

Ю. М. АРТИШУК**НАФТОВІ СВЕРДЛОВИНИ, ВИВЕДЕНІ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЯК ДЖЕРЕЛА ВТОРИННОЇ ЕНЕРГІЇ**

Мета. Дослідити потенціал переобладнання виведених з експлуатації нафтових свердловин у джерела вторинної геотермальної енергії.

Методика. Дослідження базується на аналізі конструкцій свердловин та технології експлуатації нафтових свердловин, оцінці геотермального потенціалу залишкових ресурсів та моделюванні систем теплообміну. Дослідження включає метод порівняння для відкритих і замкнутих систем із застосуванням U-подібних і двотрубних теплообмінників.

Результати. Проведено аналіз конструктивних особливостей нафтових свердловин та можливостей їх переобладнання під геотермальні системи без необхідності додаткового буріння. Дослідження підтвердило, що переобладнання нафтових свердловин дозволяє ефективно використовувати геотермальну енергію завдяки наявній інфраструктурі та мінімальним витратам на буріння. Успішна адаптація бар'єрних систем (первинних і вторинних) сприяє їхній безпечній експлуатації. Замкнуті системи з U-подібними теплообмінниками показали вищу економічну доцільність, тоді як відкриті системи забезпечують більший тепловий вихід.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в розробці інтегрованого підходу до перепрофілювання нафтових свердловин для геотермальної енергетики з урахуванням їх життєвого циклу. Запропоновано вдосконалені технічні рішення, зокрема оптимізація U-подібних теплообмінників із використанням низькотемпературних робочих рідин, що розширює можливості геотермальних технологій у регіонах із помірним тепловим потенціалом.

Практична значимість. Практична значимість дослідження полягає в можливості зниження витрат на консервацію свердловин та інтеграції геотермальної енергії в енергетичний баланс України. Запропоновані технології сприяють екологічній безпеці, зменшенню залежності від викопного палива та створенню нових робочих місць у сфері відновлюваної енергетики. Практична апробація розроблених рішень у пілотних проєктах показала їх високу адаптивність до різних гідрогеологічних умов. Перспективним напрямом подальших досліджень є удосконалення систем дистанційного моніторингу роботи геотермальних установок на основі переобладнаних свердловин.

Ключові слова: нафтові свердловини, геотермальна енергія, вторинне використання, теплообмінні системи, енергоефективність, насосне обладнання.

Yu. M. ARTYSHUK**OIL WELLS DECOMMISSIONED AS SECONDARY ENERGY SOURCES**

Purpose. Explore the potential of converting decommissioned oil wells into sources of secondary geothermal energy.

Method. The study is based on the analysis of well designs and oil well operation technology, assessment of the geothermal potential of residual resources and modeling of heat exchange systems. The study includes a comparison method for open and closed systems using U-shaped and two-tube heat exchangers.

Results. An analysis of the structural characteristics of oil wells and the feasibility of their conversion into geothermal systems without the need for additional drilling has been conducted, which significantly reduces costs and minimizes the risks associated with the construction of new wells. The study confirmed that the conversion of oil wells can effectively use geothermal energy due to the existing infrastructure and minimal drilling costs. Successful adaptation of barrier systems (primary and secondary) contributes to their safe operation. Closed systems with U-shaped heat exchangers have shown greater economic feasibility, while open systems provide greater thermal output.

Scientific novelty. The scientific novelty is the development of an integrated approach to repurposing oil wells for geothermal energy, taking into account their life cycle. Improved technical solutions are proposed, in particular optimization of U-shaped heat exchangers using low-temperature working fluids, which expands the possibilities of geothermal technologies in regions with moderate thermal potential.

Practical significance. The practical significance of the study is the possibility of reducing the cost of well conservation and integrating geothermal energy into the energy balance of Ukraine. The proposed technologies contribute to environmental safety, reduce dependence on fossil fuels and create new jobs in the field of renewable energy. Practical testing of the developed solutions in pilot projects showed their high adaptability to various hydrogeological conditions. A promising direction for further research is the improvement of remote monitoring systems for geothermal installations based on converted wells.

