

Селіхов Ю.А., к.техн.н., доцент, Рищенко І.М., д.техн.н., професор,  
Горбунов К.О., к.техн.н., доцент

## ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків*

**Постановка задачі.** Теплопостачання є крупною галуззю народного господарства. На потреби теплопостачання щорічно витрачається 25 % всього палива, що здобувається і виробляється. Тому завданням великої державної ваги є раціональне і економне витрачання цих паливних ресурсів. Значна роль у вирішенні цієї задачі відводиться централізованому теплопостачанню і теплофікації, які тісно пов'язані з електрифікацією і енергетикою [1].

ЦТ базується на використанні крупних районних котельних, що характеризуються значно більшими коефіцієнтами корисної дії ККД, чим дрібні опалювальні установки. Теплофікація, тобто ЦТ на базі комбінованого вироблення тепла і електроенергії, є вищою формою ЦТ. Вона дозволяє скоротити витрату палива до 25 %. Окрім економії палива централізація теплопостачання має велике соціальне значення, сприяючи підвищенню продуктивності труда, витісняючи малокваліфіковані професії, покращуючи умови труда і підвищуючи культуру виробництва. Централізовані системи теплопостачання істотно покращують побутові умови життя населення. При централізованому теплопостачанні дрібні опалювальні установки, що є джерелами забруднення повітряного басейну, ліквідуються, а замість них використовуються крупні джерела тепла, газові викиди яких містять мінімальні концентрації токсичних речовин. Таким чином, централізація теплопостачання сприяє вирішенню крупної задачі сучасності – охорона навколишнього природного середовища [2].

В результаті досягнень в області використання ядерного палива розвивається новий напрям – централізоване теплопостачання на базі атомних теплоелектроцентралей (ТЕЦ) і атомних котельних. Використання ядерного палива для теплопостачання скорочує витрату дефіцитного органічного палива і полегшує вирішення проблеми паливно-енергетичного балансу країни.

Централізована система теплопостачання складається з наступних основних елементів: джерела тепла, теплових мереж і місцевих систем споживання – систем опалення, вентиляції і гарячого водопостачання. Для централізованого теплопостачання використовуються два типи джерел тепла: теплоелектроцентралі (ТЕЦ) і районні котельні (РК). На ТЕЦ здійснюється комбіноване вироблення тепла і електроенергії, що забезпечує істотне зниження питомих витрат палива при отриманні електроенергії. При цьому спочатку тепло робочого тіла – водяної пари – використовується для отримання електроенергії при розширенні пари в турбінах, а потім тепло відпрацьованої пари, що залишилося, використовується для нагріву води в теплообмінних апаратах, які складають устаткування теплофікації ТЕЦ. Гаряча вода застосовується для теплопостачання. Таким чином, на ТЕЦ тепло високого потенціалу використовується для вироблення електроенергії, а тепло низького потенціалу – для теплопостачання. У цьому полягає енергетичний сенс комбінованого вироблення тепла і електроенергії. При роздільному їх виробленні електроенергію отримують на конденсаційних станціях (КЕС), а тепло – в котельнях. У конденсаторах парових турбін на КЕС підтримується глибокий вакуум,

якому відповідають низькі температури ( $15\div 20$  °С), і воду охолодження не використовують. В результаті на теплопостачання витрачають додаткове паливо. Отже, роздільне вироблення економічно менш вигідно, чим комбіноване. Переваги теплофікації і централізованого теплопостачання найяскравіше виявляються при концентрації теплових навантажень, які характерні для сучасних міст, що розвиваються. Слід враховувати, що при теплофікації капітальні вкладення в ТЕЦ і теплові мережі виявляються більше, ніж в КЕС і централізованих системах теплопостачання від РК, тому ТЕЦ економічно доцільно споруджувати лише при великих теплових навантаженнях. Для європейської частини при існуючих вартостях теплофікація економічно доцільна при теплових навантаженнях більше 400 Гкал/г.

Іншим джерелом теплопостачання є РК. Теплова потужність сучасних РК складає  $150\div 200$  Гкал/г. Така концентрація теплових навантажень дозволяє використовувати крупні агрегати, сучасне технічне оснащення котельних, що забезпечує високі ККД використання палива.

Як теплоносій для теплопостачання міст використовують гарячу воду, а для теплопостачання промислових підприємств – водяну пару. Теплоносій від джерел тепла транспортують по теплопроводам. Гаряча вода поступає до споживачів по подавальним теплопроводам, віддає в теплообмінниках своє тепло і після охолодження повертається по зворотних теплопроводах до джерел тепла. Таким чином, теплоносій безперервно циркулює між джерелом тепла і споживачами. Циркуляцію теплоносія забезпечує насосна станція джерела тепла. Водяна пара поступає до промислових споживачів по паропроводах під власним тиском, конденсується в теплообмінниках і віддає своє тепло. Конденсат, що утворився, повертається до джерела тепла під дією надмірного тиску або за допомогою конденсатних насосів. Сучасними тепловими мережами міських систем теплопостачання є складні інженерні споруди. Протяжність теплових мереж від джерела до крайніх споживачів складає десятки кілометрів, а діаметр магістралей досягає 1400 мм. До складу теплових мереж входять теплопроводи; компенсатори, сприймаючі температурні подовження; відключаючі, регулюючі і запобіжне устаткування, що встановлюється в спеціальних камерах; насосні станції; районні теплові пункти (РТП) і теплові пункти (ТП). Теплопроводи прокладають під землею в непрохідних і напівпрохідних каналах, в колекторах і без каналів. Для скорочення втрат тепла при русі теплоносія по теплопроводах застосовують їх теплоізоляцію. Для управління гідравлічним і тепловим режимами системи теплопостачання її автоматизують, а кількість тепла, що подається, регулюють відповідно до вимог споживачів. Найбільша кількість тепла витрачається на опалення будівель. Опалювальне навантаження змінюється зі зміною зовнішньої температури. Для підтримки відповідності подачі тепла потребам в ньому застосовують центральне регулювання на джерелах тепла. Добитися високої якості теплопостачання, застосовуючи тільки центральне регулювання, не вдається, тому на теплових пунктах і у споживачів застосовують додаткове автоматичне регулювання. Втрата води на гаряче водопостачання безперервно змінюється, і для підтримки стійкого теплопостачання гідравлічний режим теплових мереж автоматично регулюють, а температуру гарячої води підтримують постійною і рівною 65 °С.

