

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент Чепіжний А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Обґрунтування параметрів роботи
когенераційної установки для умов ФОП «Бокова»
м. Суми»

Виконав

(підпис)

Кузнецов М.А.
(прізвище, ініціали)

Група

ЗЕТЕ 2301м

(Науковий) керівник:

(підпис)

Барсукова Г.В.
(прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент _____ Чепіжний А.В.
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 202__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Кузнецову Максиму Андрійовичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів роботи когенераційної установки для умов ФОП «Бокова» м. Суми

керівник роботи: Барсукова Ганна Володимирівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «б» 11 2024 р. № 3738/ос

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «11» 11 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи інструкції з експлуатації когенераційних установок, правила улаштування електроустановок, правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів нормативні документи для проведення досліджень, стандарти.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

Вступ

Розділ 1. Аналіз стану питання

Розділ 2. Теоретичні та експериментальні дослідження

Розділ 3. Обґрунтування параметрів системи

Розділ 4. Охорона праці.

Розділ 5. Техніко-економічні розрахунки

Висновки

Список використаних джерел

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
Охорона праці		
Економічне обґрунтування		

КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.08.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 23.08.2024 р.	
3	Написання вступу	до 26.08.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 28.08.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 16.09.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 14.10.2024 р.	
7	Підготовка розділів «Розділ 4» та «Розділ 5»	до 21.10.2024 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 28.10.2024 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

(Кузнецов М.А.)
(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник
дипломної роботи**

_____ (підпис)

(Барсукова Г.В.)
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел. Роботу викладено на 41 аркуші друкованого тексту, складається з 1 таблиці, 12 рисунків.

Метою даної роботи є обґрунтування параметрів роботи когенераційної установки для умов ФОП «Бокова» м. Суми.

У зв'язку із представленою метою в дослідженні поставлені такі задачі:

- визначити суть процесу когенерації;
- ознайомитися з будовою та призначенням когенераційних установок;
- визначити параметри, які є фундаментальним в роботі когенераційної установки;
- обґрунтувати параметри роботи системи;
- на основі конкретного прикладу розглянути функціональні можливості системи з виробництва тепла та електричної енергії і можливі шляхи з їх реалізації для споживачів різного роду діяльності.

Ключові слова: когенераційна установка, когенерація, теплова енергія, електрична енергія, споживачі, якість, енергетика, енергосистема.

ЗМІСТ

1. ВСТУП.....	6
2. РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.....	8
3. РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	14
4. РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ.....	23
5. РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	33
6. РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ	35
7. ВИСНОВКИ.....	37
8. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

ВСТУП

Ефективне функціонування того чи інше обладнання характеризується набором функцій, які воно може виконувати. У зв'язку із цим, робота однієї установки на кілька різних функцій є досить ефективною. Особливо це стосується принципово різних функцій в задоволенні потреб споживача.

В даній роботі пропонується обґрунтувати параметри когенераційної установки для умов функціонування ФОП «Бокова». Значні обсяги використання теплової енергії, що чередуються змінами пір року вимагають встановлення автономних систем електропостачання та опалення.

У зв'язку з вище сказаним, обґрунтування параметрів роботи системи, що базується одразу на виробництві двох видів енергії, є досить важливим завданням. До таких продуктів роботи когенераційної установки відносять:

- виробництво теплової енергії;
- виробництво електричної енергії.

Тому, доцільність впровадження системи для роботи з різного роду споживачами є актуальним питанням. Особливо це стосується використання енергії не повною мірою. Тобто, тоді, коли виробництво як теплової, так і електричної енергії перевищують об'єми в їх споживанні. Знову ж таки, актуальним це є в моменти зміни пір року, коли тепла ще потрібно не настільки багато, скільки продукується установкою, тобто восени та навесні.

Окремо слід виділити можливість реалізації отриманої енергії іншим споживачам та визначити чи доцільно це.

Об'єктом даного дослідження є процес роботи когенераційної установки.

Предметом дослідження виділено перелік параметрів та конструктивних особливостей, від яких залежить ефективність функціонування когенераційної установки.

У зв'язку із вище сказаним, перед дослідженням висувуються такі задачі:

- визначити суть процесу когенерації;
- ознайомитися з будовою та призначенням когенераційних установок;
- визначити параметри, які є фундаментальним в роботі когенераційної установки;
- обґрунтувати параметри роботи системи;
- на основі конкретного прикладу розглянути функціональні можливості системи з виробництва тепла та електричної енергії і можливі шляхи з їх реалізації для споживачів різного роду діяльності.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

Енергетична незалежність для багатьох галузей промисловості є важливим елементом в їх функціонуванні. Різні виробники тієї чи іншої продукції, а також надавачі послуг мають на меті отримання безперебійного живлення. Одночасно з цим, актуальність питання значно підіймається за рахунок отримання й інших видів енергії. Зокрема, теплової.

Когенераційна установка — комплекс обладнання, яке працює по принципу комбінованого виробництва енергії:

- електричної;
- теплової

Також даного виду обладнанням перетворюється скидний енергопотенціал технологічних процесів у електричну чи теплову енергію.

З метою більш якісного відображення функціонування такої установки доцільно було б розглянути її функціонування з точки зору децентралізації енергетичної системи.

Центральними електростанціями зазвичай відбувається виробництво лише електричної енергії. Тепло внаслідок такого процесу звичним способом іде безслідно у повітря. Виключенням можна вважати лише теплоелектроцентралі. Однак, на противагу сказаному, комбінованими теплоелектростанціями використовується значно менший показник - до 36 % первинної енергії. Наслідком цього можна вважати значне скорочення за показниками витрат на енергетичні носії.

З метою більш наочного зображення суті функціонування когенераційної установки в цілісній енергетичній мережі, на рисунку 1.1 представлено схему у відсотковому співвідношенні виробництва різних видів енергії різними виробниками.



Рисунок 1.1. Роль когенераційної установки в цілісній енергетичній системі

Сучасні когенераційні установки працюють з метою використання у:

- промислових установках;
- комунальних підприємствах;
- інших підприємствах.

Такі установки мають порівняно високу продуктивність й працюють на основі випробуваних технології. Цим дозволяється стабільне постачання електричної енергії, а також, що не мало важливо, тепла і гарячої води для споживачів.

Свого роду, такі кроки до енергетичної незалежності є можливість розглядати як децентралізацію електроенергетики.

Компактні пристрої різних виробників розроблені у ролі децентралізованих когенераційних установок, є більш орієнтованими на опалення. Такими відносно невеликими пристроями виробляється електрична енергія для власного споживання.

Аналогічно, тепло, що утворюється у результаті такого процесу, по суті без втрат, є можливість використовувати для опалення. Надлишки електричної енергії експортують в загальну мережу.

Аналізуючи з точки зору екологічної складової, слід підкреслити, що когенераційна установка вважається надзвичайно екологічно стійкою установкою. Це явище можна пояснити окрім економії в первинній енергії до показника 36%, викидами CO₂, що є значно нижчими в порівнянні з традиційним способом виробництва електричної енергії і тепла.

Сама суть процесу когенерації визначається як процес для одночасного виробництва електричної й теплової енергії, використовуючи енергію палива. В реалізації такого процесу лежить застосування когенераційної установки. Такою установкою використовується паливо у двох напрямках:

- виробництво тепла;
- електричної енергії із високим ККД.

Порівнюючи із стандартними електростанціями, такі установки виділяються незаперечною перевагою і вважаються свого роду найбільш ефективними.

Тому, актуальним питанням вважається різниця між стандартними електростанціями й когенераційними установками. Адже, виробництво електричної енергії є більш налагодженим з точки зору часового проміжку саме для електричних станцій. Крім того, досвід їх використання є набагато більшим, порівнюючи з відносно новими на ринку електричної енергії когенераційними установками.

В стандартних (типових) електричних станціях використовуються турбогенератори. На виході з них отримується низькотемпературне тепло. Таким теплом можна вважати отриману теплу воду із температурою 30 - 40°C. Очевидно, що цьому вторинному теплу буде відносно важко знайти застосування. Внаслідок цього, вода подаватиметься на градирні. Згодом, відбувається процес охолодження для наявної вторинної води й, фактично, - теплову енергію, в такому випадку, буде

випаровано у навколишнє середовище. Відповідно, класичні електричні станції вирізняються максимальним ККД, що залишається на рівні 30%.

У когенераційних установках вихід з контуру охолодження двигунів включає в себе такий продукт, як високотемпературне тепло. Цим теплом є гаряча вода із температурою, що становить показник 93 - 95°C. У такому випадку уже з'являтиметься і технічна можливість по використанню вторинного тепла.

Необхідно зауважити, що для такого виду теплоносіїв спектр по застосуванню високотемпературного тепла є досить обширним:

- опалення будівель, об'єктів промислового призначення, приватних господарств, ферм, комплексів.
- опалення теплиці або іншого об'єкту, де є необхідною порівняно велика кількість тепла;
- отримання, а також подача у будівлі і інші об'єкти гарячої води;
- отримання так званого вторинного холоду.

Останній з випадків використання теплоносія з когенераційної установки визначає її як тригенераційну установку.

У когенераційних установках показник ККД може сягати позначки 95%. Це 42% - коефіцієнту корисної дії з вироблення електроенергії, а також 43% - коефіцієнту корисної дії з вироблення теплової енергії.