Keywords: oil wells, geothermal energy, secondary use, heat exchange systems, energy efficiency, pumping equipment.

Вступ. Сьогодні в Україні є близько 8 тисяч виведених з експлуатації свердловин, що є джерелом забруднення довкілля. У контексті глобальних змін у енергетичній галузі та зростаючої потреби зменшити залежність від традиційних джерел енергії, важливим стає питання ефективного застосування вторинних енергетичних ресурсів. З урахуванням викликів кліматичної кризи та зростаючої потреби в декарбонізації економіки, пошук нових підходів до використання існуючих ресурсів стає пріоритетом енергетичної політики України. Використання покинутих нафтових свердловин як альтернативних джерел енергії не лише зменшує екологічні ризики, пов'язані з їх консервацією, а й дозволяє інтегрувати відновлювану енергію в регіональні енергосистеми. Такий підхід поєднує в собі економічну ефективність, екологічну безпеку та можливість використання наявної інфраструктури.

Одним із перспективних підходів є перетворення виведених з експлуатації нафтових свердловин на джерела вторинної енергії. Такого роду енергетичні об'єкти містять залишкову геотермальну енергію, яку можна використовувати для виробництва теплової та електричної енергії завдяки сучасним технологіям [5]. Наразі значна кількість нафтових свердловин у різних регіонах світу втрачає ефективність для видобутку вуглеводнів, що призводить до екологічних та економічних проблем. Закриття таких свердловин вимагає значних фінансових витрат, тоді як їх перепрофілювання під енергетичні об'єкти може сприяти підвищенню енергоефективності та сталого розвитку.

Останні дослідження підтверджують, що виведені з експлуатації нафтові свердловини можуть стати джерелом геотермальної енергії [12; 7]. Успішні приклади використання таких технологій вже демонструються в Канаді та Німеччині [8]. Крім того,

дослідження вказують на потенціал використання залишкових газових ресурсів у цих свердловинах для генерації електроенергії [10]. Однак більшість науковців наголошують, що для успішного впровадження таких технологій необхідно розробити відповідні інженерні рішення та механізми [3]. Питання вторинного використання нафтових свердловин залишається досить актуальними і потребують подальших наукових досліджень, зокрема щодо оцінки їх енергетичного потенціалу, екологічної безпеки та економічної доцільності в межах формування нових джерел енергії в енергетичному балансі України.

Дослідження вказують, що впровадження геотермальних систем на основі залишкової енергії свердловин може стати важливим інструментом досягнення кліматичних цілей, зокрема в умовах поствоєнного відновлення країни. Отже, наукове обґрунтування технологічних і економічних аспектів такого переобладнання є актуальним і своєчасним, що й зумовило вибір теми цього дослідження.

Основна частина. Незважаючи на значний потенціал використання геотермальної енергії як екологічно чистого та відновлюваного джерела енергії, її впровадження відбувається досить повільно і зосереджується переважно в регіонах, де спостерігається інтенсивна вулканічна або гідротермальна активність, що обмежує її широкомасштабне застосування. Основними факторами, які гальмують розвиток цієї галузі, є висока вартість, складність процесу буріння та значні геологічні ризики, пов'язані зі створенням нових геотермальних свердловин, оскільки цей процес вимагає ретельного геофізичного дослідження, значних фінансових витрат та спеціалізованого технічного обладнання. Покинуті нафтові свердловини, зокрема, становлять значний інтерес для таких цілей, оскільки вони не потребують нового буріння, що суттєво зменшує витрати на їх підготовку до використання, а також мають детально задокументовані технічні параметри, накопичені за період їхньої експлуатації, що дозволяє провести всебічну оцінку їхньої продуктивності та ефективності з мінімальними ризиками [3]. Крім того, наявна інфраструктура нафтових свердловин, включно з трубопроводами, системами герметизації та насосним обладнанням, може бути адаптована для роботи в геотермальних системах без необхідності значних модифікацій, що дозволяє суттєво скоротити капітальні витрати у порівнянні з будівництвом нових бурових об'єктів для геотермальної енергетики (рис. 1).

