

УДК 697.34, 662.63

аспірант **Микола Белюженко**,

[n.beluzhenko@gmail.com](mailto:n.beluzhenko@gmail.com), ORCID: 0009-0005-4911-1654

к.т.н., доц. **Михайло Сенчук**,

[smp\\_21@ukr.net](mailto:smp_21@ukr.net), ORCID: 0000-0001-8968-7336

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **РЕЗЕРВУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ НА БІОПАЛИВІ**

**Анотація.** Проаналізовано впровадження резервування системи теплопостачання населеного пункту. Підвищення надійності теплопостачання споживачів є важливим завданням, особливо за воєнного стану в Україні. Вирішення проблеми розглянуто за резервування теплопостачання шляхом будівництва резервного джерела теплової енергії на альтернативних видах палива. Запропоновано комбіновану теплову схему приєднання водогрійного теплогенератора на біопаливі до наявної системи теплопостачання міста для підвищення її надійності і живучості, яка забезпечує ефективність та надійність експлуатації системи теплопостачання в опалювальний та літній періоди. Показано можливість експлуатації твердопаливного теплогенератора за значно меншої потужності від загального теплового навантаження теплопостачання міста за декількома режимами роботи: в опалювальний період – на підігрівання зворотного теплоносія на вході в наявну газову котельню; у літній період – на потреби гарячого водопостачання в повному обсязі; за аварійного вимкнення у зимовий період газової котельні – на підтримання життєздатності системи теплопостачання. Наведено результати розрахункового аналізу експлуатації теплогенератора на біопаливі потужністю 5,0 МВт за різних режимів роботи. Підігрівання зворотного теплоносія на 4...5 °С у зимовий період, крім економії природного газу, запобігає низькотемпературній корозії газових котлів. За аварійної відсутності газопостачання спалювання деревної тріски забезпечує виробництво теплової енергії на рівні тепловтрат теплової мережі з підтриманням температури теплоносія не нижче 3 °С за розрахункової зовнішньої температури повітря. Завдяки акумулюванню теплоти в нічний час літнього періоду в об'ємі труб теплової мережі, як буферній посудині, забезпечується компенсація пікового споживання гарячої води за наявної потужності твердопаливної котельні рівній середньому навантаженню гарячого водопостачання. За реалізації проекту резервування системи теплопостачання м. Луцька за комбінованою тепловою схемою приєднання твердопаливної котельні досягнуто підвищення надійності і життєздатності

*системи та економію природного газу на рівні 40,5 % протягом року експлуатації.*

*Ключові слова: теплогенератор на біопаливі; твердопаливна котельня; система теплопостачання; акумулювання теплової енергії; резервування теплопостачання; надійність теплопостачання; живучість системи.*

**Вступ.** Одним з актуальних питань сьогодення є питання енергетичної незалежності та диверсифікація постачання природного газу з відмовою від послуг країни агресора для забезпечення надійності роботи підприємств централізованого теплопостачання. Вирішення цієї проблеми можливе при розробленні плану розвитку підприємств в містах на всій території України.

Більшість підприємств централізованого теплопостачання експлуатують застаріле енергетичне устаткування радянського часу, а саме газові котли типу ТВГ, КВГ, НІСТУ, ПТВМ, КВ-ГМ та парові котли, які було переведено на водогрійний режим. Експлуатація їх здійснюється за низьких ККД роботи, підвищеному споживанні газу та енергоспоживанню, що в свою чергу призводить до неефективного використання енергії палива.

Одним із основних методів підвищення надійності систем теплопостачання є резервування [1], зокрема шляхом будівництва резервних джерел теплової енергії (стаціонарних або пересувних котельних) на альтернативному виді палива. Україна має високий потенціал біомаси. Раціональним є використання як паливо наявних місцевих видів біопалива, зокрема органічні відходи та побічні продукти, що виникають в сільському, лісовому, комунальному та домашньому господарстві, промисловості, а також деревина лісів, продукти водних середовищ та енергетичні культури рослин [2, 3]. До останніх відносяться сорти дерев, що швидко ростуть (наприклад, енергетична верба) і спеціальні однорічні рослини - топінамбур, міскантус та інші з високим вмістом сухої маси для використання після попереднього підготовлення як твердого палива.

**Актуальність дослідження.** Воєнний стан в Україні з 24 лютого 2022 року суттєво загострив проблему залежності від російського газу нашої країни та європейських держав, що негативно впливає на державну енергетичну безпеку. Розвиток використання альтернативних джерел енергії та ринку біомаси має стати стратегічним питанням розвитку на загальнодержавному рівні, що у свою чергу дозволить вирішити питання надійності роботи підприємств та енергетичної незалежності країни. Впровадження практичних заходів щодо підвищення надійності роботи систем централізовано теплопостачання міст зі зниженням частки природного газу є актуальним завданням.

**Останні дослідження та публікації.** Проблеми диверсифікації джерел енергопостачання на території України та використання нетрадиційних джерел

енергії висвітлено Законами України [4-6] та Розпорядженням Кабінету Міністрів [7]. Підвищення енергетичної ефективності в системах централізованого теплопостачання є одним із факторів стратегічного напрямку політики посилення енергетичної безпеки України. Якщо в країнах Північної Європи централізоване теплопостачання знаходиться в стадії інтенсивного розвитку, то в Україні потребує рішучих заходів щодо модернізації наявних систем та будівництву нових, з урахуванням європейського досвіду [8]. Вважається, що стратегії декарбонізації мають стати пріоритетними в модернізації і проектуванні нових систем централізованого теплопостачання, зокрема поступового максимального заміщення викопного палива біопаливом і біогазом, що дозволить відмовитися від імпортного газу. Скорочення використання палива планується досягати також завдяки технічним заходам акумулювання теплової енергії. Модернізація наявних систем централізованого теплопостачання передбачає реконструкцію газових котельних з підвищенням їхньої енергоефективності зі зниженням витрати палива та забезпеченням екологічних показників роботи, заміну їх на твердопаливні котельні або застосування твердопаливних джерел теплової енергії, як резервних. Розробленню заходів щодо поліпшення незадовільного стану систем теплопостачання міст України та зменшення використання природного газу присвячено багато наукових робіт [9-16].

