

УДК 621.577

УДК 697+697.3+621.577.012-837

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.5>

## ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ВОД В ЯКОСТІ ДЖЕРЕЛА ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

Салій І.В.<sup>1</sup>, Яковенко Л.О.<sup>1</sup>, Гончаренко М.І.<sup>1</sup>, Фролов П.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ<sup>2</sup>Верховна Рада України

dei2005@ukr.net, oprpbdea@gmail.com

Означені окремі проблемні питання екології та децентралізації джерел отримання й використання альтернативної енергії. Нині країни Європи спрямовують свою діяльність і на європейський зелений курс. Його мета – досягти кліматичної нейтральності на європейському континенті до 2050 року та забезпечити суспільно-економічний розвиток, не завдаючи шкоди довкіллю.

Енергетична криза та питання децентралізації джерел отримання енергії в останнім часом змушують шукати альтернативні комплекси отримання енергії. Динамічний розвиток екологічних джерел енергії вже зумовив їх використання в промислових процесах. Тому керівники підприємств намагаються вживати якомога ефективніших заходів для модернізації цієї сфери. Зростаючий інтерес до екологічних джерел енергії, безперечно, працює на користь захисту та поліпшення навколишнього природного середовища. Глобальна енергетична криза викликала зацікавленість до впровадження теплових насосів, що дозволить забезпечити енергетичну безпеку України, зменшити навантаження на довкілля та поліпшити клімат.

Тепловий насос є одним із екологічних джерел енергії, що може стати альтернативою, наприклад, газовому котлу, тому що він на 100% може бути екологічним. Проте його система буде повністю екологічна лише тоді, якщо для роботи використовуватиметься електроенергія, що надходитиме з відновлюваних джерел енергії.

Теплові насоси, які працюють від електроенергії з низьким рівнем викидів, є основною технологією глобального переходу до безпечного та сталого опалення, а також невід'ємною частиною будь-якого плану, спрямованого на скорочення викидів та використання природного газу. І на сьогодні – це невідкладний пріоритет у Європейському Союзі. Теплові насоси мають широкий спектр застосування. Вони використовуватимуться щодня не лише в системах централізованого теплопостачання, але й відіграватимуть важливу роль у відповідних галузях промисловості.

Ефективність опалення підвищуватиметься, особливо якщо використовувати відповідний насос з потрібною потужністю для тієї чи іншої території та правильного типу центрального опалення.

За результатами досліджень джерел наукової літератури визначено, що питання використання геотермальної енергії в умовах виробничих підприємств у поєднанні: енергетичного аудиту будівлі, теплового насоса та сонячної станції не висвітлено в науковій літературі, незважаючи на надзвичайну важливість та актуальність такої проблеми. *Ключові слова:* комплексна система використання геотермальної енергії, енергоаудит будівлі, тепловий насос, сонячні станції.

**The use of mine waters as a source of geothermal energy in the conditions of industrial enterprises. Saliy I., Yakovenko L., Honcharenko M., Frolov P.**

All European countries have directed their activities to the European Green Course. Its goal is to achieve climate neutrality on the European continent by 2050 and ensure economic development without harming the environment.

Environmental problems and the energy crisis and the issue of decentralization of energy sources recently force us to look for alternative energy production complexes. The dynamic development of ecological energy sources is already being implemented in industrial processes, and company managers are taking measures to modernize this area. The growing interest in green energy sources is definitely working in favor of protecting and improving the environment. The global energy crisis has sparked interest in the introduction of heat pumps, which will ensure Ukraine energy security and improve the climate.

The heat pump is one of the ecological sources of energy, which is an alternative to, for example, a gas boiler, because the heat pump can be 100% ecological. The whole system will be completely ecological only when it uses electricity from renewable energy sources to run the heat pump.

Low-emission electricity-powered heat pumps are a central technology in the global transition to safe and sustainable heating. Heat pumps are an integral part of any plan to reduce emissions and use natural gas, and are an urgent priority in the European Union today. Heat pumps have a wide range of applications that will not only work every day in district heating systems, but will also play an important role in industry.

Heating efficiency will increase, especially if you choose the right pump with the necessary power for the specific area and the correct type of central heating.

According to the results of researched sources of scientific literature, it was established that the issue of using geothermal energy in the conditions of industrial enterprises in combination: the energy audit of the building, heat pump and solar station is not covered in the scientific literature, despite the extremely high relevance of this problem. *Key words:* complex system of geothermal energy use, building energy audit, heat pump, solar stations.