Під час роботи системи нагріта рідина циркулює через проникні тріщинуваті гірські породи, поступово передаючи їм свою енергію, після чого тепло вилучається за допомогою спеціально облаштованих видобувних свердловин. Використавши накопичене тепло, робоче середовище (найчастіше вода або спеціальні термоносії) повертається назад у геотермальне середовище через нагнітальні

свердловини, формуючи замкнуту циркуляційну систему повторного використання теплової енергії [13].

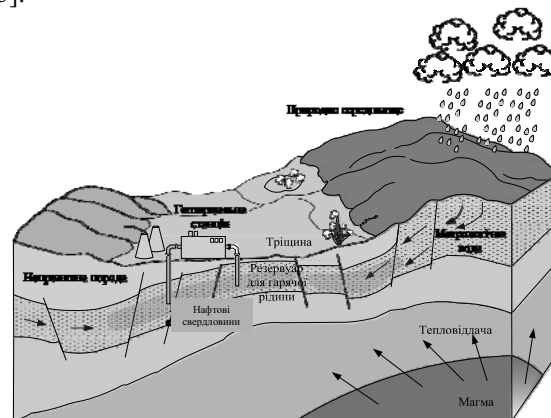


Рисунок – 1. Схема переобладнання нафтових свердловин у джерела вторинної геотермальної енергії [11]

З огляду на вищезазначене, ефективність та безпечність процесу переобладнання нафтових свердловин у геотермальні установки значною мірою залежить від правильного використання вже наявних технічних бар'єрів, зокрема систем герметизації, які забезпечують стабільність свердловини під час її подальшої експлуатації у новій якості. Зазвичай це включає перевірку цілісності обсадних колон, герметичність цементного кільця, а також придатність гірлового обладнання до встановлення теплообмінних елементів. Додатково важливо враховувати гідрогеологічні характеристики ділянки, температуру геотермальних горизонтів та глибину розташування продуктивних пластів. Вказані чинники визначають доцільність застосування певного типу теплообмінної системи – відкритої чи замкнутої, та обираються з урахуванням технічних обмежень свердловини. Успішне переобладнання залежить і від можливості інтеграції теплообмінника без істотного порушення гідродинамічного режиму підземного середовища. Таким чином, доцільним є комплексний підхід до оцінки технічного стану свердловини, що включає інженерно-геологічні вишукування, геофізичне зондування та моделювання теплових потоків для визначення максимально ефективного варіанту використання геотермального ресурсу.

Перед тим, як перейти до етапів остаточного перетворення нафтової свердловини на нове джерело енергії, необхідно розглянути поширену практику використання спеціальних бар'єрних систем, які поділяються на первинні та вторинні. Такі бар'єри є невід'ємним елементом у процесі функціонування нафтової та газової промисловості, оскільки забезпечують безпечну експлуатацію свердловини протягом усього її життєвого циклу: від буріння до остаточного закриття. Важливо зазначити, що ці бар'єрні механізми також відіграють ключову роль у разі переобладнання покинутої нафтової свердловини для подальшого використання в якості джерела

геотермальної енергії. На початковій стадії буріння свердловини основним бар'єром є буровий розчин, який запобігає неконтрольованому викиду пластових флюїдів, тоді як вторинний бар'єр формується за рахунок використання обсадної колони, гирла свердловини та противикидного обладнання (ВОР). У період видобутку первинний бар'єр представлений цементованою обсадною колоною, пакерами, експлуатаційною колоною та запірною арматурою (DHSV), тоді як вторинний бар'єр доповнюється трубним підвісом, що забезпечує додатковий рівень безпеки (рис. 2.) [14].

