

ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.574.013:620.92-027.563:[502.21:523.9]

Комерційний холод як компонент тригенерації розподіленої енергетики

Л. І. Морозюк¹, А. М. Басов²✉¹⁻²Одеська національна академія харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, 65082, Україна✉ e-mail: ²anatolijmikhailovich@gmail.comORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0003-4133-1984>; ²<https://orcid.org/0000-0003-1256-2839>

В статті представлено принцип створення схемного рішення системи тригенерації із заздалегідь заданим джерелом енергії та споживачем холоду і тепла. Вирішення проблеми енергозбереження та одночасного підвищення енергоефективності процесів виробництва тепла та холоду ґрунтується на концепції тригенерації в системі розподіленої енергетики. Роль розподіленої енергетики полягає у зменшенні глобальної енергетичної проблеми, що полягає у енергозабезпеченні віддалених від великих регіонів населення. У якості конкретного споживача виступає комерційний холод, що безпосередньо вирішує продовольчу проблему для людства, забезпечуючи життєво важливими продуктами харчування та питною водою відповідно до фізіологічних норм. Наведено спосіб створення системи «комерційний холод – розподілена генерація енергії» через оцінки технічної системи за комплексом факторів (економічного, енергетичного, екологічного та соціального) для місцевості та статусу комерційного підприємства. За цими даними визначаються джерело енергії та продуктивності підприємства з холоду та тепла, вибираються способи відведення тепла до зовнішнього середовища, розробляються заходи, що спрямовані на зменшення незворотних втрат у системі. Виконуються розрахунки елементів з оцінкою ефективності за енергетичним, економічним, екологічним та соціальним факторами. Рішення про доцільність застосування тригенерації для конкретних споживачів з вибором робочих параметрів і характеристик елементів системи вимагає детального аналізу і збору даних щодо реальних величин енергетичної ефективності кожного елементу. Питання торкається аналізу впровадження одного з найбільш перспективних напрямків в енергозбереженні – використання екологічно чистих систем малої енергетики. Наведено приклад формування вихідних даних для створення системи тригенерації комерційного призначення з сонячною енергетичною установкою, абсорбційною холодильною машиною та системою акумуляції тепла.

Ключові слова: Тригенерація; Розподілена енергетика; Сонячна енергія; Абсорбційна холодильна машина; Модель аналізу

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v58i1.2317>

© The Author(s) 2022. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. Вступ

Ускладнення рівня техніки як результат удосконалення процесів завжди потребує систематичності в знаннях. Неможливо здійснювати пошук нового, якщо немає узагальнення попереднього досвіду. В зв'язку з цим питання класифікації та систематизації у конкретній галузі займають знач-

не місце в завданнях дослідження. Нові об'єкти виявляються за розглядом формальних ознак.

Енергоперетворювальні системи за кінцевими корисними ефектами поділяються на три групи: теплові двигуни, холодильні машини, теплові насоси. Теплові двигуни трансформують первинну теплову енергію в електроенергію, механічну роботу та тепло. За класифікаційними ознаками, хо-

лодильні машини та теплові насоси використовують продукти (корисні ефекти) теплової машини як первинну енергію і отримують низькопотенційне та високопотенційне тепло відносно до температурного рівня навколишнього середовища (охолодження та опалення об'єктів). Холодильні машини та теплові насоси завжди знаходяться в комплексі з тепловим двигуном. Якщо первинною енергією для холодильних машин та теплових насосів є електрична або механічна енергія, то машини мають назву компресорні. Інший клас складають тепловикористальні машини, у яких первинною енергією є тепло.

Світова статистика стверджує, що до 20% загального споживання електроенергії йде на охолодження та опалення в залежності від кліматичних умов та рівня економічного розвитку конкретної країни.

У зв'язку з цим у всьому світі енергоперетворювальні установки знаходяться під тиском жорстких вимог до економної витрати паливно-енергетичних ресурсів та екологічної чистоти усіх видів виробництв.

Світове енергопостачання представлено двома напрямками: велика енергетика і розподілена [1]. Більшість електроенергії у світі досі виробляється на теплових електростанціях ТЕС, це понад 60 % без урахування АЕС. Головні недоліки усіх ТЕС: використання невідновлювальних джерел енергії, віддаленість від центрів економіки – головного споживача електроенергії, низький ККД (30-35%), втрати електроенергії під час транспортування.

