

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-348-6-65>

УДК 338.3

ЮРКО Ігор

Полтавський університет економіки і торгівлі
<https://orcid.org/0000-0002-8393-1729>

ТКАЧЕНКО Аліна

Полтавський університет економіки і торгівлі
<https://orcid.org/0000-0001-5521-3327>

УСТЬЯН Олександр

Полтавський університет економіки і торгівлі
<https://orcid.org/0009-0007-9099-086X>
e-mail: alina_biaf@ukr.net

ГЕОТЕРМАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ОСНОВА СТАЛОГО АГРОБІЗНЕСУ: ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ОРГАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

У статті розкрито значення геотермальних технологій як стратегічної основи сталого агробізнесу та органічного виробництва в контексті цілей сталого розвитку, зокрема ЦСР 2 (ліквідація голоду) та ЦСР 13 (боротьба зі зміною клімату). Автор досліджує потенціал використання геотермальної енергії для тепличного вирощування органічної продукції, обґрунтовуючи економічну доцільність такого підходу порівняно з традиційними джерелами тепла (газ, електроенергія). Наведено порівняльний аналіз енерговитрат, що демонструє значну економію та екологічні переваги геотермального теплопостачання. Визначено, що геотермальне тепло не лише сприяє зменшенню викидів парникових газів, а й забезпечує стабільний мікроклімат у теплицях, підтримує органічні стандарти вирощування, знижує залежність від викопних ресурсів і сприяє енергетичній автономності аграрного виробництва. Також розглянуто міжнародний досвід використання геотермальних ресурсів у сільському господарстві, акцентовано на перших проєктах в Україні та потенціалі геотермальних джерел у регіонах з виснаженими нафтогазовими свердловинами.

Ключові слова: геотермальна енергія, сталий агробізнес, органічне виробництво, тепличне господарство, відновлювані джерела енергії, енергоефективність, зелена енергетика, інноваційні агротехнології.

YURKO Ihor, TKACHENKO Alina, USTIAN Oleksandr

Poltava University of Economics and Trade

GEOTHERMAL TECHNOLOGIES AS THE BASIS OF SUSTAINABLE AGRIBUSINESS: AN INNOVATIVE APPROACH TO ORGANIC PRODUCTION

The article substantiates the role of geothermal technologies as a strategic foundation for the development of sustainable agribusiness and organic agricultural production in the context of global climate change, energy insecurity, and the implementation of the United Nations Sustainable Development Goals, particularly SDG 2 (Zero Hunger) and SDG 13 (Climate Action). The study focuses on the application of geothermal energy for greenhouse-based organic farming as an environmentally safe and economically viable alternative to conventional heat sources such as natural gas and electricity.

The research provides a comparative analysis of energy consumption and operating costs associated with different heating systems used in greenhouse production. The results demonstrate that geothermal heat supply ensures significant cost savings, reduces greenhouse gas emissions, and contributes to long-term energy autonomy of agricultural enterprises. In addition to economic efficiency, geothermal energy enables the maintenance of a stable microclimate in greenhouses, which is critical for meeting organic production standards and improving crop yields throughout the year.

Special attention is paid to international experience in the agricultural use of geothermal resources, with examples from Turkey, Iceland, Hungary, China, and other countries where geothermal technologies have been successfully integrated into greenhouse vegetable production, food processing, and agricultural drying systems. The article also analyzes the current state and prospects of geothermal energy development in Ukraine, emphasizing the potential use of depleted oil and gas wells as cost-effective sources of geothermal heat.

The findings highlight that the integration of geothermal technologies into organic agriculture not only enhances environmental sustainability but also increases the competitiveness of agricultural producers by reducing dependence on fossil fuels and volatile energy markets. The study concludes that geothermal energy represents a promising innovation-driven pathway for the sustainable transformation of agribusiness in Ukraine and supports further research into regional geothermal potential, investment mechanisms, and technological modernization of greenhouse infrastructure.

Keywords: geothermal energy, sustainable agribusiness, organic production, greenhouse farming, renewable energy sources, energy efficiency, green energy, innovative agricultural technologies.