**Постановка проблеми та актуальність досліджень.** Зелена енергія та пошук альтернатив пристроям із високим вмістом вуглецю є обов'язковими. Багатьом власникам та керівникам промислових підприємств незабаром доведеться впроваджувати екологічні, енергоефективні рішення отримання теплової енергії. Всі країни Європи спрямовують свою діяльність на Європейський зелений курс. Його мета – досягти кліматичної нейтральності на європейському континенті до 2050 року та забезпечити економічний розвиток без шкоди довкіллю. Щоб досягти нульового чистого викиду потрібно виконати значне скорочення використання вугілля, нафти та газу, вжити необхідних заходів щодо припинення продажів нових легкових автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння до 2035 року та поступове припинення роботи всіх вугільних і нафтових електростанцій до 2040 року [1].

На шахтах є оптимальні можливості для використання енергії з глибин землі і ця галузь енергетики потребує значних обсягів фінансування на державному рівні та відповідної законодавчої бази [2]. Крім законодавства у сфері виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії, діяльність у сфері геотермальної енергетики також урегульовано Водним кодексом України та Кодексом України «Про надра», а також Податковим кодексом України в частині сплати рентних платежів.

**Мета** науково дослідної роботи – обґрунтування ефективних та екологічно прийнятих рішень використання шахтних вод і безпечних технологічних способів освоєння теплового ресурсу закритих шахт за допомогою зміни їхнього енергетичного профілю завдяки використанню ґрунтових теплових насосів.

**Методи дослідження** – збір, систематизація й аналіз фактичних даних щодо властивостей відпрацьованих породних масивів, інженерний та геологічний аналіз.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематика статті є міждисциплінарною та торкається декількох сфер наукової та практичної діяльності – теплотехніки, енергетики та екології.

Як засвідчує аналіз останніх досліджень, усі технології, необхідні для досягнення відповідного глибокого скорочення глобальних викидів до 2030 року, вже існують, тому політика щодо сприяння їх розгортанню цілком реалістична й підкріплена практикою.

Так, теплові насоси, які працюють від електроенергії з низьким рівнем викидів, стали центральною технологією глобального переходу до безпечного та сталого опалення. У 2021 році близько 10% світових потреб в опаленні приміщень задовольнялися тепловими насосами і темпи встановлення їх стрімко зростають. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), теплові насоси в усьому світі можуть зменшити глобальні викиди вуглекис-

лого газу (CO<sub>2</sub>) щонайменше на 500 мільйонів тон у 2030 році, що на сьогодні дорівнює річним викидам CO<sub>2</sub> усіх автомобілів у Європі.

В опублікованому новому спеціальному звіті Міжнародного енергетичного агентства йдеться мова про те, що в світі у найближчі роки зросте використання теплових насосів оскільки глобальна енергетична криза прискорить їх впровадження. Опалення більшості будівель у всьому світі, таких як будинки, офіси, школи та заводи, все ще залежить від викопного палива, зокрема природного газу. В спеціальній доповіді МЕА «Майбутнє теплових насосів» зроблено комплексний глобальний прогноз по цій темі [3].

Дослідження фахівців та науковців з теплотехніки та енергетики були присвячені використанню теплових насосів на підприємствах в цілому – В.А. Коренда, І.Ю. Вишняков, О.С. Протасов, Н.В. Бірківська [4], О.В. Інкін, Д.В. Рудаков [5], В.Р. Сердюк О.В. Дєдова [6], С.О. Кудря [7]. Вагомий внесок наукових у дослідження використання теплових насосів в промисловості зробили М.К. Безродний, Н.О. Притула [8], Ю.Ф. Снежкін [9] та ін.

**Новизна** полягає у використанні шахтної води як безкоштовного джерела тепла для теплових насосів, через розташування значної кількості стовбурів, що перекачують воду з вугільних та залізородних шахт, ґрунтуючись на енерго аудиті будівель та використанні електроенергії, отриманої від сонячної станції. Тому поєднання енергетичного аудиту будівлі, теплового насоса та сонячної станції з розробленням проекту і виступатиме в якості новизни.

Розроблення умов раціонального застосування теплових насосів для опалення та правильного вибору параметрів низькотемпературного джерела теплоти і необхідних параметрів теплоносія в системі опалення у споживача.

