

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ

УДК 65.011.12

DOI 10.31649/2311-1429-2024-1-134-138

В. В. Джеджула

ІНТЕГРАЦІЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

За умов втрат генеруючих потужностей та енергетичної кризи в цілому значну увагу необхідно приділити альтернативним джерелам енергопостачання для опалення і електропостачання будівель і споруд. Характерним прикладом є приватні домогосподарства які використовують традиційні палива і електричну енергію для опалення і теплопостачання. Також як приклад можна розглядати офісні та адміністративні будівлі, які підключені до центрального теплопостачання і їх власники шукають шляхи диверсифікації теплопостачання. В останні роки набуло широкого поширення виробництво електричної енергії за допомогою сонячних фотомодулів. Але безпосереднє використання виробленої енергії на теплопостачання є не ефективним і потребує комплексних рішень з максимальною автономністю і енергоефективністю. Таким рішенням може бути комплексне використання сонячних батарей і теплових насосів.

У статті розглянуто на прикладі офісної будівлі результати натурних замірів виробництва та споживання електричної енергії від сонячних батарей, запропоновано комплексне рішення з заміни традиційного теплопостачання від районної котельні на систему, що складається з теплового насосу і сонячної батареї, розраховано за даними вимірювань необхідні площі сонячних батарей та визначено ефективність заміщення традиційних джерел енергії альтернативними.

Ключові слова: сонячні батареї, тепловий насос, теплопостачання, альтернативні джерела теплопостачання.

Вступ

Підвищення вартості енергоносіїв та значне зменшення генеруючих потужностей країни спонукає менеджмент підприємств і окремих домовласників до пошуку альтернативних шляхів енергозабезпечення своїх домівок чи підприємств. Враховуючи ризики значних перерв у електропостачанні використання безпосереднього нагріву теплоносія електродотами є нерациональним і ризикованим. Відсутність електропостачання може відобразитися і на роботі централізованих систем теплопостачання, особливо якщо подача тепла здійснюється через ЦТП без резервного електроживлення. Одним із шляхів виходу з такої ситуації є використання для теплопостачання будівель альтернативних джерел в комплексних схемах поєднання джерел. Питання комплексного поєднання джерел енергії нормативно окреслені і висвітлені в певній кількості наукових робіт [1-8], але недостатньою є кількість робіт присвячених саме інтеграції альтернативних джерел енергії в системи теплопостачання будівель.

Метою статті є аналіз особливостей влаштування систем комплексного альтернативного теплопостачання будівель та надання рекомендацій щодо вирішення окремих проблем, які виникають при проектуванні.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- Розглянути шляхи заміщення традиційного теплопостачання альтернативними системами;
- Охарактеризувати за результатами натурних вимірювань генерацію електричної енергії сонячними фотомодулями;
- Надати рекомендації щодо інтеграції альтернативних джерел енергії в системи теплопостачання будівель.

Основна частина

Об'єктом дослідження була частина офісної будівлі площею 150 м² яка отримувала тепло від центральної котельні через окрему гілку в ІТП з індивідуальним обліком тепла. Враховуючи наявні ризики менеджмент компанії вирішив диверсифікувати джерела теплопостачання віддавши перевагу повітряним тепловим насосам. Компресор теплового насосу для роботи споживає електричну енергію, забезпечення якою в безперервному режимі є ризиковим в нинішніх умовах. Альтернативою є використання сонячних станцій для виробництва електричної енергії яка, у тому числі, буде використовуватися і на потреби теплопостачання. Перевагою сонячних станцій є те, що вони не потребують окремих дозволів на встановлення і можуть модульно нарощуватися до необхідної потужності для споживача. Підприємство вже мало існуючу сонячну електростанцію яка покривала певну частку потреб у електропостачанні. Динаміка споживання електричної енергії за

2023 рік та її генерації сонячною станцією потужністю 5,5 кВт з сонячними монокристалічними панелями за умови розміщення на даху без загінення в місті Вінниця наведено на рисунку 1. Як видно з рисунку 1 станція не покриває потреби споживача, особливо це відчутно в зимовий період року. При цьому для тепlopостачання використовувалося тепло котельні.