Стаття надійшла до редакції / Received 27.10.2025

Прийнята до друку / Accepted 01.12.2025

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Сучасний аграрний сектор стикається з низкою глобальних викликів, зокрема зростаючими потребами у продовольстві, енергетичною залежністю, кліматичними змінами та деградацією природного середовища. Традиційні системи агровиробництва, орієнтовані на інтенсивне використання викопного палива

та хімічних ресурсів, дедалі більше втрачають ефективність, створюючи загрозу для продовольчої безпеки, екологічної стійкості та здоров'я споживачів. Особливої актуальності набуває розвиток органічного сільського господарства, яке базується на екологічно безпечних технологіях і ґрунтується на принципах збереження родючості ґрунтів, біорізноманіття та здоров'я екосистем. Водночас одним із головних обмежень для сталого органічного агропромисловництва залишається питання енергозабезпечення, зокрема опалення теплиць у холодний період року. У цьому контексті геотермальна енергія розглядається як перспективне рішення, здатне забезпечити економічно ефективне та екологічно безпечне теплопостачання. Попри високий потенціал геотермальних ресурсів в Україні, їх використання в аграрному секторі залишається епізодичним і недостатньо дослідженим, що вимагає системного наукового обґрунтування.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблематика впровадження відновлюваних джерел енергії в аграрному секторі та формування стійких аграрних систем активно досліджується як вітчизняними, так і зарубіжними науковцями. Значна увага приділяється ролі енергетичних технологій у забезпеченні екологічної безпеки, енергоефективності та адаптації сільського господарства до змін клімату. Зокрема, у працях В. Ю. Паламарчука та С. М. Довгого обґрунтовано технологічні та енергетичні переваги геотермального теплопостачання в аграрному виробництві, визначено умови його ефективного застосування в регіональному контексті. І. П. Кравченко досліджує потенціал використання геотермальних вод у межах нафтових родовищ як джерела теплової енергії для тепличного господарства. На міжнародному рівні вагомими є звіти та аналітичні матеріали ФАО щодо практичного застосування геотермальної енергії в сільському господарстві понад 30 країн світу. У них узагальнено досвід використання геотермальних джерел у тепличному овочівництві, аквакультурі та сушінні аграрної продукції. Відповідно до даних International Geothermal Association та IEA, геотермальна енергетика визнається одним із ключових інструментів енергетичного переходу в аграрному секторі, зокрема у Туреччині, Ісландії, Індонезії та Китаї. У контексті органічного виробництва наголошується на важливості впровадження технологій із низьким вуглецевим слідом, що відповідає пріоритетам Цілей сталого розвитку (ЦСР 2 та ЦСР 13). У програмних документах ООН та Європейського зеленого курсу акцент зроблено на необхідності трансформації агропромислового виробництва на принципах екологічної нейтральності та кліматичної адаптації.

Попри наявність фундаментальних досліджень, проблема інтеграції геотермальних технологій саме в органічне сільське господарство України досі залишається недостатньо вивченою. В умовах кліматичних змін, енергетичної нестабільності та підвищеного попиту на органічну продукцію ця тема потребує подальшого наукового осмислення з урахуванням економічних, екологічних та технологічних чинників.

Незважаючи на значну кількість наукових публікацій у сфері ідентифікації та класифікації товарів, їх значна кількість та динамічність сучасного ринку, а також поява нових інструментів, як штучний інтелект, вимагає подальших досліджень у цьому напрямку.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Обґрунтувати можливості використання геотермальних технологій у системі органічного сільського господарства як інструменту формування сталого агробізнесу, з акцентом на енергоефективність, екологічну безпеку та інноваційність виробничих процесів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Серед основних глобальних світових проблем вирізняються недостатність продовольства та забруднення навколишнього природного середовища. Тому пріоритетними напрямами діяльності Організації Об'єднаних Націй у сфері забезпечення продовольчої безпеки та охорони довкілля особливу увагу приділено впровадженню сталих агротехнологій, зокрема використанню геотермальної енергії для виробництва органічної продукції. Такий підхід сприяє зменшенню викидів парникових газів, підвищенню енергоефективності та адаптації сільського господарства до змін клімату, що відповідає цілям сталого розвитку, зокрема Цілі 2 (ліквідація голоду) та Цілі 13 (боротьба зі зміною клімату), сформульованому в базовому документі ООН Цілі сталого розвитку (ЦСР) «Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого розвитку на період до 2030 року» [1]. Означені цілі підкреслюють важливість впровадження інноваційних та екологічно чистих технологій у сільському господарстві для досягнення глобальної продовольчої безпеки та збереження навколишнього середовища [2], [3].

