



Державна служба  
геології та надр  
України



ДКЗ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Інститут геологічних наук Національної академії наук України  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
Львівський національний університет імені Івана Франка

2024 

# МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

IX міжнародна науково-практична конференція

## НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ. ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ

7-11 жовтня 2024, м. Львів, Україна

IX international scientific-practical conference

## SUBSOIL USE IN UKRAINE. PROSPECTS FOR INVESTMENT

7-11 october 2024, Lviv, Ukraine

## ГЕОТЕРМАЛЬНІ РЕСУРСИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ФАЗОЗМІННИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СХОВИЩ ТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ

*Іванік О.М.<sup>1,2</sup>, д. геол. н., проф., ivanik@knu.ua;*

*Вишва С.А.<sup>1</sup>, д. геол. н., проф., s.vyzhva@knu.ua;*

*Ісаєв М.В.<sup>2</sup>, к. фіз.-мат. н., др. хаб., mykola.isaiev@univ-lorraine.fr;*

*Кравченко Д.В.<sup>1</sup>, к. геол. н., доц., dmytro.kravchenko@knu.ua;*

*1 - Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна,*

*2 - Університет Лотарингії, м. Нансі, Франція*

Україна має значний потенціал для розвитку геотермальної енергетики. Це пов'язано з із сприятливими геологічними та геоморфологічними умовами, а також наявністю перспективних геотермальних ресурсів. За геолого-структурними особливостями найбільш перспективними об'єктами для розробки геотермальних джерел в Україні є Закарпатський та Передкарпатський прогини, Придобружинський прогин та Дніпровсько-Донецька западина. Визначено перспективи використання фазозмінних матеріалів для сховищ термальної енергії. Виконано моделювання та експериментальні дослідження, що підтверджують високу енергетичну ємність цих матеріалів. Обґрунтовано можливості використання порових середовищ для проектування та створення термальних сховищ.

## GEOTHERMAL RESOURCES AND APPLICATION OF PHASE CHANGE MATERIALS FOR THERMAL ENERGY STORAGE

*Ivanik O.<sup>1,2</sup>, Dr. Sci. (Geol.), Prof., ivanik@knu.ua;*

*Vyzhva S.<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Geol.), Prof., s.vyzhva@knu.ua;*

*Isaiev M.<sup>2</sup>, Cand. Sci. (Phys.-Math.), HDR, mykola.isaiev@univ-lorraine.fr;*

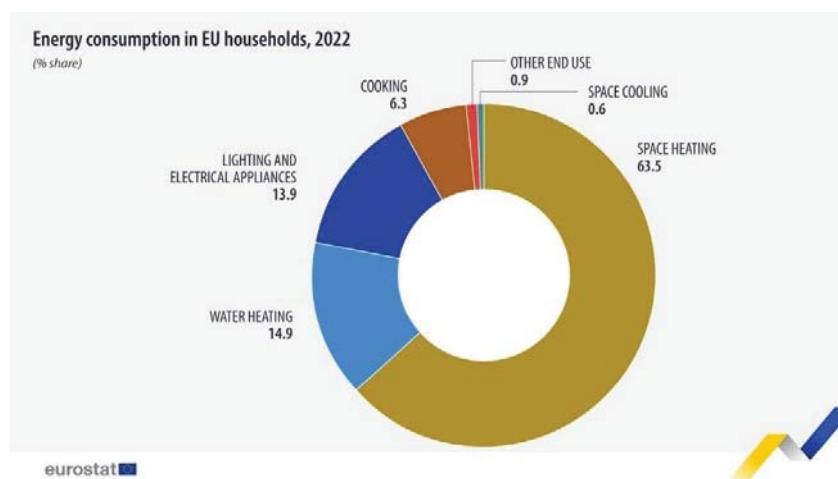
*Kravchenko D.<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., dmytro.kravchenko@knu.ua;*

*1 - Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine,*

*2 - University of Lorraine, Nancy, France*

Ukraine has significant potential for the development of geothermal energy. This is due to favorable geological and geomorphological conditions, as well as the presence of promising geothermal resources. According to geological and structural features, the most promising objects for the development of geothermal sources in Ukraine are the Transcarpathian and Precarpathian depressions, the Dobruzhyn depression and the Dnieper-Donets basin. The prospects of using phase-change materials for thermal energy storage have been determined. Modeling and experimental studies have been carried out to confirm these materials' high energy capacity. The possibility of using porous media to design and create thermal storages is substantiated.

Згідно з даними Євростату, найбільша частка споживання енергії домогосподарствами в Європі припадає на опалення приміщень, що становить понад 60% відсотків загального споживання (рис. 1). Таким чином, щоб зменшити викиди парникових газів, а також знизити споживання викопного палива, необхідно знайти інший спосіб задоволення потреб в обігріві приміщень. Поряд з гідроенергією, сонячною та вітровою енергетикою все більше уваги приділяють використанню тепла Землі, зважаючи на його незалежність від кліматичних і сезонних факторів, а також відносну невичерпність. З цієї точки зору геотермальні джерела є високоперспективними [3]. Сьогодні геотермальна енергія широко доступна по всій Європі, хоча її потенціал ще не повністю реалізовано. Безумовно, ця енергія має велике стратегічне значення для розвитку енергетичної промисловості на довгостроковій основі завдяки своїй здатності виробляти відновлювану електроенергію та можливості забезпечення промислового та житлового опалення та кондиціонування.