Внаслідок вище сказаного, застосування когенераційних установок вважається раціональним й економічно виправданим. Крім того, слід підкреслити, що когенераційними установками досягається порівняно широкий діапазон одиничної електричної потужності. Цим показником визначено межі 50 кВт - 2 МВт. Такою універсальністю дається технічна можливість в застосуванні когенераційних установок для самих різних об'єктів. Цими об'єктами можуть бути як невеликі фірми й фермерські господарства, так й великі компанії виробники тієї чи іншої продукції, орієнтовані на енергетичну незалежність з точки зору отримання безперебійної

електричної енергії власними силами, а також використання тепла в незалежності від централізованого його постачання.

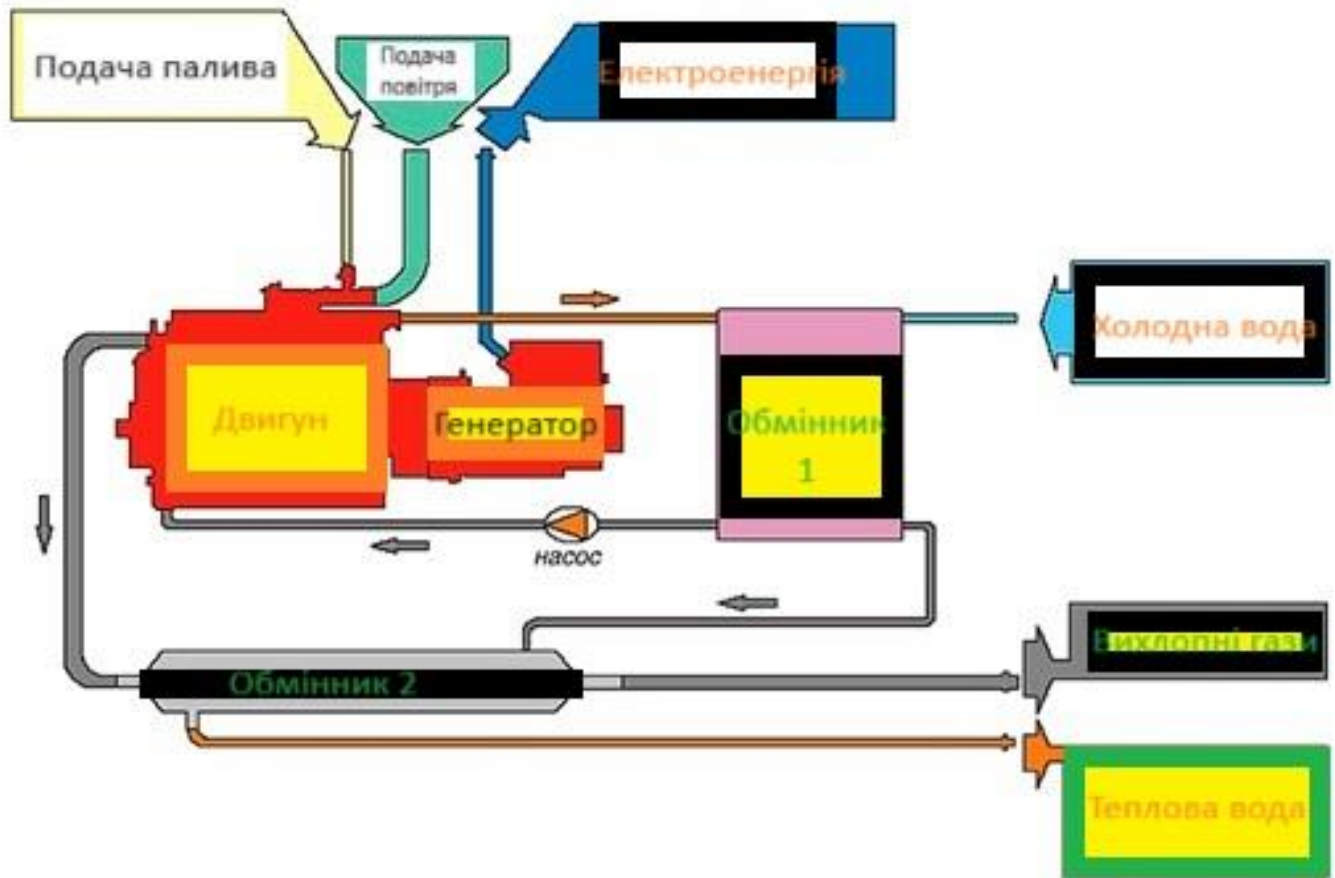


Рисунок 1.2. Схема роботи когенераційної установки

Обладнання для когенераційної установки, тобто, його структура, підбирається так же само, як й стандартні параметри електрогенераторів. Рациональний вибір з використання такої техніки засновано на сумарній потужності для усього обладнання і електроприладів, які працюють у приміщенні. Крім того, важливою умовою при виборі є дотримання + 20% резерву. У залежності від потужності варіювання кількості тепла, що виробляється системою, може бути реалізованим іншим споживачам.

Проте, замовнику слід урахувати, що сучасним когенераційним устаткуванням вважається складний високотехнологічний процес роботи та контролю, що містить у собі значимий за кількістю набір з технічних характеристик. З метою керування роботою сучасних когенераційних установок у автоматичному, напівавтоматичному чи ручному режимах, використовують різного роду електронні системи з керування й діагностики - із відповідними наборами програмного забезпечення і візуалізацією технологічного процесу.

Внаслідок цього, у відповідності до побажань замовника, необхідним є виконання ретельного підбору обладнання як по необхідним технічним параметрам, так й за видами палива (вхідного), що використовується, й наявності відповідної системи з керування установкою. До необхідних технічних параметрів відносять:

- потужність;
- кількість електричної енергії яка вироблятиметься;
- кількість теплової енергії, яка вироблятиметься.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Когенерація вважається ефективним використанням первинних джерел енергії, зокрема, газу, з метою отримання теплової і електричної енергії. Перевагою когенерації перед традиційними існуючими теплоелектростанціями вважають можливість використання тепла, яке зазвичай просто втрачається.

За такого способу отримання енергії знижуються потреби в покупній енергії, що складає показник на величину теплової й електричної енергій, які виробляються, що сприятиме зменшенню виробничих витрат.

Автономність роботи когенераційних установок дає можливість забезпечення споживачів електричною енергією зі стабільними параметрами по частоті та напрузі, а також тепловою енергією по стабільним параметрам по температурі і якісною гарячою водою. Когенераційна установка має ефективність з використання палива в діапазоні 30 – 40% вище, порівнюючи з обладнанням, яким виробляється тільки електрична енергію або окремо лише тепло для різного роду споживача.

Розробка технологій, які дозволяють стійкіше виробляти енергію з використанням когенераційних електростанцій, має вирішальне значення [1].

Комбіновані виробництва тепла та електроенергії - це технічні рішення для когенерації з метою виробництва стійкої і ефективної теплової і електричної енергій. Згідно з технологією ТЕЦ, відбувається більш низьке споживання по первинній енергії і порівняно нижчі викиди, а ніж роздільне виробництво для тепла і електричної енергії.

Директивою 2012/27/EU щодо енергоефективності наголошено на потенційній економії енергій з використанням когенерації, в основі чого лежить корисний попит на тепло з заохоченням оцінки високоефективної когенерації. Необхідність в аналізі потенціалів когенерації підтримано нещодавнім переглядом в директиві ЄС із енергоефективності, що націлена на економічну стратегію у розмірі 11,7% періодом до 2030 року, аби скоротити і витрати на енергію, і викиди CO₂.

Для задоволення попитів на енергію вивчені різні технології. Серед них рекуперация відпрацьованого тепла з двигунів та інтеграція для джерел енергії з біомаси і сонця щодо регенеративної системи з циклу Ренкіна із перегрівом. В науковій літературі також наголошено на важливості систем з когенерації, що працюють на основі парової турбіни. Так як ТЕЦ мають значні економічні та екологічні впливи, то їх характеристика та проектні рішення ретельно вже проаналізовані.

В дослідженнях з аналізу парових електростанцій, що працюють на когенерацію, часто виконано аналіз з використанням розробленого спеціалізовано комерційного програмного забезпечення. З метою підвищення такої теплової ефективності для парової електростанції проаналізовано її перетворення для когенераційної установки.

Два випадки з когенерації було змодельовано та порівняно із використанням спеціального програмного забезпечення IPSEpro. Програмним забезпеченням, що використовувалося з метою моделювання, TRNSYS використовувалося в аналізі інтеграції для поживної води, що є нагрітою сонцем, в когенераційну парову електростанцію. Згодом, досліджено і заміну підігрівачів поживної води в системі для сонячного колектора із параболічним жолобом. В двох з проаналізованих робіт не оцінено вискоефективні параметри процесу когенерації й не проведено ексергетичного аналізу. Програмним забезпеченням EBSILON Professional здійснено моделювання термодинамічної системи й підвищення ефективності для блоку ТЕЦ зі встановленою потужністю 600 МВт по оптимізації розподілу як теплового, так і електричного навантаження. Хоч, використання устаткування комерційного програмного забезпечення дозволить швидко розробку схем, якими імітуватиметься цикл, такі схеми не зможуть бути зміненими в моменти моделювань шляхом заміни термодинамічного параметра. Серед таких параметрів науковці виділяють:

- основні параметри пари;

- основні параметри тиску;
- проміжний перегрів і т. д.

Показану невизначеність є можливість подолати, використовуючи як мову програмування із більшою гнучкістю за реалізації нових методик. Серед них, наприклад, ті, що дозволяють модифікувати схеми з метою відповідності різних термодинамічних параметрів і конкретних обмежень.