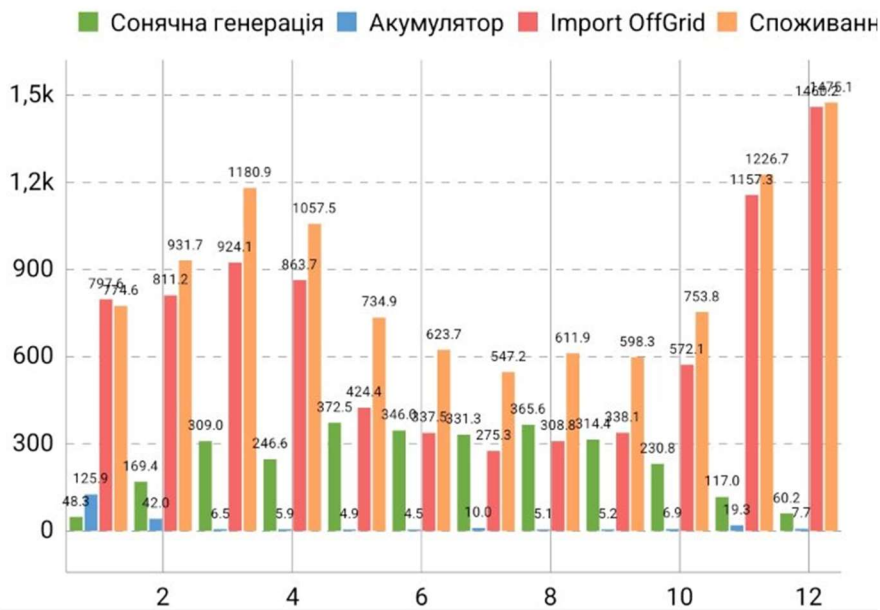


Рисунок 1 – Фактичне споживання енергії будівлею кВт×год та генерація електричної енергії кВт×год сонячною станцією, потужністю 5,5 кВт за 2023 рік

Згідно спостережень і вимірювань за рік згенеровано 2909 кВт×год при потребі 13894 кВт×год, тобто станція покриває 21% потреби будівлі. Відповідно до теплотехнічного розрахунку необхідна теплова потужність теплового насосу складає 8 кВт при споживаній електричній потужності близько 3 кВт.

Характерними для розуміння є динаміка споживання в окремі періоди, зокрема зацікавленість викликають періоди максимальної і мінімальної генерації електричної енергії. Розглянемо динаміку споживання і генерації для 28 січня і 15 липня (рис. 2). Як видно з рис. 2 генерація електричної енергії в січні склала за потужністю не більше 1 кВт в піку, генерація в липневий день – 3,5 кВт. Це пов'язано з особливостями роботи сонячних модулів, хмарністю, залежністю генерації від зовнішньої температури повітря, деградацією панелей тощо.