В умовах глобальної зміни клімату та вичерпності природних ресурсів зростає потреба у трансформації аграрного сектору відповідно до принципів сталого розвитку. Тому саме геотермальна енергія вважається перспективним джерелом для сталого сільського господарства, оскільки вона є відновлюваною, стабільною та має низький рівень викидів парникових газів. Її використання в теплицях дозволяє продовжити вегетаційний період і підвищити врожайність без шкоди для довкілля. А органічне землеробство, підтримуване геотермальними технологіями, сприяє збереженню родючості ґрунтів, зменшенню використання хімічних добрив і пестицидів, що позитивно впливає на здоров'я споживачів і екосистем [4].

Відповідно до Цілей сталого розвитку інвестиційна стратегія приватного капіталу дедалі більше орієнтується на відмову від технологій, що спричиняють негативний вплив на кліматичну систему. У глобальному масштабі простежується стійка тенденція до зростання обсягів інвестування в проекти, пов'язані з енергетичним переходом, зокрема у відновлювані джерела енергії, енергоефективні технології та інфраструктуру з низьким вуглецевим слідом. Цей зсув зумовлений не лише екологічними міркуваннями, а й зростанням економічної привабливості зеленої енергетики та посиленням кліматичних ризиків для викопних активів.

У своїй програмній публікації на сторінках видання *Wired* засновник корпорації *Microsoft* Білл Гейтс підкреслив необхідність активної участі урядів і бізнесу у формуванні “зеленої” економіки та вжитті системних заходів для зниження обсягів парникових викидів. «Нам потрібні нові способи вирощування продуктів харчування, виготовлення речей, пересування, вироблення електроенергії, обігріву та охолодження наших будівель без викиду парникових газів», – написав Гейтс [5].

Очікується, що як державний, так і приватний сектори відіграватимуть активну роль у формуванні нових ринків екологічно чистої продукції шляхом цільового використання своєї купівельної спроможності. Це, зокрема, може реалізовуватися через зобов'язання щодо переходу на енергопостачання з джерел із нульовим або низьким рівнем викидів. Поступове збільшення попиту на такі продукти сприятиме розширенню відповідних ринків, стимулюючи технологічні інновації, зростання ефективності та зниження вартості виробництва.

Виробництво органічної продукції передбачає відмову від синтетичних добрив, пестицидів та генетично модифікованих організмів, натомість спрямоване на підтримку біорізноманіття, здоров'я ґрунтів і водних ресурсів. Проте досягнення цілковитої екологічної нейтральності в цьому секторі неможливе без впровадження зеленої енергетики, зокрема сонячної, вітрової, біоенергетики та геотермального теплопостачання. В умовах тепличного виробництва особливо ефективним виявляється використання геотермальної енергії для обігріву, що дозволяє уникнути викидів CO₂, пов'язаних із традиційними джерелами тепла.

Хоча геотермальна енергетика залишається відносно новим сегментом у структурі глобального виробництва електроенергії, її роль поступово зростає завдяки стабільності, екологічній безпеці та потенціалу для довготривалої генерації. На сучасному етапі найбільшим виробником електроенергії з геотермальних джерел залишаються Сполучені Штати Америки, де функціонує найбільше у світі геотермальне родовище — The Geysers, розташоване в штаті Каліфорнія, поблизу Сан-Франциско. В США навіть створений окремий офіс геотермальних технологій в межах Міністерства енергетики США. Він координує дослідження й фінансування проектів, спрямованих на підвищення ефективності використання геотермальної енергії як у генерації електроенергії, так і в прямому теплозабезпеченні [6].

Значного прогресу у впровадженні геотермальних технологій досягла також Ісландія, де п'ять геотермальних електростанцій забезпечують близько 25% загального обсягу електроспоживання, що підкреслює стратегічну важливість цього джерела для енергетичної безпеки країни. Крім того, провідні позиції у сфері геотермального виробництва електроенергії займають Філіппіни, Індонезія, Туреччина та Нова Зеландія, де геотермальні ресурси активно інтегруються в національні енергетичні стратегії.

Геотермальна енергетика дедалі більше привертає увагу як фахових експертів, так і інституційних інвесторів, що супроводжується зростанням обсягів фінансування галузі. Згідно з прогнозами аналітичних центрів, інвестиції у сферу геотермальної енергетики демонструють стійку динаміку зростання і до 2030 року можуть збільшуватись щонайменше на 10% щорічно. Активізація цього процесу супроводжується проведенням міжнародних галузевих форумів, науково-практичних конференцій, а також утворенням професійних асоціацій, що сприяють обміну досвідом і стандартизації технологій.

