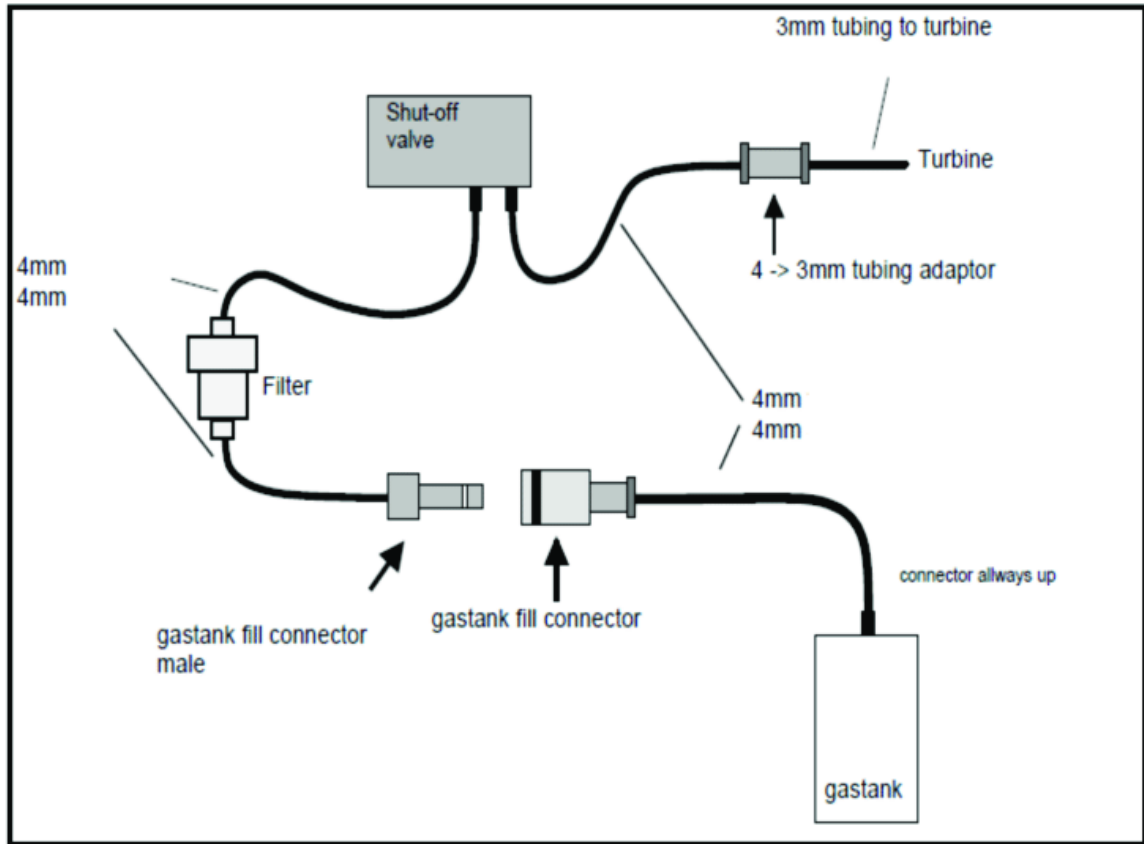


Рисунок 2.7 – Схема системи припливу газу

Система охолодження: необхідна для охолодження двигуна і забезпечення оптимальної температури для ефективної роботи. В залежності від типу когенераційної установки, можуть використовуватись різні типи систем охолодження. Наприклад, для внутрішнього згоряння двигунів можуть використовуватись повітряне, водне, глікольно-водяне або органічне охолодження.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

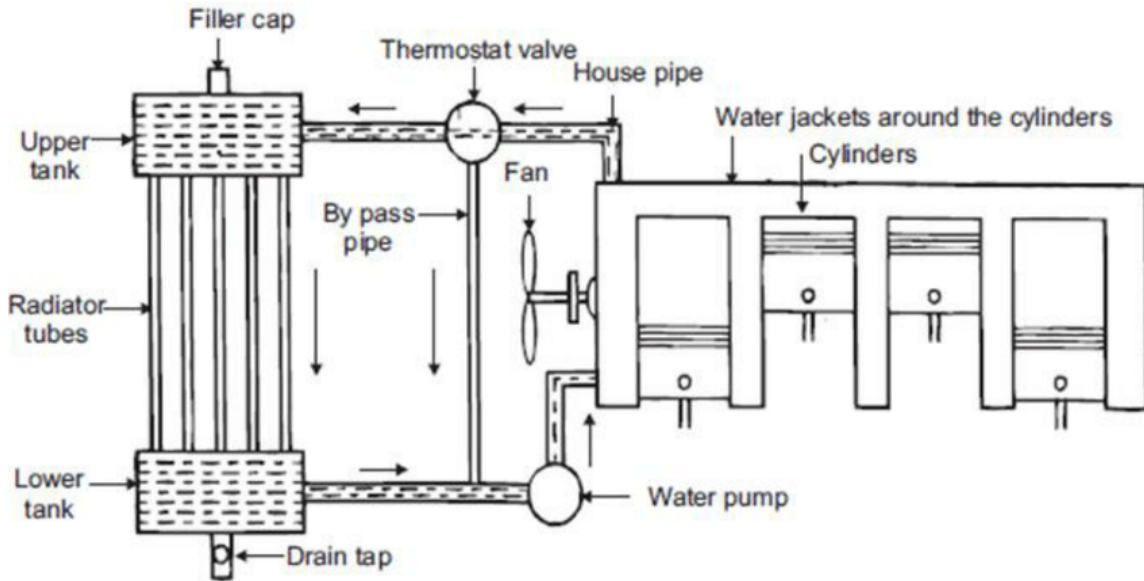


Рисунок 2.8 – Схема системи охолодження

Система керування: відповідає за керування когенераційною установкою, включаючи режими роботи, моніторинг і діагностику помилок. Система керування складається з різних компонентів, таких як датчики, контролери, пристрої керування та програмне забезпечення. Датчики вимірюють різні параметри, такі як температура, тиск, рівень палива, електрична напруга та інші. Контролери обробляють інформацію, яку надають датчики, та приймають рішення щодо керування роботою установки.

Система вихлопу: включає каталітичний конвертер, що зменшує вміст шкідливих викидів, а також систему звукоізоляції для зниження рівня шуму, який виробляється двигуном. Система вихлопу складається з кількох компонентів, включаючи гнучкі труби, вихлопні колектори, глушники, каталітичні конвертери та системи рециркуляції вихлопних газів. Гнучкі

труби використовуються для зв'язку між двигуном та вихлопним колектором, забезпечуючи гнучкість та відповідність різним геометричним формам.