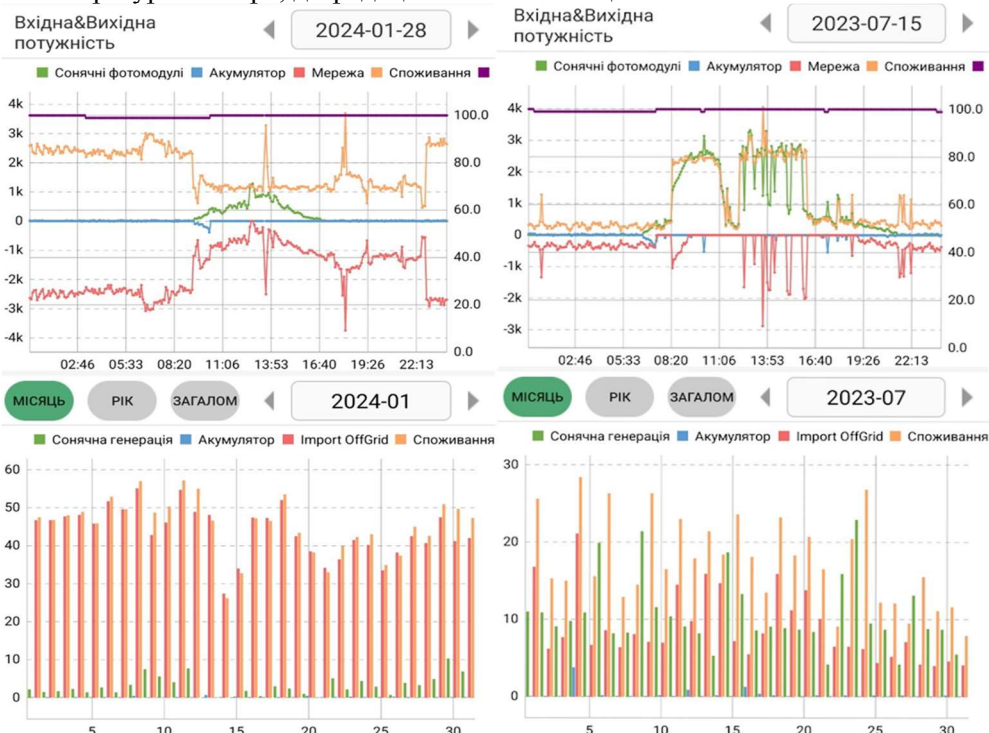


Рисунок 2 – Динаміка споживання енергії будівлею кВт×год та генерація електричної енергії кВт×год сонячною станцією в характерні дні року

Розглянемо роботу теплового насоса для даної будівлі та порівняємо її з роботою електрокотла і твердопаливного котла. Прийнемо наступні тарифи для розрахунків електрична енергія 2,64 грн за кВт × год, газ 9,95 грн/м³, тверде паливо 9 грн/кг. Тоді отримаємо наступні результати: вартість електроенергії для роботи теплового насоса $C_{\text{тп}} = 12380$ ₴/рік; вартість електроенергії для роботи електрокотла $C_{\text{те}} = 32050$ ₴/рік; вартість газу для роботи газового котла $C_{\text{тг}} = 14140$ ₴/рік; вартість палива для роботи твердопаливного котла $C_{\text{тс}} = 27360$ ₴/рік. Економія теплового насоса щодо електрокотла $E_{\text{те}} = 19670$ ₴/рік, теплового насоса щодо газового котла $E_{\text{тг}} = 1760$ ₴/рік, економія теплового насоса щодо твердопаливного котла $E_{\text{тс}} = 14980$ ₴/рік. Потужність теплового насоса $Q_p = 8$ кВт, витрата тепла $Q_t = 12.1$ МВт × год/рік, витрата електроенергії $W_t = 4.7$ МВт × год/рік.

Графічно співвідношення між експлуатаційними витратами різних джерел тепла для опалення будівлі без врахування сонячної генерації наведено на рисунку 3.



Рисунок 3 – Співвідношення експлуатаційних витрат різними джерелами тепла для опалення будівлі без врахування сонячної генерації

За умови збільшення потужності сонячної станції до 15 кВт отримаємо наступну ситуацію. Спостереження дають змогу попередньо прогнозувати виробіток електричної енергії опираючись на дані попереднього року. Розглянемо динаміку виробництва електричної енергії в холодний період року і порівняємо її з динамікою споживання тепловим насосом (рис. 4). Як видно з рис 4 незважаючи на трикратне зростання потужності сонячної станції потужність даної станції все одно недостатня для покриття потреби теплового насоса. Зрозуміло, що кожна станція має свої особливості роботи пов'язанні з орієнтацією станції, забрудненістю і деградацією панелей, падінням тіні та багатьма іншими.