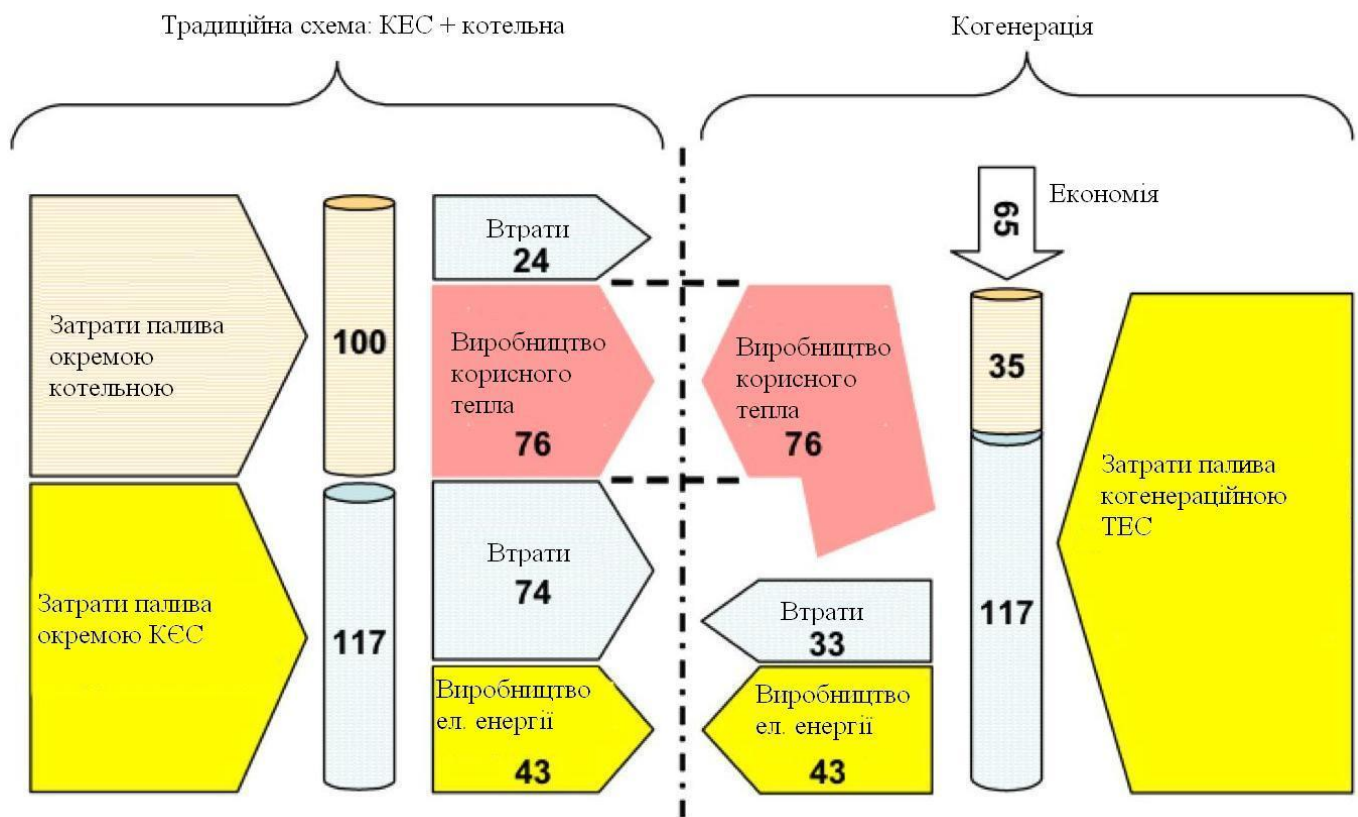


Рисунок 2.1. Порівняльна схема двох технологій отримання тепла та електричної енергії

Подібним до рисунку 2.1 чином багатьма науковцями проаналізовано доцільність використання технології когенерації.

