

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ У СИСТЕМАХ  
ОПАЛЕННЯ І ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ НА ПРИКЛАДІ  
МІСТА ЛУЦЬКА**

**APPLICATION OF HEAT PUMPS IN THE HEATING AND HOT  
WATER SUPPLY SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF  
LUTSK**

**Мосійчук І.В., магістр, Ужегова О.А., к.т.н., доц., Ротко С.В.,  
к.т.н., доц., Синій С.В., к.т.н., доц., Пахолюк О.А., к.т.н., доц. (Луцький  
національний технічний університет)**

**Mosiichuk I.V., master, Uzhehova O.A., Ph.D. in Engineering,  
Associate Professor, Rotko S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor,  
Synii S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Pakholiuk O.A.,  
Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical  
University)**

*Стаття написана за результатами виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньою програмою «Будівництво та цивільна інженерія». У роботі виконане аналітичне дослідження і техніко-економічні розрахунки використання теплового насосу «повітря-вода» в системі опалення і гарячого водопостачання 9-поверхового житлового будинку в м. Луцьку. Наведено приклади існуючих об'єктів, на яких для потреб систем опалення і гарячого водопостачання впроваджено теплові насоси різних типів та сонячні колектори.*

*In the work, an analytical study and technical and economic calculations of the use of an air-to-water heat pump in the heating and hot water supply system of a designed 9-story residential building in Lutsk, whose annual need for heat energy for heating and hot water supply is 1110417 kW or 955 Gcal.*

*Reasoned application of the "air-water" heat pump, as well as a comparison with other sources of heat supply. Taking into account the current tariffs, the annual costs for heating and hot water supply of a 9-story residential building in the city of Lutsk using different heat supply systems were obtained: the use of electric boilers will lead to the highest costs - UAH 1636.4 thousand, the costs will be slightly lower when using central heat supply - 1344.9 thousand UAH, gas boilers give costs of 1218.7 thousand UAH, and heat pumps give the lowest costs - only 555.2 thousand UAH.*

*The work studied the possibility of using solar collectors. The city of Lutsk is located on the territory where the intensity of solar radiation is 1000 kWh/m<sup>2</sup>-year. This geographical location of a 9-story residential building makes it possible to only partially use solar energy for heating and hot water supply. 60 solar collectors can be installed on the roof of the designed residential building, which will make it possible to obtain 133950 kW (115.2) Gcal of thermal energy per year, i.e., cover 12% of annual thermal energy needs.*

*By using a system of solar collectors in combination with other heat supply systems, it is possible to significantly optimize costs for heating and hot water supply. Thus, based on the comparative analysis, we can see that the most cost-effective system for the heating and hot water supply of a 9-story residential building in the city of Lutsk is a system consisting of thermal energy from an air-to-water heat pump in combination with a system of solar collectors. It should also be noted that in the spring-summer period when the most intense solar radiation is observed, the system of solar collectors will be able to provide approximately 95% of the thermal energy needs of a 9-story residential building in the city of Lutsk for hot water supply. In the same spring-summer period, the energy from the system with heat pumps of the "air-water" type can be used by the fan coil system for air conditioning needs.*

*Taking into account the advantages of using energy from heat pumps and solar collectors for the needs of heating systems and hot water supply, this principle was the basis of real projects implemented in the Volyn and Kherson regions of Ukraine.*

*Ключові слова: тепловий насос, сонячний колектор, джерела теплопостачання, система опалення, гаряче водопостачання.*

*Keywords: heat pump, solar collector, sources of heat supply, heating system, hot water supply.*

**Постановка проблеми.** Одним з напрямків впровадження концепцій "Індустрії 4.0" [1], енергоефективності та захисту навколишнього середовища в інженерних мережах є застосування теплових насосів різних типів та сонячних колекторів [2-7 та ін.]. Зокрема, актуальним завданням для України є розширення впровадження такого обладнання у системах опалення і гарячого водопостачання.

