

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СТРАТЕГІЇ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬ: ІНТЕГРАЦІЯ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ТА АВТОНОМНИХ СИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто сучасні підходи до енергопостачання будівель із забезпеченням теплової, електричної та, за необхідності, холодинної енергії. Проаналізовано особливості централізованих та автономних систем теплопостачання, їхню ефективність та умови застосування. Показано, що зростання уваги до автономних джерел зумовлене необхідністю підвищення енергоефективності, зниження втрат під час транспортування теплоти та забезпечення гнучкості енергозабезпечення у щільній міській забудові.

Особливу увагу приділено когенераційним і тригенераційним установкам, які дозволяють досягти загального ККД 75–100 % завдяки комбінованому виробництву теплоти, електроенергії та холоду. Розглянуто використання різних типів приводів, видів палива та способів утилізації теплоти. Наведено переваги застосування паливних елементів як перспективного екологічного джерела енергії, а також особливості роботи конденсаційних котлів, що забезпечують підвищений рівень енергетичної ефективності завдяки використанню теплоти конденсації.

Доведено, що інтеграція автономних джерел теплопостачання, міні-ТЕЦ, паливних елементів та конденсаційних котлів формує основу ефективних, надійних і екологічних систем енергопостачання будівель, що відповідають сучасним вимогам сталого розвитку.

Ключові слова: централізоване теплопостачання, автономні системи, когенерація, тригенерація, міні-ТЕЦ, паливні елементи, конденсаційні котли, енергоефективність.

Abstract

Modern approaches to the energy supply of buildings with the provision of thermal, electrical and, if necessary, cooling energy are considered. The features of centralized and autonomous heat supply systems, their efficiency and application conditions are analyzed. It is shown that the increased attention to autonomous sources is due to the need to increase energy efficiency, reduce losses during heat transportation and ensure flexibility of energy supply in dense urban areas.

Particular attention is paid to cogeneration and trigeneration plants, which allow achieving an overall efficiency of 75–100% due to the combined production of heat, electricity and cold. The use of various types of drives, types of fuel and methods of heat utilization are considered. The advantages of using fuel cells as a promising ecological source of energy are presented, as well as the features of the operation of condensing boilers, which provide an increased level of energy efficiency due to the use of condensation heat.

It has been proven that the integration of autonomous heat sources, mini-CHP, fuel cells and condensing boilers forms the basis of efficient, reliable and environmentally friendly energy supply systems for buildings that meet modern requirements of sustainable development.

Keywords: district heating, autonomous systems, cogeneration, trigeneration, mini-CHP, fuel cells, condensing boilers, energy efficiency.

Вступ

Сучасні умови розвитку міст, зростання енергетичних потреб та необхідність підвищення енергоефективності будівель визначають актуальність удосконалення систем теплопостачання. Традиційні централізовані системи, незважаючи на свою масштабність та здатність забезпечувати теплом великі житлові та промислові райони, супроводжуються значними втратами теплової енергії під час транспортування та потребують значних інвестицій у модернізацію теплових мереж. Водночас стрімкий розвиток технологій децентралізованої генерації теплової та електричної енергії, а також підвищені вимоги до автономності та надійності енергозабезпечення будівель стимулюють

впровадження сучасних когенераційних і тригенераційних систем, теплових насосів, паливних елементів та конденсаційних котлів [1].

Інтеграція таких технологій дозволяє комплексно вирішувати завдання ефективного забезпечення будівель теплом, електроенергією та холодом, зменшувати споживання традиційних паливних ресурсів та мінімізувати вплив на довкілля. Дослідження сучасних підходів до організації централізованого й автономного теплопостачання, а також перспективних напрямів використання комбінованих енергосистем є ключем до формування нової енергетичної стратегії сталого розвитку в будівництві та комунальній сфері [2].