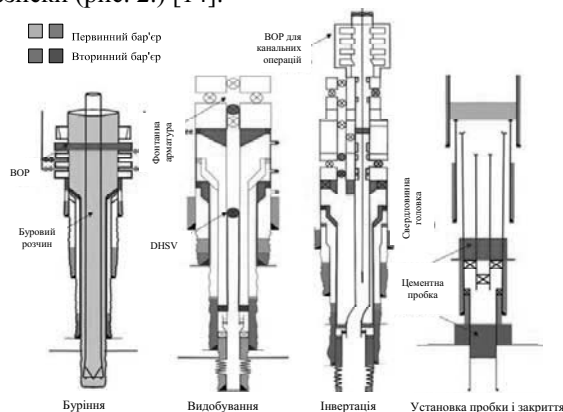


Рисунок – 2. Конструкція нафтових свердловин та їх переобладнання для вторинного використання в геотермальній енергетиці [3]

На етапі переобладнання свердловини для геотермального використання особливу увагу необхідно приділити оцінці стану існуючих бар'єрних систем, адже саме вони гарантують герметичність та стабільність конструкції в умовах тривалого теплового навантаження. Додаткове цементування, встановлення нових герметизувальних елементів та модернізація гирлового обладнання можуть бути доцільними в разі виявлення дефектів. Забезпечення цілісності бар'єрів є критично важливим для запобігання витокам теплоносія, потраплянню забруднюючих речовин у підземні горизонти та збереження екологічної безпеки проєкту.

У разі тимчасового припинення експлуатації свердловини для проведення ремонтних або інтервенційних робіт первинний бар'єр складається з цементованої обсадної колони, закладеної глибокої пробки та надлишкового бурового розчину, тоді як вторинний бар'єр практично ідентичний тому, що використовується під час буріння. На заключному етапі життєвого циклу свердловини, коли відбувається остаточне закриття, основні та вторинні бар'єри формуються за використанням спеціальних цементних пробок, які встановлюються на всій довжині стовбура свердловини та доповнюються наявною обсадною колоною для забезпечення довготривалого герметичного ізолювання геологічних пластів [7].

У процесі переобладнання виведених з експлуатації нафтових свердловин для використання в

геотермальній енергетиці одним із найбільш ефективних рішень є впровадження теплообмінників, які можуть бути реалізовані у вигляді одиночних або багатоконтурних U-подібних трубчастих систем. У такій конструкції основним елементом є U-подібна трубка, що розміщується безпосередньо всередині свердловини, а простір між її стінками та обсадною колоною заповнюється спеціальним термостійким шламом, який забезпечує ефективну теплопередачу та мінімізує теплові втрати в процесі експлуатації (рис. 3).

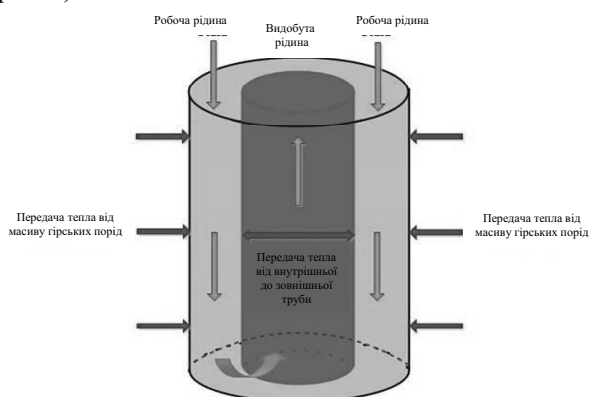


Рисунок – 3. Механізм теплопередачі у двотрубній системі геотермального використання нафтових свердловин (удосконалено автором на основі [7])

Успішне застосування теплообмінників у переобладнаних нафтових свердловинах потребує не лише ретельного інженерного проєктування, а й адаптації існуючих бар'єрних систем до нових умов експлуатації. Зокрема, при впровадженні U-подібних трубчастих систем необхідно забезпечити сумісність матеріалів шламу та теплообмінника з агресивним геотермальним середовищем. Важливим аспектом є також контроль за структурною стійкістю обсадної колони в умовах динамічного теплового навантаження. Надійність функціонування всієї системи визначається якістю початкової цементації, герметичністю пробок та відсутністю каналів витоку. Тому переосмислення функціональної ролі бар'єрних елементів у контексті геотермального переобладнання є ключовим чинником для забезпечення довготривалої та безпечної експлуатації модернізованих свердловин.