**Виклад основного матеріалу.** Вагоме значення має тепловий ресурс шахтних вод Донбасу та інших гірничодобувних регіонів. Так, щорічний скид відкачуваних шахтних вод з температурою 16–20 °С навіть після припинення видобутку на багатьох шахтах в Україні сягає сотень мільйонів м<sup>3</sup>. На 2018 р. у світі існує 28 геотермальних систем на закритих шахтах модулями теплової потужності 0,35–4,6 МВт, більшість з яких встановлена у Рурському вугільному басейні Німеччини.

Для реалізації проекту необхідна підтримка урядової політики, щоб допомогти споживачам подолати вищі початкові витрати на теплові насоси порівняно з альтернативами. Витрати на придбання та встановлення теплового насоса можуть бути в два-чотири рази дорожчі, ніж на газовий котел. Фінансові стимули для теплових насосів уже доступні в понад 30 країнах, які разом покривають понад 70% попиту на опалення сьогодні. Багато з них також надають додаткову підтримку домогосподарствам з низькими доходами, де енергозбереження від теплового

насоса може бути значним, коливаючись від 2% до 6% доходу домогосподарства [3].

По-друге, для практичної реалізації технологічної схеми з використанням геотермальної енергії шахтних вод необхідно здійснити наукові дослідження та пошук екологічно прийнятних рішень в умовах діючих виробничих підприємств, зробити техніко-економічне обґрунтування ефективності її роботи, завдання якого полягають у наступному:

- оцінити мінімальний та максимальний тепловий потік, що виникає при відборі підземних вод з різних горизонтів шахти;

- визначити показники роботи теплових насосів залежно від температури шахтних вод;

- виконати порівняльний аналіз використання шахтних вод в теплових насосах з іншими видами низько потенційних джерел теплової енергії;

- визначити витрати електроенергії на роботу теплового насоса, а також вартість виробленого ними тепла, оцінити економічний ефект від роботи запропонованої геотермальної системи;

- виконати роботи по впровадженню гібридної сонячної станції для незалежного електроспоживання;

- кількісно оцінити зменшення викидів CO<sub>2</sub> за рахунок застосування теплових насосів і параметрів регулювання скиду шахтних вод, що забезпечують їх мінімальний вплив на поверхневі водотоки.

Забезпечення екологічно стійкого й довгострокового використання геотермального ресурсу з підтримкою гідродинамічно безпечного рівня шахтних вод, дозволить уникнути змішування шахтних вод з прісними водами, розташованими над водоносними горизонтами, які використовуються для водопостачання. Дозволить підвищити ефективність модуля за рахунок підтягування охолоджених вод, що скидаються назад у шахту після теплового використання. Такі питання потребують детального гідрогеологічного дослідження, дослідження геотермічних умов, визначення прогнозу зміни температур і полів фільтрації, узгодження створених теплових потужностей з потребами існуючих і перспективних споживачів теплової енергії з урахуванням сезонних коливань температура і енергоспоживання.

