

СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ НА ОСНОВІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТА ФОТОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

В. М. Головка, доктор технічних наук, професор,

В. І. Міхалін, студент магістратури

Національний технічний університет України "КПІ ім. Ігоря Сікорського"

E-mail: golovkovm@ukr.net, mikhalin.vladyslav@lil.kpi.ua

Анотація. В Україні теплопостачання є найбільш енерговитратною галуззю. Причиною цього є велика кількість будівель, побудованих з дотриманням низького рівня теплової ізоляції, застаріле теплоенергетичне обладнання та інфраструктура, а також низький рівень впровадження опалювальних систем на основі відновлюваних джерел енергії. Теплові насоси є однією з альтернатив котлам на викопному паливі для використання в системах домашнього опалення. Задача оптимізації функціонування систем опалення на основі теплових насосів має практичну значимість, оскільки її вирішення потенційно дозволить досягти кількох енергетичних ефектів, серед яких зниження експлуатаційних витрат, а також збільшення рівня автономності системи опалення у разі забезпечення електроенергією від автономної фотоелектростанції.

У статті наведені результати математичного моделювання системи опалення приватного будинку на основі теплового насоса, акумулятора теплової енергії та фотоелектростанції у програмному середовищі MATLAB/SIMULINK. Модель створена з метою дослідження системи опалення приватного будинку з використанням відновлюваних джерел енергії шляхом структурного імітаційного моделювання та проведення порівняльного аналізу способів її керування для трьох варіантів (способів): «реакційного», «економічного» та «автономного». Встановлено, що середньорічні експлуатаційні витрати при «економічному» способі керування знизилися на 22% порівняно із «реакційним» способом керування. При застосуванні «автономного» способу керування річне забезпечення системи за рахунок фотогенерації збільшилося на 48%.

Ключові слова: *тепловий насос, відновлювані джерела енергії, фотоелектростанція*

Актуальність. Теплові насоси є однією з альтернатив котлам на викопному паливі. Цього висновку дотримуються уряди багатьох європейських країн. Амбітною ціллю країн Євросоюзу є переведення 40 % домогосподарств на електричне опалення за допомогою теплових насосів до 2030 року [1].

В Україні теплопостачання є найбільш енерговитратною галуззю. Причиною цього є велика кількість будівель, побудованих з дотриманням низького рівня

теплової ізоляції, застаріле теплоенергетичне обладнання та інфраструктура, а також низький рівень впровадження опалювальних систем на основі відновлюваних джерел енергії.

Задача оптимізації функціонування систем опалення на основі теплових насосів має практичну значимість, оскільки її вирішення потенційно дозволить досягти низки енергетичних результатів, серед яких: зниження експлуатаційних витрат, а також збільшення рівня автономності системи опалення у разі забезпечення електроенергією від фотоелектричної станції (ФЕС), що важливо в особливі періоди (природні катаклізми, військові конфлікти тощо).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематика використання теплових насосів у системах опалення є досить добре вивченою, однак залишається мало дослідженою задача збільшення автономності роботи системи, яка частково використовує як джерело електроенергії фотоелектростанцію. Як правило, проведені дослідження описують можливості зменшення витрат на опалення за рахунок використання теплових насосів у комбінації з акумуляторами теплової енергії для зміщення у часі пікового споживання теплової енергії [2]. Системи опалення такого типу порівнюють із системами на основі газових водонагрівачів. Цей підхід яскраво ілюструє можливість здешевлення опалення при переведенні його на тепловий насос, однак в даному випадку зменшення вартості експлуатації досягається за рахунок зміни технології, а не впровадження нових способів керування системою опалення на основі теплового насосу.

Мета дослідження – розроблення математичної моделі системи опалення приватного будинку від відновлюваних джерел енергії шляхом структурного імітаційного моделювання та проведення порівняльного аналізу способів її керування.

Матеріали та методи дослідження. Математичне моделювання процесів перетікання енергії між вузлами системи опалення здійснено у програмному середовищі MATLAB/SIMULINK.