На промисловому ринку України представлено теплогенератори для спалювання біопалива за широкою номенклатурою за конструкцією, рівнем механізації технологічних процесів спалювання, виду спалюваного палива, потужності тощо. Найбільш ефективними є теплогенератори з механічними топковими пристроями з максимальною автоматизацією технологічних процесів, серед яких з системою очищення конвективних теплообмінних поверхонь. Їх конструкція забезпечує спалювання сортового біопалива: деревної тріски та пелетів за високої ефективності та екологічних показників на рівні європейських вимог.

Приєднання резервного джерела теплової енергії до наявної системи теплопостачання можна здійснювати за такими схемами [17] :

- залежна – схема приєднання до теплової мережі, за якої теплоносій з теплової мережі надходить безпосередньо до контуру теплогенератора на біопаливі. За такою схемою є вплив теплової мережі на резервний контур, що призводить до нестабільного гідравлічного режиму його роботи;
- незалежна – схема приєднання до теплової мережі, за якої теплова енергія, вироблена в контурі теплогенератора на біопаливі, передається теплоносію наявної системи теплопостачання через поверхневий теплообмінник, що забезпечує незалежність гідравлічного контуру

резервного джерела від наявного гідравлічного режиму в трубопроводах теплової мережі.

Щоб уникнути низькотемпературної корозії, температуру зворотного теплоносія на вході до котла необхідно підтримувати на рівні 60-70 °С, що вище температури точки роси димових газів. Принципові теплові схеми водогрійних котельних, методика розрахунку та вибір основного й допоміжного обладнання розглядають в роботах [18, 19 та ін.].

**Метою роботи** є розрахунковий аналіз практичного досвіду впровадження резервування системи централізованого теплопостачання міста з використанням теплогенератора на біопаливі як одного із заходів підвищення енергетичної безпеки України та зменшення об'ємів використання природного газу.

**Комбінована схема резервування теплопостачання.** У роботі запропоновано комбіновану технологічну схему резервування системи теплопостачання для підвищення її надійності та живучості. Схема заснована на приєднанні до наявного джерела теплової енергії, яке працює на природному газі, додаткового джерела теплової енергії – теплогенератора на твердому паливі, зокрема біопаливі. Теплогенератор може бути розміщений в будівлі наявної котельні або в транспортбельній котельні з подальшим приєднанням до системи централізованого теплопостачання за незалежною схемою (рис.1).

Експлуатація теплогенератора на біопаливі за комбінованої схеми приєднання передбачається за декількома режимами роботи:

- в опалювальний період – на підігрівання зворотного теплоносія на вході в наявну газову котельню;
- у літній період – на потреби гарячого водопостачання в повному обсязі;
- за аварійного вимкнення в зимовий період газової котельні – на підтримання життєздатності системи теплопостачання.

Для забезпечення нормованих показників по вмісту твердих частинок у відхідних газах після теплогенератора на біопаливі (1) резервна твердопаливна котельня оснащується двоступеневою системою очищення [23]: мультициклоном (2) та електрофільтром (3), які забезпечують очищення димових газів від твердих домішок до їх масової концентрації менше ніж 50 мг/м<sup>3</sup>. Для подолання димовими газами місцевих опорів з подальшим відведенням в димову трубу (5), застосована штучна тяга димососом (4).

Тепловий контур твердопаливного теплогенератора приєднано до теплової мережі за незалежною схемою через пластинчасті теплообмінники (9). Циркуляцію теплоносія в котловому контурі забезпечують насоси (6), які працюють при постійній витратній характеристиці. Уникнення виникнення конденсату в газоходах котла та захисту його від низькотемпературної корозії виконано шляхом встановлення триходового регулювального клапана (7).