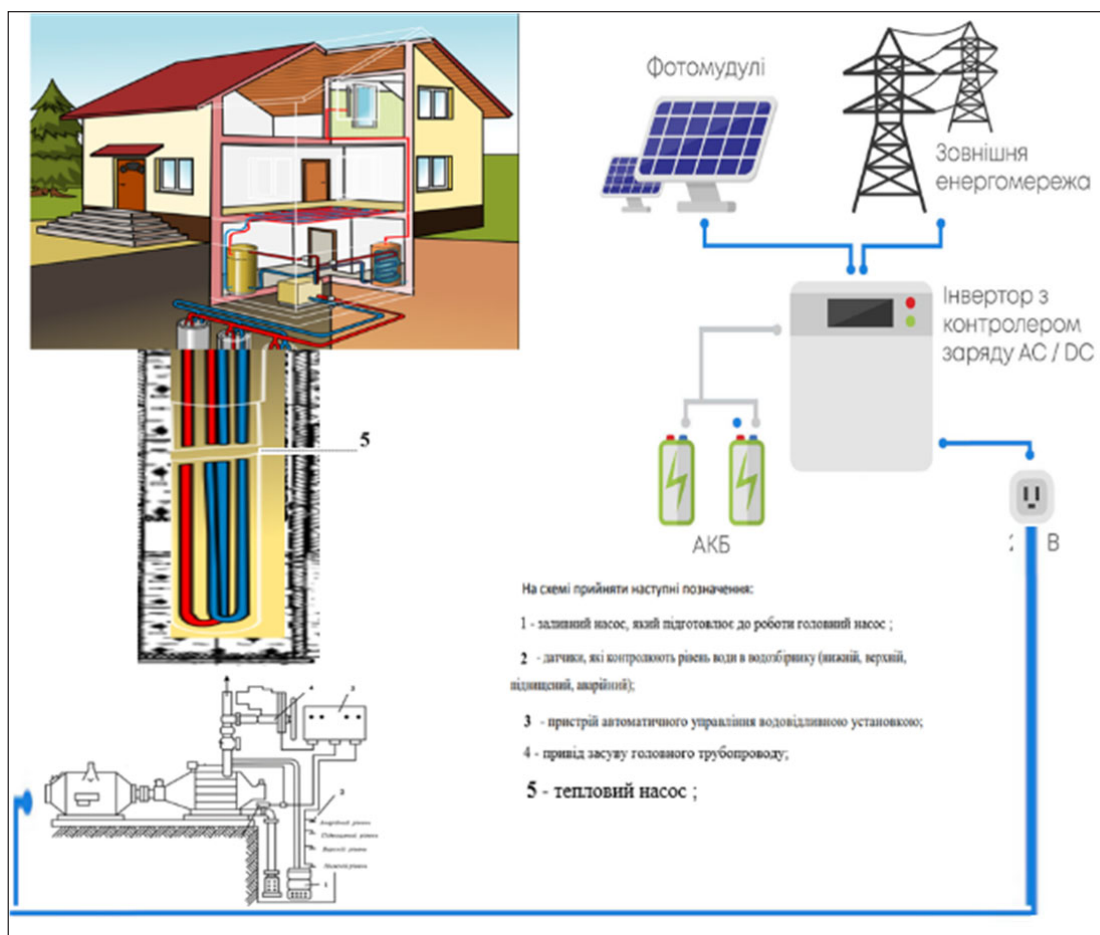
Існуючі схеми не є повними, вони не враховують наслідки використання мінералізованої води як теплоносія з високим вмістом солі. Відсутність відповідних рішень з цих питань призводить до того, що існуючий геотермальний потенціал закритих шахт в Україні майже не використовується.

Видобуток залізної руди та вугілля супроводжується великими обсягами відкачки підземних вод. Відповідно до програм Кабінету Міністрів України по реструктуризації гірничодобувної галузі кількість запланованих до ліквідації шахт в Україні постійно зростає. За останніми оцінками, на території країни вже існує та з'являється в найближчому майбутньому близько сотні шахт, що можуть завдати значної

шкоди навколишньому середовищу, призводять до великих втрат робочих місць, і при цьому потребуватимуть значних витрат на підтримання їх гідродинамічної безпеки. А наразі відпрацьовані стволи шахт цих підприємств є джерелом величезних ресурсів теплової енергії, яка зосереджена в шахтних водах та породному масиві та яка, незважаючи на позитивний світовий науково-практичний досвід розробки (Німеччина, Нідерланди, Іспанія, Словенія, Болгарія і Великобританія) [10], в даний час практично не використовуються. Необхідно також відзначити що, на етапі згорання гірничих робіт та у пост-експлуатаційний період, питання водо регулювання стає критичним як для рентабельності закриття підприємства, так і для підтримання його екологічної та технічної безпеки. Ці питання є найскладнішими за прогнозованістю і керованістю процесів інтенсивного техногенного перетворення гірничого масиву. У природному стані існує чітка вертикальна зональність підземної гідросфери за інтенсивністю водообміну. Вона порушується при веденні гірничих робіт внаслідок деформацій гірничого масиву, тому зона інтенсивного водообміну занурюється [11]. Це призводить до активізації зв'язку між гірничими виробками та водами покривних відкладень, поверхневими водотоками, збільшення водо притоку та виснаження ресурсів прісних вод.

Основні принципи технологічної схеми використання геотермальної енергії на основі підземної системи для отримання тепла з шахтної води полягають у наступному. Для попередження підтоплення відпрацьованих гірничих виробок шахти потрібен систематичний відбір шахтних вод за допомогою свердловин чи потужності існуючого водовідливу. Максимальна ефективність роботи свердловин досягається за суміщенні їх стовбурів з магістральними виробками. Підйом води здійснюється за допомогою електричних центробіжних насосів (мал. 1).