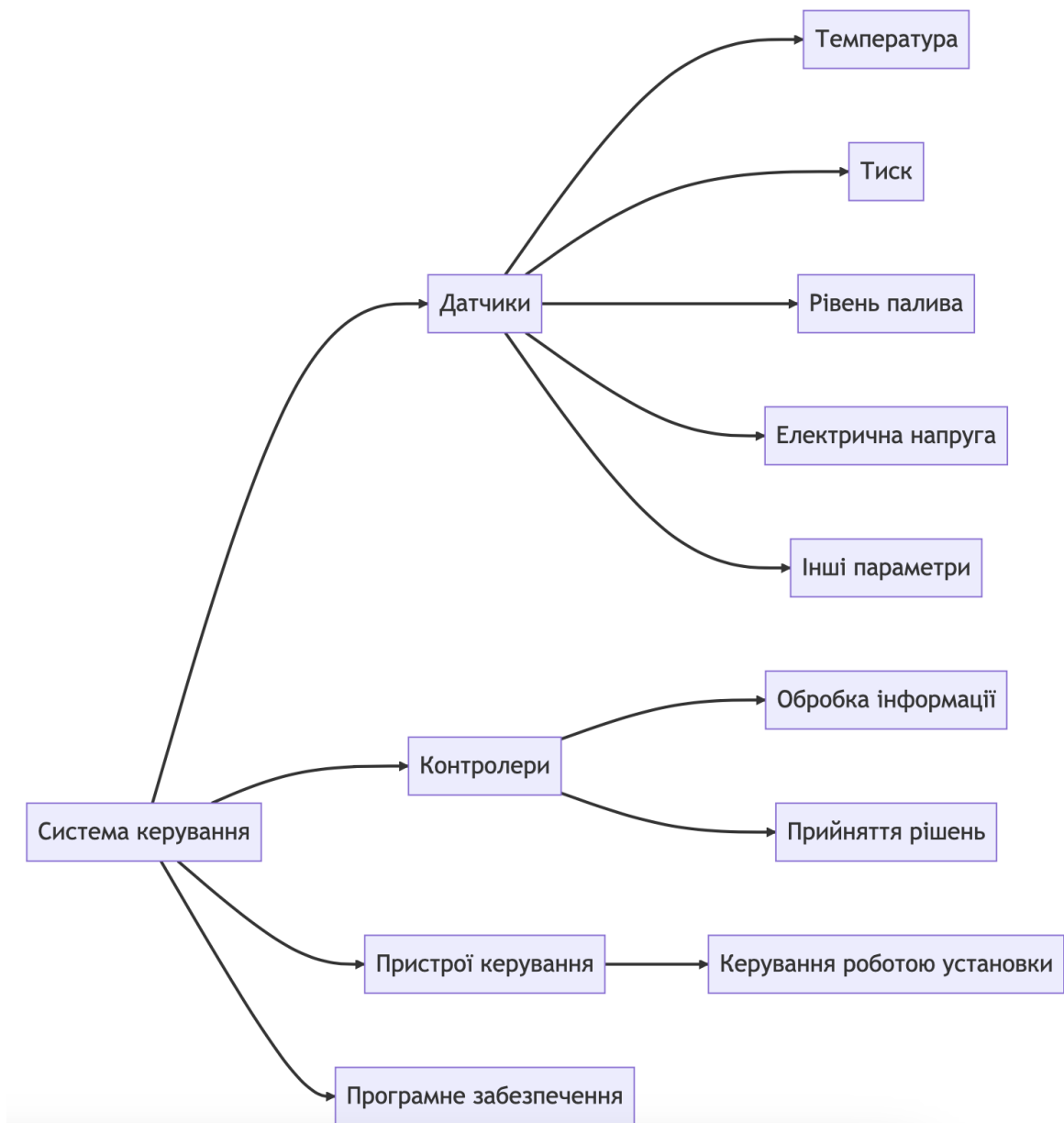


Рисунок 2.9 – Схема системи керування

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Система резервного живлення: може бути включена для автоматичного запуску когенераційної установки в разі відключення зовнішнього живлення.

2.3 Програмні засоби управління когенераційними системами

Існує багато програмних засобів для управління когенераційними установками. Деякі з них включають:

Системи SCADA. SCADA розшифровується як Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерський контроль і збір даних). Системи SCADA використовуються для збору даних з різних датчиків і пристроїв на когенераційній установці та для управління роботою установки. Системи SCADA можуть бути використані для моніторингу та контролю наступних параметрів:

- Температура
- Тиск
- Швидкість потоку
- Рівень палива
- Електрична потужність
- Теплова потужність

Системи SCADA також можуть використовуватися для надсилання попереджень і повідомлень операторам у разі виникнення будь-яких проблем з установкою.

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

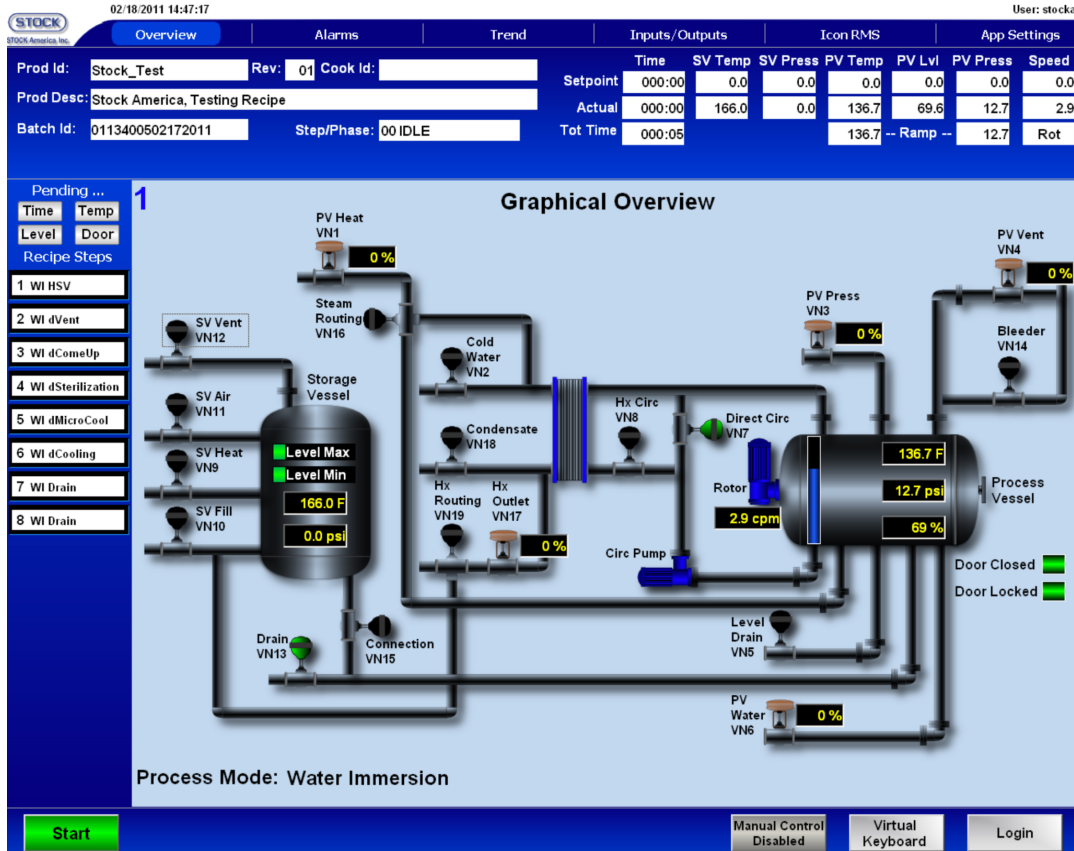


Рисунок 2.10 – Графічний інтерфейс SCADA-системи

Програмне забезпечення для управління навантаженням. ПЗ для управління навантаженням використовується для управління рівнем споживання енергії в будинку або на промисловому об'єкті. Програмне забезпечення для керування навантаженням може бути використане для наступного:

- Планування роботи приладів та обладнання
- Вимкнення приладів та обладнання, коли вони не використовуються
- Оптимізація використання енергоресурсів

Програмне забезпечення для керування навантаженням може допомогти зменшити витрати на електроенергію та підвищити ефективність роботи когенераційної установки.