Сучасні централізовані системи теплопостачання є складним комплексом, що включає джерела тепла, теплові мережі з насосними станціями і тепловими пунктами і абонентські введення, оснащені системами автоматичного управління. Для забезпечення надійного функціонування таких систем необхідна їх ієрархічна побудова, при якій всю систему розчленовують на ряд рівнів, кожен з яких має своє завдання, що зменшується зазначенням від верхнього рівня до нижнього. Верхній ієрархічний рівень скла-

дають джерела тепла, наступний рівень – магістральні теплові мережі з РТП, нижній – розподільні мережі з абонентськими введеннями споживачів. Джерела тепла подають в теплові мережі гарячу воду заданої температури і заданого тиску, забезпечують циркуляцію води в системі і підтримку в ній належного гідродинамічного і статичного тиску. Вони мають спеціальні водопідготовчі установки, де здійснюється хімічне очищення і деаерація води. По магістральних теплових мережах транспортуються основні потоки теплоносія у вузли теплоспоживання. У РТП теплоносій розподіляється по районах і в мережах районів підтримується автономний гідравлічний і тепловий режими. До магістральних теплових мереж окремих споживачів приєднувати не варто, щоб не порушувати ієрархічності побудови системи. Для надійності теплопостачання необхідно резервувати основні елементи верхнього ієрархічного рівня. Джерела тепла повинні мати резервні агрегати, а магістральні теплові мережі мають бути закільцьовані із забезпеченням необхідної їх пропускної спроможності в аварійних ситуаціях. Розподільні теплові мережі, ТП і абонентські введення забезпечують розподіл теплоносія по окремих споживачах і складають нижчий ієрархічний рівень, який в більшості випадків не резервують. Ієрархічну побудову систем теплопостачання забезпечує їх керованість в процесі експлуатації.

Джерелом теплоти є комплекс устаткування і пристроїв, за допомогою яких здійснюється перетворення природних і штучних видів енергії в теплову енергію з потрібними для споживачів параметрами.

Потенційні запаси основних природних видів енергії в мільярдах тон умовного палива в світі складають: 1. Органічне паливо –  $24,7 \cdot 10^3$ ; 2. Ядерне паливо (уран і торій) –  $231 \cdot 10^3$ ; 3. Термоядерне паливо (дейтерій) –  $56,1 \cdot 10^9$ ; 4. Геотермальна енергія – 500; 5. Промениста енергія Сонця (за рік) –  $247 \cdot 10^3$ ; 6. Гідроенергія річок (за рік) – 3,35; 7. Енергія приливів і відливів (за рік) – 2,31; 8. Енергія вітру (за рік) – 7,92.

Для цілей теплопостачання практичне значення на найближчу перспективу матимуть органічне і ядерне паливо, геотермальна і сонячна енергія. До штучних видів енергії, які використовуються для вироблення теплоти на теплопостачання, відносяться «вторинні енергоресурси» промислових підприємств і електрична енергія.

В даний час найширше застосовуються джерела теплоти, що використовують органічні палива, – тверде, рідке і газоподібне. Основними джерелами теплоти є теплоелектроцентралі (ТЕЦ), що виробляють комбінованим способом електричну і теплову енергію, і котельні, що виробляють теплову енергію.

При комбінованому способі виробництва електроенергії і теплоти на БЕЦ витрачається менше палива в порівнянні з роздільним способом: виробленням електроенергії на конденсаційних електричних станціях (КЕС) і теплоти в котельних. Проте при цьому необхідні великі капітальні витрати на джерело теплоти і теплові мережі, тому по техніко-економічних міркуваннях теплові ТЕЦ застосовуються зазвичай при теплових навантаженнях 500÷800 МВт і вище, а котельні – при менших навантаженнях. Залежно від виду робочого тіла, використовуваного в циклі станції, ТЕЦ бувають паротурбінні, газотурбінні і парогазові. Переважне розповсюдження в даний час мають паротурбінні ТЕЦ, які мають високі техніко-економічні показники.

Вторинні енергоресурси (ВЕР) в даний час знаходять використання на деяких промислових підприємствах для вироблення теплоти на теплопостачання і електроенергії. ВЕР утворюються на промислових підприємствах побічно – в процесі виробництва при випуску основних видів продукції. До них відносять: фізичне тепло, надлишковий тиск відходів і продукції, а також горючі відходи, потенціал яких не використовується

в технологічних циклах. Вироблення теплоти і електроенергії за рахунок такого потенціалу дозволяє економити паливо на установках, що заміщаються, внаслідок чого підвищуються енергетичні показники промислових підприємств.

Застосування електроенергії для теплопостачання має певні переваги: можливість використання енергії безпосередньо у споживачів, відносна простота подачі і застосування, легкість регулювання і вимірювання величини навантаження, а також та обставина, що витрати на виробництво електроенергії оплачують споживачі тепла.