**Аналіз відомих досліджень і публікацій.** Система теплових насосів – екологічно чиста, оскільки тепла енергія отримується з навколишнього середовища – з ґрунту, вододжерел, повітря [3-7 та ін.]. Це сприяє захисту навколишнього середовища і знижує викиди вуглекислого газу. Крім того, впровадження сучасних систем теплових насосів узгоджується із сучасними вимогами підвищення енергоефективності систем опалення та водопостачання, має хороші перспективи для розвитку в Україні [3-9].

Для забезпечення гарячого водопостачання влітку і, в більшій чи меншій мірі, в міжсезоння зручно застосовувати сонячні колектори, які можуть забезпечити отримання практично безкоштовної теплової енергії значну частину року. Такі системи досить надійні і можуть прослужити понад 25 років. Разом з тим для теплопостачання взимку зручно застосовувати конденсаційні газові котли, які зазвичай на 12-15% економніші від турбо- та атмосферних газових котлів за витратою газу. У Європі вже з 2015 року дозволяється використовувати тільки конденсаційні котли, а в Україні ця вимога набрала чинності з серпня 2022 року [10]. Такі технології об'єднують в єдину систему теплогенерації і розподілу енергії зі спільним регулятором. Це дає змогу оптимізувати

витрати енергоносіїв, досягнути значно вищого комфорту і спростити керування системою, створити «розумний будинок».

**Мета статті** – дослідження застосування теплового насосу «повітря-вода», в тому числі в комплексі з системою сонячних колекторів, в системі опалення і гарячого водопостачання 9-поверхового житлового будинку на прикладі міста Луцька.

**Основні завдання:** проведення, з аналізом практичних можливостей впровадження в українських реаліях теплових насосів різних типів та сонячних колекторів для потреб систем опалення і гарячого водопостачання, аналітичного дослідження і техніко-економічних розрахунків застосування теплового насосу «повітря-вода» в системі опалення і гарячого водопостачання 9-поверхового житлового будинку в місті Луцьку.

**Виклад основного матеріалу.** Зважаючи на переваги використання енергії від теплових насосів різних типів та сонячних колекторів для потреб систем опалення та гарячого водопостачання, ці принципи були покладені в основу реальних проєктів, впроваджених у Волинській та Херсонській областях України (рис. 1 – 4).

Завдяки практичному досвіду з проєктування та експлуатації, отриманому на цих та інших об'єктах, встановлено особливості застосування та техніко-економічних розрахунків теплових насосів типів «повітря-вода», «вода-вода» та геотермального для систем опалення та гарячого водопостачання громадських та промислових, житлових будівель, враховуючи їх використання в комплексі з системами сонячних колекторів.

Широкого поширення на вітчизняному ринку систем з тепловими насосами набуло застосування модульних теплових насосів, зокрема – типу flexoTHERM [4], який одержує теплову енергію з повітря і працює до температури  $-20^{\circ}\text{C}$ . Тому дана модель прийнята у статті для аналітичних досліджень застосування теплового насосу «повітря-вода» в системі опалення і гарячого водопостачання 9-поверхового житлового будинку на прикладі міста Луцька.

Ефективність теплових насосів характеризує коефіцієнт перетворення енергії COP (coefficient of performance). Він показує кількість теплової енергії, яку продукує тепловий насос, споживаючи 1 кВт·год електричної енергії. Залежно від температури в системі опалення і температури зовнішнього повітря для прийнятого теплового насоса [4] коефіцієнт перетворення енергії COP може досягати 4,8.

Теплові насоси можуть об'єднуватись в одну систему з газовим або електричним котлом та при цьому керуватись спільною системою автоматики, завдяки якій інженерна мережа будівлі може вибирати щоразу найефективнішу та економну технологію живлення.