Програмне забезпечення для моніторингу віддаленого доступу. ПЗ для віддаленого моніторингу дозволяє операторам контролювати роботу когенераційної установки з віддаленого місця. Програмне забезпечення для віддаленого моніторингу можна використовувати для наступних цілей:

- Перегляд даних з датчиків і пристроїв в реальному часі
- Зміна режиму роботи установки
- Отримання попереджень та сповіщень про проблеми

Програмне забезпечення для віддаленого моніторингу може допомогти підвищити ефективність роботи когенераційної установки, дозволяючи операторам швидко виявляти та вирішувати проблеми.

Програмне забезпечення для аналізу даних. ПЗ для аналізу даних використовується для аналізу даних, які збираються з когенераційної установки. Програмне забезпечення для аналізу даних можна використовувати для наступного:

- Виявлення тенденцій
- Пошук області для вдосконалення
- Розробка нових стратегій

Програмне забезпечення для аналізу даних може допомогти покращити продуктивність когенераційної установки.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

3.1 Розробка алгоритму системи когенераційного енергозабезпечення

Розробка алгоритму роботи когенераційної системи є складним і відповідальним завданням. Алгоритм повинен враховувати широкий спектр факторів, серед яких можна виділити наступні:

- Електричне навантаження системи
- Теплове навантаження системи
- Наявність палива
- Вартість палива
- Вплив системи на навколишнє середовище

Алгоритм також повинен бути здатним працювати в різних умовах, включаючи наступні:

- Нормальні умови експлуатації
- Умови несправності
- Аварійні умови

Розробка алгоритму когенераційної системи енергопостачання є безперервним процесом. По мірі розвитку нових технологій та збору нової інформації алгоритм може бути вдосконалений для кращого задоволення потреб системи.

Ось деякі з ключових етапів розробки алгоритму системи когенераційного енергопостачання:

Збір даних: Першим кроком є збір даних про електричне та теплове навантаження системи, а також про наявність палива та вартість палива. Ці

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дані можуть бути зібрані з різних джерел, включаючи історичні дані, дані в режимі реального часу та експертні висновки.

Моделювання: Наступним кроком є розробка моделі системи. Модель повинна бути здатна імітувати роботу системи за різних умов. Модель може бути розроблена за допомогою різних інструментів, включаючи математичні моделі, комп'ютерні симуляції та фізичні моделі.

Розробка алгоритму: Після того, як модель розроблена, наступним кроком є розробка алгоритму. Алгоритм повинен враховувати дані, зібрані на першому кроці, і модель, розроблену на другому кроці. Алгоритм повинен бути здатним генерувати графік роботи системи, який мінімізує витрати на енергію при одночасному задоволенні попиту на електричну та теплову енергію.

Тестування: Останнім кроком є тестування алгоритму. Алгоритм повинен бути протестований за різних умов, включаючи нормальні умови роботи, умови несправності та аварійні умови. Алгоритм повинен працювати надійно та ефективно за будь-яких умов.

Розробка алгоритму роботи когенераційної системи енергопостачання є складним і відповідальним завданням. Однак переваги розробки ефективного алгоритму можуть бути значними. Ефективний алгоритм може допомогти знизити вартість енергії, підвищити надійність системи та зменшити вплив системи на навколишнє середовище.

3.2 Збір даних

Процес збору даних для комп'ютерно-інтегрованої системи когенераційного опалення будинку можна розділити на наступні етапи:

Визначення джерел даних. Першим кроком є визначення джерел даних, які будуть використовуватися для збору даних. Джерела даних можуть включати наступне:

- Датчики: Датчики можна використовувати для збору даних про температуру, тиск, швидкість потоку та інші параметри системи.
- Лічильники: Лічильники можна використовувати для збору даних про споживання електроенергії, тепла та інших ресурсів.
- Файли журналів: Файли журналів можна використовувати для збору даних про роботу системи, таких як час запуску та вимкнення, несправності та інші події.
- Висновки експертів: Експертна думка може бути використана для збору даних про дизайн і роботу системи.

Збір даних. Після того, як джерела даних визначені, наступним кроком є збір даних. Дані можна збирати вручну або автоматично. Програмний код для збору та збереження даних представлено в додатку А.

Збереження даних. Після того, як дані зібрані, їх потрібно зберігати в базі даних. База даних повинна бути спроектована таким чином, щоб забезпечити легкий доступ до даних та їх аналіз.

Структура бази даних:

```
CREATE DATABASE cogeneration_energy_heating;
```

```
USE cogeneration_energy_heating;
```

```
CREATE TABLE data (  
    id serial PRIMARY KEY,  
    timestamp timestamp NOT NULL,  
    temperature float NOT NULL,
```

```
pressure float NOT NULL,  
flow_rate float NOT NULL,  
fuel_level float NOT NULL,  
electrical_output float NOT NULL,  
heat_output float NOT NULL  
);
```

Аналіз даних. Останнім кроком є аналіз даних. Дані можуть бути проаналізовані за допомогою різноманітних статистичних методів та методів машинного навчання. Метою аналізу є виявлення закономірностей і тенденцій у даних, які можуть бути використані для покращення роботи системи.

Процес збору даних є невід'ємною частиною розробки комп'ютерно-інтегрованої системи когенераційного опалення будинку. Зібрані дані можуть бути використані для підвищення ефективності системи, зниження вартості енергії та підвищення надійності системи.

Ось деякі з проблем, з якими можна зіткнутися в процесі збору даних:

- Якість даних: Зібрані дані повинні бути високої якості. Дані повинні бути точними, повними та узгодженими.
- Безпека даних: Дані повинні бути безпечними. Дані повинні бути захищені від несанкціонованого доступу, модифікації та знищення.
- Конфіденційність даних: Дані повинні бути приватними. Дані не повинні передаватися стороннім особам.

Зазначені проблеми можна вирішити, використовуючи комбінацію технічних та організаційних заходів. Технічні заходи можуть бути використані для забезпечення якості, безпеки та конфіденційності даних.

Організаційні заходи можуть бути використані для забезпечення відповідального збору та використання даних.

3.3 Модель системи управління

На рисунку 3.1 представлена структурна схема моделі системи управління когенераційною системою.