Попри те, що в Україні геотермальна енергетика перебуває на початковому етапі розвитку, вже відбулися організаційні зрушення у формуванні профільної спільноти: створено відповідну національну асоціацію, що засвідчує наявність зацікавленості та потенціалу до розбудови цього сегмента вітчизняної енергетики та ГО «Геотермал Україна», неприбуткову науково-дослідну організацію, яка сприяє розвитку геоенергетичного потенціалу України, для цілей щодо вуглецевої нейтральності [7].

Водночас, основна мета реалізації аграрного проекту полягає не стільки у генерації електричної енергії, скільки у раціональному використанні геотермального тепла для забезпечення тепловою енергією, необхідної для обігріву тепличних комплексів. Такий підхід дозволяє максимально ефективно застосовувати доступні геотермальні ресурси в аграрному секторі, забезпечуючи енергетичну автономність та підвищення екологічної ефективності виробництва.

Сільськогосподарське використання геотермального тепла становить суттєвий напрям його практичного застосування. Саме цей потенціал слугує стимулом для впровадження геотермальних технологій у низці країн Південно-Східної Європи, зокрема в Греції, Угорщині, Румунії, Туреччині та Північній Македонії. У той час як у країнах, що розвиваються, геотермальні ресурси також мають значний енергетичний потенціал, їх використання наразі переважно обмежується побутовими потребами — обігрівом приміщень, купальнями та басейнами. Водночас окремі держави світу демонструють ефективне впровадження геотермальної енергії в аграрному секторі та агропромисловості, зокрема Алжир і Кенія в Африці, Коста-Рика

і Сальвадор у Центральній Америці, а також Китай, Індія й Індонезія в Азійському регіоні [4]. Згідно із програмним звітом Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO) станом на 2020 рік 34 країни використовували геотермальні ресурси для обігріву парникових газів, на чолі з Туреччиною, Угорщиною, Китаєм та Італією. Овочі, квіти і фрукти - основні культури, що вирощувалися в цих теплицях [8].

В Туреччині геотермальна енергія використовується для обігріву понад 4,5 мільйонів м² теплиць, що дозволяє вирощувати сільськогосподарську продукцію навіть у холодні періоди року і експортувати до Європи, використовуючи сприятливу кон'юнктуру ринку. В зв'язку із підвищенням ціни на природний газ у країнах Європейського Союзу пріоритетом є забезпечення теплопостачання для побутових споживачів. Тому його додаткові постачання для опалення тепличних господарств, зокрема для вирощування овочевих культур, не передбачаються. Натомість у Туреччині опалення теплиць здебільшого здійснюється за допомогою геотермальної енергії, яка є суттєво економнішою порівняно з природним газом.

На відміну від країн Південно-Східної Європи використання геотермального тепла в Україні ще не набуло широкого поширення в сільському господарстві. Проте існує потенціал для його розвитку, особливо в регіонах із геотермальними ресурсами, які розміщені неглибоко від поверхні землі (Закарпаття, Львівська, Херсонська та Одеські області). В 2023 році розроблений проєкт будівництва першого в Україні інноваційного тепличного комплексу, що працюватиме на геотермальній енергії [10]. Цей проєкт реалізує компанія «Тріосан Холдинг Україна» за підтримки Львівської обласної військової адміністрації та Львівської обласної ради. Загальна сума інвестицій становить 68 мільйонів євро. Комплекс буде розташований на площі 29,7 га, з яких 4,5 га відведено під геотермальну свердловину. Очікується, що теплиці забезпечать роботою близько 180 осіб та вироблятимуть понад 9 тисяч тонн овочів на рік [11]. Однак станом на травень 2025 року будівництво інноваційного тепличного комплексу з використанням геотермальної енергії в селі Годині Яворівського району Львівської області ще не розпочалося. Згідно з останніми офіційними повідомленнями, старт будівництва заплановано на 2025 рік, а введення в експлуатацію першої черги — на 2026 рік.

