

**Рудаков Д.В., д.т.н., професор, завідувач каф. гідрогеології та інженерної геології,
Інкін О.В., д.т.н., професор, професор каф. гідрогеології та інженерної геології,
Дерев'ягіна Н.І., к.т.н., доцент, доцент каф. гідрогеології та інженерної геології**
(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ СИСТЕМ РІЗНИХ ТИПІВ ДЛЯ ОСВОЄННЯ ТЕПЛООВОГО РЕСУРСУ НЕПРАЦЮЮЧИХ ШАХТ УКРАЇНИ

Аналіз науково-практичного досвіду показує [1-4], що на даний момент в розвинутих країнах світу для вирішення проблем дефіциту теплової енергії в районах закритих шахт встановлено та експлуатуються геотермальні системи відкритого (теплоносій – шахтні води) та закритого типу (теплоносій – спеціальна рідина, що гідравлічно ізольована від шахтних вод, між ними відбувається теплообмін). Хоча переважна більшість цих систем має відносно невелику теплову потужність (до 1 МВт), цього достатньо для опалення однієї чи кількох будівель, розташованих неподалік від колишньої шахти, при цьому підтримується безпечний рівень підземних вод на прилеглих до шахт територіях. Отже, світовий досвід використання тепла шахт для опалення будівель демонструє технічні можливості реалізації, рентабельність та екологічну привабливість цієї геотехнології, що в умовах зростання цін на викопне паливо свідчить про необхідність практичного впровадження геотермальних систем на закритих шахтах в Україні.

Для оцінки можливості використання геотермальних систем різних типів в гірничо-геологічних та геотехнічних умовах закритих шахт Донецького вугільного басейну виконано комплексний аналіз результатів промислового й експериментального застосування цих систем на окремих об'єктах в різних країнах світу, враховуючи їх конструктивні переваги і недоліки, що обумовлюють різні сфери оптимального застосування даних геотермальних технологій. У зв'язку з цим, метою даної роботи є проведення комплексного аналізу експлуатації геотермальних систем різних типів, які використовуються для освоєння теплового ресурсу непрацюючих шахт з визначенням їх переваг та недоліків, а також обґрунтування рекомендацій щодо пріоритетних місць та умов розташування окремих типів систем на Донбасі.

Проведений аналіз роботи геотермальних систем різних типів в світі показує, що доцільність та пріоритет їх встановлення на закритих шахтах визначається сукупністю різних факторів, найважливішими серед яких є: мінералізація вод; розташування ставків-відстійників; рельєф місцевості; наявність та стан гірничих виробок; величина водовідбору; геотермічний градієнт (табл.1) [2-11]. Так, безповоротні системи відкритого типу з скидом термічно відпрацьованих вод у поверхневі водотоки, можуть бути рекомендовані на шахтах з незначною мінералізацією вод, що дозволить знизити витрати на їх очищення, а також на шахтах, де водовідлив забезпечує гідродинамічну безпеку прилеглих територій. Системи з скидом вод в ставки-відстійники енергетично доцільні лише в літній період та на шахтах де ставки розташовані поблизу місць відбору вод.

Системи зі зворотним скидом відпрацьованої води у шахту повинні застосовуватися коли скидання вод у водотоки неможливе через екологічні обмеження та на шахтах де в межах їх поля є додаткові стволи або свердловини великого діаметра. Системи з скидом вод до ствола, з якого відбувається їх відбір можуть бути рекомендовані на шахтах з незначним відбором, потужною зоною затоплення і великими значеннями геотермічного градієнта. Системи з зворотним скидом вод в горизонтальні гірничі виробки (галереї) характерні для шахт де ці виробки мають

широке поширення, наприклад для місцевості з значними перепадами абсолютних відміток.