Необхідно відзначити, що електроенергія є найбільш досконалим видом енергії і вироблення її в даний час проводиться з великими витратами палива в порівнянні з витратами його при виробленні тепла: ККД КЕС складає  $\approx 40\%$ ; котельних –  $70\div 90\%$ , тому пряма трансформація електроенергії в теплоту в різних електродкотлах і електронагрівачах енергетично недоцільна. Можливість застосування електроенергії для теплопостачання може розглядатися в особливих вкрай окремих випадках, пов'язаних з труднощами доставки палива або прокладки трубопроводів, при достатній потужності електричних станцій і ліній електропередач, при крайній неритмічності і короткочасності режимів роботи теплових споживачів, при значних провалах в графіках електроспоживання в ізольованих станціях і енергосистемах з важкорегулюєними джерелами.

Джерелами теплоти на ядерному паливі є атомні ТЕЦ і атомні котельні. Вони особливо перспективні для крупних централізованих систем теплопостачання, оскільки економічно доцільні при великих одиничних потужностях.

Сонячна енергія як джерело енергії має ряд переваг: чистоту, нескінченність в часі, «безкоштовність». Проте широке її застосування зустрічає технічні труднощі унаслідок малої щільності (питомій потужності) і неритмічності дії в часі, тому використання сонячної енергії можливе тільки в певних районах: на півдні України, в Середній Азії, Казахстані. Основний напрям робіт, що експериментально реалізуються останніми роками, - децентралізоване теплопостачання окремих будівель.

Окрім відмічених основних видів енергії для теплопостачання може використовуватися і низькотемпературна теплота (природна і штучна) будь-якого середовища (повітря, води, ґрунту) за допомогою теплових насосів. Останні підвищують низькотемпературний потенціал середовища до рівня, необхідного для теплопостачання, витрачаючи при цьому деяку кількість електричної, теплової або іншої енергії.

**Мета.** Метою роботи є обґрунтування доцільності переходу опалювальних систем на комбіновані джерела енергії, які можуть включати в себе як високотемпературне джерело, так і низькотемпературне джерело енергії для зменшення витрат на опалення адміністративних та виробничих приміщень, зменшення енергетичної залежності України, а також поліпшення екологічних показників. За нашою думкою актуальною була би розробка мало витратних способів модернізації вже існуючих систем теплопостачання, які споживають мінімально можливу кількість енергетичних ресурсів. До таких способів можна віднести компенсацію частини споживаних енергетичних ресурсів за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, перерозподіл надлишкової енергії в існуючих системах теплопостачання.

Однак, всі запропоновані, на сьогоднішній день технологічні рішення мають значні капіталовкладення при впровадженні, наприклад теплонасосних установок, в існуючі системи опалення, виникає складність з бурінням свердловин та ємностей для організації доступу до низькопотенційної теплової енергії. Рішенням проблеми витрат може стати перехід на нове джерело тепла, доступ до якого не потребує значної реконструкції вихідної схеми теплопостачання. При аналізі систем опалення будівель було вияв-

лено, що будь-яка система опалення в неопалювальний період може грати роль джерела тепла. На підставі цього висновку пропонуємо дуальний спосіб гарячого водопостачання – кондиціонування будівлі з використанням теплонасосної установки. Цей спосіб відрізняється малими капітальними витратами, технічним результатом якого, є виключення теплових втрат від трубопроводів абонентського вводу, незалежність від централізованого джерела тепла, а також охолодження приміщення та утилізація надлишкової теплоти будівлі у неопалювальний період.

Для цього воду, яка йде на гаряче водопостачання, нагрівають до необхідної температури в конденсаторі теплонасосної установки за рахунок теплоти отриманої від охолодження приміщення (в даному разі – низько потенційного джерела енергії) в випарнику теплонасосної установки, і подають споживачам, причому в якості низькопотенційного джерела теплоти у випарнику використовують мережеву воду, яка циркулює в замкнутому контурі системи опалення будівлі (див. рис. 1 нижче).

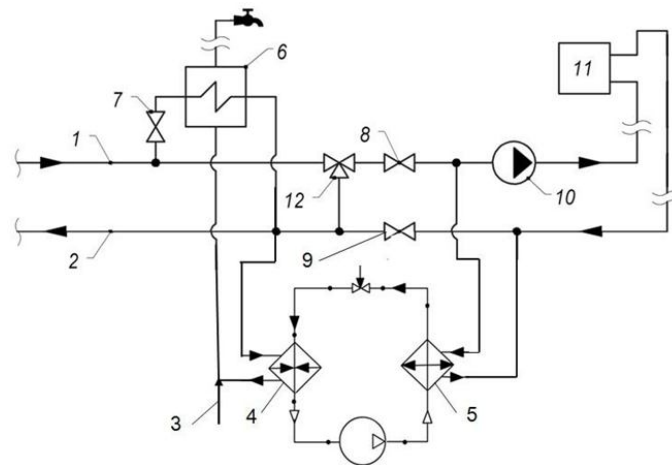


Рисунок 1 – Система гарячого водопостачання будівлі:

1 – вхідний трубопровід, 2 – зворотний трубопровід, 3 – трубопровід води для гарячого водопостачання, 4 – конденсатор теплонасосної установки, 5 – випарник теплонасосної установки, 6 – теплообмінник гарячого водопостачання, 7, 8, 9 – гідравлічна арматура, 10 – циркуляційний насос, 11 – опалювальний прилад, 12 – триходовий клапан

Гаряче водопостачання за рахунок охолодження приміщення реалізується в такий спосіб: у неопалювальний період, коли система опалення та гарячого водопостачання будівлі перекладається на режим гарячого водопостачання (ГВП). Для цього закривається запірна арматура 8 і відкривається арматура 9, тим самим створюючи закритий контур циркуляції всередині системи опалення будівлі ізольований від зовнішніх теплових мереж. У закритому контурі теплоносій, за допомогою циркуляційного насоса 10, подається в систему опалення. Проходячи опалювальні прилади 11, теплоносій забирає надлишкове тепло приміщень і охолоджує їх, після чого надходить у випарник теплонасосної установки 5, де охолоджується та передає зібране тепло холодоагенту, циркулюючому в контурі теплонасосної установки. Тепло, отримане холодоагентом, віддається в конденсаторі теплонасосної установки 4, в якому нагрівається вода, що йде з трубопроводу 3 води для гарячого водопостачання. Нагрів здійснюється до температури 55 °С, після чого вода подається споживачеві.