Проте великий потенціал теплової енергії мають не тільки означені регіони України, але і уся Дніпровсько-Донецька западина. Історія промислового освоєння нафтогазових родовищ на території України налічує понад 125 років, що засвідчує значну тривалість експлуатації традиційних джерел енергоносіїв. Виходячи з наявності розгалуженої системи видобутку нафти і газу, велика кількість цих родовищ супроводжується гідротермальними ресурсами. Унаслідок інтенсивної розробки протягом цього періоду спостерігається істотне виснаження доступних запасів вуглеводневої сировини. А геотермальні родовища тепла, які були розвідані в Україні в 70-х роках минулого століття як супровід нафтових і газових свердловин, не експлуатувалися через відсутність технологій використання і більш високу рентабельність видобутку нафти і газу.

Потенційні ресурси геотермального тепла у вигляді окремих родовищ різної товщини зосереджені в Україні майже по всій довжині Дніпровсько-Донецької западини, яка простягається майже на всю центральну територію країни і розташована під землями шести областей: Чернігівської, Полтавської, Сумської, Дніпропетровської, Харківської та Донецької. Ці родовища відрізняються один від одного запасами, дебітом, температурою, пластовим тиском, солоністю, насиченістю газом, нафтою тощо. Продуктивні пласти у найбільш перспективних родовищах розташовані на глибинах 3000-3500 м від поверхні землі.

Висока вартість робить економічно не вигідним освоєння нових свердловин на термальну воду. Але дешевими джерелами його можуть стати виснажені нафтові і газові родовища. Перспективними стають свердловини, які звільняються від видобутку нафти і газу як на використовуваних, так і на діючих родовищах. Так, на території Чернігівської області на кінець 2019 року було зареєстровано 22 нафтових і газових родовища із загальним фондом 780 свердловин різного призначення і різним поточним технічним станом тільки в чотирьох цехах Прилуцького департаменту нафтогазовидобування (НГДУ) ВАТ «Чернігівнафтогаз». Велика кількість цих родовищ супроводжується гідротермальними ресурсами. В результаті аналізу запасного матеріалу управління видобутку нафти і газу встановлено, що за наявними на даний момент геологорозвідувальними відомостями найбільш перспективними в плані отримання значних дебітів (500-1000 м³ на добу) підземних вод є родовища із загальним фондом більше 100 свердловин [12].

Ще однією визначальною складовою органічного агробізнесу є наявність родючих земель. Можливі аграрні проєкти будуть розташовані на півночі лісостепової зони, територію якої займають чорноземи. У лісостеповій зоні переважає підтип типових чорноземів з 6-9% гумусу, найбільшою потужністю (до 1,5 м) і найвищою родючістю. Культура розвиненого сільського господарства та низький рівень заробітної плати в Україні (середня зарплата в сільському господарстві у 2024 році відповідала еквіваленту 480 доларів США) дає хороші шанси використовувати місцеве населення як ефективний недорогий трудовий ресурс.

Основною перевагою використання геотермальної енергії при виробництві овочів закритого ґрунту є економія операційних витрат в порівнянні із традиційним опаленням. Це є однією з основних статей витрат при виробництві тепличних овочів в Україні, на долю яких приходить від 20 до 40% в структурі тепличних витрат. Основними джерелами теплової енергії для промислових теплиць є газ, електроенергія і геотермальна вода. Щоб порівняти ці три джерела, ми розрахували, використовуючи закон збереження енергії, отримання 1 кВт тепла в грошовому еквіваленті. Відповідно до закону збереження енергії англійський фізик Джеймс

Прескотт Джоуль експериментально вивів механічний еквівалент теплоти. Відповідно до цього закону в дослідженні проведений порівняльний розрахунок витрат на енергоносії при використанні газу, електроенергії та геотермальної води для опалення теплиць.

При використанні природного газу. Скільки кубометрів (м³) газу потрібно для відтворення 1 кВт тепла при використанні газових котлів?

Питома теплотворна здатність природного газу становить 33500 кДж/м³. Переведемо кДж в кВт:

$$1 \text{ кВт} = 3600 \text{ кДж, тобто } 33500/3600 = 9,3 \text{ кВт}$$

Тобто при згорянні в ідеальних умовах 1 м³ газу відтворює 9,3 кВт тепла (в ідеальних умовах). З урахуванням якості газу, його тиску в системі, ККД газових котлів (80-90%) множимо отримане значення на коефіцієнт 0,85 і отримуємо:

$$9,3 \text{ кВт} * 0,85 = 7,9 \text{ кВт}$$

Якщо 1 м³ дорівнює 7,9 кВт, то 1 кВт = 0,13 м³

Середня ціна для промислових споживачів ТОВ «ГК Нафтогаз Україна» становила 23,11 грн за 1 м³ з урахуванням розподілу газу і ПДВ (20%) [13].