Усі перелічені вище ризики поступово формують новий світовий тренд – зростання потужностей розподіленої генерації – перехід від великих генеруючих об'єктів до набагато дрібніших енергокомплексів. У такий розвиток вдало вписується енергетика на основі відновлювальних джерел енергії ВДЕ, що не вимагає створення дорогої транспортної інфраструктури. Розподілена генерація на ВДЕ логічно вписується і в проблему енергозбереження та підвищення енергоефективності: більша частина енергії споживається у місці її виробництва. Розподілена енергетика за значимістю не поступається великій. Її роль полягає в енергозабезпеченні віддаленого від великих регіонів населення, і в міру освоєння нових територій ця роль буде зростати. До розподіленої генерації віднесено нетрадиційну електроенергетику, засновану на цілком традиційних принципах, але первин-

ною енергією в них є або джерела локального значення, або джерела що у стадії освоєння. Відомий ще один термін – «мала» енергетика. Терміни «мала» та «розподілена» енергетика в даному випадку є синонімами і вживаються, щоб позначити ту нішу, яка поки що не зайнята у світовій енергетиці [1]. Поняття «мала» енергетика включає генеруючі установки потужністю до 30 МВт.

Перспективним і технічно простим шляхом підвищення ефективності енергетичної галузі є використання когенерації [2]. Вона забезпечує виробництво теплової, електричної та механічної енергії з відносно високим значенням коефіцієнтів перетворення на основі використання скидного або нетрадиційного відновлювального джерела енергії. В основі когенераційних технологій знаходяться різні схеми утилізації тепла, яке є скидним в теплових двигунах. Сучасні теплові двигуни малої потужності випускають у комплекті з утилізаторами тепла [3,4]. В організації когенерації головним та важливим є наявність споживача тепла, що утилізується.

Концепція розподіленого енергопостачання використовує принцип тригенерації [5]. Електрика, тепло та холод виробляються спільно. Тепло, вироблене когенераційною установкою, може бути утилізовано тепловикористальною холодильною машиною для виробництва холоду в широкому діапазоні температурних режимів. Отже, когенераційна установка виробляє, незалежно від пори року, тепло та холод, підтримуючи необхідну температуру постійною у приміщеннях різного призначення.

Тригенераційні установки, які реалізуються на світовому ринку, мають різні області застосування, які обумовлені типом тепловикористальної холодильної машини. Тригенераційна енергетична установка є високоефективною та перевищує в 3 рази за ефективністю стандартні центральні енергетичні системи.

Настає епоха розвитку та широкого застосування (поряд із традиційними методами отримання енергії) розосереджених джерел енергії не надто великої потужності, але з високим ККД, екологічно чистих та зручних у користуванні.

Найбільш вдалим рішенням системи тригенерації є об'єднання малої енергетичної когенераційної установки з підприємствами комерційного призначення. Комерційне підприємство – самостійний господарюючий суб'єкт з правами юридичної особи, що діє в умовах самофінансування і має

на меті отримання максимального прибутку [6,7]. Тому питання капітальних і експлуатаційних витрат для споживачів такого обладнання є головними і повинні відповідати реальним витратам на інвестиції і експлуатацію. Комерційний холод на даний момент складає 65% від усього світового ринку холодильного обладнання. Устаткування комерційного холоду, як правило, працює цілодобово та цілорічно з електричною потужністю до 1,5 МВт и тепловою – до 1,8 МВт.

2. Концептуальна модель комплексної оцінки системи тригенерації

Рішення про доцільність застосування систем тригенерації для конкретних споживачів з вибором робочих параметрів і характеристик елементів системи вимагає детального аналізу і збору даних щодо реальних величин енергетичної ефективності кожного елементу. Дані для аналізу отримують з вивчення енергетичного, екологічного та еконо-

мічного стану споживача, моніторингу роботи дійсних установок у подібних умовах і розвитку сучасного виробництва в галузі відповідного устаткування

Аналіз процесів, що відбуваються в елементах холодильних машин або теплових насосів, в процесі проектування повинен бути заснований на чіткому розумінні критеріїв, за якими буде здійснюватися побудова економічної моделі і оцінка роботи в реальних умовах.

Існуючі сучасні методи аналізу технічної системи можна систематизувати через комплекс факторів [8]. Адаптуючи такий підхід до системи тригенерації, оцінювання починається з визначення місцевості, для якої планується створення системи (рис.1). Цей фактор охоплює інформацію щодо ймовірного розміщення системи, надається географічна та політична довідка за даними з енергетичного, економічного та екологічного станів майбутнього власника підприємства та передбачуваних споживачів послуг.