Після надходження шахтних вод на денну поверхню вони мають температуру, яка близька до температури гірничих порід на глибині їх відбору. Шахтні води подаються в проміжний теплообмінник, всередині якого циркулює теплоносієм. Віддавши тепло теплоносію і охолонувши, шахтні води або очищаються та направляються до гідрографічної мережі (безповоротна система), або повертаються до підземних виробок верхніх горизонтів (циркуляційна система). Теплоносієм з проміжного теплообмінника надходить до міжтрубного простору випарника теплового насоса, де охолоджується як низько потенційне джерело енергії, і знову направляється в теплообмінник. Вироблена насосом тепла енергія подається споживачу через опалювальний контур і гаряче водопостачання. Для покриття піків споживання теплової енергії будівлями в холодну пору року, коли теплової потужності геотермального модулю може виявитися недостатньо, використовується додаткова котельня, яка працює на тради-



Мал. 1. Принципова схема роботи теплового насоса з горизонтальним теплообмінником

ційних енергоносіях (вугілля, газ). Запропонована технологічна схема використання шахтних вод як основа отримання геотермальної енергії має ряд переваг, у тому числі екологічних (контроль рівня підземних вод шляхом регулювання витрати відбору води, зниження впливу на навколишнє середовище через економію викопного палива) і енергетичних (опалення будівель). Тепловий насос може бути альтернативою, наприклад, газовому котлу. Він буде на 100% екологічний за однієї основної умови, коли електроенергія, яка використовується для роботи теплового насоса, надходить з відновлюваних джерел енергії – сонячних електростанцій.

Теплові насоси в промисловості знаходять усе ширше застосування. Їх ефективність зростає, а універсальність використання обумовлена економічністю, особливо на великих підприємствах, де є величезні корисні площі для обігріву, які були б просто надзвичайно дорогими за традиційного обігріву. Теплові насоси пропонують великі можливості, особливо те, що їх використання стає все більш поширеним, а конструкція все більш стабільною. Ефективність опалення підвищується, якщо вибрати правильний насос з потрібною потужністю для потрібної території та правильного типу центрального опалення. Як наслідок, отримаємо

тепловий насос, який буде найдешевшим джерелом енергії.

Що важливо, до впровадження системи опалення тепловим насосом необхідно зробити перший крок до зменшення енергоспоживання будівлі, цим кроком стати енерго аудит промислових будівель, це дозволить здійснити обстеження з метою розроблення заходів, які дозволять його подальшу безпечну експлуатацію з урахуванням заходів енергозбереження. Енергетичний аудит повинен охоплювати всі елементи, установки та пристрої, пов'язані зі споживанням енергії в будівлях, а саме: установки опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, установки гарячого водопостачання, освітлення, стіни, дахи, плоскі дахи, відновлювані джерела енергії (фотоелектричні панелі, сонячні колектори, установки для спалювання біомаси, теплові насоси), інші, нетрадиційні джерела енергії та охолодження. Аудит має охоплювати не менше 90 відсотків загального споживання енергії пов'язаного з діяльністю підприємства, що використовується як в пристроях, так і в установках, транспортних засобах і будівлях. Метою енергоаудиту є підвищення енергоефективності певної компанії або вивчення можливостей її покращення, що стає все більш важливим у контексті вимог законодавства та поточної декарбонізації

економіки. Енергоаудит повинен завершуватися аудиторським звітом, який повинен містити узагальнену оцінку та пропозиції щодо дій щодо покращення енергоменеджменту в компанії.

**Перспективи використання.** Теплові насоси мають широкий спектр застосувань, які будуть працювати не тільки щодня в системах централізованого теплопостачання, але й відіграватимуть важливу роль у промисловості. Визначальним фактором розміру теплового насоса є його тепла потужність, яка повинна перевищувати 100 кВт. Використання теплових насосів у промисловості стає все більш популярним, тому що завдяки їхнім технічним можливостям можна використовувати такі насоси, як ґрунтові так і повітряні.

Реалізація науково-дослідної роботи дозволить істотно зменшити негативний вплив процесу скидання шахтних вод на якість води у водний об'єкт, а також забезпечити відсутність негативного впливу на клімат, здоров'я людей, забезпечення екологічної безпеки при експлуатації ставків-накопичувача шахтних вод за рахунок впровадження сучасних технологій протифільтраційного захисту.