Результати дослідження

Централізоване та автономне теплопостачання

У енергопостачання будівель входить забезпечення потреб у тепловій та електричній енергії, а при необхідності – холодом. Холодопостачання зазвичай здійснюється від автономних джерел, електропостачання здебільшого централізоване, але можна використовувати і автономні джерела. Для організації забезпечення теплотою застосовуються системи централізованого та децентралізованого теплопостачання.

До автономних (децентралізованих) систем відносять системи, теплова потужність яких трохи більше 23 МВт. В даний час підвищена увага до автономних джерел теплоти пов'язана з можливістю зниження капітальних витрат на їх будівництво завдяки відсутності теплових мереж або здійсненню реконструкції об'єктів за умов щільної міської забудови та відсутності вільних потужностей у централізованих системах теплопостачання [3, 7].

Централізоване теплопостачання здійснюється з орієнтацією на покриття базового теплового навантаження з максимальною температурою теплоносія на виході з ТЕЦ, що дорівнює 110...140 °С, та з використанням пікових джерел теплоти, наближених до систем теплоспоживання.

Підвищення ефективності експлуатації ТЕЦ ґрунтується на використанні бінарних, парогазових термодинамічних циклів, а також автоматизації процесів виробництва та споживання теплоти.

Надійність та енергоефективність забезпечення будівель теплотою досягається шляхом переходу до централізовано-автономного теплопостачання.

Проблеми теплопостачання, пов'язані з втратами транспорту теплоносіїв, нині вирішуються шляхом застосування автономних джерел. Як джерело теплоти для окремих будівель та споруд використовуються газові котельні. Однак одночасно з теплотою об'єктам необхідне електропостачання. Комплексно автономне тепло та електропостачання забезпечують міні ТЕЦ на базі поршневих двигунів внутрішнього згоряння, газотурбінних двигунів, паливних елементів тощо [4, 5].

Системи когенерації та тригенерації

Ефективним вирішенням проблеми постачання будівлі одночасно теплотою, електроенергією та холодом є системи когенерації та тригенерації. Якщо для постачання будівлі необхідна в основному електроенергія та теплота, то перевага надається використанню когенерації – комбінованого виробництва теплоти та електроенергії. Тригенерація – комбіноване виробництво теплоти, електроенергії та холоду – здійснюється в тому випадку, коли існує необхідність у холодильній енергії для кондиціонування повітря або технологічних процесів. Тригенераційні та когенераційні установки використовуються при створенні міні ТЕЦ.

Когенераційна енергоустановка створюється на базі двигунів, в яких відбувається перетворення енергії палива в механічну енергію генератора, який перетворює її на електричну, а також теплообмінників для збору теплової енергії, що виділяється в процесі отримання механічної енергії та передачі її теплоносію системи теплопостачання. Приводом електрогенераторів в когенераціях є дизельні, газопоршневі, двопаливні поршневі двигуни внутрішнього згоряння, газові турбіни, парові турбіни з протитиском або конденсаційного типу [1, 6].

У міні ТЕЦ використовується паливо різних видів: природний газ, бензин, дизельне паливо, пропан, бутан та ін. Малі автономні джерела контейнерного типу розраховані на спалювання в основному палива одного виду – мережевого природного газу, але може використовуватися біогаз, газ, що отримується від переробки сміття, стічних вод та ін.

Конфігурація когенераційних установок визначається фактичними тепловими та електричними навантаженнями споживачів. Застосування газопоршневих машин рекомендується на об'єктах, де довготривале навантаження становить щонайменше 30...50 % одиничної потужності агрегату чи працюють паралельно з електричними мережами, тобто поставляють електроенергію у мережі.

Мікротурбінна установка може працювати протягом тривалого часу за низьких навантажень, у тому числі в режимі холостого ходу. Їх застосування можливе на об'єктах з великою циклічністю навантажень (зима – літо, день – ніч та ін.).

У газопоршневих установках теплова енергія потреби теплопостачання відбирається у системах охолодження з допомогою рідких теплоносіїв. У мікротурбінах утилізується теплота вихлопних газів. Залишивши турбіну, гази надходять у котел-утилізатор, де віддають теплоту мережевій воді, нагріваючи її до необхідної температури. У когенераціях із газопоршневими двигунами перетворення енергії природного газу забезпечує ККД понад 40 %, а з урахуванням вироблення електроенергії – близько 90 % [2, 6].