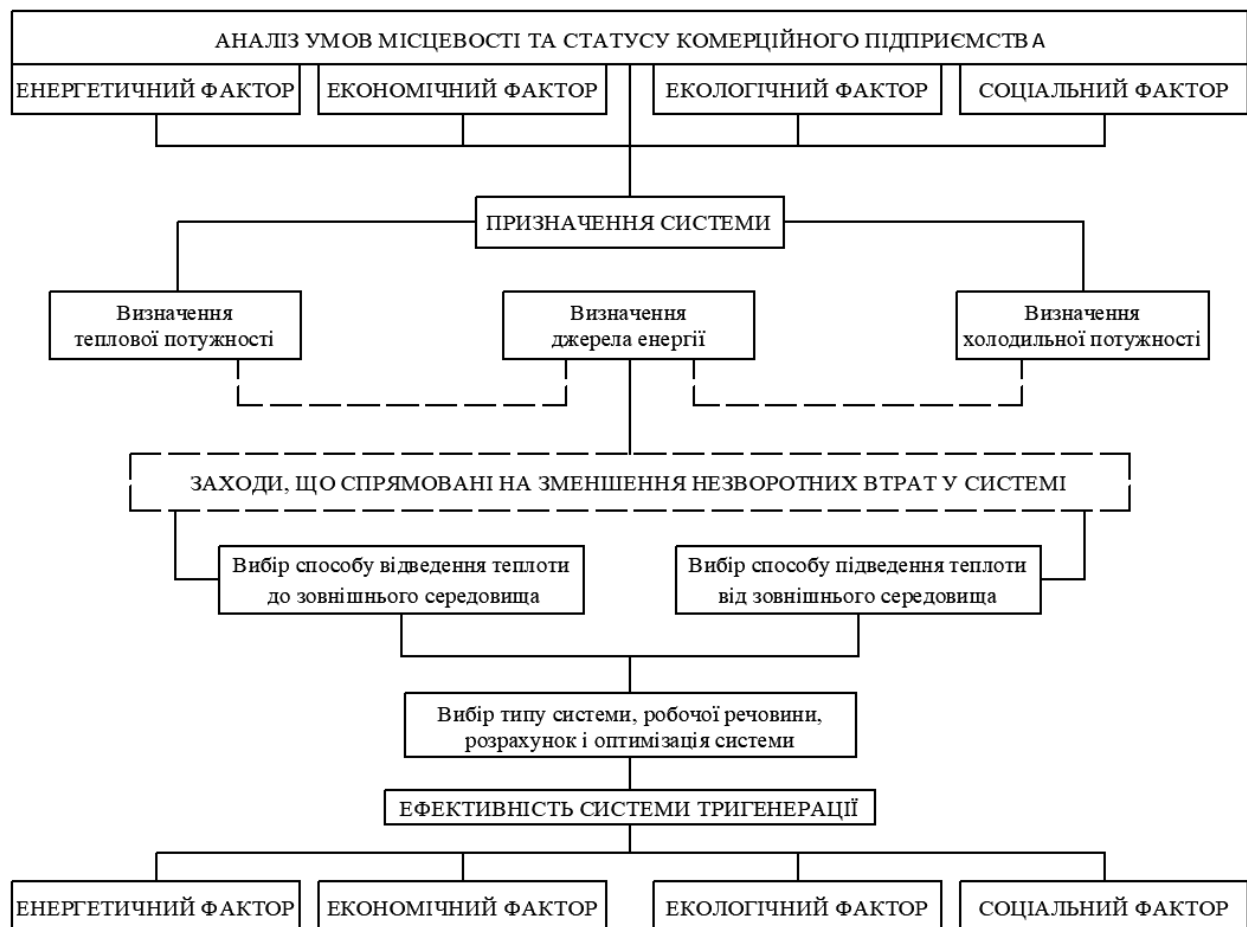


Рисунок 1 – Сучасні методи аналізу технічної системи

Енергетичні та економічні фактори оцінки системи тригенерації знаходяться в прямій залеж-

ності один від одного. При цьому економічний фактор спирається на інвестиційні витрати щодо

системи та на можливість швидкої їх окупності. Для регіонів з імпортованими енергоносіями значно вигідніше вкласти великі інвестиції в систему, отримуючи корисні ефекти з мінімальними витратами енергетичної сировини. Нині мала розподілена енергетика є єдиним дієвим інструментом зниження вартості електроенергії підприємств малого та середнього бізнесу. Можливість роботи обладнання малої розподіленої енергетики на різних видах палива (у тому числі на зрідженому газі) дозволяє встановлювати такі об'єкти на територіях з великою географією.

Значне погіршення екологічної обстановки у всьому світі встановило екологічний фактор оцінки тригенераційної системи на рівень значимості з попередніми факторами. Складнощі для реалізації систем тригенерації утворюють кліматичні умови. В першу чергу це торкається світових кліматичних зон з різким континентальним та тропічним кліматом. Вони характеризуються високими середньорічними температурами навколишнього середовища у сукупності з підвищеною або зниженою вологістю [8].

Значно складніший стан справ з малими енергетичними системами тригенерації і особливо з локальними побутовими системами кондиціювання та опалення. Екологічний вплив від майбутньої системи намагаються зменшити вже за вибором місця під будівництво. При цьому приймається до уваги природний рух ґрунтів, повітря та води після опадів.