Однією з базових переваг використання U-подібного теплообмінника є можливість застосування вторинних робочих рідин, які мають нижчу температуру кипіння, ніж вода, що дозволяє більш ефективно використовувати геотермальне тепло навіть при відносно невисоких температурах. До таких робочих рідин можуть належати ізобутан або аміак, які в процесі циркуляції по теплообміннику нагріваються, випаровуються та утворюють пар, здатний безпосередньо приводити в рух турбіну для виробництва електроенергії. Основна перевага U-подібного теплообмінника перед двотрубною системою полягає в тому, що для його роботи не

потрібно забезпечувати повну герметичність обсадної колони, що значно спрощує технічну реалізацію проекту та зменшує витрати на його впровадження. Пропонується розглядати впровадження теплообмінників, зокрема U-подібних трубчастих систем, як одне з найбільш ефективних технологічних рішень у процесі переобладнання виведених з експлуатації нафтових свердловин для потреб геотермальної енергетики, оскільки така конструкція не лише дозволяє використовувати робочі рідини для ефективного генерування електроенергії, а й дає змогу уникнути необхідності повної герметизації обсадної колони, що, в свою чергу, сприяє спрощенню технічної реалізації проекту та скороченню витрат.

Альтернативним підходом до використання теплової енергії покинутих нафтових свердловин є встановлення двотрубного теплообмінника, який передбачає розміщення всередині свердловини додаткової ізоляованої труби меншого діаметра. Один із варіантів функціонування такої системи передбачає подачу робочої рідини вниз через кільцевий простір між внутрішньою трубою та обсадною колоною, після чого вона піднімається нагору вже через ізоляовану трубу. Такий підхід забезпечує безперервний теплообмін, при якому тепло з геотермального резервуара передається робочій рідині, яка, проходячи через зовнішній кільцевий простір, поступово нагрівається [6].

Геотермальні системи, що використовуються для вилучення теплової енергії із земних надр, можуть функціонувати на основі відкритого або замкнутого циклу циркуляції теплоносія. Система відкритого циклу передбачає наявність як мінімум однієї нагнітальної та однієї видобувної свердловини, між якими циркулює робоча рідина. У такій системі рідина, найчастіше вода, закачується через нагнітальну свердловину в геотермальний резервуар, де вона проходить через пористу гірську породу, поступово нагріваючись за рахунок передачі тепла від гірського масиву [4].

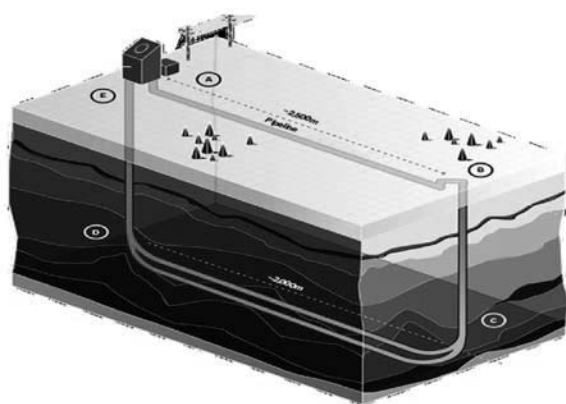


Рисунок – 4. Циркуляційна система вилучення геотермальної енергії з покинутих нафтових свердловин [4]

Після цього нагріта рідина піднімається на поверхню через видобувну свердловину, де її теплова енергія вилучається для подальшого використання в енергетичних чи промислових цілях (рис. 4).