Система опалення, що досліджується, складається з компресійного теплового насоса типу «повітря-вода», акумулятора теплової енергії, що являє собою ємність

об'ємом $0,2 \text{ м}^3$ із вбудованим теплообмінником, радіаторів опалення, системи фотоелектричних перетворювачів, а також триходового крана для здійснення перемикання подачі теплоносія між контурами опалення та гарячого водопостачання.

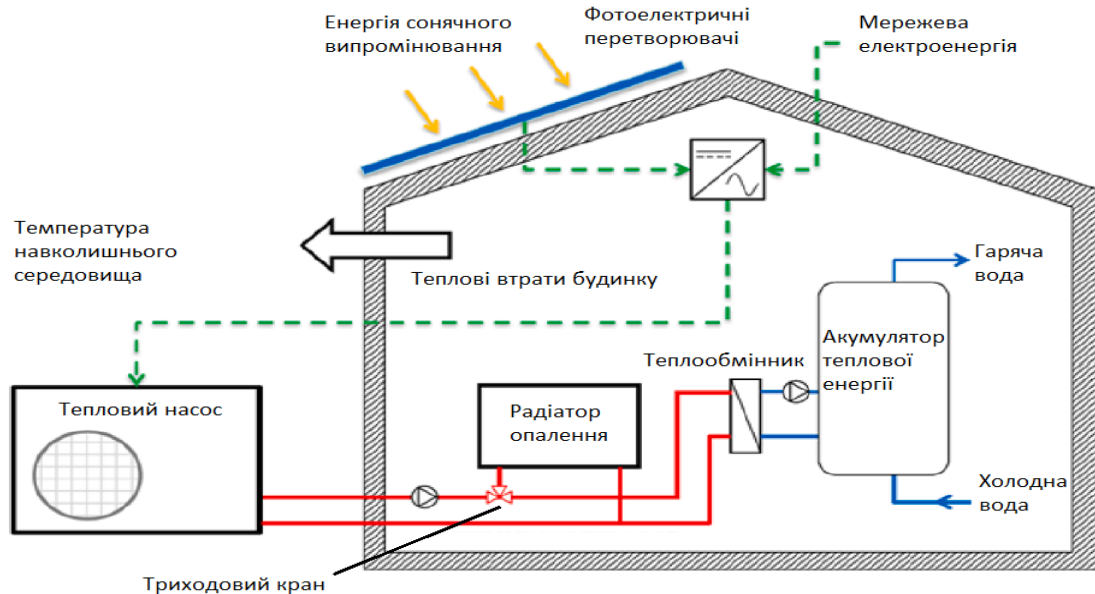


Рис.1. Блок-схема системи опалення приватного будинку

Математична модель системи опалення включає в себе такі складові:

- ☐ блок формування графіка інтенсивності надходження енергії сонячного випромінювання на поверхню фотомодулів;
- ☐ блок формування графіка температури навколишнього середовища за період дослідження;
- ☐ фотоелектростанцію, яка генерує електроенергію на основі даних про інтенсивність надходження енергії сонячного випромінювання;
- ☐ блок формування графіка теплового навантаження гарячого водопостачання, згенерований за допомогою програми DHWCalc [4];
- ☐ блок формування значення вартості електроенергії впродовж періоду роботи системи;
- ☐ модель теплового насоса, що відслідковує значення температури навколишнього середовища і видає значення теплової потужності, яку здатен забезпечити тепловий насос за поточних умов;

- електричний нагрівальний елемент з фіксованою потужністю для нагрівання теплоносія в періоди, коли тепловий насос не в змозі повністю забезпечувати потужність навантаження;
- модель акумулятора теплової енергії з датчиками температури води для передачі на контролер інформації щодо керування системою опалення;
- теплову модель будинку, за допомогою якої обчислюються теплові втрати у навколишнє середовище за поточних умов;
- модель триходового крана, що являє блок керування потоком потужності для спрямування його на обігрівання приміщення чи на нагрівання води в ємності-акумуляторі;

При розробці алгоритму функціонування моделі розглянуто три варіанти (способи) керування системою опалення:

1. Реакційний спосіб керування передбачає відгук теплового насоса на падіння температури в приміщенні або в тепловому акумуляторі нижче встановленого значення.