Одночасно із закриттям арматури 8 також проводиться закриття арматури 7 і триходового клапана 12, що призводить до зупинки циркуляції у вхідному 1 і зворотному 2 трубопроводах абонентського вводу будівлі, це повністю виключає теплові втрати від трубопроводів абонентського вводу. Таким чином, використовуючи в якості низькопотенційного джерела теплоти воду, яка циркулює в системі опалення будівлі в неопалювальний період, можна забезпечувати будівлю гарячою водою незалежно від централізованого джерела тепла при незначних капітальних витратах на тепловий та циркуляційний насоси. При цьому економічний ефект досягається за рахунок економії при переході на автономне джерело тепла, економії від відсутності теплових втрат від трубопроводів абонентського вводу, а також економії за рахунок скорочення витрат на кондиціонування приміщень [3, 4, 5, 6, 7].

Використання теплонасосних установок, крім локального застосування для окремого будинку, як це показано у попередньому випадку, також можливе і для підвищення ефективності в мережах тепlopостачання в цілому. Так, на півдні України впродовж опалювального періоду мають місце інтервали по декілька тижнів з температурою близькою до + 8 °С. В такі періоди недоцільно підтримувати в мережах температуру + 60...75 і навіть 90 °С. При зниженні температури теплоносія в теплових мережах зменшуються втрати теплової енергії, що викликано зменшенням перепаду температур між зовнішнім середовищем та теплоносієм.

Іншим способом енергоефективності може стати розробка нових концепцій та температурних графіків системи опалення, що в повній мірі відповідає забезпеченню стабільного опалення. Наприклад, температура в приміщеннях в денний час підтримується на рівні +17 °С, а в нічний час до +15 °С. Така стратегія опалення зменшує загальне споживання теплоти та пікове навантаження, але збільшує використання джерел відновлювальної енергетики або підвищує ефективність використання теплових насосів. Також такий температурний графік надає можливість переходу до низькотемпературного централізованого тепlopостачання, яке включає повторне використання відпрацьованого тепла від будівель та промисловості. Запропонований спосіб не забезпечує нагріву води для гарячого водопостачання та створення комфортних температур +20 °С в приміщеннях, що потрібно вирішувати автономними електропідігрівачами. Але значно скорочує споживання природного газу, пінного рідкого палива, вугілля та деревини, а також дозволяє значно зменшити непродуктивні втрати теплоти в процесі її генерації та транспортуванні теплоносія. Окрім того, така стратегія дасть змогу для широкого впровадження низькотемпературних котлів, теплових акумуляторів та використання місцевих і альтернативних видів палив [8].

Питання підвищення ефективності централізованого тепlopостачання стикається з низкою наступних розбіжностей. Перша – це тип системи опалення споживача або з прямим підключенням до трубопроводу, або через теплообмінник. Друга – це втрати теплоти, які пов'язані з точками під'єднання клієнтів та їх відстані від котельні. Третя – відведення тепла від різних абонентів, які можуть мати різні характеристики енергоефективності та рівень споживання тепла. Серед інших – довжина та діаметр трубопроводів, умови навколишнього середовища, кількість контурів опалення та їх характеристики [9].

Побудова моделі за посиланням на ці специфічні особливості є трудомістким завданням, яке ускладнюється неможливістю виконання експериментів, оскільки система опалення в регіонах при холодних зимах належить до систем життєзабезпечення. Встановлено, що управління попитом за допомогою теплових акумуляторів є гарним методом управління централізованим опаленням. Це однозначно має інвестиційну приваба-

лівість та сприяє декарбонізації міських територій. Різні роботи показують, що можна досягти таких переваг: зменшити пікове навантаження до 30 %; зменшити потреби в первинній енергії до 5 %; значно зменшити шкідливі викиди та витрати палива до 10 % [10]. На рисунку 2 показана схема інтеграції теплових акумуляторів в систему центрального опалення.

При проектуванні нових теплових мереж може бути використана тритрубна система транспорту теплоносія. В цьому випадку по одному з трубопроводів теплоносії подається споживачеві, а по двох інших повертається. У разі аварії пошкоджений трубопровід відключається, а для опалювання використовуються робочі. Можливий варіант тритрубної системи, коли два трубопроводи подаючі, а один зворотний. З точки зору стабільності гідравлічних режимів і ремонтпридатності тритрубна тепломагістраль доцільніша за двотрубну. Проте капітальні витрати на її будівництво на 30 % вище.

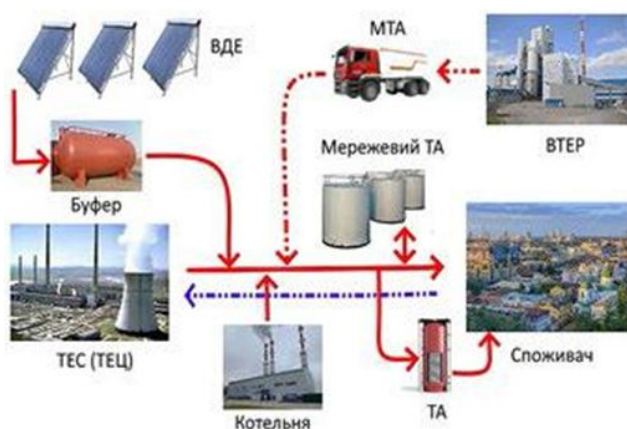


Рисунок 2 – Інтеграція теплових акумуляторів в систему центрального опалення

Сформульовано критерії ефективності використання коаксіальних труб для будівництва нових та модернізації наявних теплових мереж. Доведено, що капітальні витрати на будівництво, в порівнянні з двотрубною тепломережею, на 30 % нижче двотрубної системи постачання, а стійкість до зовнішніх чинників при експлуатації значно вища [11].