Мікротурбіни дозволяють створювати міні ТЕЦ, ефективність роботи яких при спільному виробництві теплоти та електроенергії навіть за умов неповного навантаження сягає 75 % і більше.

Теплова частина тригенерації є теплообмінниками з рекуперацією теплоти, для живлення яких використовуються вихлопні гази двигуна, як правило, оснащеного газовою турбіною. Фізична теплота вихлопних газів двигуна через котел утилізатор використовується для отримання теплоти. Двигун віссю з'єднаний із генератором змінного струму, що забезпечує виробництво електричної енергії.

Для кондиціонування приміщень застосовується холодильна машина (чилер) абсорбційного або парокомпресійного типу, яка взимку працює за циклом теплового насоса, а влітку – холодильної машини. Для охолодження конденсаційної води в холодильній машині передбачена випарна башта (градирня).

У системах тригенерації найпоширеніші абсорбційні установки – чилери, перевагами яких є низьке споживання електроенергії, майже повну відсутність рухомих частин, тобто низький рівень шуму та вібрації, і використання води як компонент холодоагенту. Абсорбційні установки працюють на тепловій енергії, що утилізується на станції тригенерації (відпрацьовані гази, гаряча вода, пара). Привід компресора парокомпресійних машин здійснюється від електрогенераторів міні-ТЕЦ [8].

При організації теплопостачання будівель від когенераційних і тригенераційних установок загальна ефективність використання палива, віднесена до всієї економії виробництва теплоти, може досягати 90...100 %, оскільки одне й те паливо використовується отримання одночасно електроенергії і холоду.

Перспективними об'єктами для систем тригенерації є, наприклад, лікарняні комплекси. Вони працюють 365 днів на рік, є найбільшими споживачами електроенергії (використання медичної апаратури, оснащення операційних та ін.), теплоти (опалення, пара для стерилізації інструменту) та холоду (для кондиціонування повітря). На таких об'єктах комбіновані системи подвійної та потрійної дії працюють у постійному режимі. Системи когенерації та тригенерації знаходять широке застосування в енергопостачанні будівель торгових центрів, готельних та житлових комплексів, промислових підприємств [1, 2, 5, 8].

Паливні елементи

Перспективним напрямом підвищення енергоефективності та екологічності будівель є використання водневої енергетики, зокрема паливних елементів. Паливний елемент – електрохімічний генератор, що виробляє електроенергію з водню та кисню внаслідок електрохімічної реакції без горіння. У цьому єдиним продуктом електрохімічної реакції є вода. Привабливість паливних елементів зумовлена високим коефіцієнтом перетворення хімічної енергії на електричну (50...70 %). Основна відмінність реакції в паливному елементі від реакції окислення при горінні полягає в тому, що процеси протікають термодинамічно оборотно: різниця енергій електронів у вихідних речовин і продуктів реакції перетворюється безпосередньо на електричну енергію, а не переходить в енергію хаотичного теплового руху атомів і молекул при горінні.

У паливних елементах дуже високий коефіцієнт перетворення, недосяжний теплоенергетичних установках звичайного типу. Найбільшого поширення набули воднево-кисневі паливні елементи з лужним та кислим електролітами. Ці елементи можна розділити на дві основні групи: перша група – з вільним (рідким) електролітом, і друга – з матричним електролітом, тобто. з діафрагмою (мембраною), що має іонну провідність і має іонну будову. Як анод і катод використовуються так звані газові електроди. Вони виготовлені з твердих пористих речовин, що мають високу каталітичну активність, електронну провідність і абсорбцію газів, в основному з перехідних металів. Таким чином, для протікання хімічної реакції з достатньою швидкістю за нормальної температури необхідні електроди-каталізатори – метали платинової групи. У паливних елементах використовують не тільки чистий водень, а й водневмісні суміші та гази, такі як аміак, метанол, природний газ замість чистого кисню – повітря [1, 2].