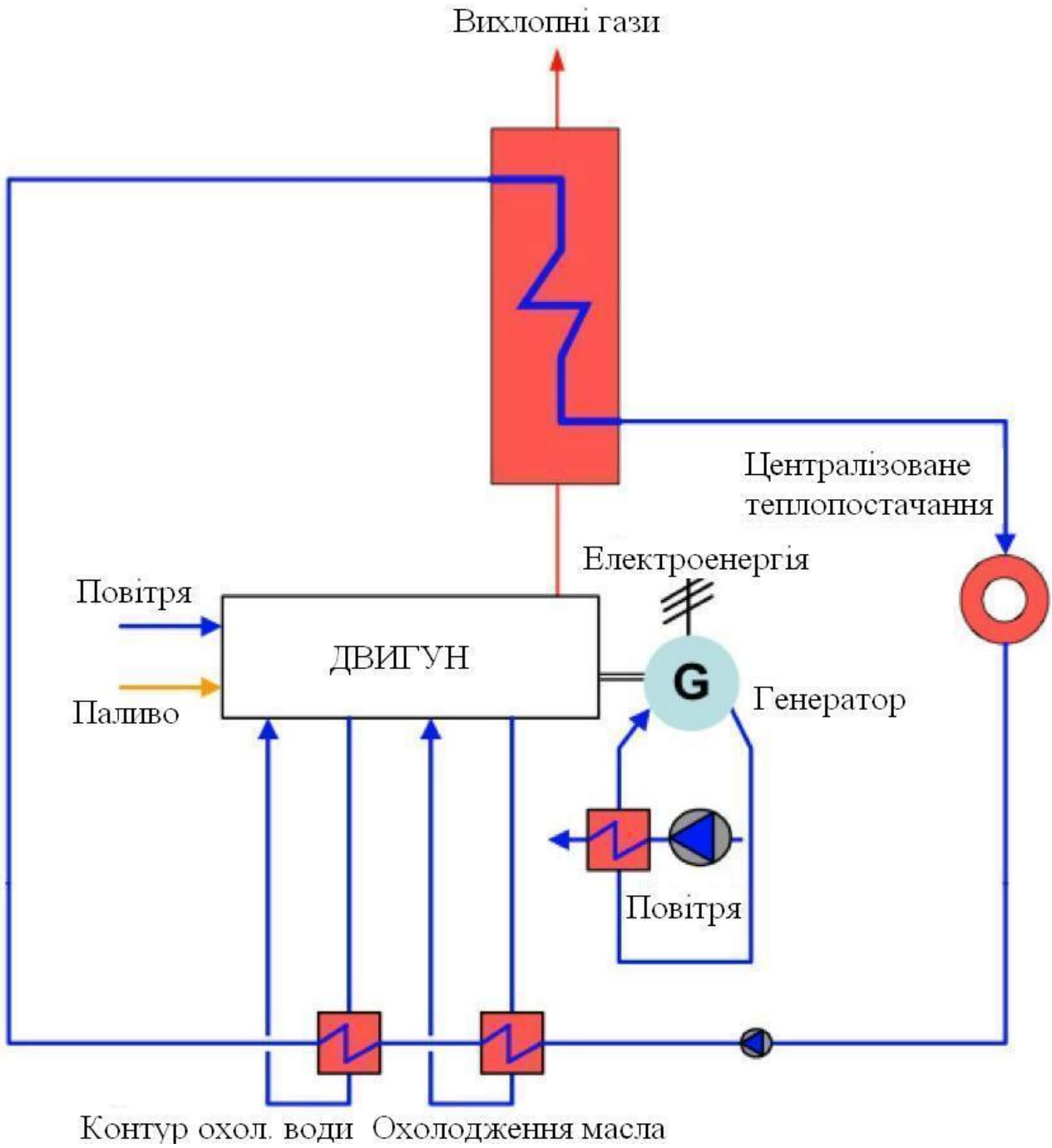


Рисунок 2.2. Когенераційна установка з використанням ДВЗ

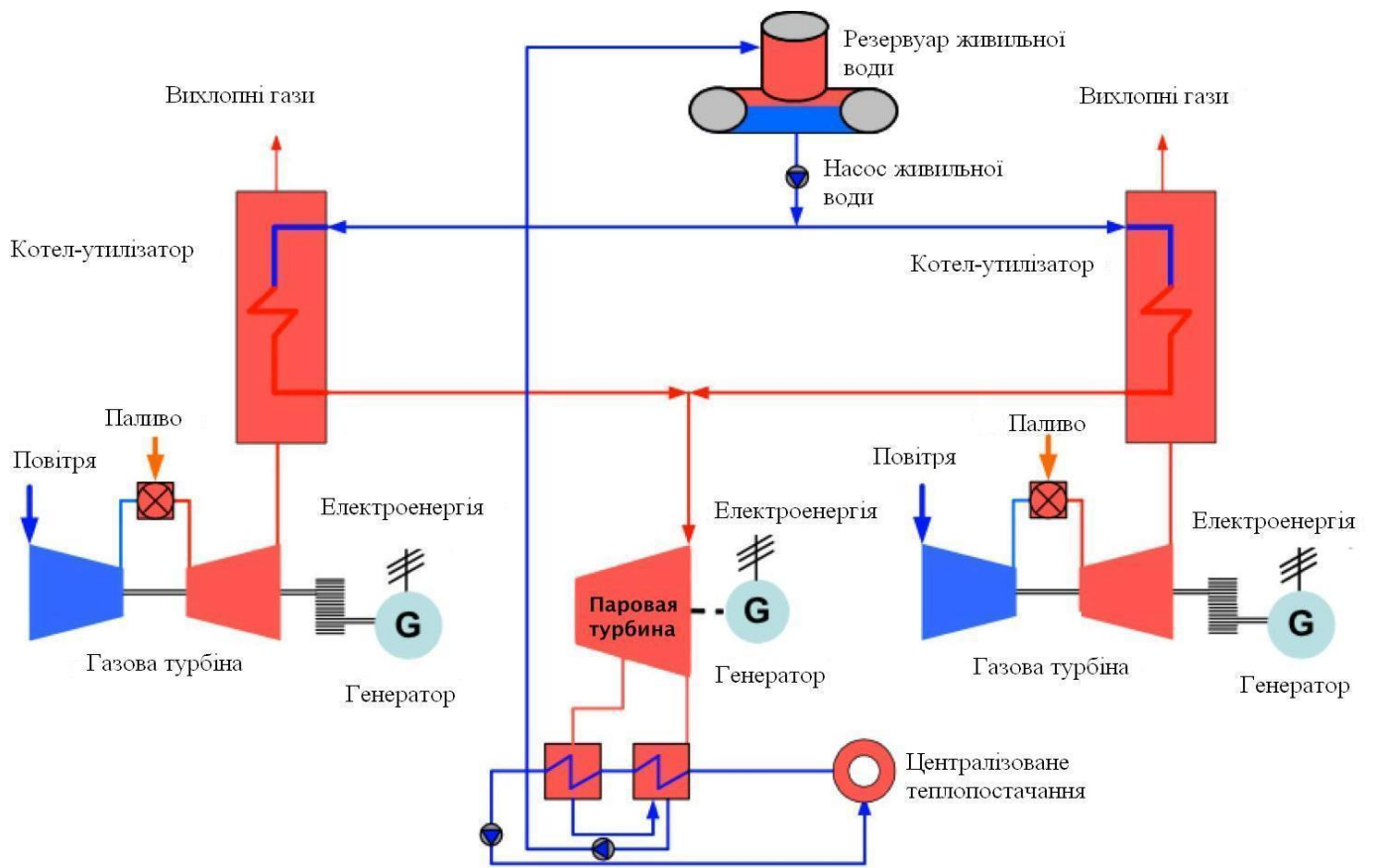


Рисунок 2.3. Когенераційна парогазова установка

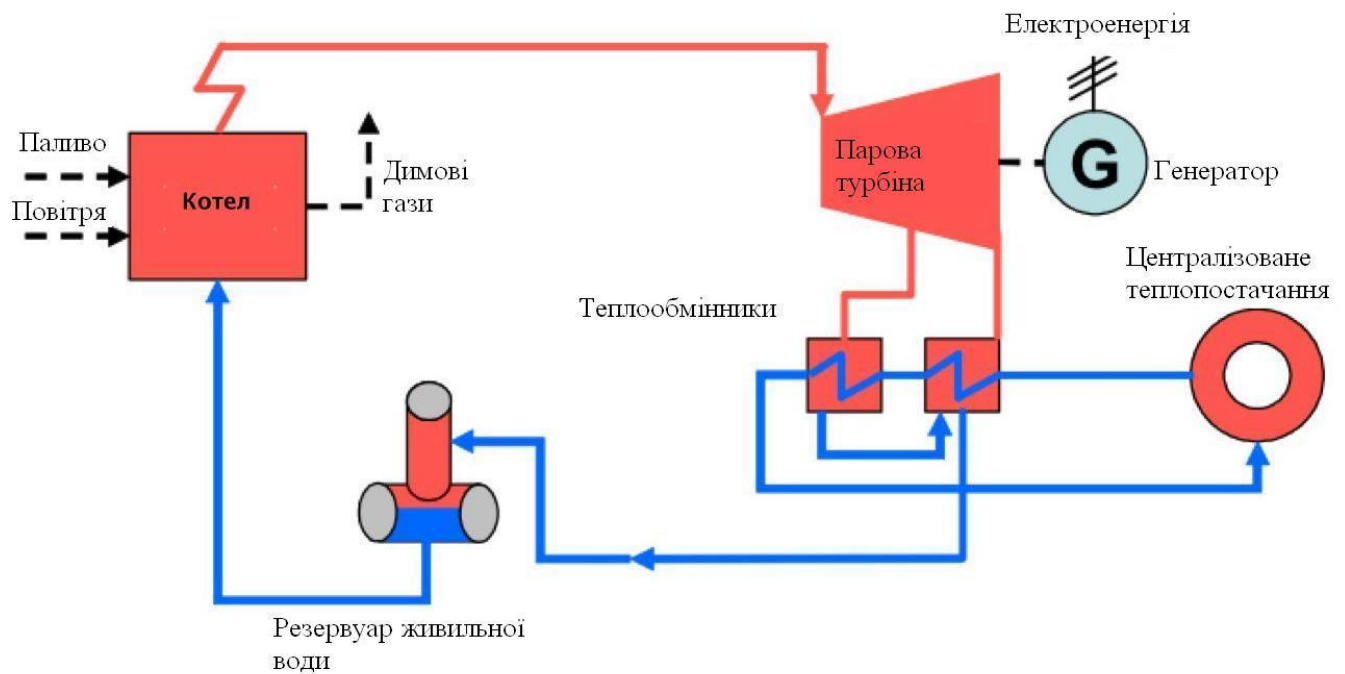


Рисунок 2.4. Когенераційна установка з протитиском

В когенераційному бізнесі показник якості тепла, яке поставляється, визначають попитом на надане промислове тепло. Від нього залежить виробництво електричної енергії у паровій турбіні. Кількісну оцінку щодо якості тепла, яке поставлятимуть, можна зробити на основі ексергії. Більше того, ексергетичний коефіцієнт корисної дії ТЕЦ можна використати у ролі репрезентативного показника по продуктивності станції.

Більшість з досліджень, якими аналізуються промислові споживачі пари, використовує схеми із простими турбінами з протитиску чи турбінами з екстракційно-конденсації, що працюють без повторного нагрівання пари. Підхід, що визначений, як енерго-ексергічний, аналізувався для системи з когенерації в целюлозно-паперовій промисловості. Проаналізованою системою використано хімічну рекуперацію чорного луку і соди. В свою чергу, результати показали відмінні відсоткові втрати по енергії і руйнування ексергії в різному устаткуванні. Однак, проаналізовано лише одну з таких схем, а економічний аналіз не проведено.

З наявної літератури випливає, що більшість з досліджень не аналізують одразу кілька зі схемних змін й використовують багатокритеріальну оптимізацію. Крім того, лише декількома з досліджень проаналізовано екстракційно-конденсаційні надкритичні турбіни. В цих дослідженнях розглянуто лише один з варіантів для когенерації – без або з відбором пари.

Більшістю з досліджень використано спеціалізоване програмне забезпечення. В такому контексті складно проаналізувати характеристики для різних схемних конфігурацій і для надкритичних циклів із екстракційно-конденсаційними турбінами. Тим більше, коли мова іде для різних вимог для споживача тепла і різних основних параметрів пари.

Заповнюючи пропуск в літературі, роботою [2] представляється нова методологія для стійкого оптимального проектування по надкритичному циклу з проміжного нагрівання для когенерації з споживачем пари. Для ТЕЦ із добірною

конденсаційними і одночасно надкритичними паровими турбінами дане дослідження спрямовувалося на:

- запровадження методології по вибору схеми, яка базується на чисельних оптимізаціях і конкретних обмеженнях;
- визначенні оптимальних значень тиску для проміжного перегріву, що є співвіднесеними з обраною методикою по схемам когенерації;
- використання кількох цільових функцій з метою багатокритеріальної параметричної оптимізації;
- врахування різних рівнів тиску пари і та швидкості для теплового потоку і для споживача пари;
- порівняння результатів із оптимізованим еталонним циклом для когенерації;
- підтвердження методології.

У відповідності до Європейської директиви по сприянню когенерації, для того, аби системи з когенерації могли претендувати й на економічні і фінансові вигоди, такі системи повинні відповідати певним вимогам по ефективності і економії первинної енергії.

Тому, розрахунок таких двох показників з ефективності разом з електричною і/або механічною енергіями, виробленими у зв'язку із корисним теплом, матиме вирішальне значення в економічній життєздатності таких систем. У роботі [2] викладено основні питання, на які б необхідно було дати відповідь в цій темі, і представлено повну процедуру для відповіді на питання і виконання необхідних розрахунків. Дана робота є не тільки корисною для поточних потреб, а і дає конкретну підказку для майбутнього перегляду в Директиві про когенерацію і пов'язані з нею тексти [2].

Для прикладу, технічно і економічно обґрунтованою є можливість з нагрівання поживної води в когенераційній електричній станції з потужністю 62 МВт у Шоаїбі, Саудівська Аравія (21° пн.ш.) при допомозі інтегрованих параболічних жолобчастих сонячних колекторів. Пар із турбіни, який відбирається, у підігрівач живильної води з

високого тиску (FTH) замінюють сонячними колекторами. При допомозі програмного забезпечення з метою моделювання TRNSYS створено й перехідну імітаційну модель з метою визначення річної продуктивності для електростанції, що інтегрована із сонячною системою [3].

Результати моделювань силового блоку підтверджено із використанням проектних даних для звичайної електростанції. Річну продуктивність системи оцінено як середню генерацію сонячної енергії і частку сонячної енергії [3].