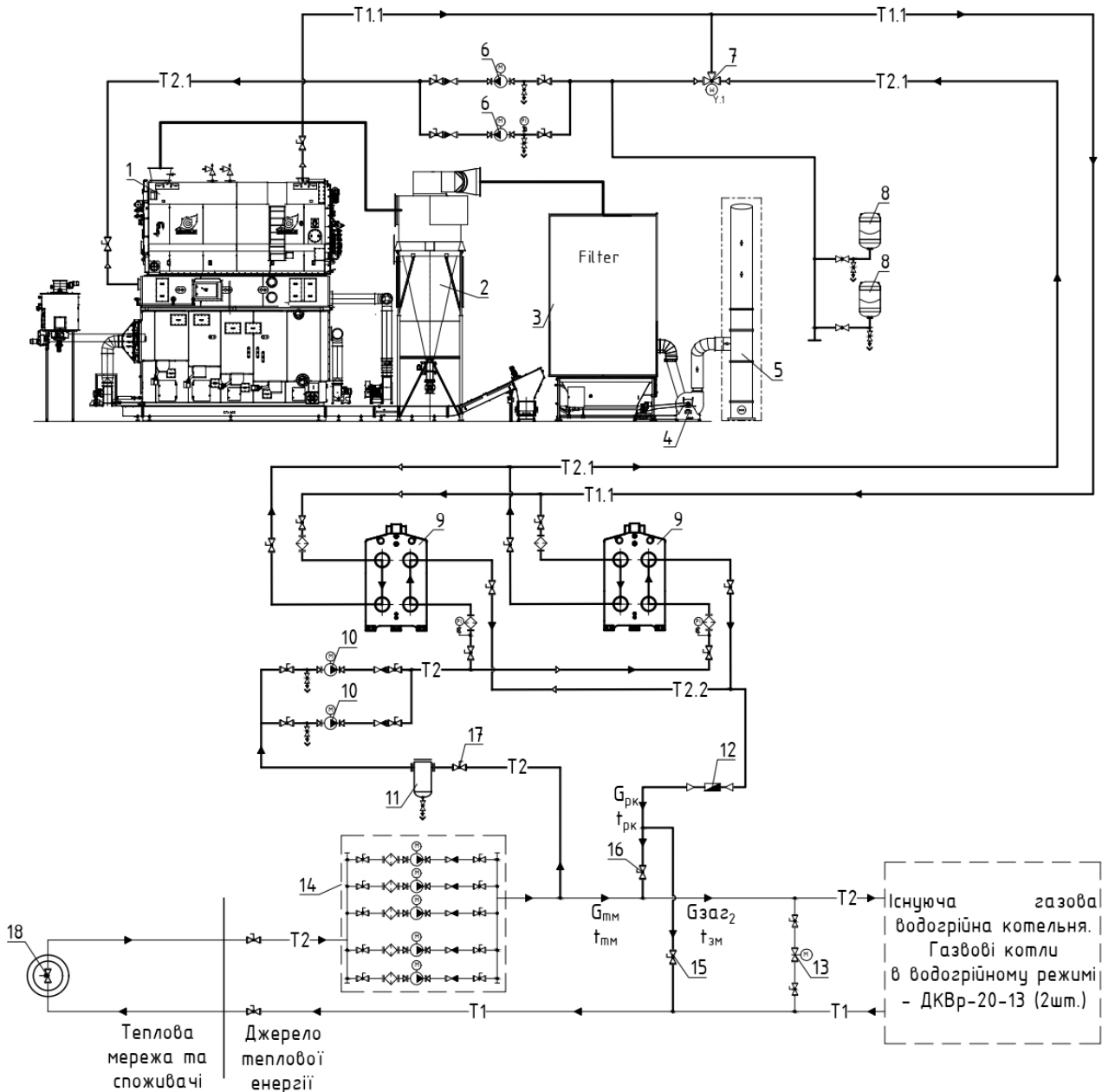


Рис. 1. Принципова схема встановлення твердопаливного теплогенератора для резервування системи централізованого теплопостачання

Зазначений клапан підтримує температуру води на вході в котел не менше  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Запобігання аварійного підвищення тиску від температурного розширення теплоносія забезпечують розширювальні баки (8).

Резервний тепловий контур приєднано до теплової мережі через вузол обліку теплової енергії (12). Для доочищення мережної води теплових мереж перед циркуляційними насосами (10) встановлено грязьовик (11) та запірна арматура (17). Приєднання трубопроводу нагрітої води резервного контуру виконано через запірну арматуру (15, 16) до зворотного і подавального трубопроводів теплової мережі.

Циркуляція теплоносія в гідравлічному контурі теплової мережі забезпечується наявними циркуляційними мережевими насосами (14). Для забезпечення сталого гідравлічного режиму теплової мережі в схемі передбачено перепускную лінію з регулювальним клапаном (13), який забезпечує рівномірне розподілення теплоносія в газовій котельні, підтримує потрібний перепад тиску на резервному контурі та величину тиску до споживача на відпуску з джерела теплової енергії. Циркуляційні насоси (10) резервного контуру працюють тільки в опалювальний період, у літній період при забезпеченні споживачів тільки гарячою водою циркуляція забезпечується наявним перепадом тиску в тепловій мережі.

Для забезпечення циркуляції та прогріву теплової мережі у період відсутності водорозбирання, на кінцевому споживачі виконується лінія перепуску (18) з трубопроводу подавальної мережі Т1 в трубопровід зворотної мережі Т2.

Наведену технологічну схему резервування впроваджено згідно з проектом ЄБРР «Проект централізованого теплопостачання м. Луцьк. Програма корпоративного розвитку» [20]. У обсязі проекту виконано реконструкцію наявної газової водогрійної котельні з двома котлами ДКВР-20-13(в) продуктивністю 16,3 МВт кожний з розміщенням у будівлі теплогенератора на біопаливі потужністю 5,0 МВт, що спалює деревну тріску. Ця котельня забезпечує послугами централізованого теплопостачання системи опалення та гарячого водопостачання споживачів мікрорайонів міста Луцьк.

Теплове навантаження споживачів становить 36,36 МВт:

- на систему опалення – 23,72 МВт;
- на систему гарячого водопостачання:
  - максимальне – 12,64 МВт;
  - максимальне в літній період – 11,34 МВт;
  - середнє в літній період – 4,73 МВт.

Температурний графік теплової мережі:

- у зимовий період – 105-70 °С,
- у літній період – 65-40 °С;
- температурний графік контуру біопаливного котла – 95-75 °С.

Режими роботи комбінованої котельні:

- в опалювальний період виконується комбіноване вироблення теплової енергії – теплогенератор на біопаливі працює сумісно з наявними газовими водогрійними котлами ДКВР-20-13(в);
- в міжопалювальний період котельня працює лише на деревній трісці для забезпечення споживачів системи ГВП з передпідключенням до даного джерела теплової енергії інших споживачів міста;

- режим збереження живучості системи теплопостачання та підтримання температури теплоносія не нижче 3 °С – у випадку позаштатної ситуації та відсутності природного газу на котельні в зимовий період.

Резервним джерелом теплоти є теплогенератор потужністю 5,0 МВт COMPT.E.R по спалюванню деревної тріски з механізацією всіх технологічних процесів спалювання сортового біопалива і системою автоматизації керування і безпеки за екологічних показників та ефективності роботи на рівні європейських вимог. Конструкція теплогенератора складається з двох частин: механічної топки та водогрійного котла. Механічна топка обладнана похилою колосниковою решіткою з трьома зонами підготовки та горіння палива:

- сушіння вологого натурального палива;
- газифікації та первинного згорання;
- повного згорання.

Для автоматичного очищення димогарних труб на кришці котла змонтована автоматична система очищення стисненим повітрям.

Експлуатація теплогенератора за автоматичного регулювання дає можливість налаштовувати різні потрібні режими роботи в літній та зимовий періоди.