Таблиця 1 – Об’єкти з використання геотермальної енергії на закритих шахтах у світі [2-9]

Країна	Кількість систем	Температура шахтних вод, °С	Температура води для споживача, °С	Витрата води при відкачуванні, м ³ /год	Доступний обсяг шахтних вод, млн. м ³	Теплова потужність, кВт	Глибина теплообмінника, м
Німеччина	14	10,2-50	19,42-90	10,8-1427	1,75-495	47-1500	0-216
Великобританія	4	12-15	45-55	0,72-125	н/д	62-68	0
США	3	12-16	22-50	17-20,5	265	112,5	0
Болгарія	1	16-20	н/д	252	н/д	н/д	н/д
Канада	1	н/д	н/д	н/д	8	3,6-5,3	
Росія	1	18-23	95	100	н/д	40 000	0
Словенія	1	33-34	н/д	н/д	н/д	н/д	
Україна	1	12	45	66,7	н/д -	60	0

Системи закритого типу на основі геотермальних зондів в умовах непрацюючих шахт можуть бути встановлені у верхній частині закладеного ствола з відбором тепла від гірських порід і у затоплених гірничих виробках з відбором тепла від шахтних вод. Незважаючи на меншу теплову потужність U-подібних зондів, внаслідок незначного діаметра труб (0,02 – 0,063 м) вони можуть бути розміщені майже у всіх наявних на шахтному полі вертикальних виробках. Встановлення коаксіальних зондів з більшою тепловою потужністю обмежено їх більшим діаметром (0,14 – 0,16 м).

Подальший розвиток досліджень у цьому напрямку доцільно проводити шляхом детального технологічного, екологічного та техніко-економічного обґрунтування встановлення різних геотермальних систем на конкретних закритих шахтах Донбасу.

Перелік посилань

1. Loredó, C., Roqueñí, N., & Ordóñez A. (2016). Modelling flow and heat transfer in flooded mines for geothermal energy use: A review. *Int J of Coal Geology*, 164, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.04.013>
2. Gillespie, M. R., Cran, E. J., & Barron, H. F. (2013). Deep geothermal energy potential in Scotland British Geological Survey Geology and Landscape. *Scotland Programme. Commissioned Report Cr*, 12(131), 125 p.
3. Banks, D., Athresh, A., Al-Habaibeh, A., & Burnside, N. (2019). Water from abandoned mines as a heat source: practical experiences of open- and closed-loop strategies, United Kingdom. *Sustainable Water Resources Management*, 5, 29–50.
4. Ramos, E., Breede, K., & Falcone, G. (2015). Geothermal heat recovery from abandoned mines: a systematic review of projects implemented worldwide and a methodology for screening new projects. *Environ Earth Sci*, 73, 6783–6795. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4285-y>.
5. Sadovenko, I., Rudakov, D., & Inkin, O. (2014). Geotechnical schemes to the multi-purpose use of geothermal energy and resources of abandoned mines. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 443–450.
6. Burnside, N. M., Banks, D., & Boyce, A. J. (2016). Sustainability of thermal energy production at the flooded mine workings of the former Caphouse Colliery, Yorkshire, United Kingdom. *Int J Coal Geol*, 164, 85–91.
7. Ni, L., Dong, J., Yao, Y., Shen, C., Qv, D., & Zhang, X. (2015). A review of heat pump systems for heating and cooling of buildings in China in the last decade. *Renewable Energy*. 30–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.043>.

8. LANUV NRW: *Landesamt für Natur, Umwelt, und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Potenzialstudie warmes Grubenwasser – Fachbericht 90.* (2018). Recklinghausen. 154 p.
9. Rudakov, D., & Inkin, O. (2021). Validation of the operation efficiency criteria for geothermal probes in flooded mine workings. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 100–105. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-5/100>
10. Casasso, A., & Sethi, R. (2019). Assessment and Minimization of Potential Environmental Impacts of Ground Source Heat Pump (GSHP) Systems. *Water*, 11. <https://doi:10.3390/w11081573>.
11. Liu, X., Malhotra, M., Walburger, A., & Skinner, J. (2016). Performance analysis of a ground-source heat pump system using mine water as heat sink and source. *ASHRAE Transactions*, 122, Part 2.