Технологія для когенерації	Характерне співвідношення для електричної й теплової енергій
Парогазові установки (газова турбіна у поєднанні із утилізацією тепла, яка відходить, й паровою турбіною одного із типів, перерахованих нижче)	0,95
Паротурбінні установки (із протитиском)	0,45
Конденсаційні турбіни із відбором для пари (із протитиском, регульованим чи нерегульованим відбором пари)	0,45
Газові турбіни із утилізацією для тепла, що відходить	0,55
Двигуни внутрішнього згорання (поршневі двигуни або дизельні двигуни із утилізацією тепла)	0,75

Таблиця 2.1. Технології з когенерації й характерні для них величини по співвідношенню електричної й теплової енергії [4]

По причині зміни клімату і екологічним проблемам, викликаним зростанням викидів для парникових газів, необхідною є термінова декарбонізація глобального енергетичного балансу. При чому, зробити це необхідно замінивши викопне паливо на чисті джерела енергії, такі як відновлювані джерела енергії й ядерна енергія. Всесвітню декарбонізацію було прискорено Паризькою угодою щодо зміни клімату, підписаною в 2015 році, яку спрямовано на обмеження глобальних потеплінь не вище 1,5 °C чи навіть 2 °C [5]. Тому, актуальність дослідження та залучення когенераційних установок є досить важливо описаною.

Крім того, на ряду з питаннями глобального потепління використання відпрацьованого тепла могло б підвищити ефективність роботи електростанції за рахунок знижень потреби в паливі. Більше того, його можна використати з метою зниження потреби у паливі чи створення додаткового продукту, окрім електроенергії [6].

Зростання потреби в гнучкій експлуатації для атомних електростанцій (АЕС), особливо у рамках когенераційних додатків із високою змінною потребою у теплі, таких як системи з централізованого теплопостачання може бути інтегрованим в систему для зберігання теплової енергії, що має бути сумісною із умовами експлуатації АЕС [7]. Тому, термодинамічні дослідження, яким приділяється все більше уваги оцінками ексергії, проводяться разом із економічними міркуваннями з метою оцінки продуктивності для системи. Більше того, з метою вирішення проблеми щодо впливу запропонованих установок на довкілля оцінювати необхідно також і загальну продуктивність для установки і скорочення викидів вуглекислого газу [8].

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ

Для реалізації завдань, поставлених в даному дослідженні для умов конкретної установи, доцільно розглянути конкретну установку. В додачу до вище сказаного в попередніх розділах, слід виокремити будову когенераційної установки. Згідно зі схемою, зображеною на рисунку 1.2, когенераційна установка складається з:

- газового поршневого двигуна;
- генератора;
- системи по відбору тепла;
- системи з управління.

Тепло проходить етап відбору із газових ємностей, масляного холодильника і рідини двигуна, якою здійснюється процес охолодження.

Представлені установки використовують не тільки в ролі резервних, допоміжних джерел теплової і електричної енергії, але й в якості незалежних альтернативних міні ТЕЦ.

Електричну енергію, що виробляють, можна реалізовувати також в спільній розподільній мережі чи використовувати у власній мережі.

Аналогічно, вода, яка нагрілася, також може бути приєднаною до централізованої тепломережі чи використовуватися в якості води з метою виконання процесу опалення іта виробництва гарячої води в побутових потребах. Головним із факторів, яким визначається ефективність процесу когенерації вважається вартість палива.

Газопоршневий двигун такої установки призначено для роботи при різних видах газу:

- природному газі;
- біогазі;
- звалищному газі;
- бутані;

- пропані;
- попутному газі з нафтових свердловин.

Тому, за рахунок значного різновиду використання палива когенераційними установками, вони є досить ефективними.

Для аналізу можливості використання окремих когенераційних систем в електропостачанні різних об'єктів, зокрема, ФОП «Бокова», представленого в даній роботі, є можливість розглянути та обґрунтувати параметри когенераційного модулю для робіт на природному або зрідженому газі типу NG 15/NG 20 ТОВ «ВІССМАНН».

Серед головних переваг установки є можливість виокремлення порівняно не великої потужності. Мова іде як про теплову, так і про електричну потужність. Характеристиками виділено 15 – 20 кВт електричної потужності та 38,3 – 46.5 кВт теплової потужності. З урахуванням умов роботи невеликих установ – фізичних осіб-підприємців, де витрати електричної енергії є не великими, як порівнювати з великими заводами або філіями, - значну частину отриманої надлишкової електричної енергії є можливість реалізації загальною електричною мережею. Аналогічним чином, надлишкова тепла енергія також може бути використаною в окремих частинах тепломережі або для сусідніх приміщень.

Нижче, на рисунку 3.1, зображено модуль когенераційної установки, обґрунтування параметрів якого здійснюється в даному розділі.

Використання модулю є можливим на таких видах палива:

- природний газ;
- біо-природний газ;
- зріджений газ.

З огляду на доступність використання природного газу, доцільність роботи такої установки примножується. Окремо слід виділити можливість роботи установки на зрідженому газі, який також є доступним, а також на біогазі. Останнє є можливість отримувати з різного роду відходів, що є ефективним у тому числі і для умов навколишнього середовища.

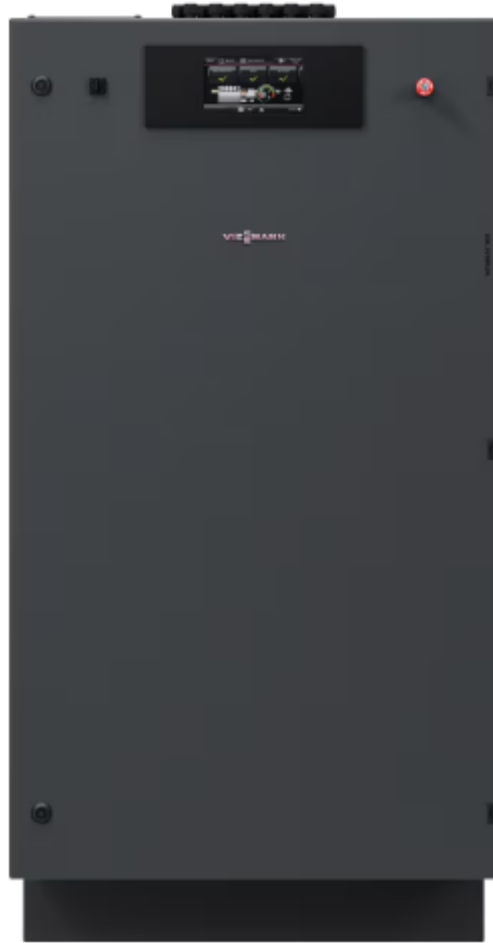


Рисунок 3.1. Когенераційний модуль для робіт на природному або зрідженому газі типу NG 15/NG 20 ТОВ «ВІССМАНН»

З найвищих оцінок для застосування модулю на офіційному сайті виробника продукції когенераційного обладнання підкреслено:

- малі підприємства;
- багатоквартирні будинки;
- готелі та бази відпочинку;
- ресторани та кафе;
- автосалони та офіційні дилери;
- дитячі садки та розважальні центри;
- басейни.

Серед перерахованих варіантів використання указаної моделі модулю стає очевидним доцільність використання у тому числі і для умов підприємства, указанного в даній роботі.

Серед значимих переваг в роботі такого типу обладнання також виділено великі проміжки в технічному обслуговуванні. Так, компанією-виробником заявлені проміжки між процесами технічного обслуговування, що складають 8000 годин.

За рахунок використання сучасної електронної платформи із функціоналом для управління когенераційною установкою використовуються електронні системи із модулем ViNCI. Це розробкою компанії Viessmann. Основним із елементів блоку керування вважається промисловий комп'ютер, що працює на базі Linux. Цим дається можливість підключатися до сучасного віддаленого сервісу, а також інтерфейсів з метою комунікації у багаторежимній системі і системах з управління будівлями. Робота із даними, що зберігаються у хмарних сховищах, також відповідає сучасним стандартам безпеки.



Рисунок 3.2. Панель управління Vitobloc

За рахунок використання такого типу програмування є можливість віддаленої візуалізації даних через інтернет-ресурси і робота із професійними бекенд-рішеннями.

Можливість роботи за допомогою віддаленого доступу через професійні інтерфейси реалізується електронною платформою Vitobloc. Цим надається можливість здійснення моніторингу когенераційних модулів із будь-якого з місць. Спостереження за параметрами роботи має на меті швидке вживання заходів з оптимізації, що допомагатиме підвищити ефективність.