#### **Аналіз режимів роботи резервного джерела теплової енергії.**

**Режим роботи комбінованої котельні в опалювальний період.** Протягом опалювального періоду наявна система теплопостачання експлуатується за температурним графіком 105-70 °С зі «зрізкою» на систему гарячого за постійної витрати теплоносія 940 м<sup>3</sup>/год. Температурний графік роботи теплогенератора на біопаливі потужністю 5,0 МВт становить 95-75 °С. Теплоносій з постійною витратою 220 м<sup>3</sup>/год із зворотного трубопроводу системи централізованого теплопостачання з температурою, відповідно до температурного графіку теплової мережі, трубопроводами резервного контуру подається на проєктні пластинчасті теплообмінники джерела теплової енергії на біопаливі та догрівається до розрахункової величини. Підігрітий в теплообмінниках теплоносій направляється назад до зворотного трубопроводу наявних теплових мереж, змішується з холоднішим теплоносієм, підвищуючи його температуру на вході в газові котли.

Температура теплоносія в точці змішування потоків теплоносія резервного контуру та у зворотній магістралі теплової мережі дорівнює:

$$t_{zm} = (G_{pk} \cdot t_{pk} + G_{mm} \cdot t_{mm}) / (G_{pk} + G_{mm}), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

де  $G_{pk}$ ,  $G_{mm}$  – відповідно, витрата мережної води у зворотному трубопроводі

---

резервного контуру та на ділянці його приєднання до зворотної магістралі теплової мережі,  $\text{м}^3/\text{ГОД}$ ;  $t_{pk}$ ,  $t_{mm}$  – відповідно, температура зворотного теплоносія резервного контуру та теплової мережі в точці злиття потоків,  $^{\circ}\text{C}$ .

Розрахунковий аналіз зміни температури в точці змішування наведено на рис.2.

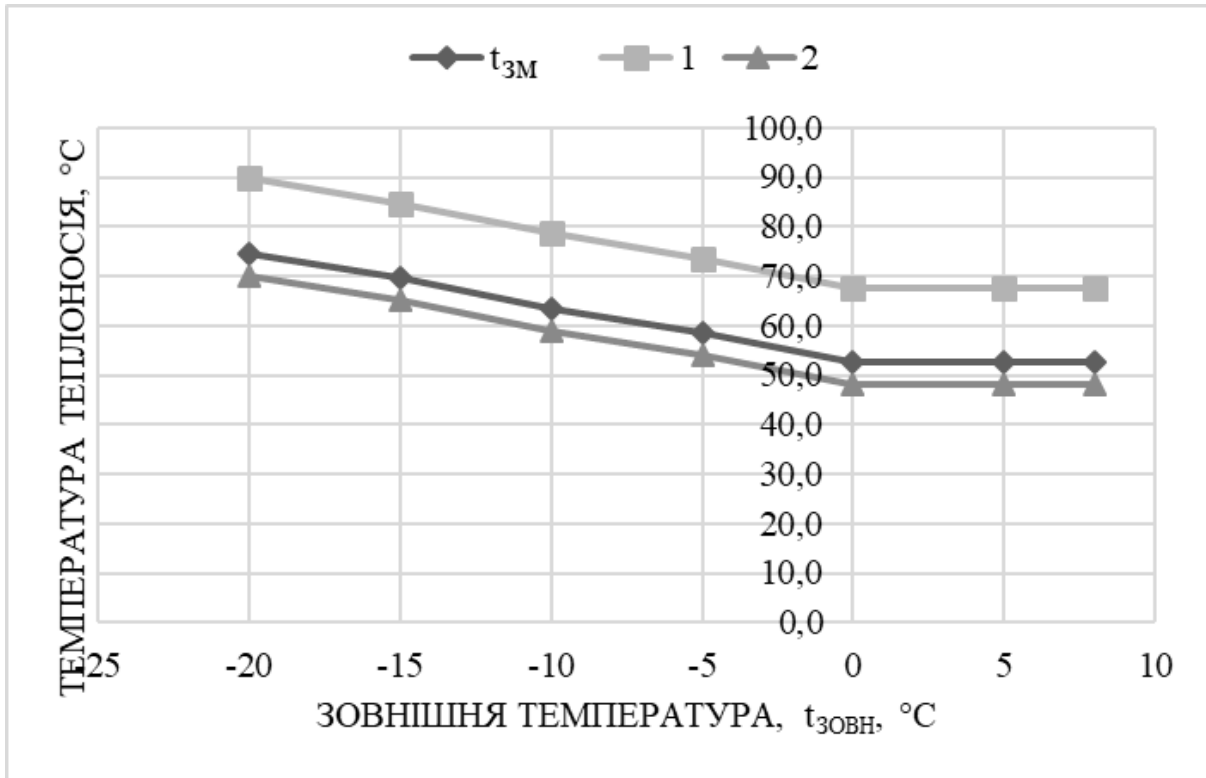


Рис. 2. Аналіз зміни температури в точці змішування:

1 – температура зворотного теплоносія резервного контуру,  $^{\circ}\text{C}$ ; 2 – температура зворотного теплоносія теплової мережі до підігрівання,  $^{\circ}\text{C}$

Теплогенератор на біопаливі працює на постійному номінальному навантаженні без змін робочих параметрів та забезпечує підігрів зворотного теплоносія в тепловій мережі на 4-5  $^{\circ}\text{C}$ . Підігрівання теплоносія перед наявним джерелом теплової енергії дозволяє запобігти утворенню низькотемпературної корозії в газових котлах та зменшити кількість виробленої теплової енергії на природному газі. Догрівання теплоносія системи теплопостачання до нормативної температури в подавальному трубопроводі на відпуску до споживача, відповідно до температурного графіку, здійснюється газовими котлами.

Зміну теплового навантаження системи централізованого теплопостачання протягом опалювального періоду наведено на рис. 3.