Таким чином, $0,13 \text{ м}^3 * 23,11 \text{ грн/м}^3 = 3,00 \text{ грн}$.

Тобто, щоб отримати 1 кВт тепла, ми маємо витрати 0,13 м³ газу і заплатити за це 3,00 грн.

*При використанні електроенергії. Скільки кВт*год електроенергії потрібно для відтворення 1 кВт тепла при використанні електричних котлів?*

Підготовка гарячої води в електричному бойлері та опалення електричним котлом. ККД практично всього електронагрівального обладнання становить не більше 85%.

$$1 \text{ кВт}/0,85 = 1,18 \text{ кВт*год}$$

Середній тариф для промислових підприємств України в 2025 році (2 клас споживання) становить 10,4 грн/кВт*рік [14].

Таким чином

$$1,18 \text{ кВт*год} * 10,4 \text{ грн/кВт*год} = 12,27 \text{ грн.}$$

Тобто, щоб отримати 1 кВт тепла, ми витратимо 1,18 кВт електроенергії, з оплатою 12,27 грн.

*При використанні тепла геотермальної води. Скільки кВт*год електроенергії потрібно для використання 1 кВт тепла від геотермальної води?*

Для початку розрахуємо, скільки електроенергії потрібно для того, щоб викачати геотермальну воду зі свердловини, використовувати її для обігріву теплиці і закачати назад в приймальний колодязь.

Загальне споживання електроенергії становить 400 кВт*год з розрахунку двох насосів продуктивністю 600 м³ на добу (один – на викачування із свердловини і один - на закачування в свердловину). Продуктивність насосів підбирається із запасом, виходячи з дебіту свердловини - 600 м³ на добу.

Тобто, щоб використовувати 1 м³ гарячої води (900 С0) потреба в електроенергії складає:

$$400 \text{ кВт} * \text{год} * 24 \text{ години} / 600 \text{ м}^3 = 16,0 \text{ кВт}$$

Визначимо кількість теплоти, що виділяється з 1 м³ гарячої води (900 С0). Щоб нагріти 1 літр води на 1°C, потрібно використовувати 1,17 Вт:

$$117 \text{ Вт} / 100 \text{ °C} = 1,17 \text{ Вт/літр}$$

$$1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ літрів}$$

Перепад температур (температура повітря 250 С0):

$$900 - 250 = 650 \text{ С0}$$

На один 1 м³ гарячої води:

$$1,17 \text{ Вт/літр} * 1000 \text{ л} * 650 \text{ С0} = 76050 \text{ Вт} = 76,05 \text{ кВт}$$

Для використання 1 кВт тепла геотермальної води ми будемо витрачати:

$$16,0 \text{ кВт} / 76,05 \text{ кВт/м}^3 = 0,21 \text{ кВт*год}$$

Вважаючи на середній тариф 10,4 грн/кВт*рік [14], споживання в грошовому вираженні на 1 кВт*год становить:

$$0,21 \text{ кВт*час} * 10,4 \text{ грн/кВт*ч} = 2,18 \text{ грн.}$$

Тобто, щоб отримати 1 кВт тепла з геотермальної води, ми витратимо 210 Вт електроенергії, а заплатимо за це 2,18 грн.

Якщо припустити, що для обігріву теплиці геотермальною водою площею 17,68 га необхідно 1372,3 кВт теплової енергії на місяць, то витрати на опалення складуть:

Таблиця 1

Порівняльні витрати на опалення тепличного комплексу газом, електроенергією та геотермальною водою

№	Енергоносії	Потрібна кількість тепла на місяць, кВт	Витрати в грошовому еквіваленті на 1 кВт*год, тис.грн	Витрати на опалення на місяць, тис.грн.
1	Газ	1372,3	3,00	4116,90
2	Електроенергія	1372,3	12,27	16838,12
3	Геотермальна вода	1372,3	2,18	2991,61