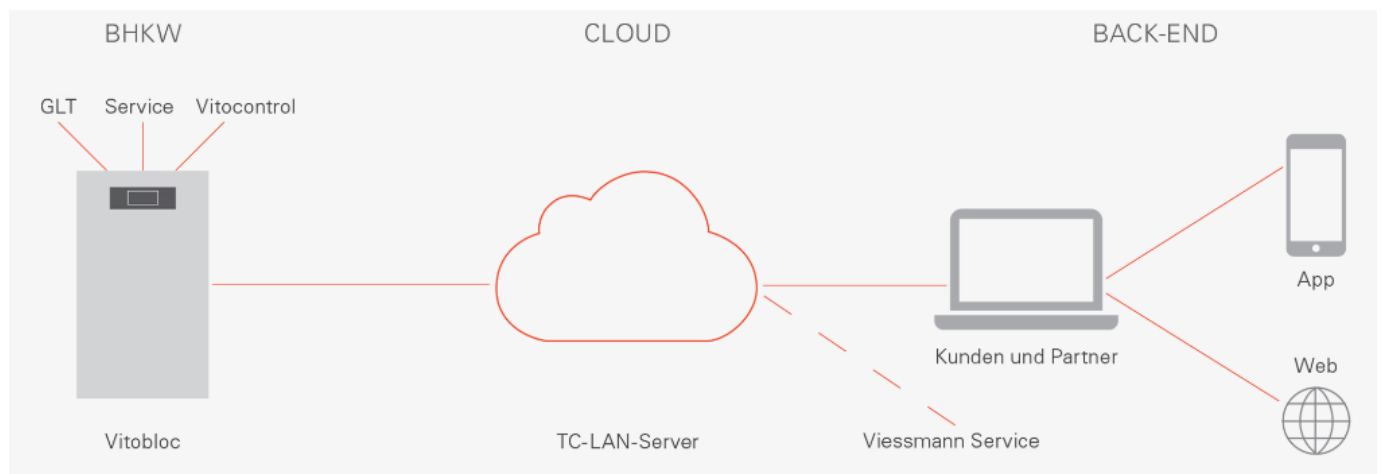


Рисунок 3.3. Можливість дистанційного керування модулем

Доступність даних розширює змогу службам сервісу краще розпланувати сервісну роботу та швидше реагувати згідно з новими обставинами. З врахуванням віддаленого доступу відпадатиме потреба у технічному обслуговуванні у місцях, що дозволить заощаджувати на витратах й підвищувати доступність і надійність робіт для когенераційної установки.

Когенераційна установка у варіанті класичного виконання komponується:

- силовим агрегатом;
- первинним двигуном;
- системами зі збереження і передачі тепла.

Основною ознакою, за якою класифікують когенераційні установки, вважається тип первинного двигуна, який використовується. На сьогодні більшість із виробників пропонують такі варіанти двигунів:

- газопоршневий;
- газотурбінний;
- мікротурбінний.

Когенераційна установка, яка розглядається безпосередньо у даній роботі, комплектується газопоршневим двигуном.

Поршневі двигуни відрізняють від інших поступовим набором обертів, а тому представляють нижчі, проте стабільні, показники потужності. Мікротурбінні ж двигуни розраховуються на невеликі потужності.

Робота газотурбінного двигуна ґрунтується на роботах газової турбіни, яку впровадили в систему. Тому, прилади для подібного роду установок часто використовують в промислових умовах з метою забезпечень енергетичних потреб для великих площ (застосування вважається раціональним за сумарної витрати потужностей від 6 МВт й більше).

Згідно зі структурною схемою когенераційної установки, зображеної на рисунку 3.4, двигун внутрішнього згорання приводить в дію генератор. Двигун, в свою чергу, працює на газі. Генератором виробляється електрична енергія.

Утворене, при цьому, надлишкове тепло можна використовувати за допомогою теплообмінників.

За допомогою теплообмінників є можливість покращити ефективність використання когенераційної установки шляхом раціонального заощадження теплоносія, а не викидів тепла в атмосферу.

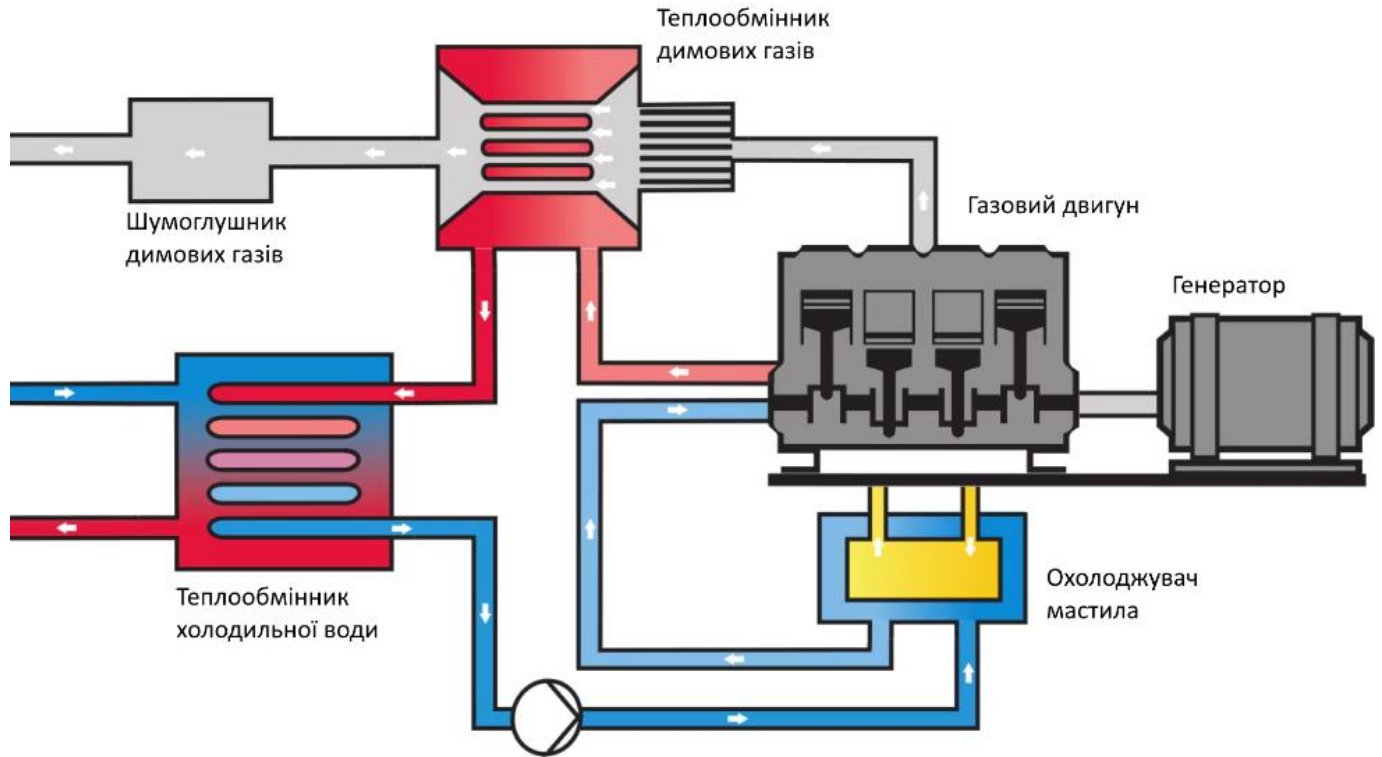


Рисунок 3.4. Структурна схема когенераційної установки

Ефективність використання когенераційної установки для умов невеликого господарства або установи може вважатися відносно складною. Однак, як було вказано вище, перевага використання такої системи полягає не лише в енергетичній незалежності.

Окремо слід розглядати можливість реалізації як електричної, так і теплової енергій, що є надлишковими, іншим споживачам за окремо визначеним тарифом. Внаслідок цього, виробництво є цілком раціональним за рахунок повного використання корисної енергії.

Для того, аби користування когенераційною установкою було економічно вигідним, її робота має бути якомога довгою без зупинок. Цим пояснюється закономірність: чим довше когенераційною установкою буде реально передаватися тепло і енергія в системі, тим коротшим буде термін її окупності.

При виборі розмірів та параметрів системи, за деякими винятками (наприклад, в випадку аварійних електропостачань), основними критеріями є показники тепла. Так чи інакше, основною орієнтацією такої установки є тепло, а на другому плані – отримання електричної енергії для споживача.