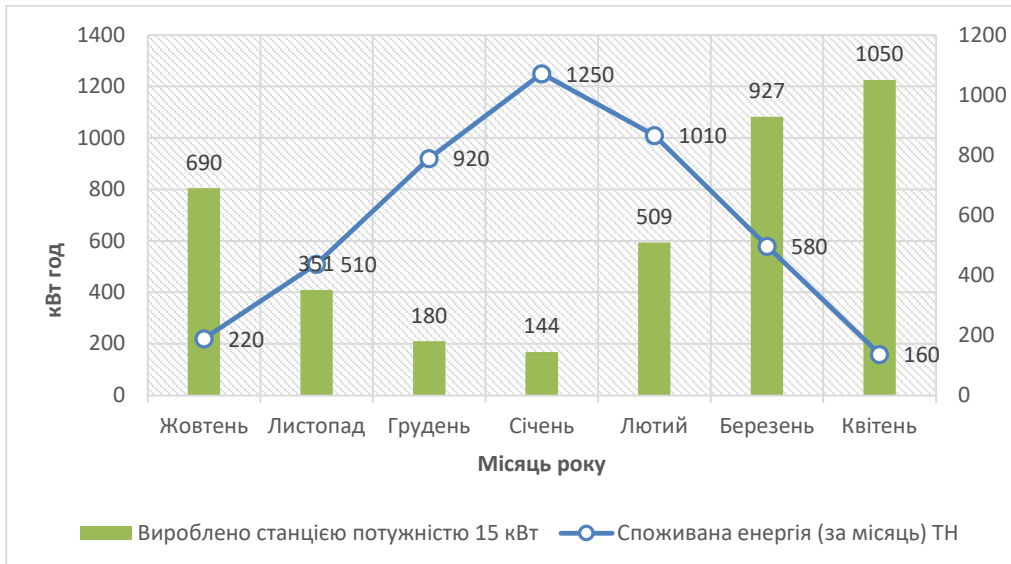


Рисунок 4 – Співвідношення сонячної генерації і необхідної кількості енергії для роботи теплового насоса в холодний період року, кВт×год

Надлишок виробництва електроенергії ми спостерігаємо в жовтні, березні і квітні. У листопаді практично 70% необхідної потужності сонячної станції покривають своїм виробництвом. Значний дефіцит спостерігається у грудні, січні і лютому, зокрема у січні станція покриватиме лише близько 10% необхідної потужності для роботи теплового насоса.

Ще одним напрямом інтеграції альтернативних джерел енергії в системи тепlopостачання

будівель є використання теплової акумуляції. Теплові акумулятори дозволяють знівелювати нерівномірність генерації тепла і її споживання, поєднати декілька джерел енергії в одну систему. Розглянемо варіант поєднання двох джерел енергії на роботу в одну систему тепlopостачання. Прийmemo, ще температурні режими джерел відповідають найнижчим параметрам – тобто параметрам теплового насосу. Акумуляція тепла в бакові буде здійснюватися шляхом заповнення його різними кількостями теплової енергії від різних джерел. Також бак має тепловтрати у навколишнє середовище. Диференційне рівняння, що описує процес акумуляції тепла як функції температури термостабілізованого середовища від часу має вигляд:

$$m \times c \frac{dT}{dt} = Q_1 + Q_2 - k \times A \times (T - T_z) \quad (1)$$

де m – маса води в баці, кг; c – теплоємність води, Дж/(°C×кг); Q_1, Q_2 – потужності джерел тепла нагріву баку (традиційного і альтернативного джерел), Вт; k – коефіцієнт теплопровідності стінки баку, Вт/(°C×м); T_z – зовнішня температура при якій розглядається процес нагріву, A – площа поверхні тепловіддачі баку, м².

Припустимо, що бак об'ємом 0,4 м³ знаходиться у приміщенні зі сталюю температурою +10 °C і має коефіцієнт $k=3$ Вт/(°C×м). Площа стінки баку $A=1,96$ м², початкова температура води в баці +15 °C. Рішення даного рівняння дозволяє проаналізувати різні сценарії розвитку процесу акумуляції тепла без відбору тепла. При співвідношенні традиційного і альтернативного джерел енергії $Q_1 = 3$ кВт, $Q_2 = 5$ кВт, отримуємо ситуацію, зображену на рисунку 5 (а).