Соціальний фактор виглядає як комплекс споживчих характеристик і приймається до уваги у комерційній системі, тому що остання пов'язана з побутом людини [6]. Стан клімату та його зв'язок з людиною має соціальний характер. Географічне середовище діє на людину не тільки безпосередньо, але опосередковано крізь умови її життя. Для людини перше значення має не стільки клімато-географічні умови середи, скільки сприятливі умови побуту та праці.

Комерційний холод в системі тригенерації вирішує найбільш важливі проблеми для людства такі, що визначають безпеку існування:

- глобальна енергетична проблема – це проблема забезпечення людства паливом та енергією нині та в найближчому майбутньому;
- світова продовольча проблема у найбільш загальному вигляді полягає у нездатності людства повністю забезпечити себе життєво важливими продуктами харчування відповідно до фізіологіч-

них норм;

- вода, поряд з енергією та продовольством, стала однією з основних глобальних проблем людства. Проблема дефіциту прісної води стає все актуальнішою для багатьох країн світу.

Продовольча проблема має глобальний характер і через свою гуманістичну значущість, і через свою тісну взаємопов'язаність зі складним завданням подолання соціально-економічної відсталості держав, що розвиваються. Спостерігається низький рівень розвитку продуктивних сил сільського господарства, його вузька аграрно-сировинна спеціалізація, відсутність промисловості короткочасного та довготривалого зберігання врожаю, мала купівельна спроможність основної маси населення. Завдання подолання продовольчої кризи для будь-якої держави є пріоритетним.

Від загальних факторів перейдемо до конкретних споживачів. Системи тригенерації та комерційні установки різноманітні за своїми корисними та вторинними ефектами. За призначенням їх можна класифікувати способом на рис. 2. Кінцевим результатом проектування та створення слід враховувати: головний та вторинний (обов'язкові скидання) ефекти технологічних процесів.

Проектування здійснюється на підставі технічного завдання. Вибір базується на визначенні малої енергетичної установки (спалювання традиційного палива, відновлювальні джерела енергії, нетрадиційні джерела), типу холодильної машини (компресорної або тепловикористальної,) теплової, електричної та холодильної потужностей з виконанням заходів, які спрямовані на реалізацію проектного завдання. Зберігання енергії проектується за ознакою – відновлювальні та невідновлювальні джерела. До традиційного палива відносять газ, нафту. Використання інших потребує великих економічних витрат у зв'язку з тим, що мають низький енергетичний потенціал та потребують перетворення.

Вторинні енергоресурси виникають під час здійснення технологічних процесів як енергетичні скидання. Вони визначаються як енергетичний потенціал продукції – відходи, які виникають в установках, але в них же не використовуються, а реалізуються для інших потреб в нових установках та системах.

Особливу увагу треба звернути на сонячну енергію [9]. Вироблене сонячними пристроями тепло може використовуватися за прямим призначенням (отримання гарячої води для побутових

потреб та опалення приміщень) або забезпечувати первинною енергією тепловикористальні холодильні машин та теплові насоси. Перетворена в електричну в фотоелектричних, термоелектричних,

термоємисійних пристроях сонячна енергія є первинною для компресорних машин, а в системах тригенерації – джерелом електроживлення приватного споживача[10].