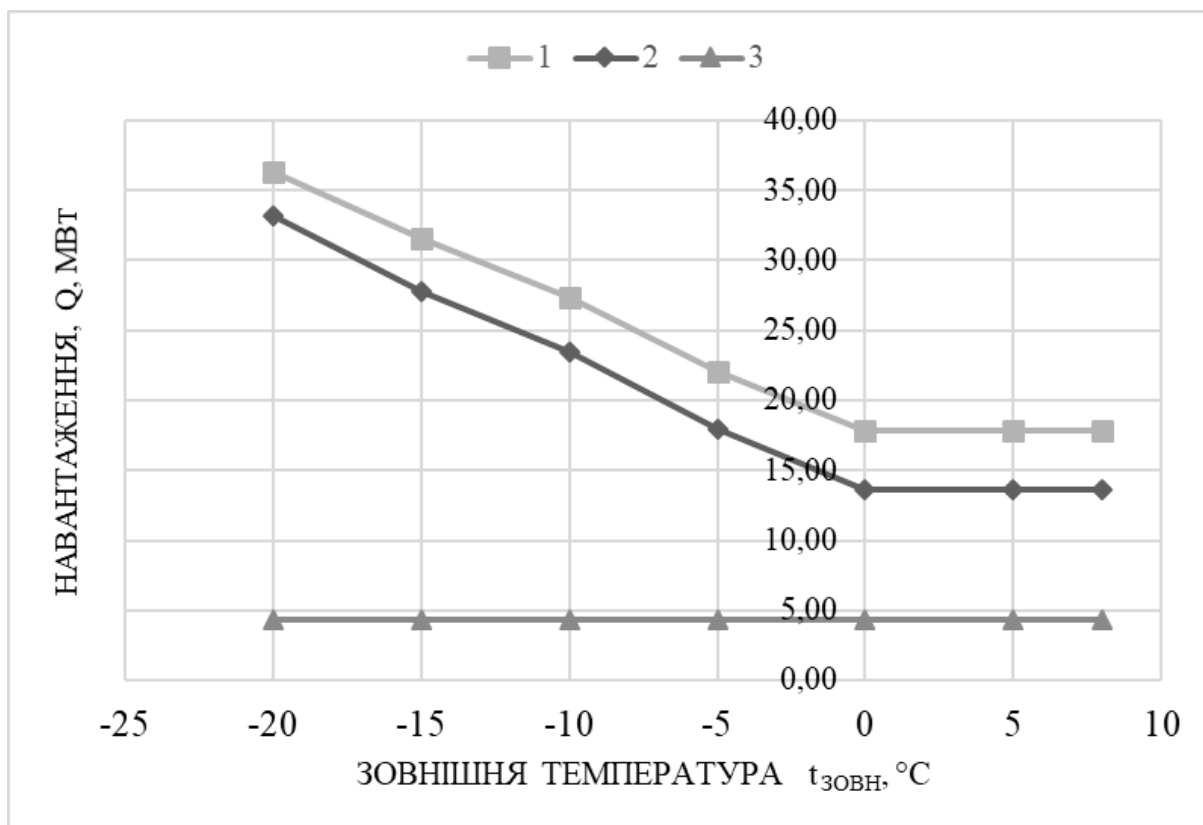


Рис. 3. Аналіз зміни навантаження системи централізованого теплопостачання:  
 1 – теплове навантаження теплової мережі, МВт; 2 – відпуск виробленої теплової енергії газовою котельнею, МВт; 3 – відпуск виробленої теплової енергії твердопаливною котельнею, МВт

У випадку аварійної ситуації та відсутності постачання природного газу, котельня на біопаливі дозволяє компенсувати теплові втрати теплової мережі та підтримувати температуру теплоносія не нижче  $3\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Режим роботи комбінованої котельні у міжопалювальний період.** Потужність резервного теплогенератора на біопаливі у складі комбінованої котельні вибрано для забезпечення середнього навантаження споживачів системи гарячого водопостачання (ГВП) в літній період. Забезпечення потреб споживачів системи ГВП за температурним графіком  $65\text{-}40\text{ }^\circ\text{C}$  здійснюється лише теплогенератором на біопаливі. Теплоносій від трубопроводу зворотної мережі в кількості  $150\text{ м}^3/\text{год}$  та з температурою  $40\text{ }^\circ\text{C}$  подається на проєктні пластинчасті теплообмінники джерела теплової енергії на біопаливі та догрівається до заданої температури. Підігрітий теплоносій направляється назад в подавальний трубопровід наявних теплових мереж та надходить до споживачів системи гарячого водопостачання. Циркуляція теплоносія забезпечується наявними мережними циркуляційними насосами.

Ураховуючи те, що потужності теплогенератора на біопаливі недостатньо для забезпечення пікового навантаження системи ГВП, потрібно забезпечити

акумуляції теплової енергії шляхом застосування мережних зворотних трубопроводів як буферної посудини, та має таке призначення:

- акумуляції виробленої теплової енергії для подальшої передачі в систему ГВП та компенсація навантаження в піковий період;
- забезпечення безаварійної роботи теплогенератора та запобігання можливості закипання теплоносія;
- підвищення ККД роботи теплогенератора на біопаливі завдяки забезпеченню стабільного режиму роботи та повного спалювання палива;
- забезпечення сталого режиму роботи та підвищення терміну експлуатації теплогенератора.

При реалізації проєкту зі встановлення теплогенератора на біопаливі передбачено акумулявати необхідну кількість теплоти в наявному трубопроводі зворотної тепломережі для роботи в години пік, а саме шляхом підігрівання зворотного мережного теплоносія до температури 65 °С у період відсутності споживання гарячої води.

Кількість необхідної теплоти для акумуляції становить:

$$Q_{max} = V_{зв} \cdot (t_{2к} - t_{2п}) \cdot c_w \cdot \xi_m \cdot 10^{-3}, \text{ МВт}, \quad (2)$$

де  $V_{зв}$  – об'єм трубопроводу зворотної мережі, м<sup>3</sup>;  $c_w$  - питома теплоємність води, кДж/(кг · °С);  $t_{2к}$ ,  $t_{2п}$  – відповідно, кінцева та початкова температура мережної води у зворотній магістралі, °С;  $\xi_m$  – коефіцієнт теплових втрат в теплових мережах, у розрахунках прийнято 15 %.