**Рис. 1. Споживання енергії домогосподарствами в ЄС**  
(за даними Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained>)

Геотермальну енергію можна використовувати трьома основними способами: виробництво електроенергії, пряме використання та геотермальні теплові насоси (також відомі як геообмін) [2,5]. В даний час технологія, яка використовується в основному для опалення та охолодження, відносно добре розроблена, однак у багатьох випадках вона все ще є достатньо дорогою; в цьому плані важливо враховувати витрати, щоб зробити цей вид енергії більш привабливим для споживачів і скоротити час на повернення інвестицій. Уряди деяких європейських країн вирішують цю проблему, пропонуючи стимули для скорочення споживчих витрат. Наприклад, вони пропонують податкові пільги для споживачів, які використовують чисті відновлювані джерела енергії для опалення та охолодження, такі як установка сонячних панелей або геотермальних теплових насосів.

Україна має значний потенціал для розвитку геотермальної енергетики. Це пов'язано з із сприятливими геологічними та геоморфологічними умовами, а також наявністю перспективних геотермальних ресурсів. В Україні щорічно можна видобувати близько 90 млрд кВт/год геотермальної енергії та замінювати 10 млрд кубометрів газу. Згідно з даними Держенергоефективності України, поточна річна потужність використання відновлюваних джерел енергії еквівалентна близько 98 млн т умовного палива, з яких геотермальна енергія становить менше 12 відсотків. Ці дані демонструють, що, незважаючи на сприятливі геологічні умови, використання геотермальної енергії в Україні становить лише близько 1/4 сонячної енергії [4].

Доведеним є потенційний вплив використання геотермальних ресурсів на зменшення викидів парникових газів. Передбачається, що у 2030 році майже 195 млн т викидів CO<sub>2</sub> можна буде уникнути завдяки використанню геотермальних ресурсів [7]. Тим не менш, ця методологія була адаптована лише для регіонів з високою щільністю виробничого процесу, і її слід адаптувати для більшості країн Європи. Також у цьому контексті важливим є розуміння культурно-соціального впливу пострадянської економіки з необмеженим доступом до викопного палива.

Більшість геотермальних проектів у світі спрямовані на дослідження геосистем із конвекційним перенесенням тепла, в тому числі в зонах тектоно-магматичної активізації. За геолого-структурними особливостями найбільш перспективними об'єктами для розробки геотермальних джерел в Україні є Закарпатський та Передкарпатський прогини, Придубружинський прогин та Дніпровсько-Донецька западина [6]. Для перших двох регіонів геологічні та геофізичні дані підтверджують, що температури на глибинах до 6 км сягають від 230 до 275 °C.

Проте наразі наукові, геолого-розвідувальні та практичні роботи в Україні зосереджені більшою мірою на геотермальних ресурсах, які представлені термальними водами та є найбільш поширеними і придатними на сьогодні для технічного використання джерелами геотермальної енергії в Україні. Одним із перспективних напрямів розвитку геотермальної енергетики є створення комбінованих енергетичних технологічних вузлів для отримання електроенергії, тепла та цінних компонентів, що містяться в геотермальних джерелах.

Досягнення необхідного рівня зазначених досліджень можливе лише за умови комплексного використання сучасних технологій і методів дослідження геотермальних систем та теоретичного моделювання. Ці методи та технології включають геологічні та геофізичні дослідження, геомодельовання геотермальних басейнів і потоків з точки зору конвективності рідини та комбінованого теплообміну, а також гідродинамічне моделювання [1]. Потреба в комплексному підході продиктована попитом суспільства на безпечне, стійке та декарбонізоване виробництво енергії, що спирається на правильну геологічну інтерпретацію результатів окремих методів, якщо вони застосовуються окремо. При цьому застосування традиційних енергоносіїв (здебільшого води) з низькою ємністю акумульованої енергії вимагає створення систем зберігання енергії зі значними обсягами підземних резервуарів, що може спровокувати прояви небезпечних геологічних процесів. З цієї точки зору необхідно знайти альтернативу із можливою продуктивністю високої ємності.

У зв'язку з тим, що не всі регіони України є високоперспективними для потенційного використання геотермальних ресурсів, у представлених дослідженнях проаналізовано перспективні створення штучних термальних джерел та відповідного проектування термальних сховищ.

Основною ідеєю в цьому випадку є дослідження процесів накопичення енергії, коли існує доступ до зовнішніх енергетичних ресурсів (наприклад, сонячних), та їх використання за потреби. Серед доступних способів накопичення теплової енергії є використання теплової енергії, що генерується/поглинається під час фазових переходів. Однією із перспективних систем є система збереження тепла на основі застосування фазозмінних матеріалів (ФЗМ).