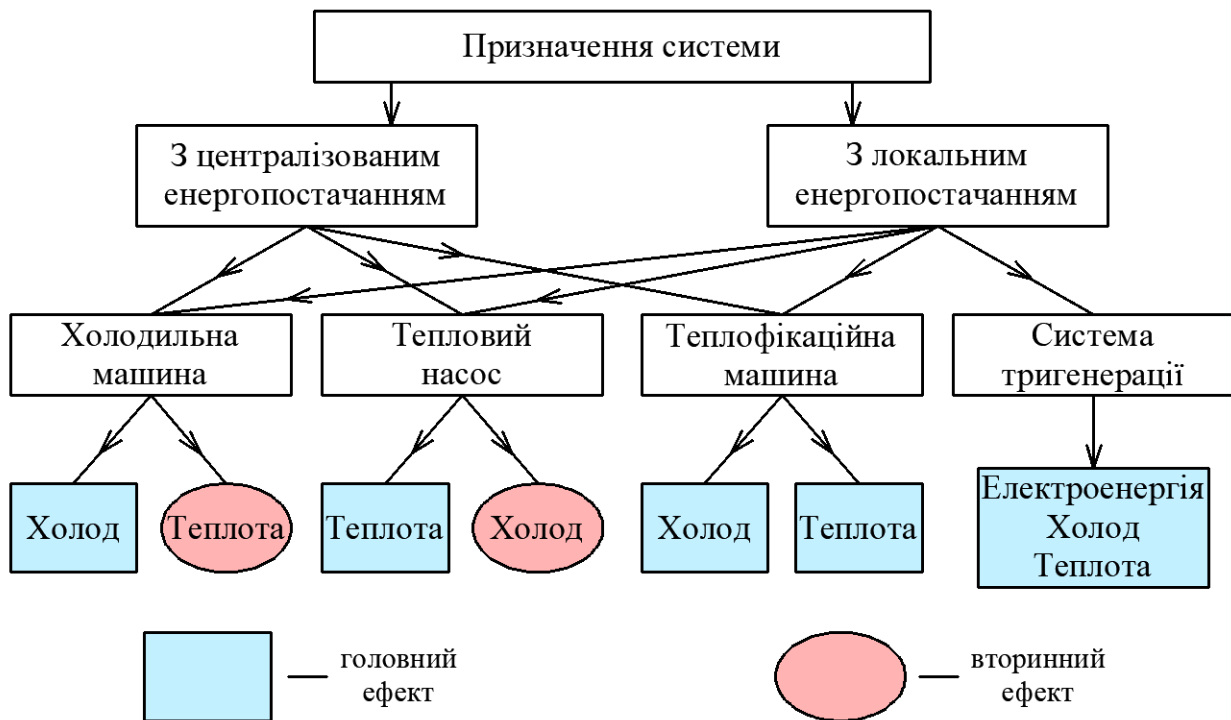


Рисунок 2 – Класифікація систем тригенерації та комерційних установок

Локальні енергетичні системи вирішують проблеми мешканців віддалених населених пунктів, приватних комерційних та малих виробничих фірм та сільськогосподарських виробництв.

В проєкті повинні вирішуватися питання технологічної схеми та циклу системи, робочих речовин, систем підведення та відведення тепла між зовнішнім джерелом та робочою речовиною, оцінена ефективність системи та, за необхідністю, проведена оптимізація за конкретним критерієм. В системах комерційного призначення та у регіонах з обмеженими водними ресурсами широко використовують повітряні теплообмінники. Вони є єдиним варіантом серед систем відведення тепла. Ринок холодильного обладнання тісно пов'язаний з індустрією розподілу продовольства, яка продовжує безперервно розвиватися в усьому світі.

Формалізація усіх зв'язків концептуальної моделі вибору системи тригенерації є першим необхідним кроком до створення математичної моделі синтезу системи з метою створення та розміщення. Для економічних та енергетичних факторів існують загальні методики формалізації [11]. Екологічний фактор досі формалізовано для окремих систем. Соціальний фактор не має загальних пунк-

тів формалізації і оцінюється для конкретної групи споживачів майбутньої системи шляхом опитування.

Рішення про доцільність втілення проєкту приймається за результатом визначення ефективності роботи системи за енергетичним, економічним, екологічним та соціальним факторами.

3. Приклад формування вихідних даних для створення системи тригенерації комерційного призначення з сонячною енергетично установкою

З усього ємного матеріалу дослідження, закладеного у концептуальну модель в роботі розглянуто достатньо вузьке питання. Питання це торкається аналізу впровадження одного з найбільш перспективних напрямків в енергозбереженні – використання екологічно чистих систем малої енергетики, здатних: трансформувати теплові потоки шляхом утилізації вторинних енергоносіїв як первинну енергію; відновлювати температурний потенціал теплоти і повертати її у технологічний оберт; одержувати три корисні ефекти термотрансформації при скороченні витрати первинних дже-

рел енергії. Визначення показників виконується у відповідності до концептуальної моделі на рис.1. Децентралізація енергетичного господарства дасть можливість створити такі установки для комерційних, побутових, суспільних і виробничих споживачів [5].

Тісний зв'язок холодильної техніки з енергетикою автори досліджують через формування системи тригенерації малої енергетики на прикладі автономного комплексу комерційного призначення з використанням сонячної енергії у якості первинної. Ефект перший – виробництво електричної енергії здійснюється фотоелектричними перетворювачами ФЕП. Ефект другий – теплопостачання можна здійснювати за різними схемами: з безпосереднім використанням тепла сонячного колектора та/або скидного тепла холодильної установки (теплого насосу), що входить до складу системи. Ефект третій – охолодження може бути досягнуто

двома основними способами: традиційною компресорною машиною з електричним приводом від ФЕП, або абсорбційною з приводом від сонячного колектора [12]. Інші типи тепловикористальних машин не розглядають.