На об'єкті впровадження як буферна посудина використовують об'єм наявних теплових мереж, який становить 2030 м<sup>3</sup>. Таким чином об'єм зворотної магістралі, в якій забезпечується акумуляція теплової енергії від початкової температури 40 °С до кінцевої температури нагріву теплоносія 65 °С, становить половину всього об'єму теплової мережі тобто  $V_{зв}=1015$  м<sup>3</sup>. Тоді, за формулою (2) буде акумуляовано максимальну кількість теплової енергії 25,1 МВт.

Виконано аналіз підігрівання теплової мережі та акумуляції теплової енергії в період відсутності водорозбирання (рис. 4). У тепловій мережі відсутнє водорозбирання в період з 23:00 год до 5:00 ранку. Таким чином, нагрівання та акумуляція теплової енергії здійснюється протягом 6 год. Тоді номінальна теплова потужність роботи теплогенератора буде 4,2 МВт, що становить 82 % від встановленої потужності.

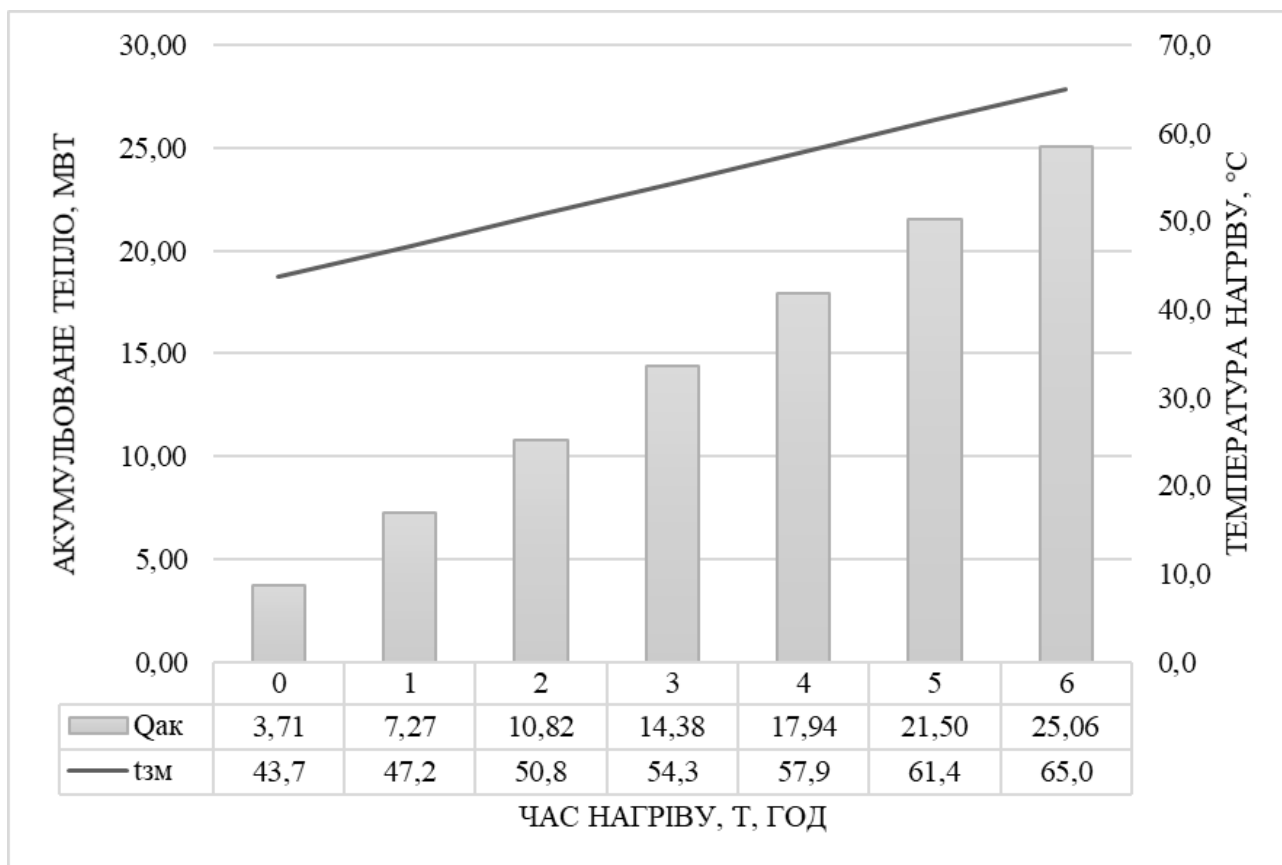


Рис. 4. Аналіз роботи теплогенератора в міжопалювальний період:  
 $Q_{ак}$  – теплове навантаження теплової мережі

Отже, в нічний період протягом 6 год у період відсутності водорозбирання здійснюється підігрівання теплової мережі та підтримання температури 65 °С, що забезпечує акумулювання теплової енергії 25,1 МВт в буферній посудині теплової мережі.

Максимальне водорозбирання в системі гарячого водопостачання відбувається в період з 6:00 до 10:00 години дня та з 17:00 до 20:00 години вечора. Оскільки пікових станів фактично два по 4 години вранці та ввечері, то дефіцит теплоти покривається акумульованою вночі та вдень теплотою.

Навантаження у піковий період споживання системи гарячого водопостачання в літній період становить  $Q_{max} = 11,34$  МВт, тобто при роботі теплогенератора на номінальну потужність 5,0 МВт дефіцит виробленої теплової енергії становить 6,34 МВт. Тоді, акумульованої теплової енергії в буферній посудині вистачає на компенсацію дефіциту в піковий період протягом  $25,1/6,34=4,0$  годин.

Впроваджена твердопаливна котельня в місті може забезпечувати споживачів гарячою водою в міжопалювальний період у період припинення постачання природного газу.