ФЗМ необхідні для накопичення/виділення тепла, що виникає в результаті кількох промислових і побутових процесів. Наприклад, тканини для одягу, які містять ФЗМ (такі як парафіни), забезпечують оптимальну терморегуляцію. Вони використовувались на Олімпійських іграх в Афінах 2004 року як жилети для попереднього охолодження, винайдені Австралійським інститутом спорту. Системи на основі ФЗМ також придатні для підвищення ефективності зберігання теплової енергії, виробленої із відновлюваних джерел, таких як сонячна та геотермальна енергія. Більше того, накопичувачі на основі ФЗМ дозволяють збирати промислову втрачену енергію для подальшого повторного використання.

Використання ФЗМ також може мати істотний вплив на охорону навколишнього середовища. У стійкій архітектурі ФЗМ використовуються, наприклад, для підтримки постійної температури в приміщенні, близької до теплового комфорту протягом тривалого часу. Це зменшує потребу в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, і, отже, зменшує споживання енергії та викиди парникових газів, що відіграє важливу роль у процесах декарбонізації.

Під час фазового перетворення температура є постійною. Останнє має вирішальне значення для створення систем опалення приміщень. У цьому випадку енергія накопичується під час ендотермічного процесу зміни фази. Використання прихованої теплоти дозволяє створювати системи з набагато більшою ємністю, ніж енергія, яку можна накопичити за допомогою відчутного тепла.

На сьогодні існують системи ФЗМ на основі n-алканів. Для цих матеріалів транспортні властивості, такі як теплопровідність, масопровідність і в'язкість, а також термічні властивості (теплоємність) є вирішальними для проектування термоакумулятора з високою продуктивністю.

На базі лабораторії LEMTA (CNRS, Франція) було виконано оцінку реологічних і теплових властивостей для гексадекану та октадекану, таких як теплопровідність, в'язкість, коефіцієнт дифузії, і теплоємність. Особливу увагу було приділено порівнянню результатів моделювання з експериментальними.

Теплоємність оцінювалась методом диференціальної скануючої калориметрії (ДСК). Вимірювання густини виконувалось за допомогою денсиметра Anton-Paar DMA 5000 m. Для досягнення рідкого стану діапазон температур встановлювався як для гексадекану від 308 К до 323 К, так і для октадекану зі швидкістю зміни температури 0,1 К/10 хв.

Вимірювання в'язкості проводилось за допомогою реометра TA Instruments AR2000, використовувалась конфігурація геометрії пластина-пластина з пластиною 60 мм і фіксованим проміжком 500 мкм між двома пластинами. Температуру для експерименту було встановлено на рівні 293 К (для гексадекану) і 303 К (для октадекану). Отримані результати відповідають даним моделювання, підтверджуючи точність експериментів.

Досліджені ФЗМ мають малу теплопровідність через високу щільність структури і відповідно малий коефіцієнт дифузії, тому існує значне обмеження частки енергії, яку можна передати за одиницю часу. В зв'язку з цим одним із перспективних напрямків є використання пористих середовищ (в тому числі осадових геологічних формацій), де матриця виконує роль каналів теплоносія.

#### **Список використаних джерел:**

1. Blöcher, G, Zimmermann, G., Moeck, I., Brandt, W., Hassanzadegan, A. & Magri, F. (2010). 3D numerical modeling of hydrothermal processes during the lifetime of a deep geothermal reservoir, *Geofluids*, 10, 3, 1468-8115 <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2010.00284.x>.
2. Boden, D.R. (2016). *Geologic fundamentals of geothermal energy*. 425 pp. 10.1201/9781315371436.
3. Glassley, W. (2010). *Geothermal energy: Renewable energy and the environment*. 285 pp. 10.1201/EBK1420075700.
4. Rudakov, D., & Inkin, O. (2019). An assessment of technical and economic feasibility to install geothermal well systems across Ukraine. *Geotherm Energy*, 7, 17. <https://doi.org/10.1186/s40517-019-0134-7>.
5. Steingrímsson, B., Gunnlaugsson, E., Saemundsson, K., & Axelsson, G. (2022). Nature and Classification of Geothermal Resources. In: *Comprehensive Renewable Energy (Second Edition)*, 7, 3-17. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819727-1.00118-7>.
6. Ulewicz, M., Zhelykh, V., Furdas, Y., & Kozak, K. (2021). Assessment of the Economic Feasibility of Using Alternative Energy Sources in Ukraine. In: Blikharsky, Z. (eds) *Proceedings of EcoComfort 2020. EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 100. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9\\_59](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_59).
7. Yousefi, H., Abbaspour, A. & Seraj, H. (2019). The Role of Geothermal Energy Development on CO<sub>2</sub> Emission by 2030, *PROCEEDINGS, 44th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, California, February 11-13, 2019 SGP-TR-214.