Для систем тригенерації комерційного призначення на базі абсорбційної техніки з широким використанням сонячної енергії необхідність акумуляторів теплоти виражається: у приведенні у згоду графіків виробництва і споживання теплоти; у виключенні з експлуатації холодильної установки з неповним навантаженням та отриманні холоду на декількох температурних рівнях. На підставі викладеного розроблено технологічну схему тригенерації з абсорбційною машиною з устаткуванням: геліосистем – ФЕП, високо ВКС – і низько НКС потенційними колекторами з сезонним АК3 і добовим АК1 акумуляторами теплоти (рис 3).

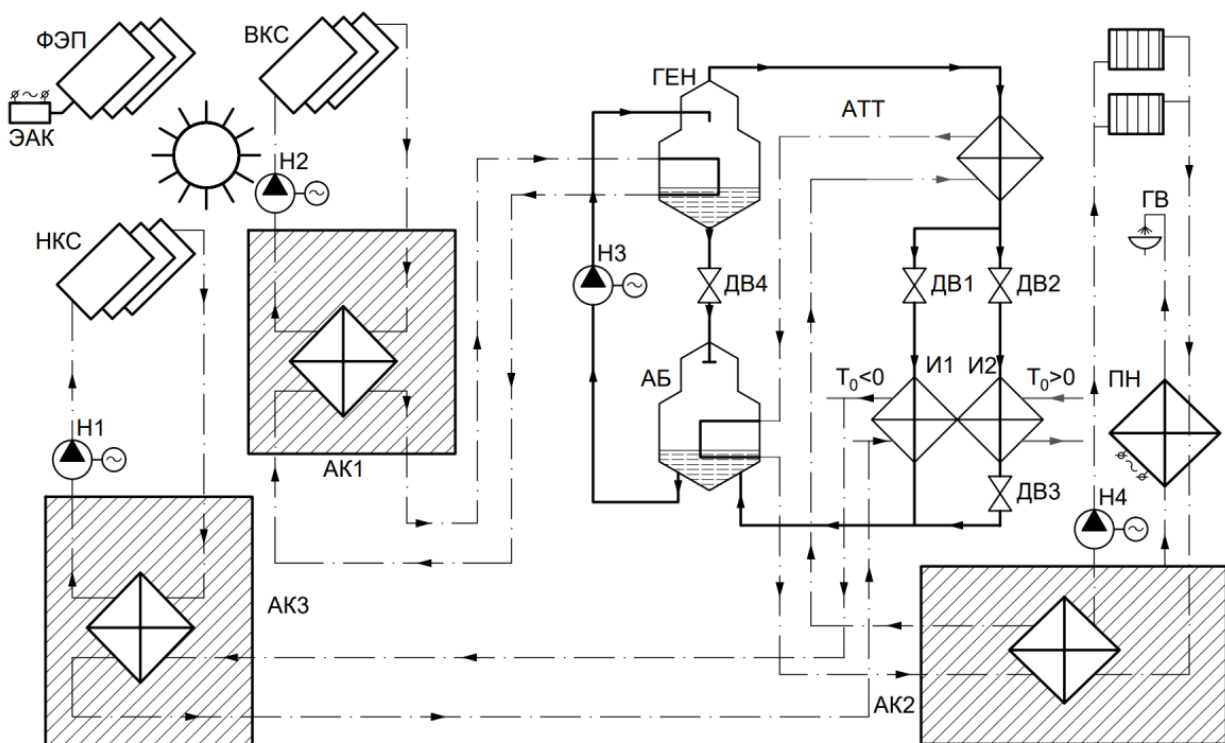


Рисунок 3 – Технологічна схема тригенерації з абсорбційною машиною

Абсорбційна машина представлена термохімічним компресором з елементами: генератором ГЕН, абсорбером АБ, насосом Н3 і дроселем ДВ4 та холодильним контуром: конденсатором КД, двома випарниками В1 та В2 і набором дроселів ДВ 1,2,3. Випарники з дроселями забезпечують виробництво холоду на двох температурних рівнях ($T_0 > 0$, $T_0 < 0$). Контур ГА складає систему опалення та гарячого водопостачання з отриман-

ням тепла від конденсатора і абсорбера через АК2 та «піковий нагрівач» ПН з електроживленням від ФЕП. Високотемпературний сонячний колектор ВКС з добовим акумулюванням АК1 забезпечує стабільний обігрів генератора ГЕН за зміною сонячного випромінювання. Низькопотенційний сонячний колектор НКС та випарник В1 пов'язані з сезонним акумулюванням в АК3. ФЕП забезпечує електрикою усі насоси, систему управління уста-

новкою та живлення побуту комерційного підприємства. Робота системи тригенерації ґрунтується на двох графіках: надходження сонячної радіації (умови роботи АК1) та споживання гарячої води (умови роботи АК2).