Перевагою енергопостачання з урахуванням паливних елементів є доступність сировини, надійність, довговічність. Паливні елементи можуть бути розміщені безпосередньо в будівлі, що знижує втрати при транспортуванні енергії. Наприклад, комбіновані енергоустановки на основі паливних елементів електричною потужністю 1,5 кВт та тепловою потужністю 2,9 кВт можуть бути використані в котеджах та житлових багатоквартирних будівлях.

Конденсаційні опалювальні котли

Конденсаційні котли відрізняються від традиційних низькотемпературних котлів тим, що додатково використовують для нагрівання теплоносія теплоту конденсації водяної пари, що міститься в димових газах. У сучасних конденсаційних котлах як паливо використовується топковий мазут з низьким вмістом сірки і природний газ. Спалювання природного газу та топкового мазуту мінімізує вміст забруднюючих речовин у димових газах та спрощує відведення конденсату.

Для відбору теплоти фазового переходу водяної пари в конденсаційних котлах використовується теплообмінник типу рекуперативного, встановлений по ходу руху димових газів. Теплообмінник протиточний одно- або двоходовий. Охолодження газів здійснюється на поверхнях теплообмінника, трубним простором якого циркулює теплоносій, що надійшов зі зворотного трубопроводу системи опалення або теплопостачання. Ефективність відбору теплоти фазового переходу водяної пари підвищується зі зниженням температури теплоносія у зворотному трубопроводі системи опалення нижче за точку роси димових газів. При температурі води 40 °C після теплообмінника і 30 °C до нього не використовується теплота конденсації водяної пари в продуктах згоряння природного газу становить 1,5 % при початковому вмісті 11 %.

Для повного згоряння палива коефіцієнт надлишку повітря повинен перебувати в межах 1,1...1,4. Його значення визначається залежно від складу газів, що відходять, зокрема від вмісту CO². Для отримання газоповітряної суміші у конденсаційних котлах використовуються спеціальні пальники, обладнані вентилятором для попереднього змішування газу та повітря. Приготування суміші виключає можливість механічного недопалу та підвищує використання теплоти згоряння палива [9].

За рахунок попереднього змішування повітря і природного газу та зниження температури газів, що відходять, зменшується концентрація шкідливих викидів. Це пов'язано із зменшенням утворення оксидів азоту та зниженням вмісту CO за рахунок окислення його до менш небезпечного діоксиду CO².

Експлуатація конденсаційних котлів вимагає організації збору та видалення конденсату. При використанні палива природного газу конденсат може бути відведений в каналізацію. Кількість конденсату, що виділяється, залежить від потужності котла. При спалюванні 1 м³ газу виділяється приблизно 2 м³ водяної пари, що утворює до 1,6 л конденсату. У казанах потужністю до 35 кВт злив отриманого конденсату можна проводити відразу в міську каналізацію. Казани сумарною потужністю понад 200 кВт повинні обладнатися установками нейтралізації конденсату.

Видалення димових газів, що мають знижену температуру, необхідно організовувати із застосуванням вентиляторів через димарі, основною вимогою до яких є герметичність. Конденсаційні котли виготовляються у підлоговому та настінному виконанні. Настінні газові конденсаційні казани мають потужність до 120 кВт. При каскадному включенні групи настінних конденсаційних котлів сумарна потужність може бути збільшена до кількох сотень кіловат. Підлогові установки на природному газі можуть досягати номінальної потужності 10000 кВт і більше [1, 2].

Досвід передових країн показує, що перспективним є використання систем типу конденсаційний котел – сонячний колектор, конденсаційний котел – тепловий насос та ін. Зазначені системи дозволяють досягати максимальних показників енергоефективності теплопостачання будівель у порівнянні з традиційними системами.