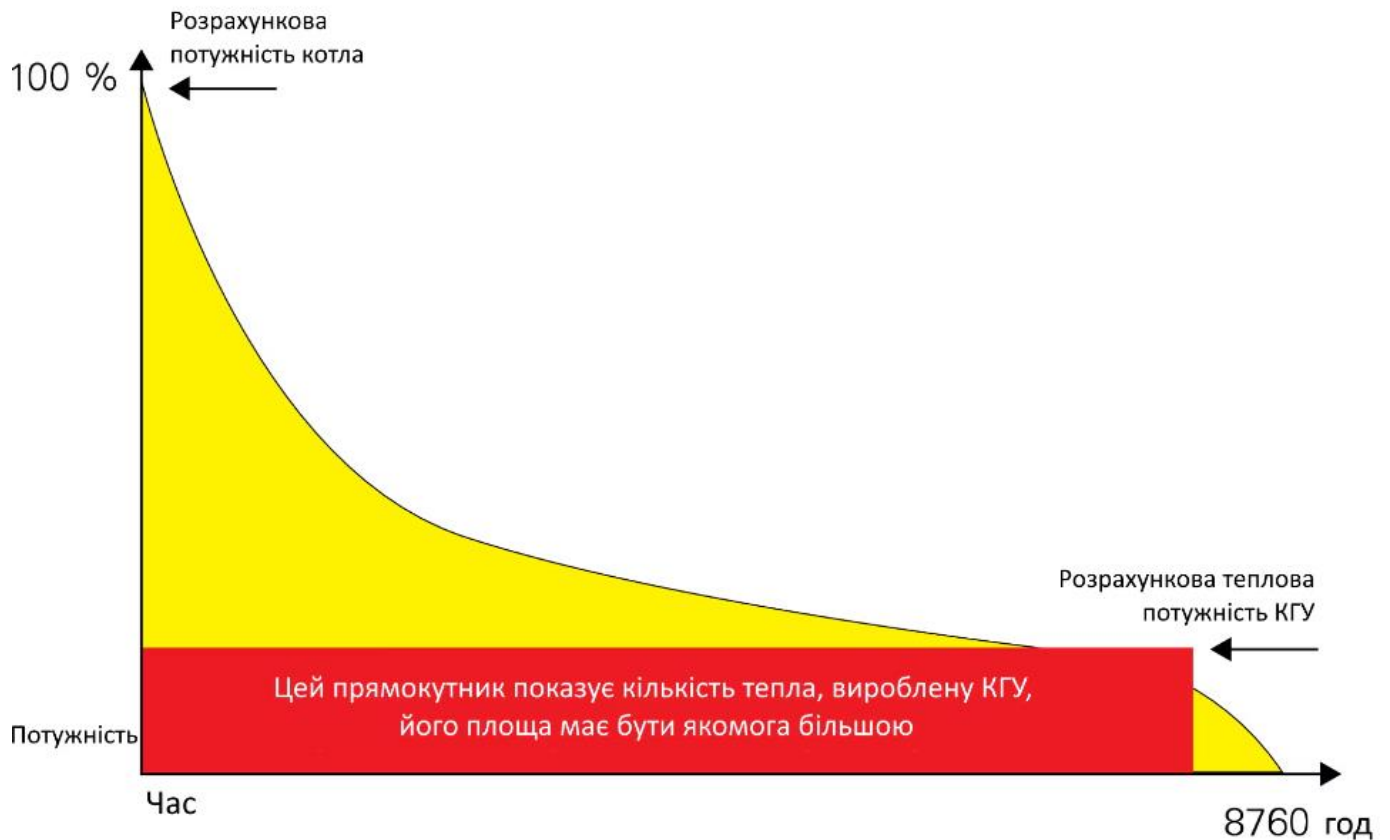


Рисунок 3.5. Постійна річна крива

Постійною річною кривою визначається розрахунок за потужністю для конкретної когенераційної установки. Зазвичай річну теплову потужність розподіляють протягом 12-місячного періоду. Це є постійною річною лінією. В результаті, когенераційна установка не повинна мати надмірних характеристик. Її теплову потужність розраховують таким чином, аби тепло могло передаватись навіть в момент низького навантаження.

Для того, аби досягти тривалості для роботи принаймні в проміжок 4500 годин, можна прийняти теплову потужність для конкретної когенераційної установки в розмірі 20 % від потужності котла.

Інтеграція когенераційної установки до існуючої системи реалізується за рахунок паралельної роботи системи з іншими традиційними установками. Скажімо, робота когенераційної установки з котлом. Обидва теплогенератори підключені за такого випадку до системи опалення. Система теплопроводів, зокрема трубопроводів, безпосередньо підключеною є до споживача, наприклад, ємності, басейну тощо.

В залежності від профілю за споживанням будівлі, раціональним може бути використання буферних баків для опалювальної води. Здійснюється це аби час роботи когенераційних модулів був якомога довшим й безперебійним.

Якщо розглядати роботу системи з точки зору енергопостачання та безпосередньо споживача, то першочерговим пріоритетом вважається покриття власного споживання для будівлі. Якщо іншого роду споживачів немає, то електрична енергія подаватиметься у загальну мережу іншим споживачам із отриманням грошової компенсації.

В указаному вище випадку за умови підключення інших споживачів до даного електрогенеруючого пристрою доцільним є впровадження тарифних сіток щодо користування електричною енергією та максимального отримання високих показників коефіцієнту корисної дії.

Внаслідок цього, раціональний вибір когенераційної установки за параметрами є можливість «страхувати» реалізацією надлишкових як теплової, так і електричної енергій іншим споживачам через спільну систему електропостачання та теплопостачання.

Електрична енергія для використання у місці вироблена в блоках, пристосованих і до відповідної потреби. Будь-яку частку надлишкової електричної енергії є можливість експортувати у загальну мережу, із отриманням сплати від енергопостачаючої компанії. Варто підкреслити, що тепло, вироблене в

когенераційній установці, не втрачатиметься, порівнюючи з централізованими електростанціями. Тепло віддаватиметься в тепломережу. Працюючи разом із іншими теплогенераторами, наприклад, різного роду котлами, когенераційна установка забезпечуватиме будівлю електричною енергією й теплом майже без втрати.

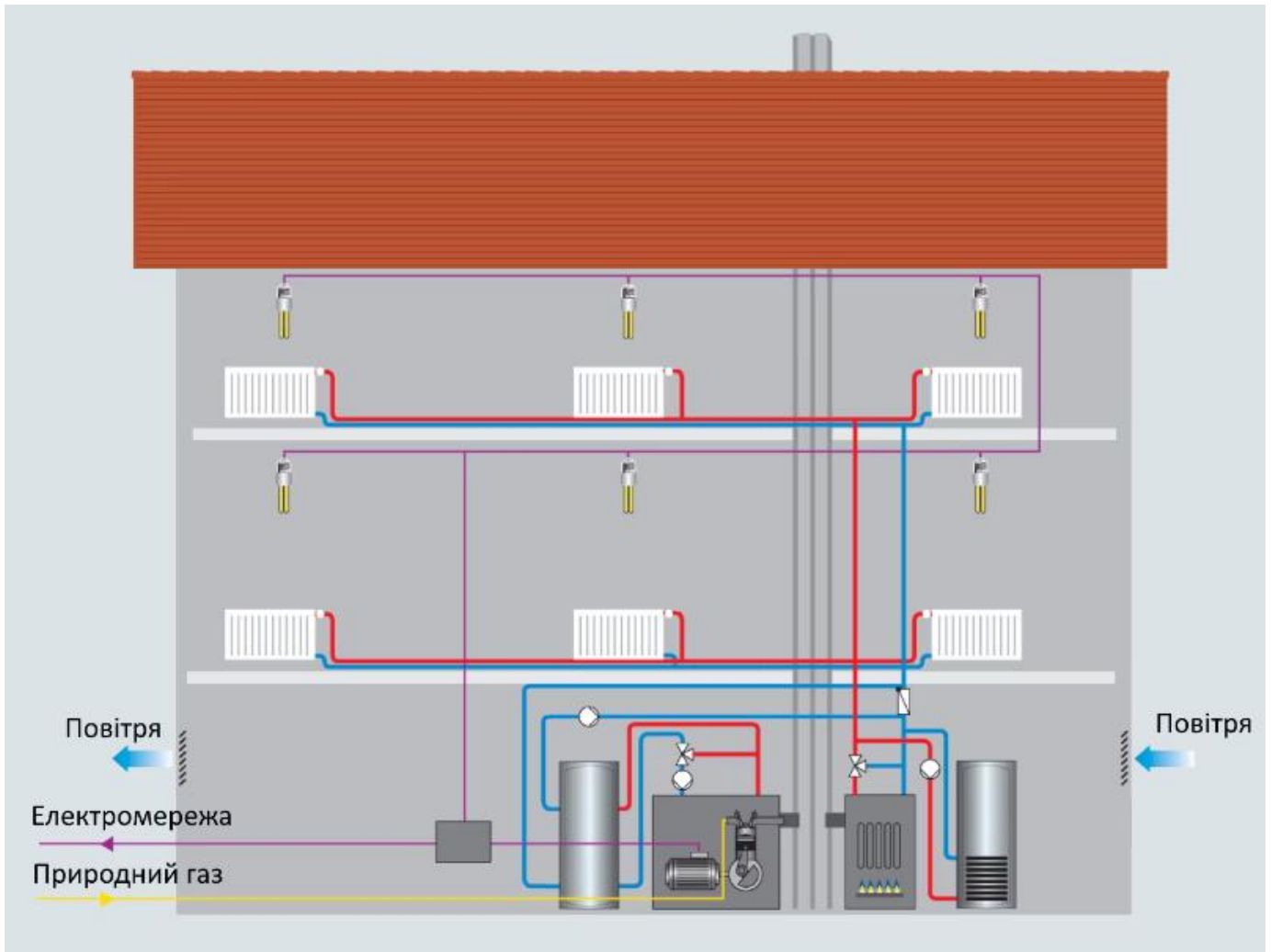


Рисунок 3.6. Підключення когенераційної установки до обладнання будинку

Тому, якість сучасної техніки виправдовується набором функціональних особливостей, виконуваних нею з метою задоволення потреб споживача.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Вентиляційне обладнання на підприємствах і установах розроблено з метою покращення умов праці для персоналу, а також продуктивності роботи. В такий спосіб є можливість якісного забезпечення людини належними умовами.

Однак, зі збільшенням обладнання, що наявне в виробничому приміщенні значно збільшується ризик попадання людини під згубний вплив такого обладнання з важкими наслідками для здоров'я людини. Тому, актуальним є аналіз небезпечних факторів, що несуть вплив на людину з боку когенераційних установок, а також систем з керування ними.

В даній роботі розглядається обґрунтування параметрів роботи когенераційної установки для умов ФОП «Бокова» м. Суми. До небезпечних факторів впливу на здоров'я людини від роботи з давним обладнанням можна вивести такий перелік ризиків:

- надмірний шум;
- вібрації;
- рухомі частини обладнання;
- обладнання великих розмірів;
- велика маса обладнання;
- небезпека ураження струмом;
- дія магнітних полів;
- протяги;
- стружка та деталі, що виходять зі строю внаслідок роботи обладнання;
- поява парів, нальотів тощо внаслідок неналежної роботи обладнання для вентилявання.