Для реалізації проекту повинна бути надана вихідна інформація щодо теплохолодопостачання, статистична інформація про інтенсивність сонячної радіації в місцевості та статистична інформація про водопостачання для розглянутого об'єкту, за умови, що температура гарячої води (теплоносія) на виході з АК2 завжди є постійною. Для забезпечення екологічних вимог можна використовувати підземні акумулятори, для чого потрібна інформація з гідрогеологічних умов місця будівництва системи тригенерації.

Конкретизація зв'язків системи здійснюється за класичними залежностями термодинаміки, тепломасообміну, гідрогазодинаміки [13,14,15]. Рішення конкретизованих зв'язків замикається набором балансових рівнянь i -го елемента: витрат енергії, гідралічних напорів, зміни ентальпії.

Інформація щодо характеристик сонячної радіації протягом року для конкретної місцевості може бути отриманою з довідників метеослужби.

4. Висновки

Технологічний зв'язок малої розподіленої енергетики з холодильною технікою є єдиним дієвим інструментом вирішення основних енергетичних та продовольчих проблем мешканців віддалених населених пунктів, приватних комерційних та малих виробничих фірм та сільськогосподарських виробництв.

Можливість роботи обладнання малої розподіленої енергетики на різних видах палива, зокрема сонячної енергії, дозволяє знижувати вартість електроенергії, підвищуючи надійність електропостачання підприємств малого та середнього бізнесу, і як результат, зменшувати вартість кінцевого продукту та встановлювати такі об'єкти на територіях із великою географією.

Технологічна схема тригенерації «сонячна енергетична установка – водоаміачна абсорбційна холодильна машина з отриманням холоду на двох температурних рівнях, сезонною та добовою акумуляцією тепла» є узагальненою для проектування підприємства комерційного призначення в умовах розподіленої генерації енергії будь-якої країни світу.

Особистий внесок авторів CRediT

Морозюк Л.І.: концептуалізація ідеї, методологія, формальний аналіз, написання – оригінальний проект. **Басов А.М.:** дослідження, програмне забезпечення, адміністрування

Література

1. Велика енергетика. Що таке велика енергетика? // URL: <https://solydus.ru/bolshaya-energetika-cto-takoe-bolshaya-energetika-cto-takoe.html> (дата звернення: 23.11.2021).
2. **Angrisani G., Akisawa A., Marrasso E. et al.** Performance assessment of cogeneration and trigeneration systems for small scale applications // *Energy Conversion and Management*. – 2016. – Vol 125. – P. 194-208.
3. Каталог продукції: Газопоршневі електростанції // Інжинірингова компанія Група «Техмаш». URL: <http://www.grouptm.ru/files/catalogues/Gazoporshnevye-electrostancii.pdf> (дата звернення: 29.11.2021).
4. Системи утилізації тепла // ROLTPowersystems. URL: <http://www.roltpower.ru/products/sistemy-utilizatsii-tepla/> (дата звернення: 25.11.2021).
5. **Medved D.** Trigeneration units // *Intensive Programme «Renewable Energy Sources»*. – 2011. – P.47-50.
6. Комерційний холод URL: http://oda-service.ru/kommercheskij_holod (дата звернення: 25.11.2021).
7. **Giroto S., Minetto S., Neksa P.** Commercial refrigeration system using CO₂ as the refrigerant // *International Journal of Refrigeration*. – 2004. – Vol. 27, Is. 7. – P. 717-7238.
8. **Денисова А.Є., Альдін А.С., Морозюк, Л.І.** Обговорення можливості створення систем тригенерації в умовах клімату країн Близького Сходу // *Холодильна техніка та технологія*. – 2018. – Т. 54. – №5. – С. 36-43.
9. **Горін О.М., Дорошенко О.В.** Сонячна енергетика. (Теорія, розробка, практика). – Донецьк: Норд-Прес, 2008. – 374 с.
10. **E. Bellos, C. Tzivanidis.** Parametric analysis and optimization solar driven trigeneration system based on ORC and absorption heat pump // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – Vol 161. – P. 493-509.
11. **Баласанян Г.А.** Оптимізація параметрів системи тригенерації на основі ексергоекономічних методів // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2005. – № 4. – С. 97–102.
12. **Dincer I., Ratlamwala T. A.** Integrated Absorption Refrigeration Systems // *Green Energy and Tech-*

nology. 2016. P. 241–257.

13. Мазуренко О.С., Клімчук О.О., Юрковський С.Ю., Омеко Р.В. Розробка схеми комбінованої системи теплопостачання з використання сезонного акумулювання тепла від геліосистем // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2015. – № 5(8). – С.15-21.

14. Морозюк Т. В. Теорія холодильних машин та теплових насосів. – Одеса: Студія «Негоціант», 2006. – 712 с.

15. Кошкін М.М. Теплові та конструктивні розрахунки холодильних машин: навч. посібник. – Л.: Машинобудування, 1976. – 234 с.