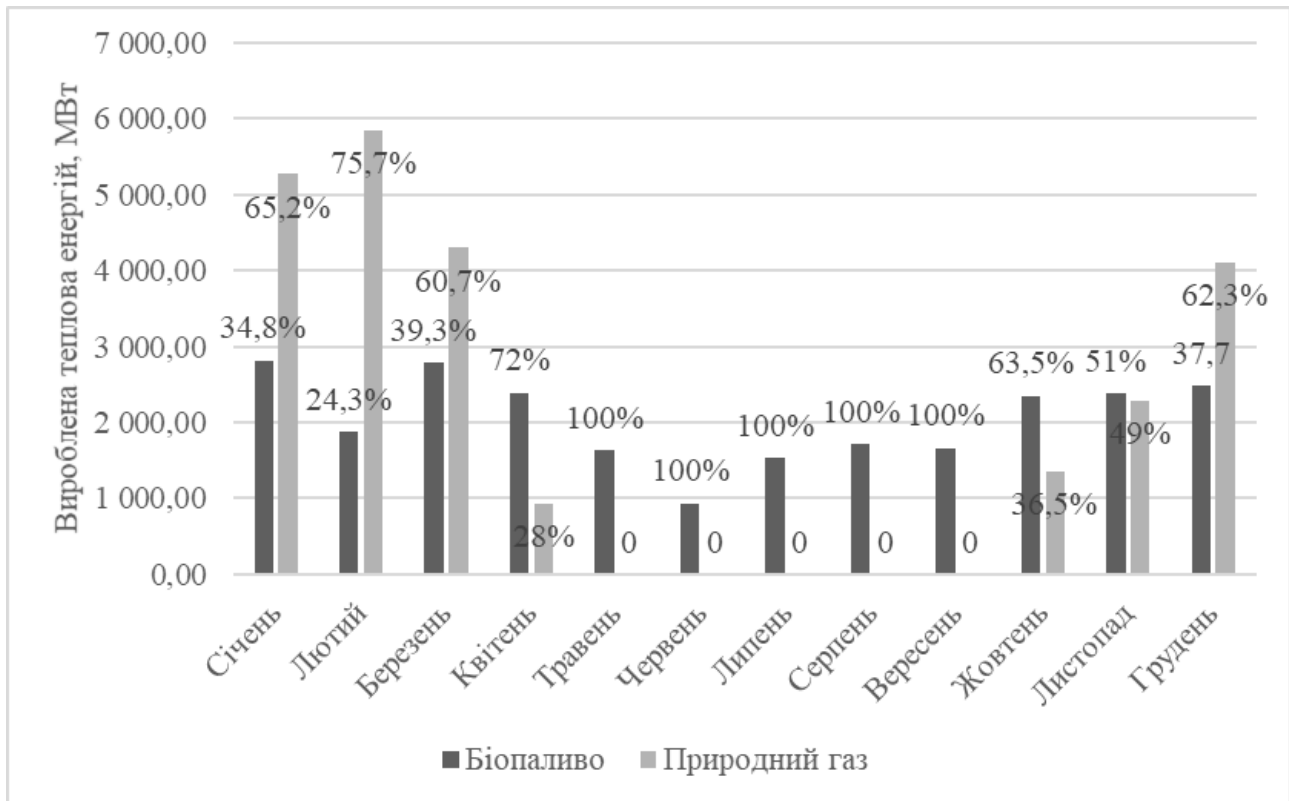


Рис. 5. Помісячний аналіз обсягу виробництва теплової енергії на діючій комбінованій котельні, що базується на основі показів теплових лічильників

З урахуванням усереднених показників за фактом роботи наявної котельні за останні роки, можна спрогнозувати обсяг виробництва теплової енергії для комбінованої котельні (рис. 5) та рівень зменшення споживання природного газу.

Згідно з наведеним аналізом виробництво теплової енергії в опалювальний період теплогенератором на біопаливі забезпечує зменшення споживання природного газу. В неопалювальний період виробництво теплової енергії забезпечується повністю на біопаливі та заміщує споживання природного газу на 100 %. За рахунок реалізації проєкту було досягнуто скорочення споживання природного газу на 2738 тис. м<sup>3</sup>/рік, що становить близько 40,5 % споживання газу котельнею в рік.

### Висновки

Диверсифікація постачання природного газу суттєво впливає на енергетичну незалежність України та надійність функціонування всієї системи теплопостачання міст. Запропонована схема впровадження теплогенератора на біопаливі меншої потужності в наявній системі теплопостачання забезпечує три режими роботи теплогенератора: літній режим – забезпечення потреби системи гарячого водопостачання; зимовий режим – підігрівання зворотного теплоносія, що призводить до зменшення витрати природного газу та захисту газових котлів

від низькотемпературної корозії; підтримання живучості системи теплопостачання. Завдяки акумулюванню теплової енергії в період відсутності споживання гарячої води в об'ємі труб теплової мережі як буферній ємності, забезпечується компенсація пікового споживання гарячої води за наявної потужності твердопаливної котельні рівній середньому навантаженню системи гарячого водопостачання. За реалізації проєкту резервування системи теплопостачання міста Луцька за комбінованою тепловою схемою приєднання твердопаливної котельні досягнуто підвищення надійності і живучості системи та річну економію природного газу на рівні 40,5 %. Набутий науково-практичний досвід є корисним для реалізації аналогічних проєктів.