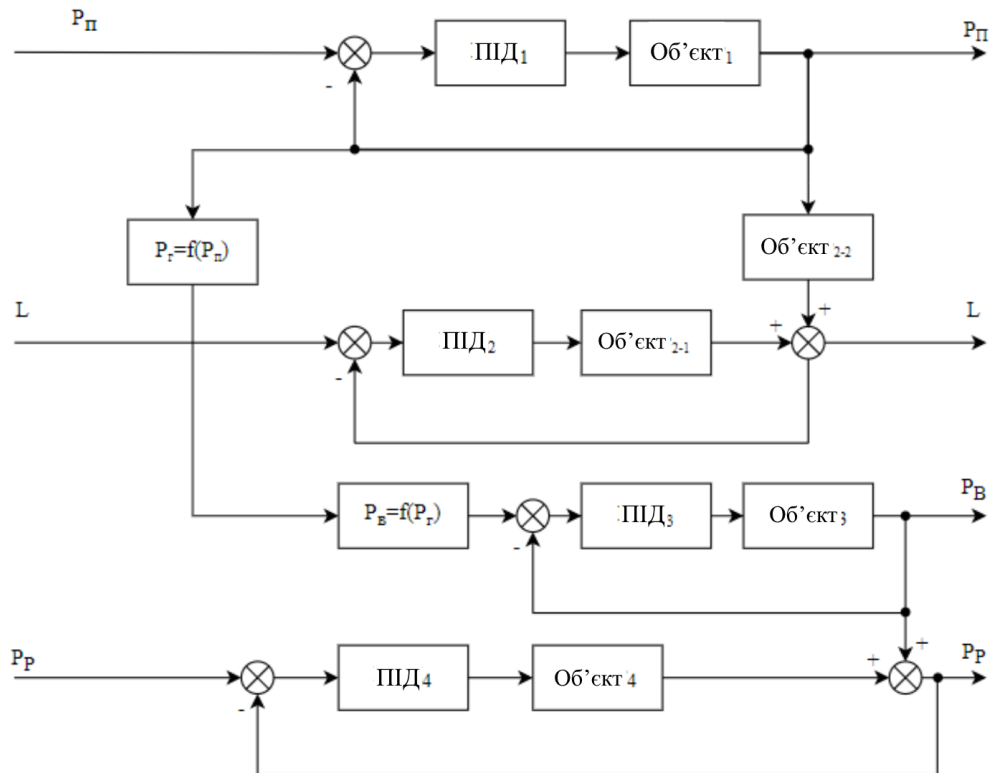


Рисунок 3.1 – Структурна схема

Позначення, що використовуються на схемі:

- $P_{\text{П}}$ - тиск пару в котлі
- $P_{\text{Г}}$ - тиск газу перед горілкою
- $P_{\text{В}}$ - тиск повітря перед горілкою
- $P_{\text{Р}}$ - розрідження в топці котла
- L - рівень в котлі

- ПІД1,2,3,4 - ПІД-регулятори
- $P_{Г}=f(P_{П})$ - залежність тиску пари від тиску газу
- $P_{В}=f(P_{Г})$ - залежність тиску повітря від тиску газу

3.4 Реалізація операторно-структурної схеми

Моделювання системи керування виконується у пакеті програм MATLAB SimuLink. Пакет Simulink містить кілька інструментів, що дозволяють з тим чи іншим ступенем точності проводити налаштування ПІД-регуляторів математичних моделей об'єктів управління.

Найпростішим є метод, що базується на використанні блоків PID-Controller в Simulink і на алгоритмі налаштування ПІД-регуляторів Simulink Control Design.

З розробленої структури моделі системи управління (рисунок 3.1) складемо операторно-структурну схему, замінивши елементи на описані об'єкти управління. Ця схема зображена на рисунку 3.2.

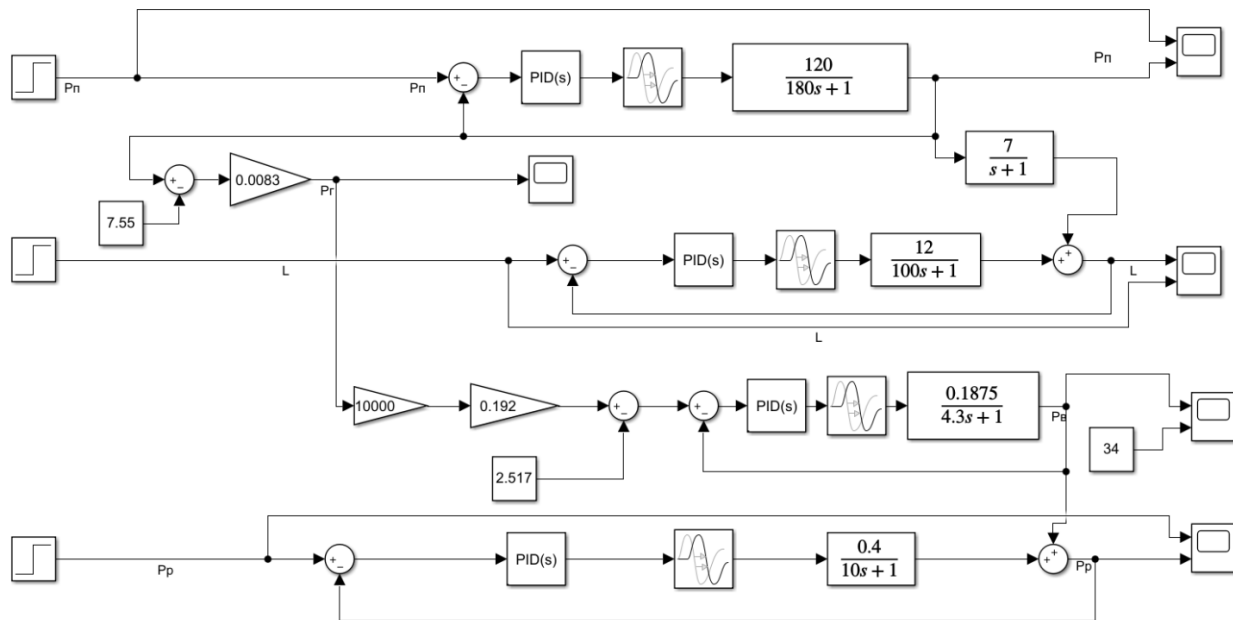


Рисунок 3.2 – Операторно-структурна схема

3.5 Розрахунок коефіцієнтів регуляторів методом Циглера-Нікольса

У класичній теорії автоматичного управління структура регулятора вибирається з моделі об'єкта управління. При цьому складні об'єкти управління вимагають застосування складних регуляторів. Однак на практиці, в переважній більшості випадків, регулювання зводиться до використання ПД-регуляторів, що мають такий вигляд:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt},$$

де k_p - коефіцієнт пропорційності регулятора;

k_i – інтегральний коефіцієнт;

k_d – диференціальний коефіцієнт.

ПД-регулятори не завжди забезпечують необхідну якість регулювання, але завдяки простоті своєї структури та великій кількості теоретичних та практичних методів їх налаштування, ПД-регулятори є основними у практичному застосуванні.

Метод налаштування Циглера-Нікольса – це евристичний метод налаштування ПД-регулятора. Його розробили Джон Г. Ціглер та Натаніель Б. Нікольс. Налаштування виконується шляхом встановлення коефіцієнтів посилення I (інтеграл) та D (похідна) на нуль. Потім коефіцієнт посилення «P» (пропорційний) збільшується (з нуля) доти, доки він не досягне граничного коефіцієнта посилення, при якому на виході контуру управління будуть стабільні та послідовні коливання. Потім період коливань використовується для встановлення коефіцієнтів посилення P, I і D залежно від типу використовуваного контролера та бажаної поведінки: K_P , K_I , K_D .