Отримана в редакції 20.12.2021, прийнята до друку 19.01.2022

Commercial cold as a component of trigeneration of distributed energy

Larisa Mozyuk¹, Anatolij Basov²✉

¹⁻²Odessa National Academy of Food Technologies, 1/3 Dvoryanskaya str., Odessa, 65082, Ukraine

✉ e-mail: ²anatolijmikhailovich@gmail.com

ORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0003-4133-1984>; ²<https://orcid.org/0000-0003-1256-2839>

The article presents the principle of creating a schematic solution of a trigeneration system with a predetermined energy source and consumer of cold and heat. Solving the problem of energy saving and simultaneously increasing the energy efficiency of heat and cold production processes is based on the concept of trigeneration in the distributed energy system. The role of distributed energy is to reduce the global energy problem, which consists in providing energy to remote from large regions of the population. As a specific consumer, there is commercial cold, which directly solves the food problem for humanity, providing vital food and drinking water in accordance with physiological norms. The method of creating a "commercial cold - distributed energy generation" system is presented through evaluations of the technical system based on a set of factors (economic, energy, environmental and social) for the area and the status of the commercial enterprise. According to these data, the source of energy and productivity of the enterprise from cold and heat are determined, methods of heat removal to the external environment are selected, and measures aimed at reducing irreversible losses in the system are developed. Calculations of elements are carried out with an assessment of efficiency according to energy, economic, ecological and social factors. The decision about the expediency of using trigeneration for specific consumers with the choice of operating parameters and characteristics of the system elements requires a detailed analysis and data collection regarding the real values of the energy efficiency of each element. This issue concerns the analysis of the implementation of one of the most promising directions in energy saving - the use of environmentally friendly systems of small energy. An example of the formation of initial data for the creation of a commercial trigeneration system with a solar power plant, an absorption refrigerating machine and a heat storage system is provided.

Keywords: Trigeneration; Distributed energy; Solar energy; Absorption refrigerating machine; Analysis model

References

1. Big energy. What is big energy? Retrieved November 23, 2021 from <https://solydus.ru/bolshaya-energetika-cto-takoe-bolshaya-energetika-cto-takoe.html>.
2. Angrisani, G., Akisawa, A., Marrasso, E. et al. (2016) Performance assessment of cogeneration and trigeneration systems for small scale applications. *Energy Conversion and Management*, 125, 194-208.
3. Product catalog: Gas-piston power plants. Engineering

- company Tehmash Group. Retrieved November 29, 2021 from <http://www.grouptm.ru/files/catalogues/Gazoporshnevye-electrostancii.pdf>.
4. Heat recovery systems. ROLTPowersystems. Retrieved November 25, 2021 from <http://www.roltpower.ru/products/sistemy-utilizatsii-tepla/>.
5. Medved, D. (2011) Trigeneration units. *Intensive Programme «Renewable Energy Sources»*, 47-50.
6. Commercial cold. Retrieved November 25, 2021 from http://oda-service.ru/kommercheskij_holod.

7. **Giroto, S., Minetto, S., Neksa, P.** (2004) Commercial refrigeration system using CO₂ as the refrigerant. *International Journal of Refrigeration*, 27(7), 717-7238.
8. **Denisova, A.E., Aldin, A.S., Morozyuk, L.I.** (2018) Discussion of the possibility of creating trigeneration systems in the climate of the countries of the Middle East. *Refrigeration engineering and technology*, 54(5), 36-43.
9. **Gorin, O.M., Doroshenko, O.V.** (2008) Solar energy. (Theory, development, practice). *Donetsk: Nord-Press*, 374.
10. **Bellos, E., Tzivanidis, C.** (2017) Parametric analysis and optimization solar driven trigeneration system based on ORC and absorption heat pump. *Journal of Cleaner Production*, 161, 493-509.
11. **Balasanian, G.A.** (2005) Optimization of trigeneration system parameters based on exergoeconomic methods. *Integrated technologies and energy saving*, 4, 97-102.
12. **Dincer I., Ratlamwala T. A.** (2016) Integrated Absorption Refrigeration Systems. *Green Energy and Technology*, 241-257.
13. **Mazurenko, A.S., Klimchuk, A.A., Yurkovskiy, S.Yu., Omeko, R.V.** (2015) Development of a scheme of a combined heat supply system using seasonal accumulation of heat from solar systems. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 5(8), 15-21.
14. **Morozyuk, T.V.** (2006) Theory of refrigeration machines and heat pumps. *O: Negotsiant Studio*, 712.
15. **Koshkin, N.N.** (1976) Thermal design calculations of refrigeration machines. *L.: Mashinostroenie*, 463.

Received 20 December 2021

Approved 19 January 2022

Available in Internet 30 March 2022