З метою зменшення представлених ризиків по роботі когенераційного обладнання у виробничих приміщеннях слід дотримуватися правил безпечної експлуатації електрообладнання, а також правил техніки безпеки. Дотримання таких

правил є неухильним і, в той же час, певним гарантом для зменшення негативного впливу на людину. Разом із тим, для зменшення впливу є можливість реалізації таких способів:

- проведення інструктажів усіх видів (черговий, позаплановий і т. п.);
- реалізація стратегії підприємства чи установи, де прописані обов'язкові заходи з покращення умов праці для персоналу та зменшення негативного впливу на здоров'я людини від роботи з виробничим обладнанням;
- забезпечення персоналу засобами колективного захисту;
- забезпечення засобами індивідуального захисту;
- реалізація курсів підвищення кваліфікації, навчальних навантажень, практикумів, стажувань;
- комплектація обладнання захисними та додатковими пристроями захисту.

До останнього віднесемо:

- захисні щити;
- ущільнення;
- захисні сітки;
- попереджувальні знаки;
- інформуючі вивіски тощо.

В результаті чітко зосереджених дій є можливість зменшення негативного впливу на здоров'я персоналу виробничих приміщень та покращення для них умов праці.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА ПОКАЗНИКИ ПРОЕКТУ

З метою введення в експлуатацію когенераційної установки є доцільність приведення техніко-економічних показників, а саме, - затрат на комплектування на запуску такої системи.

Розрахунок затрат для впровадження системи з когенерації здійснимо за такою схемою:

Структура капіталовкладень K ділиться на три основні елементи:

$$K = K_{об} + K_{бмр} + K_{ін}, \quad (1)$$

де: $K_{об}$ – капіталовкладення на придбання устаткування;

$K_{бмр}$ – капіталовкладення на виконання будівельно-монтажних робіт;

$K_{ін}$ – капіталовкладення на інші види робіт, що не передбачені в $K_{об}$ та $K_{бмр}$.

Розглянемо більш детально кожен із даних складових по певному переліку позицій.

Витрати $K_{об}$ включають вартість:

- обладнання, яке потребуватиме монтажні роботи (попередні складання, встановлення й налагоджень);

- обладнання, яким не передбачено монтаж;

- необхідні КВП та інструмент.

Знаходимо капіталовкладення:

$$K_{об} = \sum n, \text{ грн} \quad (2)$$

$$K_{об} = 22500 + 1470 + 1970 = 25940 \text{ грн}$$

Капіталовкладення для виконання будівельно-монтажних робіт $K_{\text{бмр}}$ включають:

- витрати в будівництво нових, розширення, реконструкції й технічного переозброєння постійної і тимчасової будівель та споруд;
- монтаж конструкцій і обладнання;
- спорудження інфраструктури та комунікацій.

$$K_{\text{бмр}} = \frac{K_{\text{об}}}{3}, \text{ грн} \quad (3)$$

$$K_{\text{бмр}} = \frac{25940}{3} = 8646,6 \text{ грн}$$

Інші витрати $K_{\text{ін}}$ включають вартість:

- проведення науково-дослідної роботи;
- виконання проектно-вишукувальної роботи;
- здійснення технічного та авторського контролю за будівництвом;
- підготовку персоналу об'єкту будівництва.

$$K_{\text{ін}} = \frac{K_{\text{об}}}{7} \cdot 100, \text{ грн} \quad (4)$$

$$K_{\text{ін}} = \frac{25940}{7} \cdot 100 = 3705,7 \text{ грн}$$

Знаходимо загальну суму капіталовкладень:

$$K = 25940 + 8646,6 + 3705,7 = 38292,3 \text{ грн}$$

ВИСНОВКИ

Використання сучасного обладнання дає можливість швидкої реалізації різних поставлених цілей. Енергетична незалежність є однією з таких цілей. Актуальність даної роботи підтверджено шляхом аналізу структурних особливостей когенераційної установки для умов конкретної установи.

Ефективність різних технологічних рішень є можливість перевірити лише на готових експериментальних одиницях устаткування. У зв'язку із цим, аналіз роботи та ефективності використання такого обладнання є досить важливим.

В даній роботі представлено аналіз функціональних особливостей когенераційних установок. Встановлено, що такого роду обладнання значною мірою покращує стан електроенергетики з точки зору забезпечення електричною енергією окремих споживачів. Відчутною перевагою використання такого обладнання визначено безвідходність та безперебійність в постачанні та використанні обладнання.

В підтвердження прийнятої ідеології щодо раціонального використання тепла, а також електричної енергії, які вироблено за допомогою такої установки вважається можливість реалізації обох видів енергії іншим споживачам. Цілком реалістично це за умови надмірного виробництва енергії у моменти, коли задоволення потреб споживача має місце з різного ступеня витрат електричної або теплової енергій. В таких випадках, зміна ступеня використання теплової або електричної енергії, за умови надлишкової їх кількості, компенсується постачанням інших споживачів.

Покращення стабільності подачі електричної енергії споживачеві реалізується за рахунок автономності використання устаткування. З іншого боку, важливим елементом є підтримання одночасного балансу між теплоносієм та забезпеченням електричною енергією споживача.

Внаслідок вище сказаного, зроблено висновок щодо високої ефективності користування когенераційними установками як малими установками та господарствами, так і великим підприємствами та організаціями.

В роботі перелічено переваги використання системи для різного роду споживачів з одночасним аналізом використання як електричної, так і теплової енергій. Для прикладу, встановлено, що використання когенераційних установок з ємностями з технічною рідиною дає можливість отримання електричної енергії та нагрівання технічної рідини до необхідної температури за умови достатньої кількості теплової енергії.

Для умов конкретної установи проаналізовано склад та структуру когенераційної установки та встановлено, що її використання є актуальним для даного роду споживача як електричної, так і теплової енергій одночасно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cenușă, V., & Opreș, I. (2024). Design optimization of cogeneration steam power plants with supercritical parameters. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103727>
2. Panowski, M., Zarzycki, R., & Kobyłecki, R. (2021). Conversion of steam power plant into cogeneration unit - Case study. *Energy*, 231, 120872. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.12.044>
3. Abdel-Dayem, A.M., & Hawsawi, Y.M. (2022). Feasibility study using TRANSYS modelling of integrating solar heated feed water to a cogeneration steam power plant. *Case Studies in Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102396>
4. КОГЕНЕРАЦІЯ ЯК ШЛЯХ ДО ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. Електронний ресурс. URL: <https://studfile.net/preview/5174140/>
5. Dong, Z. (2022). Dynamical modeling and coordinated control design of a multimodular nuclear power-hydrogen cogeneration plant. *Energy Conversion and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116369>
6. Mohtaram, S., Aryanfar, Y., Ghazy, A., Wu, W.G., Kaaniche, K., & Luis García Alcaraz, J. (2023). An innovative approach for utilizing waste heat of a triple-pressure cogeneration combined cycle power plant by employing TRR method and thermodynamic analysis. *Case Studies in Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103198>
7. Hadi Ghazaie, S., Sadeghi, K., Chebac, R., Sokolova, E.V., Fedorovich, E., Cammi, A., Enrico Ricotti, M., & Saeed Shirani, A. (2022). On the use of advanced nuclear cogeneration plant integrated into latent heat storage for district heating. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101838>
8. Hai, T., Ali, M.A., Alizadeh, A., Sharma, K., Almojil, S.F., Almohana, A.I., & Alali, A.F. (2023). Using nanoparticles for performance enhancement of a solar energy-driven power/hydrogen cogeneration plant based on thermochemical cycles: Multi-aspect analysis

and environmental assessment. *International Journal of Hydrogen Energy*.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.158>

9. Лабай В.Й. Тепломасообмінні процеси в системах ТГВ. 2021. Львівська політехніка

10. Врагов А.П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв. 2023. Навчальний посібник. Університетська книга. 262 с.

11. Когенерація, когенераційні установки. Електронний ресурс. URL: <https://nvp-vital.com/ua/kogeneraciya-kogeneraciyni-ustanovky>

12. ДСТУ EN 15632-2:2021 Розподільчі мережі тепlopостачання. Попередньо ізольовані гнучкі системи трубопроводів.

13. ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування".

14. Когенераційні установки. Електронний ресурс. URL: <https://eurodiesel.com.ua/products/kogeneratsionnie-ustanovki/>

15. ДСТУ EN ISO 52000-1:2023 Енергоефективність будівель. Комплексне оцінювання енергоефективності будівель. Частина 1. Загальна структура та методики.

16. ДБН В.2.5-39:2008 "Теплові мережі".

17. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. НПА ОП 40.1-1.32-01. 2013. Форт. 100 с.

18. ДСТУ-Н Б В.2.5-65:2013. Настанова з улаштування та використання систем електроопалення об'єктів житлового і громадського призначення (62795).

19. ДИРЕКТИВА ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ І РАДИ 2012/27/ЄС від 25 жовтня 2012 року. Про енергоефективність, внесення змін до директив 2009/125/ЄС і 2010/30/ЄС та про скасування директив 2004/8/ЄС і 2006/32/ЄС.

URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/2012-27-es.pdf>

20. Desai, N.B., Mondejar, M.E., & Haglind, F. (2022). Techno-economic analysis of two-tank and packed-bed rock thermal energy storages for foil-based concentrating solar

collector driven cogeneration plants. *Renewable Energy*.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.043>

21. Guillén-Lambea, S., Pina, E.A., Serra, L.M., Lozano, M.A., & Lazaro, A. (2022). Environmental assessment of medium-size solar Organic Rankine Cycle cogeneration plants. *Applied Thermal Engineering*.

<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118692>

22. ПРАВИЛА УЛАШТУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК Видання офіційне Київ 2017. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України