Висновки

Розгляд сучасних підходів до теплопостачання будівель підтвердив, що ефективне енергозабезпечення потребує комплексного поєднання централізованих та автономних джерел теплової й електричної енергії. Централізовані системи залишаються оптимальними для покриття базових навантажень та забезпечення високої надійності, тоді як автономні рішення дозволяють мінімізувати втрати під час транспортування теплоти, підвищити енергоефективність і гнучкість, особливо в умовах щільної міської забудови та обмежених можливостей мережевого приєднання.

Системи когенерації та тригенерації демонструють значне підвищення енергетичної ефективності – до 90 – 100 %, забезпечуючи одночасне виробництво тепла, електроенергії й холоду для будівель із

значними та змінними тепловими та електричними навантаженнями. Їх застосування особливо перспективне в лікарнях, торгових та готельних комплексах, а також на промислових об'єктах.

Перспективним напрямом розвитку автономної енергетики є впровадження паливних елементів, що забезпечують високий коефіцієнт корисної дії та екологічність завдяки електрохімічному перетворенню енергії без продуктів згоряння. Це робить їх придатними для застосування безпосередньо в будівлях із мінімальними втратами енергії.

Важливою складовою сучасних енергоефективних рішень виступають конденсаційні котли, які використовують теплоту конденсації водяної пари у продуктах згоряння, що забезпечує підвищення загального ККД системи. У поєднанні із сонячними колекторами та тепловими насосами такі системи утворюють високоефективні низькотемпературні контури теплопостачання.

Таким чином, інтеграція автономних джерел енергії, когенераційних і тригенераційних установок, паливних елементів та конденсаційних технологій формує напрямок розвитку сучасних систем енергозабезпечення будівель, орієнтований на підвищення енергоефективності, надійності та екологічності в умовах стійкого розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальчук В.А. Теплопостачання: навчальний посібник. / В.А. Ковальчук, Т.С. Мацнєва. – Рівне: НУВГП, 2013. – 300 с.
2. Єнін П.М. Теплопостачання (частина 1 «Теплові мережі та споруди»). Навчальний посібник. / П.М. Єнін, Н.А. Швачко. – К.: Кондор, 2007. – 244 с.
3. Ратушняк Г.С. Експлуатація систем теплопостачання та вентиляції [текст] / Г.С. Ратушняк, Г.С. Попова. – Вінниця: ВДТУ, 2000. – 122 с.
4. Переваги та недоліки дахової котельні / Ратушняк Г.С., Ободянська О.І., Гончарук В.С. // Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/view/22486>.
5. Пусконаладжувальні роботи в інженерних системах / О.І. Ободянська // ЛІІІ науково-технічна конференція ФБЦЕІ ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20526/17023>.
6. Панкевич О. Д. Теплопостачання: навчальний посібник / О. Д. Панкевич, О. І. Ободянська, О.В. Титко. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 85 с.
7. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі: ДБН В.2.5-39:2008 .-[Чинний від 2008–10–1].– К. : Мінрегіонбуд України, - Київ, 2008.
8. Котельні: ДБН В.2.5-77:2014 .-[Чинний від 2014–09–15].– К. : Мінрегіонбуд України, - Київ, 2014.
9. Ратушняк Г. С. Управління змістом проєктів із забезпечення надійності зовнішніх газорозподільних мереж: монографія / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська. – Вінниця, 2014. – 128 с. – ISBN 978-966-641-582-3.

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н, професор, завідувач кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет ORCID 0000-0001-9656-5150, e-mail: ratushnyak@vntu.edu.ua.

Ободянська Ольга Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Кирилюк Олександр Сергійович – здобувач групи ТГ-24м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, email: kyryliukOS@gmail.com.

Georgiy Ratushnyak – Professor, Head of the Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia National Technical University ORCID 0000-0001-9656-5150 e-mail: ratushnyak@vntu.edu.ua

Olha Obodyanska – PhD, associate professor of department of engineering systems in construction Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Oleksandr Kyryliuk – student of Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, email: kyryliukOS@gmail.com.