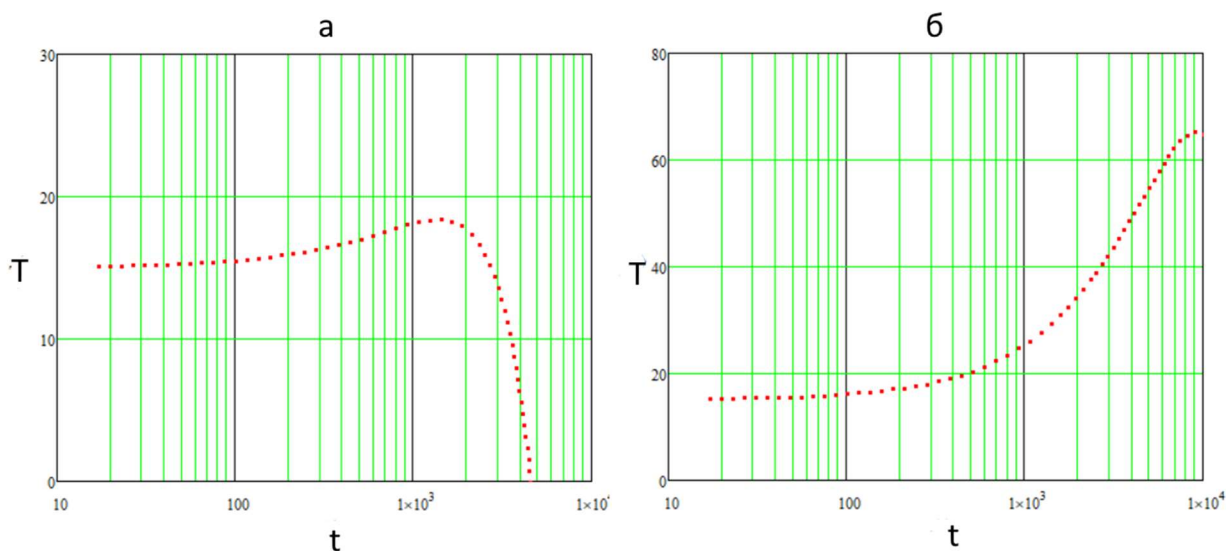


Рис.унок 5 – Динаміка температури в теплоаккумуляторі в залежності від співвідношення потужностей джерел тепла і термічного опору стінки баку акумулятора

Як видно з рисунку 5а через теплові втрати баку і незначні потужності нагріву бак неможливо прогріти навіть до +20 С, що є неприпустимим. Змінивши вихідні дані на наступні: $Q_1 = 10$ кВт, $Q_2 = 8$ кВт, $k=1$ Вт/(°C×м) отримаємо ситуацію, зображену на рисунку 5 б. Вода прогрівається протягом 10 000 с до температури близько 62 °C після чого набуває процес сталості тепловтрат і теплонадходжень. Максимальна температура теплоносія у баці залежить від температури теплоносіїв джерел тепла, у нашому випадку +65 С подача і 60 С зворотна вода.

Висновки

У статті розглянуто результати натурних замірів виробництва та споживання електричної енергії від сонячних батарей, запропоновано комплексне рішення з заміни традиційного тепlopостачання від районної котельні на систему, що складається з теплового насосу і сонячної батареї. Виявлено, що незважаючи на трикратне зростання потужності станції спостерігається значний дефіцит генерації електричної енергії, потрібної для роботи теплового насосу. Як варіант рішення запропоновано комбінувати традиційні і альтернативні джерела тепlopостачання і використати для цього бак теплоаккумулятор. Але бак можна використовувати за призначенням лише за умови раціональних вхідних параметрів - потужностей традиційного і альтернативного джерел тепла, зовнішньої температури, початкової і кінцевої температури теплоносія, величини утеплення бака.