Порівняльний аналіз показує значну економію витрат при застосуванні геотермальної води для обігріву теплиці в порівнянні з традиційними засобами опалення. Проте переваги використання геотермальної води не обмежуються економією на опаленні. Гарячу воду з надр землі частково можна використати для виробництва електроенергії для живлення насосів, забезпечивши повну автономію тепличного господарства. В залежності від хімічного складу води її можна використовувати для поливу рослин, як наповнення басейнів балеологічного курорту, опалення будівель. Досвід країн, що використовують геотермальну енергію в сільському господарстві, вказує на широке застосування тепла для сушіння широкого спектру сільськогосподарських продуктів, таких як рис, пшениця, помідори, цибуля та часник. [4]

Овочі, вирощені в теплицях з геотермальним обігрівом, можуть відповідати вимогам органічного землеробства через те, що геотермальна енергія — це відновлюване, екологічно чисте джерело, яке не виділяє шкідливих викидів CO₂ чи інших парникових газів при нагріванні теплиці. Воно не потребує спалювання газу, мазуту чи вугілля, але дозволяє забезпечити стабільний температурний режим без шкоди для довкілля, що є важливим критерієм органічного виробництва.

Геотермальний обігрів не порушує правил вирощування органічних овочів, а навпаки — допомагає уникнути використання ресурсів, які шкодять довкіллю. Відповідність органічним стандартам передбачає використання природних добрив (гній, компост), а не хімікатів, відсутність ГМО, синтетичних пестицидів та регуляторів росту, дбайливе ставлення до ґрунту та екосистеми.

Тепличне господарство може використовувати геотермальні води не тільки для обігріву, але й для крапельного поливу після охолодження. Це мінімізує забруднення, дозволяє точно контролювати якість води.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Використання геотермальної енергії для обігріву теплиць може сприяти енергонезалежності аграрного сектору та зменшенню залежності від традиційних джерел енергії. Використання геотермальних ресурсів замість традиційної енергії скорочує витрати на паливо і загальні експлуатаційні витрати. Інші переваги геотермального опалення для теплиць включають кращу гігієну, чистіше повітря та воду, що забезпечує вирощування органічної продукції. Враховуючи значний потенціал геотермальної енергії для розвитку тепличного господарства України, перспективними напрямками подальших наукових досліджень є: шеологічне картування та оцінка геотермального потенціалу різних регіонів України для визначення найбільш перспективних зон розміщення геотермальних тепличних комплексів, особливо в Закарпатській, Одеській, областях.

Література

1. United Nations. Sustainable Development Goals [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sdgs.un.org/goals> – Назва з екрана.
2. United Nations. Goal 2: Zero Hunger [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sdgs.un.org/goals/goal2> – Назва з екрана.
3. United Nations. Goal 13: Climate Action [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sdgs.un.org/goals/goal13> – Назва з екрана.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Uses of geothermal energy in food and agriculture [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/19fd76b1-deb7-465f-ab54-e6a6c4973c2b/content> – Назва з екрана.
5. Gates, B. (2021). *How to Avoid a Climate Disaster: The Solutions We Have and the Breakthroughs We Need*. Wired [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wired.com/story/bill-gates-climate-change/>
6. Геотермальна енергетика: можливості у світі та перспективи в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://expro.com.ua/statti/geotermalna-energetika-mojlivost-u-svt-ta-perspektivi-v-ukran>
7. Громадська організація «Геотермал Україна» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.geothermalukraine.org/pro-nas>
8. Bartali P. Uses of geothermal energy in food and agriculture [Електронний ресурс] / Piero Bartali. – Rome: FAO, 2015. – 76 p. – Режим доступу: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/19fd76b1-deb7-465f-ab54-e6a6c4973c2b/content> – Назва з екрана.

9. Геотермальна вода та природне освітлення — секрет конкурентоспроможності турецьких овочів. Пропозиція — Головний журнал з агробізнесу. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://propozitsiya.com/news/heothermalna-voda-ta-pryrodne-osvitlennya-sekret-konkurentospromozhnosti-turetskykh-ovochiv>

10. Угорська компанія збудує на Львівщині перший інноваційний тепличний комплекс. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://zaxid.net/ugorska_kompaniya_zbuduye_na_lvivshhini_pershiy_innovatsiyniy_teplichniy_kompleks_n1575356?utm_source=chatgpt.com — Назва з екрана.

11. На Львівщині геотермальна енергія опалюватиме теплиці. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://agrostory.com/uk/info-centr/energi/na-lvivshchini-geothermalna-energiya-opalyuvatime-teplitsi-2/> — Назва з екрана.