Таким чином, вибір між U-подібною та двотрубною системами має базуватися на комплексній оцінці технічного стану свердловини, глибини її розташування, температури геотермального горизонту та доступності відповідного робочого середовища. У випадках, коли обсадна колона втратила герметичність або має значні пошкодження, доцільним є використання двотрубної конструкції, яка дозволяє відновити функціональність свердловини без значного втручання у її первинну структуру. Натомість при збереженні цілісності конструктивних елементів пріоритет слід надавати U-подібним теплообмінникам як економічно обґрунтованим і технологічно простішим у реалізації. Обидва підходи розширюють інструментарій геотермальної енергетики та відкривають нові можливості для сталого енергетичного використання покинутих об'єктів нафтовидобутку.

На відміну від відкритих систем, геотермальні системи замкнутого циклу передбачають повну ізоляцію робочого теплоносія від безпосереднього контакту з підземним водоносним шаром. Основна перевага такої технології полягає у зменшенні ризиків забруднення обладнання, оскільки виключається утворення відкладень на трубопроводах і насосах, що зазвичай спричиняється високим вмістом мінералів у природних підземних водах. Крім того, замкнута система дозволяє уникнути викидів розчинених газів, знизити навантаження на насосне обладнання та використовувати альтернативні робочі рідини з нижчими температурами кипіння, такі як ізобутан або аміак, що підвищує ефективність теплопередачі [12]. Додатковою перевагою є те, що в таких системах немає необхідності у створенні складної водогосподарської інфраструктури, а також знижується рівень капітальних витрат, оскільки для їх функціонування достатньо однієї свердловини замість двох, як у відкритих системах (рис. 5).

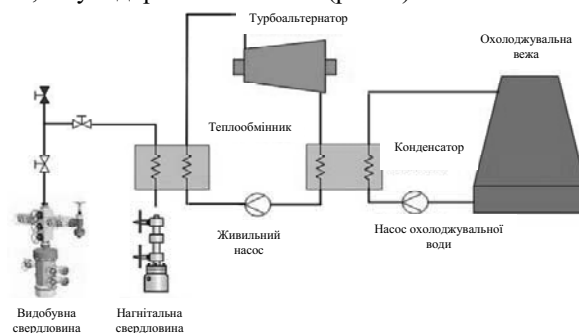


Рисунок – 5. Система генерації енергії на основі геотермального потенціалу покинутих нафтових свердловин (удосконалено автором на основі [1;7])

Водночас слід зазначити, що відкриті геотермальні системи забезпечують значно вищий рівень вилучення теплової енергії, оскільки

характеризуються більшою взаємодією робочої рідини з підземними породами, що сприяє кращому поглинанню тепла та підвищенню продуктивності.

Системи замкнутого контуру найчастіше реалізуються у вигляді U-подібних або двотрубних теплообмінників, які встановлюються у свердловині та використовуються для ефективного вилучення теплової енергії з глибоких геотермальних джерел [10]. У випадку переобладнання нафтових свердловин, виведених з експлуатації, їх конструкція може бути адаптована під використання однієї з цих систем, що дозволяє значно знизити витрати на нове буріння та зробити процес генерації теплової енергії більш екологічно безпечним та економічно вигідним.

Отже, системи замкнутого контуру, зокрема, U-подібні або двотрубні теплообмінники стають оптимальним рішенням для переобладнання виведених з експлуатації нафтових свердловин, оскільки така адаптація дозволяє уникнути дорогого буріння нових об'єктів, знизити екологічні ризики та сприяти більш сталому й економічно доцільному використанню геотермального потенціалу, перетворюючи покинуті свердловини на ефективні джерела вторинної енергії. Перетворення виведених з експлуатації нафтових свердловин у джерела вторинної енергії не лише дозволяє оптимізувати використання природних ресурсів, а й сприяє мінімізації витрат, пов'язаних із консервацією та ліквідацією старих свердловин, що часто є значним фінансовим навантаженням для видобувних компаній.