Залучення в енергетику місцевих видів палива, вторинних ресурсів та поновлюваних джерел енергії, рекультивация земель, чистота довкілля призведуть до створення нового екологічного бізнесу та конкуренції в теплоенергетичному секторі. Запропоноване розробленим проектом інноваційне рішення уніфікованої конструкції мобільного водогрійного теплового акумулятора МТА після його впровадження дозволить вирішити проблеми теплозабезпечення населених пунктів та окремих об'єктів з максимальною можливою ефективністю, а також значно зменшити шкідливі викиди. Використання МТА дозволяє побудувати гнучку схему теплозабезпечення при модернізації діючих та при будівництві нових джерел теплопостачання. Оптимізація конструкції МТА дозволяє використання виробів, що серійно виготовляються, спрямована на мінімізацію кількості складальних одиниць та їх уніфікацію, що дає змогу зменшити собівартість МТА, а також витрати на монтаж, наладку та експлуатацію. Усі складові частини та обладнання, які використані в проекті, є виключно українського виробництва [12].

На цей час запропоновано велику кількість технологій для майбутніх систем централізованого опалення, які значною мірою базуються на відновлюваних джерелах енергії та скидному теплі, яке зазвичай надходить від промисловості та надавачів де-



яких послуг - таких як переробка комунальних відходів, робота дата-центрів, метрополітену та інше. Для забезпечення енергетичної безпеки та екологічних цілей необхідно збільшити постачання енергії з відновлюваних джерел – енергії вітру, сонця, геотермальних і вторинних джерел, біомаси тощо.

Одним з таких питань підвищення ефективності роботи приватного гарячого водопостачання і опалення є заміна двоконтурного універсального котла, працюючого на мазуті, на двоконтурну сонячну установку [13] для гарячого водопостачання, геотермальний тепловий насос для опалення будівель [14] та вітроелектрогенератор [15] для електропостачання з цілодобовим комп'ютерним керуванням. Авторами була розроблена, нова технологічна схема теплоенергетичної установки для гарячого водопостачання і опалення приватного домоволодіння.

На рис. 3 представлена нова технологічна схема теплоенергетичної установки.

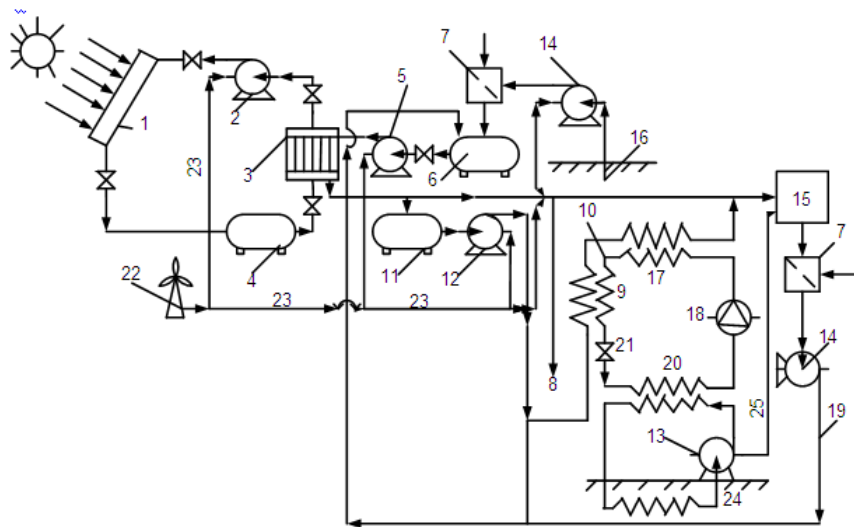


Рисунок 3 – Технологічна схема енергетичної установки для гарячого водопостачання та опалення приватного будинку

- 1 – двоконтурна сонячна установка; 2 – відцентровий насос; 3 – двоконтурний теплообмінний апарат; 4 – бак-акумулятор; 5 – відцентровий насос; 6 – бак-акумулятор; 7 – установки хімводоочищення; 8 – аварійний злив теплоносія із установки; 9 – охолоджувач; 10 – ґрунтовий тепловий насос (ґрунт-вода); 11 – бак-акумулятор; 12 – відцентровий насос; 13 – відцентровий насос; 14 – відцентрові насоси; 15 – приватне домоволодіння; 16 – артезіанська свердловина; 17 – конденсатор; 18 – компресор; 19 – трубопровід оборотної води; 20 – випарник; 21 – дросельний вентиль; 22 – вітроелектрогенератор; 23 – лінії електропередач; 24 – тепловий контур ґрунтового теплового насоса; 25 – трубопровід подачі холодного теплоносія (режим кондиціонування)

Нова енергетична установка може працювати як сезонно, так і цілий рік. Принцип дії установки при сезонній роботі – у теплу пору року. Антифриз (тепловий агент) з бака-акумулятора 4 через перший контур теплообмінного апарату 3 циркуляційним насосом 2 подається в колектор сонячної установки 1, де нагрівається до необхідної температури і надходить назад в бак-акумулятор 4. Нагрітий антифриз віддає своє тепло у другому контурі теплообмінника 3 теплоносія (вода), що подається циркуляційним насосом 5 з бака-акумулятора 6, і підігріта надходить у бак-акумулятор 11. Артезіанська вода з свердловини 16 насосом 14 подається в установку хімводоочищення 7, де очищається від багатьох солей і далі надходить в бак-акумулятор 6. Підігріта до необхідної