3.6 Моделювання комп'ютерної симуляції

Моделювання відіграє вирішальну роль у розумінні та аналізі складних систем, дозволяючи спостерігати за їхньою поведінкою та приймати обґрунтовані рішення. Модель розроблено з використанням MATLAB, потужного обчислювального програмного забезпечення, яке широко використовується для моделювання та аналізу.

Для моделювання поведінки когенераційної системи опалення було розроблено модель у MATLAB. Модель враховує декілька параметрів системи, включаючи теплове навантаження будинку, електричне навантаження будинку, тепловий ККД когенераційної установки, електричний ККД когенераційної установки та швидкість споживання газу. Ці параметри є важливими для характеристики системи та визначення її продуктивності.

Моделювання виконується протягом певного періоду часу, зазвичай 24 години, з часовим кроком в одну годину. На кожному часовому кроці модель розраховує попит на теплову та електричну енергію на основі заданих навантажень. Потім обчислюється виробництво теплової та електричної енергії з урахуванням ефективності когенераційної установки. Для введення мінливості та імітації реальних умов до значень виробництва додається випадковий шум, що враховує коливання та невизначеності в системі.

Крім того, модель розраховує споживання газу, необхідного когенераційній установці, на основі теплового виробництва та швидкості споживання газу. Теплове та електричне навантаження оновлюються на кожному часовому кроці, враховуючи енергію, вироблену когенераційною установкою. Цей ітеративний процес триває протягом усього часу моделювання. Програмний код симуляції представлено в додатку Б.

Імітаційна модель MATLAB генерує змістовні результати, які допомагають оцінити продуктивність когенераційної системи опалення. Модель генерує графіки, що демонструють попит на теплову енергію, попит на електричну енергію, виробництво теплової енергії та виробництво електричної енергії протягом часу моделювання. Кожен графік має відповідне маркування і використовує різні кольори для розрізнення змінних.

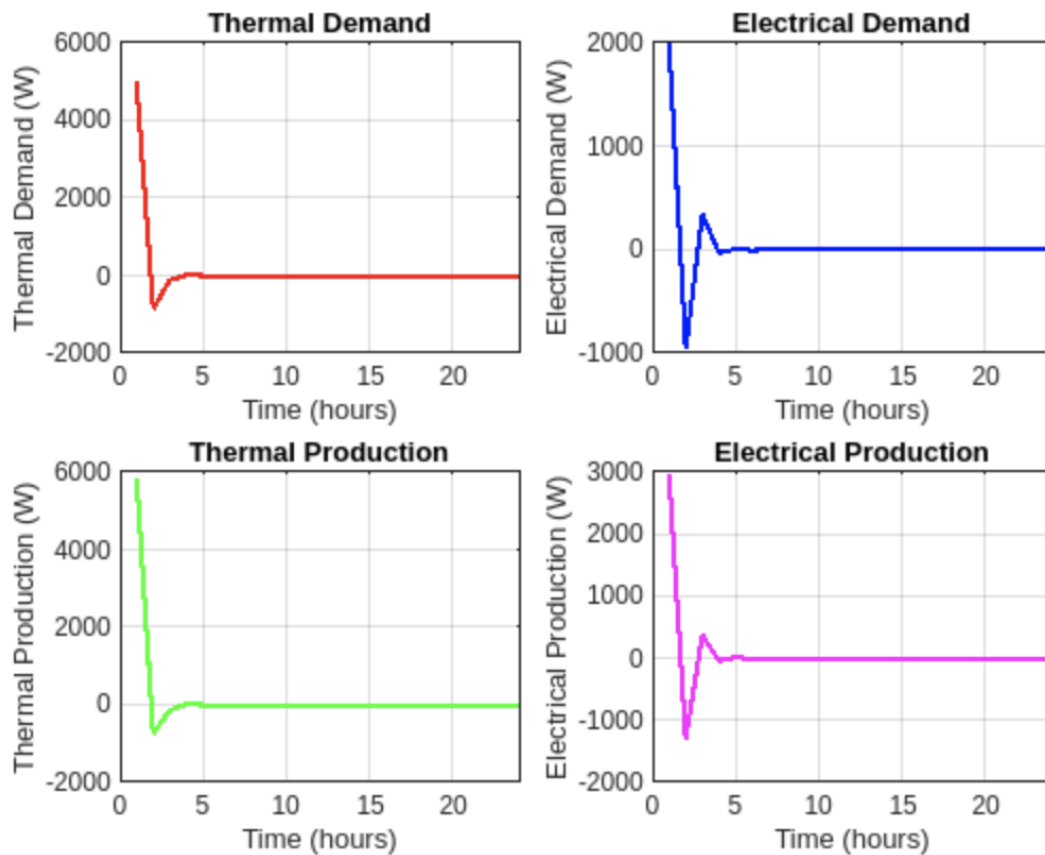


Рисунок 3.3 – Результат симуляції

Введення випадкового шуму до значень виробництва додає до графіків рівень стохастичності, що відображає мінливість, притаманну реальним енергетичним системам. Це дозволяє провести більш комплексний аналіз

поведінки системи та підкреслити вплив невизначеностей на виробництво та споживання енергії.

Таким чином, розроблена імітаційна модель MATLAB є цінним інструментом для аналізу та розуміння поведінки когенераційної системи опалення, інтегрованої в будинок. Модель включає основні параметри системи, вводить випадковий шум для мінливості і генерує інформативні графіки, що відображають попит на теплову та електричну енергію, а також її виробництво.

Використовуючи методи комп'ютерного імітаційного моделювання можна отримати уявлення про продуктивність системи, оптимізувати її роботу та оцінити вплив різних варіантів проектування. Імітаційна модель слугує основою для подальших досліджень і може бути розширена для включення додаткових компонентів або конфігурацій системи відповідно до конкретних потреб.

3.7 Розробка алгоритму системи управління

Під час роботи над розробкою алгоритму для контролю роботи когенераційної системи було розроблено алгоритм на мові програмування C++ який може змінювати властивості системи за допомогою підключення та надсилання команд до системи SCADA. Алгоритм роботи системи керування наступний:

1. Система зчитує поточну температуру будинку з датчика.
2. Система зчитує бажану температуру будинку з введених користувачем даних.
3. Система обчислює різницю між поточною та бажаною температурою.
4. Система обчислює кількість енергії, яка була б необхідна, щоб нагріти будинок на цю величину.

5. Система порівнює необхідну енергію з доступною енергією від когенераційної системи.
6. Якщо необхідна енергія менша або дорівнює наявній, то система дає команду когенераційній установці надати цю кількість енергії.
7. Після цього система оновлює температуру опалення будинку до бажаної температури.

Програмний код представлено в додатку В.

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів виробництва

Виробничі фактори, пов'язані з надмірно високою/низькою температурою матеріальних об'єктів виробничого середовища, що можуть спричинити опіки тканин організму людини.