2. Економічний спосіб передбачає переважне використання теплового насоса для накопичення теплової енергії в ємності-акумуляторі в період мінімальної вартості електроенергії з мережі з подальшим використанням накопиченої енергії для потреб гарячого водопостачання. Нижню межу температури в ємності-акумуляторі встановлено на рівні 43 °С, верхню – на рівні 50 °С [3]. При цьому накопичення теплової енергії відбувається з перервами на забезпечення тепловим насосом потреб опалення будинку.

3. «Автономний» спосіб передбачає переважне живлення теплового насоса за рахунок енергії фотогенерації також для накопичення теплової енергії в ємності-акумуляторі з перервами на забезпечення опалення будинку.

У цій роботі порівнюється реакційний спосіб керування системою опалення зі способом, при якому цільовим показником якості роботи вважається мінімізація експлуатаційних витрат на опалення та максимум забезпечення теплового насоса електроенергією від фотоелектростанції. Тоді вираз цільової функції складе:

$$Obj_{cost} = \min \sum_t (P_{elec}(t) \cdot W_{imp}(t)) \quad (1)$$

$$Obj_{PV} = \min \left(\frac{\sum_t W_{imp}(t)}{\sum_t W_{in}(t)} \right) \quad (2)$$

де P_{elec} – вартість електроенергії, імпортованої з мережі, грн/кВт·год; W_{imp} – кількість імпортованої електроенергії, кВт·год; W_{in} – кількість спожитої електроенергії, кВт·год; t – час доби, год.

Математична модель функціонує так:

1. Інформація про величину фотогенерації, температуру навколишнього середовища та потужність теплового навантаження гарячого водопостачання надходить на контролер системи опалення;

2. Інформація з датчиків температури приміщення і акумулятора теплоти надходять на контролер в режимі реального часу;

3. На основі інформації, отриманої на етапах 1 та 2, контролер виконує обчислення: присвоює логічній змінній $\alpha_{SH} = 1$, якщо температура в приміщенні впала нижче граничного значення у 18 °С та змінній $\alpha_{DHW} = 1$, якщо температура води в тепловому акумуляторі опустилася нижче граничного рівня 43 °С. Коли $\alpha_{SH} = 1$, триходовий кран спрямовує теплоносій від теплового насоса до системи опалення будинку. Коли $\alpha_{DHW} = 1$, енергія йде на нагрівання води в ємності-акумуляторі. Якщо обидві змінні дорівнюють одиниці, то перевага надається нагріванню води в ємності-акумуляторі.

4. Контролер вмикає тепловий насос, якщо величина фотогенерації достатня для його функціонування в діапазоні від мінімальної до номінальної теплової потужності, яка попередньо записана в контролер і графічно може бути подана наступним чином (рис. 2).

5. Якщо величина фотогенерації недостатня для функціонування теплового насоса на мінімальній тепловій потужності або якщо він не забезпечує повною мірою теплове навантаження, вмикається електричний нагрівач, який працює паралельно з тепловим насосом і споживає електроенергію з мережі.

6. Обчислюється баланс теплової енергії в будинку. Надходження енергії – на основі теплової енергії з радіаторів опалення. Втрати енергії – на основі поточної температури в приміщенні і температури навколишнього середовища.