температури вода [16] другого контуру теплообмінника 3 подається в приватне домоволодіння 15 на гаряче водопостачання [17]. Коли температура води не задовольняє користувача 15, вода з бака-акумулятора 11 циркуляційним насосом 12 подається в другий контур охолоджувача 9 і далі другий контур конденсатора 17 ґрунтового теплового насоса 10, де догрівається до необхідної температури і надходить до користувача 15. Обратна вода від користувача 15 подається в установку хімоводоочищення 7, де очищається, і циркуляційним насосом 14 подається в бак-акумулятор 6, або, у разі недостатньої кількості води подається в другий контур охолоджувача 9 і далі в другий контур конденсатора 17 ґрунтового теплового насоса де догрівається і знову надходить користувачеві 15. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносій у каналізацію 8 (злив води із системи). У разі підвищення температури повітря на вулиці до некомфортної позначки відключається сонячна установка та включається в тепловому насосі [18] режим кондиціювання 25. Вода з ґрунтового теплового контуру циркуляційним насосом 13 подається в контур теплої підлоги, охолоджує площу підлоги та повітря в кімнатах будинку до комфортної температури. Принцип дії установки для цілорічної роботи. У теплу пору року принцип роботи установки показано вище. А в холодну пору року установка працює наступним чином. Вода з температурою  $5\div 7$  °С теплового контуру теплового насоса циркуляційним насосом 13 подається до другого контуру випарника теплового насоса, де нагріває холодоагент першого контуру, який перетворюється на пару. Пар холодоагенту надходить у компресор, де стискається до високої 160 °С температури та тиску. Далі пара надходить у конденсатор теплового насоса, де віддає своє тепло другому контуру конденсатора, в який подається вода циркуляційним насосом 12 з бака-акумулятора 11 або циркуляційним насосом 14 від користувача 15. Таким чином, вода нагрівається спочатку у другому контурі охолоджувача, а потім у другому контурі конденсатора і надходить до користувача з температурою 75 °С. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносій у каналізацію (злив води із системи) [19].

**Висновки.** Зробити модернізацію централізованого теплопостачання можна, визначивши найдоступніші енергозберігаючі інновації, які можуть в короткий термін значно підняти рівень і надійність централізованого теплопостачання:

1. Модернізація повинна мати інвестиційну та екологічну привабливість.
2. Трансформація енергетичної системи потребує впровадження нових технологій генерації теплової енергії, її зберігання та управління попитом і сприяти розгортанню інтегрованих енергетичних рішень.
3. Перехід на нову систему теплопостачання підвищить живучість та надійність, зменшить споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів і забезпечить стабільну роботу.
4. На рівні використання паливно-енергетичних ресурсів в довгостроковій перспективі централізоване теплопостачання повинно перейти на споживання альтернативних і відновлювальних джерел енергії.
5. При генерації теплоти – заміна морально застарілого котельного обладнання на сучасні зразки вітчизняного виробництва машинобудівних підприємств України дасть змогу знизити споживання енергетичних ресурсів до 30 % та скоротити питому енергоємність виробництва теплової енергії мінімум на 5 %. Це призведе до залучення державних та приватних інвестицій в теплоенергетичний сектор та технологічної модернізації виробництва.

6. При транспортуванні теплоносія – це адресна, дозована поставка теплоти або холоду споживачу за допомогою мобільних теплових акумуляторів.
7. Створення багатоконтурної системи опалення.
8. Використання тритрубною та коаксіальною систем транспорту, що скорочує непродуктивні втрати теплоти приблизно на 10–15 %.
9. Пропонуємо термомодернізацію будівель, в цьому потенціал енергозбереження до 30 %.

### Література

1. Біла книга щодо трансформації централізованого теплопостачання в Україні: оцінка та рекомендації. Серпень 2020. – 30 с.
2. Конспект лекцій з дисципліни « Джерела теплопостачання та теплові мережі» / уклад.: Р.О. Клімов, Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. – 103 с.
3. Бурцева С.О., Постол Ю.О. Ефективність теплових насосів. Матеріали Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції «Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії». Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 33–34.
4. Щербаків С.В., Стручаєв М.І., Постол Ю.О. Енергоефективність в системах теплопостачання. Матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції «Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії». Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 6–8.
5. Постол Ю.О., Стручаєв М.І. Підвищення енергоефективності та енергозбереження використання низькопотенційних джерел енергії в органічному циклу Ренкіна. Матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції «Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії». Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 74–77.
6. Коваль С.Д., Постол Ю.О. Проблеми енергозбереження і автоматизації в системах теплопостачання будівель. Матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції «Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії». Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 92–93.
7. Дідур В.А., Стручаєв М.І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві : навч. посібник, допущено М-вом аграр. політики / за ред. В.А. Дідура. К. : Аграрна освіта, 2008. 233 с.
8. Демченко В.Г., Коник А.В., Погорелова Н.Д. Розробки для підвищення ефективності теплопостачання в теплоенергетиці. Теплофізика та теплоенергетика, 2022, т. 44, №3 С. 73–83.
9. Демченко В.Г., Повышение эффективности работы систем централизованного теплоснабжения, Промышленная теплотехника. – 2015.– Т.36, №6.– С. 29–38.
10. Демченко В.Г., Коник А.В. (2020) Основні аспекти процесів теплоакмулювання. Одеса «Наукові праці», 2020. – Випуск 1 Том 84, С. 48–53.
11. Демченко В.Г., Дуняк О.В. Двотрубна теплова мережа з коаксіально розташованими трубопроводами Патент на корисну модель №105366 від 10.03.2016.
12. Демченко В.Г., Коник А.В. Мобільний тепловий акумулятор. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XXII міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 20-21 травня 2021р.).– К.: Інтерсервіс, 2021. С. 298–302.