У ході експлуатації наведеної у дипломній роботі системи внаслідок нещасного випадку можливе отримання важких чи смертельних опіків. Хоча багато з цих опіків викликані вогнем або високою напругою електрики, промислові опіки часто викликаються концентрованою парою.

Опіки робочому місці є передбачуваним джерелом травм. Поінформованість, запобігання небезпекам та захист можуть значно знизити ризик опіків на робочому місці. Для системи, що розробляється, найбільш ймовірним видом опіку є термічний опік. Найбільш важливим пріоритетом при термічних опіках є контроль та зупинення процесу горіння. Термічні опіки можна запобігти, одягнувши засоби індивідуального захисту, використовуючи тактику запобігання пожежі, а також маючи процедури та плани дій у надзвичайних ситуаціях, пов'язані з виявленням та захистом від пожежі.

Нерухомі ріжучі, колючі, обдираючі частини твердих об'єктів, що розривають.

При експлуатації когенераційної установки є загроза отримати порізи від гострих кромek, задирок, шорсткості деталей та заготовок. З метою забезпечення безпеки працівників на робочих місцях застосовують засоби індивідуального захисту: захисні рукавички та спец. одяг та проводять інструктаж з техніки безпеки.

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Виробничі фактори, пов'язані з електричним струмом, що викликається різницею електричних потенціалів, під дію якого потрапляє працюючий.

Когенераційна установка для людини потенційна небезпека, тому що в процесі експлуатації або проведення профілактичних робіт людина може торкнутися комплектуючих, що знаходяться під напругою. При роботі з установкою можливе ураження електричним струмом, що веде до появи опіків, нагрівання судин, механічних пошкоджень тканин і судин, дратівливих впливів на тканини.

Загальні вимоги до електробезпеки представлені в ГОСТ 12.1.038-82. Заходами захисту є ізолюючі пристрої та покриття, пристрої захисного заземлення та автоматичного відключення живлення. Необхідно розмістити попереджувальні знаки та плакати безпеки.

Одними з найважливіших заходів з забезпечення електробезпеки є організація захисного заземлення. Для забезпечення безпеки необхідно організувати систему захисного заземлення, яка виконана з вертикальних труб, з'єднаних стрічковою шиною та розташованих по контуру будівлі. Розглянемо такі характеристики пристрою: довжина труби 2,4 м; діаметр труби 0,05 м; відстань між трубами 2,4 м; заглиблення пристрою 0,8 м; ширина смуги 0,8 м. Захисне заземлення розташовано в III кліматичній зоні, тип ґрунту – чорнозем.

Розрахунок захисного заземлення здійснюється у такій послідовності:

- визначення розрахункового питомого опору ґрунту;
- розрахунок опору розтікання струму одного вертикального заземлювача;

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- визначення необхідної кількості заземлювачів та орієнтовного їх розташування по периметру приміщення;
- розрахунок опору розтікання з'єднувальної шини;
- розрахунок загального опору заземлюючого пристрою з урахуванням з'єднувальної шини.

Орієнтовна кількість вертикальних заземлювачів, шт.:

$$n' = \frac{R_{од}}{R_{н}} ,$$

де $R_{н}$ – найбільший допустимий опір заземлюючого пристрою (згідно з «Правилами встановлення електроустановок» $R_{н} = 4 \text{ Ом}$).

$$n' = \frac{R_{од}}{R_{н}} = \frac{14,5}{4} = 3,625 \approx 4 \text{ шт.}$$

Розмістивши отриману кількість заземлювачів на плані, визначають орієнтовну відстань між ними та коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів залежно від кількості стрижнів і відношення відстані між ними до їх довжини.

Необхідна кількість заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання η в:

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$n = \frac{R_{од}}{R_H \eta_B} = \frac{14,5}{4 \cdot 0,7} = 5,17 \approx 5.$$

Якщо загальний опір більший від нормативного, необхідно збільшити кількість заземлювачів або змінити їх розташування.

$$R = \frac{1}{\frac{\eta_{ш}}{R_{ш}} + \frac{n \eta_B}{R_{од}}} = \frac{1}{\frac{0,74}{1,3} + \frac{5 \cdot 0,7}{14,5}} = 1,3 \text{ Ом.}$$

Розраховане значення опору заземлюючого пристрою менше нормативного ($1,3 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$), отже пристрій спроектовано вірно.

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

ВИСНОВОК

В даній дипломній роботі було розроблено удосконалену систему керування когенераційними системами опалення, спрямовану на оптимізацію їхньої роботи та усунення існуючих недоліків. В ході дослідження були детально проаналізовані газові когенераційні системи та ретельно вивчені обмеження як газових, так і електричних когенераційних систем. Крім того, були проведені комплексні дослідження когенераційних установок, включаючи поглиблений аналіз їх компонентів. Крім того, були досліджені різні програмні рішення для управління когенераційними системами.

Розроблений алгоритм був ретельно розроблений на основі висновків, отриманих в результаті аналізу, досліджень і моделювання, проведених протягом усього дослідницького процесу. Зокрема, для перевірки та доопрацювання алгоритму було проведено великий збір даних та комп'ютерне імітаційне моделювання.

Результати цього дослідження однозначно демонструють, що когенераційні системи опалення пропонують вищу ефективність та економічність порівняно з традиційними системами. Одночасно виробляючи тепло та електроенергію, когенераційні системи можуть оптимізувати використання енергії та мінімізувати відходи. Розроблений алгоритм системи управління слугує важливим інструментом для підвищення ефективності та надійності когенераційних систем опалення.

Алгоритм відрізняється простотою та універсальністю, що робить його дуже придатним для впровадження в широкому діапазоні когенераційних систем. Його адаптивність дозволяє легко інтегрувати його в існуючу інфраструктуру, не вимагаючи суттєвих модифікацій. Це дозволяє системним операторам легко розгортати алгоритм і використовувати його переваги, що

призводить до підвищення енергоефективності, економії витрат і загальної надійності системи.

Підсумовуючи, ця дипломна робота не тільки досліджує переваги та недоліки когенераційних систем опалення, але й пропонує практичне рішення у вигляді вдосконаленого алгоритму системи управління. Дослідження дає всебічне розуміння когенераційних систем, а також необхідні інструменти для підвищення їх ефективності та сприяння їх широкому впровадженню.

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Доценко, І. М. Когенераційні системи: принципи, технології, практика / І. М. Доценко, М. В. Залуцький, В. В. Карпович. – К.: Наук. думка, 2008.
2. Біла, О. А. Моделювання процесів когенераційних установок на основі реальних даних / О. А. Біла, В. В. Карпович, В. Ю. Подкопаєв. – К.: Видавництво КНУБА, 2014.
3. Петрик, І. М. Теоретичні основи когенераційних систем / І. М. Петрик, О. В. Лендел. – К.: КНУБА, 2011.
4. Когенерація енергії. Принципи, системи, технології: монографія / [В. В. Міхельсон, О. М. Тимченко, В. А. Верхоланцев та ін.]. – Дніпро: Видавець Літографія, 2015.
5. Лазуренко, О. В. Оптимізація режимів роботи когенераційних установок в електроенергетиці / О. В. Лазуренко, С. С. Єгоров. – К.: Видавництво КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.
6. Шаталов, В. Когенераційні системи та сонячні електростанції / В. Шаталов, О. Карабин. – К.: КМАД, 2010.
7. Комплексне енергозабезпечення промислових об'єктів: навч. посібник / [А. В. Будинов, С. І. Васильєв, В. В. Григоренко та ін.]. – К.: Знання, 2017.
8. Когенераційні установки та технології: навч. посібник / [О. Г. Горобець, Є. В. Галін, І. О. Сергієнко та ін.]. – К.: Київ. нац. ун-т буд-ва і арх-ри, 2015.