12. Кравченко І. П. Прогнозна оцінка перспектив промислового використання геотермального теплоносія Монастирищенського нафтового родовища Чернігівської області / І. П. Кравченко // *Відновлювана енергетика*. — 2005. — № 2. — С. 81–87.

13. Тарифи на газ ГК «Нафтогаз». [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://gas.ua/uk/business/tariffs?utm_source=chatgpt.com — Назва з екрана.

14. Платіжки для бізнесу: скільки коштуватиме електроенергія у 2025 році. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://delo.ua/energetics/platizki-dlya-biznesu-skilki-kostuvatime-elektroenergiya-u-2025-roci-437948/?utm_source=chatgpt.com — Назва з екрана.

References

1. United Nations. (n.d.). *Sustainable Development Goals*. Retrieved from <https://sdgs.un.org/goals>
2. United Nations. (n.d.). *Goal 2: Zero Hunger*. Retrieved from <https://sdgs.un.org/goals/goal2>
3. United Nations. (n.d.). *Goal 13: Climate Action*. Retrieved from <https://sdgs.un.org/goals/goal13>
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). *Uses of geothermal energy in food and agriculture*. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/19fd76b1-deb7-465f-ab54-e6a6c4973c2b/content>
5. Gates, B. (2021). How to avoid a climate disaster: The solutions we have and the breakthroughs we need. *Wired*. Retrieved from <https://www.wired.com/story/bill-gates-climate-change/>
6. Heothermalna enerhetyka: mozhyvosti u sviti ta perspektvy v Ukraini [Geothermal energy: opportunities in the world and prospects in Ukraine]. (n.d.). *Expro*. Retrieved from <https://expro.com.ua/statti/geothermalna-energetika-mojlivost-u-svt-ta-perspektivi-v-ukran>
7. Hromadska orhanizatsiia "Heothermal Ukraina" [Public organization "Geothermal Ukraine"]. (n.d.). *Pro nas*. Retrieved from <https://www.geothermalukraine.org/pro-nas>
8. Bartali, P. (2015). *Uses of geothermal energy in food and agriculture*. Rome: FAO. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/19fd76b1-deb7-465f-ab54-e6a6c4973c2b/content>
9. Heothermalna voda ta pryrodne osvitlennia — sekret konkurentospromozhnosti turetskykh ovochiv [Geothermal water and natural lighting — the secret of competitiveness of Turkish vegetables]. (n.d.). *Propozytsiia — Holovnyi zhurnal z ahrobiznesu*. Retrieved from <https://propozitsiya.com/news/heothermalna-voda-ta-pryrodne-osvitlennya-sekret-konkurentospromozhnosti-turetskykh-ovochiv>
10. Uhorska kompaniia zbuduie na Lvivshchyni pershiy innovatsiyniy teplichniy kompleks [Hungarian company will build the first innovative greenhouse complex in Lviv region]. (n.d.). *Zaxid.net*. Retrieved from https://zaxid.net/ugorska_kompaniya_zbuduye_na_lvivshhini_pershiy_innovatsiyniy_teplichniy_kompleks_n1575356
11. Na Lvivshchyni heothermalna enerhiia opalyuvatime teptytsi [In Lviv region, geothermal energy will heat greenhouses]. (n.d.). *Agrostory*. Retrieved from <https://agrostory.com/uk/info-centr/energi/na-lvivshchini-geothermalna-energiya-opalyuvatime-teplitsi-2/>
12. Kravchenko, I. P. (2005). Prohnozna otsinka perspektiv promyslovoho vykorystannia heothermalnoho teplonosiiia Monastyryshchenskoho naftovoho rodovyshcha Chernihivskoi oblasti [Forecast assessment of prospects for industrial use of geothermal heat carrier of Monastyryshche oil field in Chernihiv region]. *Vidnovliuvana enerhetyka*, 2, 81–87.
13. Taryfy na haz HK "Naftogaz" [Gas tariffs of Naftogaz Group]. (n.d.). *Naftogaz*. Retrieved from <https://gas.ua/uk/business/tariffs>
14. Platizhky dlia biznesu: skilky koshtuvatime elektroenerhiia u 2025 rotsi [Invoices for business: how much will electricity cost in 2025]. (n.d.). *Delo.ua*. Retrieved from <https://delo.ua/energetics/platizki-dlya-biznesu-skilki-kostuvatime-elektroenergiya-u-2025-roci-437948/>