13. Yuriy A. Selikhov, Victor A. Kotsarenko, Jiří J. Klemeš, Petro O. Kapustenko/ The Performance of Plastic Solar Collector as Part of Two Contours Solar Unit/ CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 70, 2018, С. 2053–2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.
14. Овчаренко В.А. Овчаренко А.В. Використання теплових насосів //Холод М+Т, 2006, №2.– С. 34–36.
15. Даффи Дж., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир,1977. – 420 с.
16. Бекман У., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии. М., Мир. 1987. – 224 с.
17. Сарнацкий Э.В. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. – М.: Стройиздат, 1990 – 324 с.
18. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. – М.:Энергоиздат, 1982. – 224 с.
19. Селіхов Ю.А. Горбунов К.О., Стасов В.А. Інтеграція роботи поновлюваних джерел енергії для гарячого водопостачання та опалювання будівель. // ІТЕ, №4 2021, С. 3–12.

Bibliography (transliterated)

1. Bila knyha shchodo transformatsii tsentralizovanoho teplopostachannia v Ukraini: otsinka ta rekomendatsii. Serpen 2020. – 30 p.
2. Konspekt lektsii z dystsypliny « Dzherela teplopostachannia ta teplovi merezhi» / uklad.: R.O. Klimov, Dniprodzerzhinsk: DDTU, 2016. – 103 p.
3. Burtseva S.O., Postol Yu.O. Efektyvnist teplovykh nasosiv. Materialy Vseukrainskoi nauk.-prakt. internet-konferentsii «Suchasni problemy innovatsiinoho rozvytku elektrychnoi inzhenerii». Melitopol: TDATU, 2020. P. 33–34.
4. Shcherbakov S.V., Struchaiev M.I., Postol Yu.O. Enerhoefektyvnist v systemakh teplopostachannia. Materialy II Vseukrainskoi nauk.-prakt. internet-konferentsii «Suchasni problemy innovatsiinoho rozvytku elektrychnoi inzhenerii». Melitopol: TDATU,– 2021.– P. 6–8.
5. Postol Yu.O., Struchaiev M.I. Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia vykorystannia nyzkopotentsiinykh dzherel enerhii v orhanichnomu tsyklus Renkina. Materialy II Vseukrainskoi nauk.-prakt. internet-konferentsii «Suchasni problemy innovatsiinoho rozvytku elektrychnoi inzhenerii». Melitopol: TDATU.– 2021. P. 74–77.
6. Koval S.D., Postol Yu.O. Problemy enerhozberezhennia i avtomatyzatsii v systemakh teplopostachannia budivel. Materialy II Vseukrainskoi nauk.-prakt. internet-konferentsii «Suchasni problemy innovatsiinoho rozvytku elektrychnoi inzhenerii». Melitopol: TDATU, 2021. P. 92–93.
7. Didur V.A., Struchaiev M.I. Teplotekhnika, teplopostachannia i vykorystannia teploty v silskomu hospodarstvi : navch. posibnyk, dopushcheno M-vom ahrar. polityky / za red. V.A. Didura. K. : Ahrarna osvita, 2008. 233 p.
8. Demchenko V.H., Konyk A.V., Pohorielova N.D. Rozrobky dlia pidvyshchennia efektyvnosti teplopostachannia v teploenerhetytsi. Teplofizyka ta teploenerhetyka, 2022, t. 44,

№3 Р. 73–83.

9. Demchenko V.H., Povyshenye effektivnosti raboty system tsentralizovannoho teplosnabzheniya, Promyshlennaia teplotekhnika. – 2015.– Т.36, №6.– Р. 29–38.

10. Demchenko V.H., Konyk A.V. (2020) Osnovni aspekty protsesiv teploakumulivannia. Odesa «Naukovi pratsi», 2020. – Vypusk 1 Tom 84, P. 48–53.

11. Demchenko V.H., Duniak O.V. Dvotrubna teplova merezha z koaksialno rozshovanymy truboprovodamy Patent na korysnu model №105366 vid 10.03.2016.

12. Demchenko V.H., Konyk A.V. Mobilnyi teplovyi akumuliator. Vidnovliuvana enerhetyka ta enerhoefektyvnist u XXI stolitti: materialy XXII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Kyiv, 20–21 travnia 2021r.).– K.: Interservis, 2021. P. 298–302.

13. Yuriy A. Selikhov, Victor A. Kotsarenko, Jiří J. Klemeš, Petro O. Kapustenko/ The Performance of Plastic Solar Collector as Part of Two Contours Solar Unit/ CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 70, 2018, P. 2053–2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.

14. Ovcharenko V.A. Ovcharenko A.V. Vykorystannia teplovykh nasosiv //Kholod M+T, 2006, №2.– P. 34–36.

15. Daffy Dzh., Bekman U.A. Teplovyie protsessy s uspolzovanyem solnechnoi enerhyu. – M.: Myr,1977. – 420 p.

16. Bekman U., Hylly P. Teplovoe akkumulyrovanye enerhyu. M., Myr. 1987.– 224 p.

17. Sarnatskyi Э.V. Sistemi solnechnoho teplo- i khladosnabzheniya.– M.: Stroiyzdat, 1990 – 324 p.

18. Rei D., Makmaikl D. Teplovie nasosi: Per. s anhl.– M.:Enerhoizdat, 1982.– 224 p.

19. Selikhov Yu.A. Gorbunov K.O., Stasov V.A. Intehratsiia roboty ponovliuvanykh dzherel enerhii dlia hariachoho vodopostachannia ta opaliuvannia budivel. // ITE, №4 2021, P. 3–12.