Рис. 1. Практичний досвід: сонячні колектори і теплові насоси для систем опалення та гарячого водопостачання готелю (м. Луцьк)



Ри. 2. Практичний досвід: сонячні колектори для систем опалення та гарячого водопостачання Новотроїцького масло-сирзаводу (Херсонська область)



Рис. 3. Практичний досвід: геотермальний тепловий насос для опалення та гарячого водопостачання готельного комплексу (Волинська область)



Рис. 4. Практичний досвід: тепловий насос типу «вода-вода» та сонячні колектори для опалення і гарячого водопостачання готельно-ресторанного комплексу (Волинська область)

Найбільшої ефективності використання теплового насоса можна досягти при температурі в системі опалення 30-35°C, застосовуючи панельний обігрів – теплі підлоги, теплі стіни, великоформатні панельні радіатори. Влітку теплові насоси можуть працювати в режимі охолодження для кондиціонування повітря.

Виконаємо техніко-економічне обґрунтування встановлення систем опалення та гарячого водопостачання запроєктованого 9-поверхового житлового будинку в м. Луцьку, спочатку розрахуємо його потребу в тепловій енергії за даними табл. 1.

Таблиця 1

Вхідні параметри для розрахунку потреби в тепловій енергії

Показник	Значення
Загальна площа будівлі, м <sup>2</sup>	4649
Температура в будинку, °C	20
Тепловтрати при -14 °C, Вт/м <sup>2</sup>	84
Різниця температур	34
Максимальна кількість жителів, люд.	160
Середня кількість жителів, люд.	150
Норма використання гарячої води в добу на 1 люд., л	50
Загальне середнє добове споживання гарячої води, м <sup>3</sup>	8

Із врахуванням середньої температури місяців з жовтня по квітень, коли є потреба в опаленні [8], виконано розрахунок питомих теплових втрат кожного місяця, а також визначено помісячні загальні теплові втрати

на весь будинок (табл. 2). У табл. 2 також подано загальну потребу всього 9-поверхового житлового будинку в м. Луцьку в тепловій енергії на опалення та гаряче водопостачання як на кожен місяць окремо, так і на весь рік.

Таким чином, за розрахованими у таблиці 2 даними, річна потреба в тепловій енергії на опалення та гаряче водопостачання становить 1 110 417 кВт (1 110,417 МВт) або 955 Гкал.

Знаючи річну потребу 9-поверхового житлового будинку в тепловій енергії, можна вирахувати загальні витрати на опалення та гаряче водопостачання при використанні:

- системи центрального теплопостачання;
- системи з використанням газових котлів;
- системи з використанням електричних котлів;
- системи з використанням теплових насосів типу «повітря – вода».

Для розрахунків потреби в тепловій енергії скористаємось параметрами, наведеними в таблицях 2 та 3.

Таблиця 2

Розрахунок місячних і річної потреби в тепловій енергії 9-поверхового житлового будинку на опалення та гаряче водопостачання

Місяць	Теплові втрати, Вт·год/м <sup>2</sup>	Теплові втрати загальні, кВт·год/м <sup>2</sup>	Потреба в тепловій енергії на опалення і гаряче водопостачання, кВт
Липень	-	-	5580
Серпень	-	-	5580
Вересень	-	-	5400
Жовтень	26,5	123,2	91661
Листопад	51,6	239,9	172728
Грудень	56,7	263,6	196118
Січень	61,2	284,5	211668
Лютий	53,9	250,6	168403
Березень	44,7	207,8	154603
Квітень	26,2	121,8	87696
Травень	-	-	5580
Червень	-	-	5400
Всього			1 110 417

Таблиця 3

Технічні параметри обладнання для опалення та гарячого водопостачання

Показник	Значення
Теплотворна здатність газу, кВт/м <sup>3</sup>	8
ККД теплового насосу типу «повітря – вода», к	2,8
ККД електричного котла, к	0,95
ККД газового котла, к	0,91

Враховуючи річну потребу в тепловій енергії на опалення та гаряче водопостачання, яка становить 1 110 417 кВт або 955 Гкал, та дані табл. 3, визначаємо вартість енергоносіїв на опалення та гаряче водопостачання (табл. 4). Тарифи на електроенергію – 1,68 грн./кВт·год, на газ – 7,99 грн./м<sup>3</sup>, на теплову енергію – 1408,27 грн./ Гкал, взято з відкритих джерел.