9. Локшин, В. Б. Когенераційні та схожі по енергетичних параметрах системи / В. Б. Локшин, О. М. Кравченко // Технологія. Механіка. Електротехніка. – 2018. – № 3(105). – С. 94–97.
10. Лазуренко, О. В. Когенерація у системах теплопостачання / О. В. Лазуренко, І. О. Петров // Електрика. Електротехнології та системи управління. – 2018. – № 4(32). – С. 30–38.
11. Галатенко, В. М. Когенераційні системи: технічний огляд та перспективи розвитку / В. М. Галатенко, Л. О. Войцеховський // Енергетика та електрифікація. – 2016. – № 3. – С. 47–52.
12. Когенераційні системи: теорія та практика: монографія / [В. А. Кирилук, І. І. Романюк, В. І. Чубатий та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2019.
13. Петрик, І. М. Розробка системи підтримки прийняття рішень з оптимізації режимів роботи когенераційних установок / І. М. Петрик, М. Ю. Шульженко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2015. – № 42(1159). – С. 101–108.
14. Корж, І. А. Методи оптимізації роботи когенераційної установки з урахуванням економічних обмежень / І. А. Корж, О. В. Кузьменко // Вісник Дніпровського ун-ту. Енергетика, автоматика і кібернетика. – 2017. – № 1(21). – С. 97–104.
15. Кондратенко, О. І. Аналіз використання паливних ресурсів когенераційної установки при різних режимах її роботи / О. І. Кондратенко, В. І. Чубатий, О. М. Петренко // Наукові праці Криворізького національного університету. – 2017. – № 46. – С. 42–48.
16. Arora, S. Cogeneration: Technologies, Optimization and Implementation / Sarvesh Devraj Arora. – Boca Raton: CRC Press, 2010.

17. DiPippo, R. Cogeneration and Polygeneration Systems: Modeling, Analysis, and Optimization / R. DiPippo. – Oxford: Elsevier, 2011.
18. Kaushik, S. Cogeneration and Decentralized Electricity Production / S. Kaushik, K. S. Reddy. – Berlin: Springer, 2019.
19. Frangopoulos, C. A. Cogeneration Handbook / Christos A. Frangopoulos. – New York: Fairmont Press, 2004.
20. Szargut, J. Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes / Jan
21. Bhattacharya, S. Cogeneration Power Plants: Thermodynamics, Economics, and Environmental Impacts / Shantanu Bhattacharya. – Boca Raton: CRC Press, 2013.
22. Dincer, I. Cogeneration and District Energy Systems: Modeling, Analysis, and Optimization / Ibrahim Dincer, Calin Zamfirescu. – Oxford: Elsevier, 2020.
23. Wang, J. Cogeneration and CHP: Cogeneration and CHP: Combined Heat and Power / Jianzhong Wang. – Chichester: Wiley, 2010.
24. Turton, R. Energy Management Handbook / R. Turton, D. Muñoz. – Boca Raton: CRC Press, 2018.
25. Moran, M. J. Fundamentals of Engineering Thermodynamics / Michael J. Moran, Howard N. Shapiro. – Hoboken: Wiley, 2018

ДОДАТКИ

Додаток А

Програмний код для збору даних з когенераційної установки:

```
#include <iostream>
#include <mysql_driver.h>
#include <mysql_connection.h>
#include <wiringPiI2C.h>

// Constants for I2C communication
const int TEMPERATURE_SENSOR_ADDRESS = 0x68; // Replace with the
address of temperature sensor
const int PRESSURE_SENSOR_ADDRESS = 0x69; // Replace with the
address of pressure sensor
const int FLOW_RATE_SENSOR_ADDRESS = 0x6A; // Replace with the
address of flow rate sensor
const int FUEL_LEVEL_SENSOR_ADDRESS = 0x6B; // Replace with the
address of fuel level sensor

// Function to read temperature from sensor
float readTemperatureSensor()
{
    // Read temperature from I2C device registers
    int sensorFileDescriptor =
wiringPiI2CSetup(TEMPERATURE_SENSOR_ADDRESS);
    int sensorData = wiringPiI2CReadReg16(sensorFileDescriptor, 0x00);
// Replace 0x00 with the appropriate register address

    // Convert the raw sensor data to temperature value
    // Replace this conversion logic with the actual calculation based
```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ		
Розроб.		Чорновол О.В.			Літ.	Арк.	Архівів
Перевір.		Гуменний П.В.					
Н. Контр.		Заставний О.М.					
Консульт.		Сапожник Г.В.					
Затверд.		Сегін А.І.					
РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КОГЕНЕРАЦІЙНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ					ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		

```

your temperature sensor's data format
    float temperature = static_cast<float>(sensorData) / 100.0
    return temperature;
}

// Function to read pressure from sensor
float readPressureSensor()
{
    // Read pressure from I2C device registers
    int sensorFileDescriptor =
wiringPiI2CSetup(PRESSURE_SENSOR_ADDRESS);
    int sensorData = wiringPiI2CReadReg16(sensorFileDescriptor, 0x00);
// Replace 0x00 with the appropriate register address

    // Convert the raw sensor data to pressure value
    // Replace this conversion logic with the actual calculation based
on your pressure sensor's data format
    float pressure = static_cast<float>(sensorData) / 1000.0;

    return pressure;
}

// Function to read flow rate from sensor
float readFlowRateSensor()
{
    // Read flow rate from I2C device registers
    int sensorFileDescriptor =
wiringPiI2CSetup(FLOW_RATE_SENSOR_ADDRESS);
    int sensorData = wiringPiI2CReadReg16(sensorFileDescriptor, 0x00);
// Replace 0x00 with the appropriate register address

    // Convert the raw sensor data to flow rate value

```

```

        // Replace this conversion logic with the actual calculation based
on your flow rate sensor's data format
        float flowRate = static_cast<float>(sensorData) / 100.0;

        return flowRate;
    }

    // Function to read fuel level from sensor
    float readFuelLevelSensor()
    {
        // Read fuel level from I2C device registers
        int sensorFileDescriptor =
wiringPiI2CSetup(FUEL_LEVEL_SENSOR_ADDRESS);
        int sensorData = wiringPiI2CReadReg16(sensorFileDescriptor, 0x00);
// Replace 0x00 with the appropriate register address

        // Convert the raw sensor data to fuel level value
        float fuelLevel = static_cast<float>(sensorData) / 100.0;

        return fuelLevel;
    }

    int main()
    {
        // Establish a connection to the MySQL database
        MYSQL *con = mysql_init(NULL);
        driver = (mysql_real_connect(con, "127.0.0.1", "username",
"password", NULL, 3306, NULL, 0)

        // Select the database
        con->setSchema("cogeneration_energy_heating");