**Висновки.** Розглянуті матеріали, а також оцінка сфер раціонального застосування ґрунтових тепло-насосних систем на гірничо-видобувних підприємствах України та напрямів підвищення їх енергоефективності задля забезпечення теплопостачання протягом усього опалювального періоду, дозволяють зробити такі висновки:

1. Для виробничих підприємств в умовах сучасного економічного становища ґрунтові тепло-на-

сосні технології є більш привабливими, незважаючи на існуючі проблеми їх застосування за низьких розрахункових температур, притаманних нашій країні.

2. Наведений досвід використання теплових насосів на вугільних шахтах в Польщі дозволив переконатись в тому, що реалізація таких проектів буде цілком обґрунтована з точки зору екологічного та економічного значення.

3. Комбінування ґрунтових теплових насосів з використанням сонячних панелей веде не тільки до підвищення ефективності роботи перших, але може давати економію капіталовкладень за використання останніх (наприклад, зменшення площі сонячних колекторів). Варіанти таких комбінацій залежать від призначення та розташування будівлі, але в більшості випадків вони присутні та завжди дають економічний ефект у довгостроковій перспективі.

Таким чином, аналіз зазначених висновків дозволяє визначити головні задачі, які мають бути вирішеними у подальших дослідженнях:

1. Дослідити енергетичну ефективність нових схем теплопостачання на базі ґрунтових теплових насосів з додатковим використанням сонячних панелей на вході до випарника теплового насоса.

2. Виконати порівняльний аналіз досліджених схем теплопостачання на прикладі реального промислового об'єкта та визначити найбільш ефективну з них.

3. Дослідити розподіл тепла, повітря та температурний градієнт в приміщенні реального промислового об'єкта з однією з комбінованих тепло-насосних схем.

### Література

1. Raport. Zerowe emisje netto do 2050 r. Plan działania dla globalnego sektora energii. URL: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/612ff947-b579-4486-9f56-f207db273429/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_Polish.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/612ff947-b579-4486-9f56-f207db273429/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_Polish.pdf)
2. Виступ Президента зі щорічним Посланням до Верховної Ради про внутрішнє і зовнішнє становище України. URL: <https://www.president.gov.ua/news/vistup-prezidenta-zi-shorichnim-poslannyam-do-verhovnoyi-rad-80113>
3. Report. The Future of Heat Pumps. URL: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>
4. Коренда В.А., Вишняков І.Ю., Протасов О.С., Бірківська Н.В. Використання теплових насосів для опалення будівель на підприємствах. *Наукові доповіді НУБіП України. Техніка і енергетика АПК*. 2020. № 5.
5. Інкін О.В., Рудаков Д.В., (2021), «Аналіз способів та критеріїв встановлення геотермальних модулів на закритих вугільних шахтах», *Фізико-технічні проблеми горного виробництва* 2021. Вип. 23. С. 118–135.
6. Сердюк В. Р., Дєдова О. В. Європейський та вітчизняний досвід використання теплових насосів в системах теплопостачання житла. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві* 2017. № 23 (2). С. 98–105.
7. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.
8. Безродний М.К., Притула Н.О. Енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 208 с.
9. Снежкін Ю.Ф., Чалаєв Д.М., Шаврін В.С., Дабіжа Н.О. Теплові насоси в системах теплохолодопостачання: монографія / під ред. акад. НАН України А.А. Долінського. Київ: НАН України, Ін-т техн. теплофізики, 2008. 104 с.
10. LANUV NRW (2018): Landesamt für Natur, Umwelt, und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Potenzialstudie warmes Grubenwasser – Fachbericht 90. Recklinghausen. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва* 2021, № 23. 154 с.
11. Sadovenko, I., Inkin, O., Dereviahina, N., & Khryplyvets, Y. (2019). Actualization of prospects of thermal usage of groundwater of mines during liquidation. E3S Web of Conferences 123, 01046. URL: <https://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/201912301046>
12. Улицький О.А., Єрмаков В.М., Луньова О.В., Бойко К.С. До питання оцінки прогнозу змін гідрогеологічних умов техноекосистеми Селидівської групи шахт. *Екологічна безпека та природокористування*, 2019. № 3. С. 32–42.
13. Самойчук К.О., Лівик Н.В. Використання геотермальної енергії для виробництва теплової і електричної енергії : навч. посіб. URL: [https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv\\_5/page8.html](https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_5/page8.html)