При умові тепlopостачання протягом року від центральної котельні, знаючи діючий тариф на теплову енергію 1 Гкал = 1408,27 грн. (взято з відкритих джерел), можна визначити, що розрахункова вартість опалення та гарячого водопостачання 9-поверхового житлового будинку в м. Луцьку становить: 955 Гкал × 1408,27 грн. = 1344897,8 грн.

Таблиця 4

Вартість енергоносіїв на опалення та гаряче водопостачання  
9-поверхового житлового будинку в рік

Тарифи на електроенергію, грн/кВт·год	1,68	
	при одностарифному лічильнику	при двотарифному лічильнику *
Тепловий насос, грн.	666250	555208
Електричний котел, грн.	1963685	1636404
Тарифи на газ, грн/м <sup>3</sup>	7,99	
Газовий котел, грн.	1218713	

\* при двотарифному лічильнику електроенергії 9-поверховий житловий будинок може використовувати електроенергію для опалення та гаряче водопостачання з 23:00 до 7:00 з коефіцієнтом 0,5 від діючого тарифу, тобто 33,3 % роботи обладнання може працювати за пільговим тарифом (0,84 грн./кВт·год) при нормативному тарифі 1 грн. 68 коп. за 1 кВт·год.

У табл. 5 наведено витрати 9-поверхового житлового будинку в м. Луцьку на опалення та гаряче водопостачання, розраховані з використанням різних джерел теплопостачання.

Таблиця 5

Витрати на опалення та гаряче водопостачання з використанням різних джерел теплопостачання

Джерело теплопостачання	Вартість за рік, грн.
Електричний котел	1636404
Централізоване теплопостачання	1344898
Газовий котел	1218713
Тепловий насос	555208

Розрахуємо ефективність використання сонячних колекторів для часткового покриття потреби 9-поверхового житлового будинку в м. Луцьку в тепловій енергії.

Географічне розташування 9-поверхового житлового будинку дає можливість лише частково використовувати сонячну енергію для теплопостачання та гарячого водопостачання. Місто Луцьк розташоване на території, де інтенсивність сонячного випромінювання становить  $1000 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$ .

Для розрахунку перетворення сонячної енергії на теплову використовуємо поширені на вітчизняному ринку плоскі сонячні колектори моделі augoTHERM [4], зокрема – типу VFK 150 V (ефективна площа  $2,35 \text{ м}^2$ , відсоток поглинання,  $\alpha=95\%$ ). На даху розглядуваного 9-поверхового житлового будинку існує можливість розміщення 60-ти таких колекторів. Тому, тепла енергія, яку можна отримати за допомогою системи з цих сонячних колекторів за рік становить:  $Q_{\text{ск}} = 60 \times 2,35 \times 1\,000 \times 0,95 = 133950 \text{ кВт}$  або  $115,2 \text{ Гкал}$ .

Отже, враховуючи дані табл. 2, застосування системи сонячних колекторів може покрити близько 12 % річних потреб в тепловій енергії на опалення та гаряче водопостачання 9-поверхового житлового будинку у м. Луцьку.

Використовуючи систему сонячних колекторів в комплексі з іншими джерелами теплопостачання можна отримати річні витрати, подані в табл. 6.



Таблиця 6

Витрати на опалення та гаряче водопостачання з використанням різних джерел теплопостачання в комплексі з системою сонячних колекторів

Джерело теплопостачання	Вартість за рік, грн.
Електричний котел + Система сонячних колекторів	1529244
Централізоване теплопостачання + Система сонячних колекторів	1237738
Газовий котел + Система сонячних колекторів	1111553
Тепловий насос + Система сонячних колекторів	448048

**Висновки.** Практичний досвід з проектування та експлуатації систем опалення та гарячого водопостачання громадських та промислових, житлових будівель підтвердив перспективність розвитку застосування у схемах цих систем теплових насосів типів «повітря-вода», «вода-вода» та геотермального та їх використання в комплексі з системами сонячних колекторів, в тому числі – для географічних та інших техніко-економічних умов Волинської області.