Використання сонячних колекторів, баків акумуляторів і теплових насосів дозволить значно зменшити споживання традиційних джерел енергії і витрати на опалення приміщень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря. К.: Мінрегіонбуд України. 2014 р.
2. І.М. Карп та інші. Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні. К.: Наукова думка. (2022). У двох книгах.
3. Організаційно-економічний механізм енергозбереження: монографія / Ю. В. Дзядикевич, В. Я. Брич, В. В. Дзеджула [та ін.]. – Тернопіль : ТНЕУ, 2018. – 154 с.
4. Dincer, I., & Zamfirescu, C. (2013). District Heating: Thermal Generation and Distribution. Elsevier.
5. Ochsner, K., & Curtis, R. (2017). Geothermal Heat Pumps: A Guide for Planning and Installing. Earthscan.
6. Jones, L. E. (2014). Renewable Energy Integration: Practical Management of Variability, Uncertainty, and Flexibility in Power Grids. Academic Press.
7. Zubair, S. M. (2016). Heat Pumps: Fundamentals and Applications. CRC Press.
8. Kadry, S. (2018). Alternative Energy Systems: Design and Analysis with Induction Generators. Springer.
9. Kravanja, Z., & Duić, N. (Eds.). (2016). Integration of Renewable Energy Sources in Sustainable District Heating and Cooling Systems. Academic Press.

REFERENCES

1. DBN V.2.2-5:2023 Zahisni sporudi civil'nogo zahistu (zi zminoyu №1) K.: Ministerstvo rozvitku gromad, teritorij ta infrastrukturi Ukraini. 2023 r.
2. I. M. Karp ta inshi. Stan ta shlyahi rozvitku sistem centralizovanogo teplopostachannya v Ukraini. K.: Naukova dumka. (2022). U dvoh knigah.
3. Organizacijno-ekonomichnij mekhanizm energozberezhennya: monografiya / Yu. V. Dzyadikevich, V. Ya. Brich, V. V. Dzhedzhula [ta in.]. – Ternopil' : TNEU, 2018. – 154 s.
4. Dincer, I., & Zamfirescu, C. (2013). District Heating: Thermal Generation and Distribution. Elsevier.
5. Ochsner, K., & Curtis, R. (2017). Geothermal Heat Pumps: A Guide for Planning and Installing. Earthscan.
6. Jones, L. E. (2014). Renewable Energy Integration: Practical Management of Variability, Uncertainty, and Flexibility in Power Grids. Academic Press.
7. Zubair, S. M. (2016). Heat Pumps: Fundamentals and Applications. CRC Press.
8. Kadry, S. (2018). Alternative Energy Systems: Design and Analysis with Induction Generators. Springer.
9. Kravanja, Z., & Duić, N. (Eds.). (2016). Integration of Renewable Energy Sources in Sustainable District Heating and Cooling Systems. Academic Press.

Дзеджула В'ячеслав Васильович – доктор економічних наук, професор, енергоаудитор, сертифікований інженер проєктувальник, кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: djedjulavv@gmail.com, ORCID 0000-0002-2740-077

V. Dzhedzhula

INTEGRATION OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES INTO PUBLIC BUILDINGS' HEATING SYSTEMS

Vinnitsia National Technical University

Given the conditions of loss of generating capacities and the energy crisis as a whole, significant attention needs to be paid to alternative energy sources for heating and powering buildings and structures. A characteristic example is private households that use traditional fuels and electricity for heating and thermal supply. Another example is office and administrative buildings connected to central heating systems, whose owners are seeking ways to diversify heat supply. In recent years, the production of electricity using solar photovoltaic modules has become widespread. However, direct use of the generated energy for heating is inefficient and requires comprehensive solutions with maximum autonomy and energy efficiency. One such solution could be the integrated use of solar panels and heat pumps.

The article discusses, using the example of an office building, the results of actual measurements of electricity production and consumption from solar panels. A comprehensive solution is proposed to replace traditional heating from a district boiler house with a system consisting of a heat pump and solar panels. Based on measurement data, the necessary areas of solar panels are calculated, and the efficiency of replacing traditional energy sources with alternative ones is determined.

Keywords: solar panels, heat pump, heating, alternative heat sources.

Dzhedzhula Viacheslav – Doctor of Economics, Professor, Energy Auditor, Certified Design Engineer, Department of Construction, Urban Economy, and Architecture Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, email: djedjulavv@gmail.com, ORCID 0000-0002-2740-077