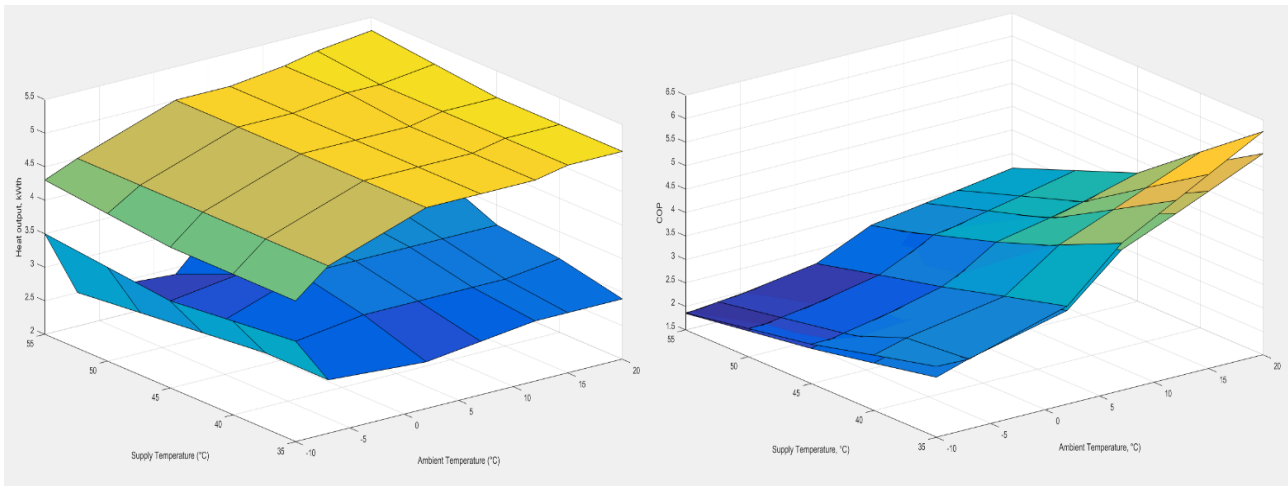


Рис. 2. Залежність коефіцієнта перетворення та вихідної теплової потужності від температури теплоносія та навколишнього середовища

7. Імпортована з мережі електроенергія враховується на кожній ітерації роботи циклу керування.

Результати досліджень та їх обговорення. У результаті реалізації трьох різних варіантів керування системою опалення, отримано наступні результати: середньорічні експлуатаційні витрати за «економічного» способу керування знизилися на 22 % порівняно із «реакційним» способом керування. При застосуванні «автономного» способу керування річне забезпечення системи за рахунок фотогенерації збільшилося на 48 %.

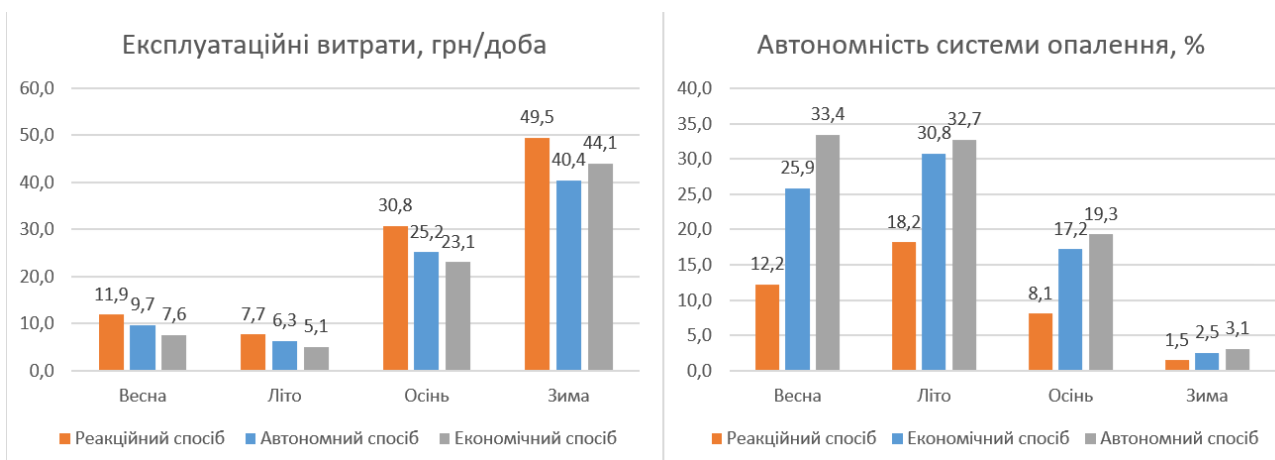


Рис. 3. Експлуатаційні витрати та автономність системи опалення при різних способах керування