Також, на основі проведеного порівняльного аналізу бачимо, що найефективнішою за вартістю системою теплопостачання для опалення та гарячого водопостачання 9-поверхового житлового будинку у місті Луцьку виявилась система, яка складається з теплової енергії від теплового насоса типу «повітря-вода» в комплексі з системою сонячних колекторів. Поступове зниження вартості обладнання (теплових насосів, сонячних колекторів) збільшує обсяги його використання у вітчизняному будівництві та підвищує конкуренцію серед його виробників.

Також слід зазначити, що у весняно-літній період, коли спостерігається найінтенсивніше сонячне випромінювання, система з сонячних колекторів зможе орієнтовно на 95 % забезпечити потреби 9-поверхового житлового будинку у місті Луцьку в тепловій енергії на гаряче водопостачання. У цей же весняно-літній період енергія від системи з тепловими насосами типу «повітря-вода» може використовуватися системою фанкойлів для потреб кондиціонування приміщень.

#### References

1. Hermann M., Pentek T., Otto B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. *49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*. 2016. pp. 3928-3937. URL: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
2. Synii S. V. Napriamky rozvytku tekhnolohii monitorynhu v systemakh vodopostachannia mista Lutska. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. 2017. Vyp. 7. S. 227-232.

3. Kuts H. O., Stanytsina V. V., Kobernyk V. S. Porivnialna otsinka vartosti teplovoi enerhii vid diuchykh ta prohnzovanykh teploheneruiuchykh dzherel dlia system teplopостachannia krainy. Problemy zahalnoi enerhetyky. 2016. Vyp. 3 (46). S. 12-18.4. Vaillant. URL: <https://www.vaillant.ua/>
5. Panasonic. URL: <https://panasonic.net.ua/ua>
6. Mitsubishi Electric. URL: <https://www.mitsubishi-aircon.com.ua/>
7. Viessmann. URL: <https://www.viessmann.ua/>
8. DSTU B A.2.2-12:2015. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvittleni ta hariachomu vodopostachanni. Chynnyi vid 2016-01-01. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2015.
9. Protsenko S. B., Novytska O.S., Kizieiev M. D. Osoblyvosti novoi metodyky rozrakhunku proektnoho teplovoho navantazhennia system opalennia budivel za DSTU EN 12831-1:2017. Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktssii v budivnytstvi. 2019. T.25. №2. S.140-144. URL: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2018-2-140-144>
10. Tekhnichniy rehlament vodohriinykh kotliv, shcho pratsiuut na ridkomu chy hazopodibnomu palyvi: Postanova KM Ukrainy vid 27.08.2008 r. № 748. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/748-2008-п#Text>

#### **Список використаної літератури**

1. Hermann M., Pentek T., Otto B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS). 2016. pp. 3928-3937. URL: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
2. Синій С. В. Напрямки розвитку технологій моніторингу в системах водопостачання міста Луцька. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2017. Вип. 7. С. 227-232.
3. Куц Г. О., Станиціна В. В., Коберник В. С. Порівняльна оцінка вартості теплової енергії від діючих та прогнозованих теплогенеруючих джерел для систем теплопостачання країни. *Проблеми загальної енергетики*. 2016. Вип. 3 (46). С. 12-18.
4. Vaillant. URL: <https://www.vaillant.ua/>
5. Panasonic. URL: <https://panasonic.net.ua/ua>
6. Mitsubishi Electric. URL: <https://www.mitsubishi-aircon.com.ua/>
7. Viessmann. URL: <https://www.viessmann.ua/>
8. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. Чинний від 2016-01-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015.
9. Проценко С. Б., Новицька О.С., Кізеєв М. Д. Особливості нової методики розрахунку проектного теплового навантаження систем опалення будівель за ДСТУ EN 12831-1:2017. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2019. Т.25. №2. С.140-144. URL: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2018-2-140-144>
10. Технічний регламент водогрійних котлів, що працюють на рідкому чи газоподібному паливі: Постанова КМ України від 27.08.2008 р. № 748. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/748-2008-п#Text>