### **References**

1. Teplopostachannia. DBN V.2.5-39:2008, Ukrarkhbudininform, 2014.
2. Geletukha G. "Vyrobnytstvo enerhii z biomasy v Ukraini: tekhnologii, rozvytok, perspektyvy". Vyd. dim "Akademperiodyka", Kyiv, 2022. (in Ukrainian).
3. Shcherbyna S. V. "Modernizatsiia ahrarnoho biznesu v Ukraini dlia rozvytku vyrobnytstva biopalyva". Vcheni zapysky Universytetu "KROK", no. 4 (64), 2021, pp.153-163. (in Ukrainian).
4. Zakon Ukrainy "Pro alternatyvni dzherela enerhii" No. 555-IV of 20.02.2003. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>.
5. Zakon Ukrainy "Pro alternatyvni vydy palyva" No. 1391-XIV of 14.01.2000. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14#Text>.
6. Zakon Ukrainy "Pro teplopostachannia" No. 2633-IV of 02.06.2005. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2633-15#Text>.
7. Kontseptsiiia realizatsii derzhavnoi polityky u sferi teplopostachannia. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 18.08.2017: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2017-%D1%80/print>.
8. Glamazdin P. "New approaches to the organization of district heating." Ventyliatsiia, osvittlenia ta teplohazopostachannia: Naukovo-tekhnichniy zbirnyk, Iss. 39, 2021, pp. 38-46. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2021.39.38-46>
9. "Doslidzhennia, rozrobka rekomendatsii ta alhorytmu dii subiektiv hospodariuvannia, yaki maiut namir realizuvaty proekty z vyrobnytstva teplovoi ta elektrychnoi enerhii (z vykorystanniam «zelenoho taryfu») z biomasy". Report prepared by LLC "Instytut mistsevoho rozvytku", Kyiv, 2014. (in Ukrainian).
10. Havrys O. M. "Optyimizatsiia system teplopostachannia iz vykorystanniam ekonomiko-matematychnoho modeliuvannia: monograph". NTU "KhPI", Kharkiv, 2015. (in Ukrainian).

11. Geletukha G. “Pidhotovka ta vprovadzhennia proektiv zamishchennia pryrodnoho hazu biomasoiu pry vyrobnytstvi teplovoi enerhii v Ukraini.” Polygraph plus, 2015. (in Ukrainian).

12. Senchuk M.P. “Increasing the efficiency of burning solid fuel in the layer”. Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplohadopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, Iss. 39, 2021, pp. 29-37. (in Ukrainian).

13. Roskovshenko Yu.K., Senchuk M.P. “Reservation of heat supply in populated areas”. Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplohadopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, Iss. 15, 2011, pp. 46-50. (in Ukrainian).

14. Galchynska Ju. “Stymuliuвання розвитку ринку відновлюваної енергетики в Україні за допомогою «зеленого» тaryфу.” Agrosvit, no. 7, 2019, pp. 49–54. (in Ukrainian).

15. Gutsalenko I., Fabiyanska V. “Stan ta osnovni chynnyky розвитку vyrobnytstva biolohichnoho palyva v Ukraini ta sviti”. Scientific papers of Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, Iss. 19, 2013, pp. 168-174. (in Ukrainian).

16. Sugiyono A. «Potential of biomass and coal co-firing power plants in Indonesia: a PESTEL analysis». IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 963, 2022.

17. Yenin P. M., Shvachko N. A. “Teplopostachannia (Chastyna I “Teplovi merezhi ta sporudy”).” Educational manual”. Vyd. dim “Condor”, Kyiv, 2007. (in Ukrainian).

18. Alabovskiy O. M., Bozhenko M. F. “Proektuvannia kotelen promyslovykh pidpriemstv: kursove proektuvannia z elementamy SAPR.” High School, Kyiv, 1992. (in Ukrainian).

19. Bozhenko M. F. “Vodohriini kotelni dlia system detsentralizovanoho ta pomirno-tsentralizovanoho teplopostachannia.” Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, 2022. (in Ukrainian).

20. “Proiekt tsentralizovanoho teplopostachannia m. Lutsk. Prohrama korporatyvnoho розвитку.” Report prepared by LLC “Instytut mistsevoho розвитку”. 2018. (in Ukrainian).

UDC 697.34, 662.63

PG. Mykola Beliuzenko,  
[n.beliuzhenko@gmail.com](mailto:n.beliuzhenko@gmail.com), ORCID: 0009-0005-4911-1654  
PhD, associate professor, Mykhailo Senchuk,  
[smp\\_21@ukr.net](mailto:smp_21@ukr.net), ORCID: 0000-0001-8968-7336,  
Kiev National University of Construction and Architecture

## RESERVATION OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM WITH BIOFUEL HEAT ENERGY SOURCES

**Abstract.** *The implementation of the reservation of the heat supply system to a populated area was analyzed. It is noted that increasing the reliability of heat supply to consumers is a fundamental task, especially given the current military situation in Ukraine. The solution to this difficulty is considered when reserving heat supply by constructing a backup source of thermal energy using alternative types of fuel. A combined thermal scheme for connecting a hot water heat generator using biofuel to the existing city heat supply system is proposed to increase its reliability and survivability, which ensures the efficiency and reliability of operation of the heat supply system during the heating and summer periods. It is shown the possibility of operating a solid fuel heat generator with its power significantly less than the total heat load of the city's heating supply in several operating modes: during the heating period - for heating the return coolant at the inlet to the existing gas boiler house; in the summer period - for the needs of hot water supply in full; in the event of an emergency shutdown of a gas boiler house in winter - to maintain the viability of the heat supply system. The results of a calculation analysis of the operation of a 5,0 MW biofuel heat generator under different operating modes are presented. Heating the return coolant by 4...5 °C in winter, in addition to saving natural gas, prevents low-temperature corrosion of existing gas boilers. In the event of an emergency lack of natural gas supply, the combustion of wood chips ensures the production of thermal energy at the level of thermal losses of the heating network while maintaining the coolant temperature at least 3 °C at the calculated external air temperature. Thanks to the accumulation of thermal energy at night in the summer period in the volume of heating network pipes as a buffer tank, compensation for peak hot water consumption is provided with the available power of the solid fuel boiler house equal to the average load of the hot water supply system. When implementing a project to back up the heat supply system in Lutsk using a combined thermal scheme for connecting a solid fuel boiler house, an increase in the reliability and viability of the system and natural gas savings of 40,5% during a year of operation were achieved.*

**Key words:** *biofuel heat generator, solid fuel boiler house, heat supply system, thermal energy accumulation, heat supply reservation, heat supply reliability, system survivability.*