У контексті технічної оцінки ефективності замкнутих та відкритих геотермальних систем важливо враховувати ряд параметрів, які визначають доцільність вибору тієї чи іншої конфігурації при переобладнанні нафтових свердловин. Зокрема, відкриті системи є більш потужними з точки зору теплової продуктивності, але потребують суворого контролю якості підземних вод, ретельного моніторингу дебіту та температури пластових флюїдів, а також наявності водоносних горизонтів із достатньою проникністю. Крім того, експлуатація відкритих систем пов'язана з ризиком забруднення підземних вод технічними рідинами та зворотними викидами, що вимагає впровадження додаткових систем екологічного контролю.

Натомість замкнуті системи характеризуються більшою стабільністю та низьким рівнем техногенного впливу на навколишнє середовище. Їх конструкція забезпечує повну ізоляцію теплоносія, що дозволяє не лише запобігти втратам енергії, але й зменшити технічні ускладнення, пов'язані з обслуговуванням насосного обладнання. Застосування сучасних робочих рідин з низькою температурою кипіння забезпечує підвищення коефіцієнта перетворення тепла, а використання теплоізоляційних матеріалів у трубних системах дозволяє мінімізувати теплові втрати в процесі циркуляції.

У процесі проектування геотермальних

установок на базі покинутих нафтових свердловин варто застосовувати математичне моделювання для визначення оптимального гідродинамічного режиму, що дозволяє забезпечити максимально ефективне вилучення теплової енергії. Таким чином, вибір між відкритим і замкнутим контуром має базуватися на детальному техніко-екологічному аналізі умов конкретного родовища, з урахуванням його геологічної будови, температурного профілю та ступеня деградації інфраструктури свердловини.

Висновки. Проведено аналіз конструктивних особливостей нафтових свердловин та можливостей їх переобладнання під геотермальні системи без необхідності додаткового буріння, що значно знижує витрати та мінімізує ризики, пов'язані зі створенням нових свердловин. Оцінено технічну доцільність використання існуючих трубопроводів, насосного обладнання та систем герметизації нафтових свердловин у геотермальних установках, що забезпечує економічну ефективність впровадження таких технологій.

Обґрунтовано переваги різних схем вилучення теплової енергії, зокрема застосування замкнутих та відкритих контурів циркуляції теплоносія, а також визначено оптимальні теплообмінні системи для роботи в геотермальних умовах. Розроблено технічну модель впровадження U-подібних і двотрубних теплообмінників у покинуті нафтові свердловини, що дозволить в подальшій роботі значно підвищити рівень продуктивності отримання вилучення теплової енергії та забезпечити стабільну роботу геотермальних станцій.

Запропоновано методи підвищення ефективності геотермальних систем, які базуються на використанні альтернативних теплоносіїв із низькою температурою кипіння (наприклад, ізобутан, аміак), а також на вдосконаленні технологічних процесів шляхом застосування сучасних ізоляційних матеріалів, що зменшують теплові втрати.

Дослідження також дозволило сформувати науково обґрунтовану позицію щодо необхідності комплексного підходу до оцінки технічного стану покинутих нафтових свердловин перед їх перепрофілюванням у геотермальні об'єкти. Встановлено, що впровадження сучасних методів геофізичної діагностики, моделювання теплових потоків та гідродинамічного аналізу дозволяє з високою точністю визначати залишковий геотермальний потенціал свердловин, оцінювати придатність обсадних колон та прогнозувати ефективність функціонування систем теплообміну. Застосування зазначених підходів сприяє зменшенню технічних ризиків, підвищенню безпеки експлуатації геотермальних установок і забезпечує довготривалий термін їх роботи. Така стратегія дає змогу приймати обґрунтовані інженерні рішення щодо вибору типу системи циркуляції (відкритої чи замкнутої) та технологічного обладнання, що, у свою чергу, підвищує інвестиційну привабливість проєктів геотермальної енергетики в Україні.

Список літератури.