```

```

// Create a statement
sql::Statement *stmt = con->createStatement();

// Create a table if it doesn't exist
    stmt->execute("CREATE TABLE IF NOT EXISTS data (id INT
AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY, timestamp TIMESTAMP, temperature FLOAT, pressure
FLOAT, flow_rate FLOAT, fuel_level FLOAT, electrical_output FLOAT, heat_output
FLOAT)");

// Loop to collect and store sensor data
while (true)
{
    // Read sensor data
    float temperature = readTemperatureSensor();
    float pressure = readPressureSensor();
    float flowRate = readFlowRateSensor();
    float fuelLevel = readFuelLevelSensor();

    // Prepare an INSERT statement
    sql::PreparedStatement *pstmt = con->prepareStatement("INSERT
INTO data (timestamp, temperature, pressure, flow_rate, fuel_level) VALUES
(NOW(), ?, ?, ?, ?)");
    pstmt->setFloat(1, temperature);
    pstmt->setFloat(2, pressure);
    pstmt->setFloat(3, flowRate);
    pstmt->setFloat(4, fuelLevel);

    // Execute the INSERT statement
    pstmt->execute();

    delete pstmt;

```

```

        std::cout << "Sensor data stored: Temperature=" << temperature
<< " Pressure=" << pressure << " Flow Rate=" << flowRate << " Fuel Level=" <<
fuelLevel << std::endl;

        // Sleep for a certain period (e.g., 1 second)
        std::this_thread::sleep_for(std::chrono::seconds(1));
    }

    // Clean up
    delete stmt;
    delete con;

    return 0;
}

```

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Додаток Б

Програмний код імітаційної моделі MATLAB:

```
% Define system parameters
thermalLoad = 5000; % Thermal load of the house in watts
electricalLoad = 2000; % Electrical load of the house in watts
efficiencyThermal = 0.9; % Thermal efficiency of the cogeneration unit
efficiencyElectrical = 0.8; % Electrical efficiency of the cogeneration
unit
gasConsumption = 0.1; % Gas consumption rate in cubic meters per hour

% Define simulation parameters
simulationTime = 24; % Simulation time in hours
timeStep = 1; % Time step in hours

% Initialize variables
thermalDemand = zeros(1, simulationTime);
electricalDemand = zeros(1, simulationTime);
thermalProduction = zeros(1, simulationTime);
electricalProduction = zeros(1, simulationTime);
gasConsumed = zeros(1, simulationTime);

% Simulate the system
for t = 1:simulationTime
    % Calculate the thermal and electrical demand at each time step
    thermalDemand(t) = thermalLoad;
    electricalDemand(t) = electricalLoad;

    % Calculate the thermal and electrical production based on the
    cogeneration unit efficiency
```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ		
Розроб.		Чорновол О.В.			Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гуменний П.В.					
Н. Контр.		Заставний О.М.					
Консульт.		Сапоженик Г.В.					
Затверд.		Сегін А.І.					
РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КОГЕНЕРАЦІЙНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ					ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		

```

        thermalProduction(t) = thermalDemand(t) / efficiencyThermal;
        electricalProduction(t) = electricalDemand(t) /
efficiencyElectrical;

% Add random noise to the production values
thermalProduction(t) = thermalProduction(t) * (1 + 0.1*randn);
electricalProduction(t) = electricalProduction(t) * (1 + 0.1*randn);

% Calculate the gas consumption based on the thermal production and
the gas consumption rate
gasConsumed(t) = thermalProduction(t) * gasConsumption;

% Update the thermal and electrical load based on the produced
energy
thermalLoad = thermalLoad - thermalProduction(t);
electricalLoad = electricalLoad - electricalProduction(t);
end

% Plot the results
time = 1:simulationTime;
figure;
subplot(2, 2, 1);
plot(time, thermalDemand, 'r-', 'LineWidth', 1.5);
title('Thermal Demand');
xlabel('Time (hours)');
ylabel('Thermal Demand (W)');
grid on;

subplot(2, 2, 2);
plot(time, electricalDemand, 'b-', 'LineWidth', 1.5);
title('Electrical Demand');
xlabel('Time (hours)');

```

```

ylabel('Electrical Demand (W)');
grid on;

subplot(2, 2, 3);
plot(time, thermalProduction, 'g-', 'LineWidth', 1.5);
title('Thermal Production');
xlabel('Time (hours)');
ylabel('Thermal Production (W)');
grid on;

subplot(2, 2, 4);
plot(time, electricalProduction, 'm-', 'LineWidth', 1.5);
title('Electrical Production');
xlabel('Time (hours)');
ylabel('Electrical Production (W)');
grid on;

% Display the total gas consumed
totalGasConsumed = sum(gasConsumed);
fprintf('Total gas consumed: %.2f cubic meters\n', totalGasConsumed);

```

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Додаток В

Програмний код системи управління:

```
#include <iostream>
#include <modbus.h>

void setHeatingTemperature(int temperature) {
    modbus_t *ctx;
    int unitId = 1; // Modbus unit identifier
    int registerAddress = 1000; // Address to write the temperature
    value

    // Create a Modbus context and establish a connection with the SCADA
    server
    ctx = modbus_new_tcp("192.168.1.100", 502); // address and port
    number of the SCADA server
    modbus_set_slave(ctx, unitId);
    modbus_connect(ctx);

    // Write the heating temperature value to the SCADA server
    modbus_write_register(ctx, registerAddress, temperature);

    // Check if the write operation was successful
    int response = modbus_flush(ctx);
    if (response == -1){
        std::cout << "Failed to set the heating temperature." <<
std::endl;
    } else {
        std::cout << "Heating temperature successfully set to " <<
temperature << std::endl;
    }
}
```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ		
Розроб.		Чорновол О.В.			Літ.	Арк.	Архивів
Перевір.		Гуменний П.В.					
Н. Контр.		Заставний О.М.					
Консульт.		Сапожник Г.В.					
Затверд.		Сегін А.І.					
РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КОГЕНЕРАЦІЙНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ					ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		

```

    // Disconnect and free the Modbus context
    modbus_close(ctx);
    modbus_free(ctx);
}

void setMaxPower(int maxPower) {
    // Connect to the control interface of the cogeneration system
    // Add your code here to establish a connection to the control
interface

    // Write the maximum power value to the cogeneration system
    int response = control_interface.setMaxPower(maxPower);

    // Check if the write operation was successful
    if (response) {
        std::cout << "Maximum power successfully set to " << maxPower <<
std::endl;
    } else {
        std::cout << "Failed to set the maximum power." << std::endl;
    }

    // Disconnect from the control interface
    // Add your code here to close the connection to the control
interface
}

int main() {
    // Read the values from the console
    int heatingTemperature;
    int maxPower;

```

```
std::cout << "Enter the heating temperature: ";
std::cin >> heatingTemperature;

std::cout << "Enter the maximum power: ";
std::cin >> maxPower;

// Example usage:
    setHeatingTemperature(heatingTemperature); // Set the heating
temperature
    setMaxPower(maxPower); // Set the maximum power

return 0;
}
```

					ДП.АКІТ.8894448.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		