Висновки і перспективи. Розроблено математичну модель системи опалення приватного будинку в програмному середовищі MATLAB/SIMULINK, за якою проаналізовано алгоритм функціонування для трьох варіантів (способів) керування системою опалення: «реакційного», «економічного» та «автономного». Встановлено, що середньорічні експлуатаційні витрати за «економічного» способу керування знизилися на 22 % порівняно із «реактивним» способом керування. При застосуванні «автономного» способу керування річне забезпечення системи за рахунок фотогенерації збільшилося на 48%. Запропонована математична модель може бути використана при обґрунтуванні доцільності розроблення системи опалення приватного будинку від відновлюваних джерел енергії.

Список використаних джерел

1. Протокол засідання Європейської комісії від 16 лютого 2016 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/memo_16_311/ЕМО_16_311_EN.pdf
2. Renaldi R, Kiprakis A, Friedrich D. An optimisation framework for thermal energy storage integration in a residential heat pump heating system. Appl Energy 2017; 186(3):520–59.
3. ДБН В.2.6-31:2021. ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ. На заміну ДБН В.2.6-31:2016 ; чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. Київ : Держ. підприємство “Укрархбудінформ“, 2022. 23 с.
4. Ma T, Wu J, Hao L. Energy flow modeling and optimal operation analysis of the micro energy grid based on energy hub. Energy Convers Manag 2017;133: 292–306.

References

1. EU Commission. Towards a smart, efficient and sustainable heating and cooling sector. Brussels, 2016. Available at: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/memo_16_311/ЕМО_16_311_EN.pdf

2. Renaldi, R, Kiprakis, A, Friedrich, D. (2017). An optimisation framework for thermal energy storage integration in a residential heat pump heating system. Appl Energy, 186(3), 520–59.

3. DBN B.2.6-31:2021. THERMAL INSULATION AND ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS. Valid from 2022-09-01. Kyiv : “UKRARKHBUDINFORM“, 2022. 23 p.

4. Ma T, Wu J, Hao L. (2017). Energy flow modeling and optimal operation analysis of the micro energy grid based on energy hub. Energy Convers Manag, 133, 292–306.

PRIVATE HOUSEHOLD HEAT PUMP-BASED HEATING SYSTEM WITH PHOTOVOLTAIC PLANT

V. Golovko, V. Mikhalin

Abstract. *Heat supply is the most energy-consuming industry in Ukraine. The reason for this is a large number of buildings built with a low level of thermal insulation, outdated thermal energy equipment and infrastructure, as well as a low level of implementation of heating systems based on renewable energy sources. Heat pumps are one of the alternatives to fossil fuel boilers for use in household heating systems. The problem of optimizing the operation of heating systems based on heat pumps is of practical importance, since its solution will potentially allow achieving several energy effects, including: reducing operating costs, as well as increasing the level of autonomy of the heating system in the case of providing electricity from an autonomous photovoltaic plant.*

The article presents the results of mathematical modeling of the heating system of a private house based on a heat pump, a thermal energy accumulator and a photovoltaic plant in the MATLAB/SIMULINK software environment. The model was created for the research purpose of the heating system of a private house with renewable energy sources through structural simulation modeling and conducting a comparative analysis of its management methods for three options (methods): "reactive", "economic" and "autonomous". It was found that the average annual operating costs with the "economic" method of management decreased by 22 % compared to the "reactive" method of management. When using the "autonomous" method of control, the annual maintenance cost of the system due to photogeneration increased by 48 %.

Key words: *heat pump, renewable energy sources, photovoltaic plant*