1. Alimonti C., Vitali F., Scrocca D. Reuse of oil wells in geothermal district heating networks: A sustainable opportunity for cities of the future. *Energies*, 2024. vol. 17, № 1, article 169. <https://doi.org/10.3390/en17010169>
2. Gajdzik B., Wolniak R., Nagaj R., Žuromskaitė B. The influence of the global energy crisis on energy efficiency: A comprehensive analysis. *Energies*. 2024. Vol. 17. № 4. Article 947. <https://doi.org/10.3390/en17040947>
3. Gizzi M., Taddia G., Lo Russo S. Reuse of decommissioned hydrocarbon wells in Italian oilfields by means of a closed-loop geothermal system. *Applied Sciences*, 2021. Vol. 1. № 5. Pp. 2411. <https://doi.org/10.3390/app11052411>
4. Li J., Zepon Tarpani R. R., Gallego-Schmid A., Stamford L. Life cycle assessment of repurposing abandoned onshore oil and gas wells for geothermal power generation. *Science of the Total Environment*, 2023. Vol. 873. Article 167843. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167843>
5. Makedon V., Dzeveluk A., Khaustova Y., Bieliakova O., Nazarenko I. Enterprise multi-level energy efficiency management system development. *International Journal of Energy, Environment, and Economics*, 2021. Vol. 29. № 1. Pp. 73–91. Available at: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/20180/1/1054-853X_29_1_4.pdf (accessed 25.04.2025)
6. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunen N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024. Vol. 2. № 13(128). Pp. 47–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>
7. Medhi N., Das M. A study on abandoned oil/gas wells as sustainable sources of geothermal energy. *International Conference on Renewable & Alternate Energy (ICRAE-2018)* (04-06 Dec. 2018, Guwahati, Assam, India), Assam, ASTU, 2018. Pp. 1–6. Available at: https://www.researchgate.net/publication/337874001_A_STUDY_ON_ABANDONED_OILGAS_WELLS_AS_SUSTAINABLE_SOURCES_OF_GEOTHERMAL_ENERGY
8. Meenakshisundaram A., Tomomewo O. S., Aimen L., Bade S. O. A comprehensive analysis of repurposing abandoned oil wells for different energy uses: Exploration, applications, and repurposing challenges. *Cleaner Engineering and Technology*, 2024. Vol. 22. Article 100797. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100797>
9. Mollet P., Al Muhanna S. OPEC oil production data: The role of secondary sources. *King Abdullah Petroleum Studies and Research Center*. 2018. <https://doi.org/10.30573/KS--2018-DP40> Available at: https://www.researchgate.net/publication/328354071_OPEC_Oil_Production_Data_The_Role_of_Secondary_Sources (accessed 25.04.2025)
10. Moustafa A. M., Shehata A. S., Shehata A. I., Hanafy A. A. Reuse of abandoned oil and gas wells for power generation in Western Desert and Gulf of Suez fields of Egypt. *Energy Reports*, 2022. Vol. 8. № 9. Pp. 1349–1360. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.07.067>
11. Raimi D., Krupnick A. J., Shah J.-S., Thompson A. Decommissioning orphaned and abandoned oil and gas wells: New estimates and cost drivers. *Environmental Science & Technology*, 2021. Vol. 55. № 15. Pp. 10224–10230. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02234>
12. Santos L., Dahi Taleghani A., Elsworth D. Repurposing abandoned wells for geothermal energy: Current status and future prospects. *Renewable Energy*, 2022. Vol. 194. Pp. 1288–1302. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.138>
13. Specific environmental risks from repurposing oil and gas wells. *Environment Agency*. 2022. Available at: https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/57667/1/Specific_environmental_risks_from_repurposing_oil_and_gas_wells_report.pdf (accessed 25.04.2025)
14. Yatimi Y., Mendil J., Marafi M., Alalou A. Advancement in heavy oil upgrading and sustainable exploration emerging technologies. *Arabian Journal of Chemistry*, 2024. Vol. 17. № 1–4. Article 105610. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105610>

Відомості про авторів / About the Authors

Армишук Юрій Миколайович (Artyshuk Yuriy) – аспірант кафедри видобування нафти і газу, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна, тел.: 380662443829, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9086-6973>, e-mail: tamaratkachenko1942@gmail.com