УДК 662.997

Селіхов Ю.А., к.техн.н., доцент, Рищенко І.М., д.техн.н., професор,  
Горбунов К.О., к.техн.н., доцент

## **ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

Україна має величезний актив у вигляді існуючих мереж централізованого теплопостачання (ЦТ) та попиту на відповідні послуги. ЦТ трансформує європейський енергетичний сектор, залучає ефективні, локальні та відновлювані енергетичні ресурси там, де це раніше було неможливим. Однак, через стару матеріальну базу запчастин, недостатній рівень інвестицій та низький рівень управління, українські системи ЦТ є неефективними та такими, що не відповідають потребам споживачів. Досвід держав-членів Європейського Союзу в центральній Європі свідчить, що глибокі та послідовні реформи можуть вирішити поточні проблеми сектору теплопостачання, включають підвищення енергоефективності та економічної конкурентоспроможності, зміцнення еко-

логічної стійкості та посилення енергетичної безпеки.

Сектор ЦТ в Україні ще не зазнав структурного реформування, через яке вже пройшли інші галузі економіки: за останні 30 років якість послуг знизилася; субсидії зросли; стара матеріальна база розвалюється; з'являється питання чи варто продовжувати підтримку ЦТ. Як результат, сектор ЦТ України знаходиться в тяжкому стані, де фінансові, операційні та технічні проблеми посилюють одна одну. Необхідно докласти комплексні та добре сплановані зусилля задля створення умов для виходу із цього стану. Такі структурні реформи мають важливе значення для залучення інвестицій, необхідних для підвищення якості, ефективності та довгострокового потенціалу сектору ЦТ.

У статті розглянута можливість застосування сучасних технологічних рішень для модернізації систем теплопостачання з метою поліпшення їх ефективності, які можуть призвести до значного поліпшення послуг ЦТ, прозорості та фінансової стабільності.

**Ключові слова:** енергетичні ресурси, відновлювані джерела енергії, органічне паливо, автоматизована теплоенергетична установка, електроенергія, гаряча вода, гаряче повітря, опалення, приватне домоволодіння, електричний водонагрівник, геотермальний тепловий насос, вітроелектрогенератор, котельня малої потужності.

Селихов Ю.А., к.техн.н., доцент, Рищенко И.М., д.техн.н., професор,  
Горбунов К.А., к.техн.н., доцент

## **ИНТЕГРАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Украина имеет огромный актив в виде существующих сетей централизованного теплоснабжения (ЦТ) и спроса на соответствующие услуги. ЦТ трансформирует европейский энергетический сектор, привлекает эффективные, локальные и возобновляемые энергетические ресурсы там, где это было невозможно. Однако, из-за старой материальной базы запчастей, недостаточного уровня инвестиций и низкого уровня управления, украинские системы ЦТ неэффективны и не отвечают потребностям потребителей. Опыт государств-членов Европейского Союза в центральной Европе показывает, что глубокие и последовательные реформы могут решить текущие проблемы сектора теплоснабжения, включая повышение энергетической эффективности и экономической конкурентоспособности, укрепление экологической устойчивости и усиление энергетической безопасности.

Сектор ЦТ в Украине еще не подвергся структурному реформированию, через которое уже прошли другие отрасли экономики: за последние 30 лет качество услуг снизилось; субсидии выросли; старая материальная база разваливается; возникает вопрос стоит ли продолжать поддержку ЦТ. Как результат, сектор ЦТ Украины находится в тяжелом состоянии, где финансовые, операционные и технические проблемы усугубляют друг друга. Необходимо приложить комплексные и хорошо спланированные усилия для создания условий выхода из этого состояния. Такие структурные реформы имеют важное значение для привлечения инвестиций, необходимых для повышения качества, эффективности и долгосрочного потенциала сектора ЦТ.

В статье рассмотрена возможность применения современных технологических

решений для модернизации систем теплоснабжения с целью улучшения их эффективности, которые могут привести к улучшению услуг ЦТ, прозрачности и финансовой стабильности.

**Ключевые слова:** энергетические ресурсы, возобновляемые источники энергии, органическое топливо, автоматизированная теплоэнергетическая установка, электроэнергия, горячая вода, горячий воздух, отопление, частное домовладение, электрический водонагреватель, геотермальный тепловой насос, ветроэлектрогенератор, котельная малой мощности.

Selikhov Yu.A., Rishchenko I.M, Gorbunov K.A.

## **INTEGRATION OF HEATING SYSTEM OPERATION**

Ukraine has a huge asset in the form of existing district heating (DH) networks and demand for related services. DH is transforming the European energy sector, attracting efficient, local and renewable energy resources where this was not possible. However, due to the old material base of spare parts, insufficient level of investment and low level of management, Ukrainian DH systems are ineffective and do not meet the needs of consumers. The experience of European Union member states in central Europe shows that deep and sustained reforms can address the current challenges of the heating sector, including improving energy efficiency and economic competitiveness, strengthening environmental sustainability and enhancing energy security. The DH sector in Ukraine has not yet undergone the structural reform that other sectors of the economy have already gone through: over the past 30 years, the quality of services has decreased; subsidies have increased; the old material base is falling apart; The question arises whether it is worth continuing to support DH. As a result, Ukraine's DH sector is in dire straits, with financial, operational and technical problems compounding each other. Comprehensive and well-planned efforts must be made to create the conditions for exiting this state. Such structural reforms are essential to attracting the investment needed to improve the quality, efficiency and long-term potential of the district heating sector.

The article examines the possibility of using modern technological solutions to modernize heat supply systems in order to improve their efficiency, which can lead to improved district heating services, transparency and financial stability.

**Keywords:** energy resources, renewable energy sources, fossil fuels, automated heat and power plant, electricity, hot water, hot air, heating, private households, electric water heater, geothermal heat pump, wind power generator, low-power boiler house.