

## Енергозбереження і альтернативна енергетика Energy saving and alternative energy



УДК 631.22.019

### Аналіз тепло-енергетичних систем з використанням теплових насосів із інтегрованими у фундамент ґрунтовими теплообмінниками

В.І. Мельник<sup>1</sup>, Б.М. Цимбал<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенко (м. Харків, Україна) victor\_melnic@ukr.net

<sup>2</sup> Національний університет цивільного захисту України (м. Харків, Україна)  
tsembalbogdan@ukr.net ORCID:0000-0002-2317-3428

В Україні, як частині Європи, у зв'язку зі значним збільшенням вартості енергетичних ресурсів відбувається енергетична криза, яка призводить до скорочення виробництва, погіршення рівня мікрокліматичних умов у приміщеннях, збільшенням вартості готової продукції та до великих збитків, як у сільському господарстві так і в промисловості. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є підвищення рівня енергозбереження та енергоефективності, а також комфортності, будівель та споруд, за допомогою альтернативних джерел енергії, тепло-енергетичних систем з використанням теплових насосів, ґрунтових теплообмінників інтегрованих у фундамент, енергетичних паль.

В даній роботі представлено аналіз та класифікація існуючих тепло-енергетичних систем з використанням теплових насосів. Було встановлено, що одним з перспективних напрямків дослідження є тепло-енергетичні системи з ґрунтовими теплообмінниками інтегровані в фундамент, енергетичні палі. Дані енергетичні системи можливо класифікувати за технологічними та конструкційними параметрами. Було встановлено негативні характеристики цих систем, до яких можливо віднести: залежність від глибини промерзання ґрунту, складність процесу монтажу, низька корозійна стійкість металевих каркасів та теплообмінників. До переваг цих систем можливо віднести: використання відновлювального джерела енергії, енергії ґрунту, підземних вод, тепловтрати крізь фундамент та цоколь будинку, енергетичних комунікацій, можливість використання, як для охолодження так і для обігріву приміщень, інтегрованість у палі теплообмінників, з іншими енергетичними системами та гаряче водопостачання. Використання цих систем у будівлях молочних ферм великої рогатої худоби є перспективним напрямком дослідження.

**Ключові слова:** геоефектори, теплообмінник, енергетична палля, тепловий насос, молочні ферми, велика рогата худоба, енергозбереження, енергоефективність

**Вступ.** Геотермальна енергія землі (теплова енергія ґрунту) – це акумульована у вигляді тепла енергія під верхніми шарами землі. На глибині від 1,2 м і більше в Україні ґрунти не промерзають цілий рік на глибині 10 м температура ґрунту знаходиться практично завжди на одному рівні – близько 10 °С, незалежно від пори року, і збільшується через кожні 100 м в середньому на 3 °С. Чим глибше проникати в надра землі, тим тепліше стає навколишній ґрунт. в Середній Європі температура ґрунту збільшується в середньому на 3 °С через кожні 100 м. На сьогоднішній день відомо, що температура в центрі землі сягає від 5000 до 6000 °С [1]. Ця тепла енергія, яка зберігається в центрі землі за людськими масшта-

бами невичерпна. З надр нашої планети до її поверхні прагне постійний тепловий потік. Водночас сонячне випромінювання і опади сприяють генерації нової теплової енергії ґрунту.

При видобутку теплової енергії з надр землі для обігріву та охолодження будинків і споруд використовуються теплові насоси, які практично працюють за принципом побутового холодильника: у продукту, який охолоджується забирається тепло і передається через теплообмінник у приміщення. Так, при використанні теплоти ґрунту для опалення в ґрунтовій поверхні забирається тепло через замкнуту систему трубопроводів. При цьому рідина, яка знаходиться в трубопроводі виступає в якості теплоносія. Отримане за допомогою тепло

вого насоса тепло ґрунту концентрується, і теплоносії системи опалення нагрівається до необхідної температури і подається в нагрівальний контур. При цьому особливо вигідно використання його з низькотемпературними системами, як, наприклад, підлогове опалення і темперування ядра будівельних конструкцій. Тому використання адаптованих геокolleкторів для обігріву або охолодження будинків молочних ферм великої рогатої худоби, а також гаряче водопостачання та створення пари для стерилізації доїльних апаратів є перспективним напрямком дослідження.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Проблемами геосистем займаються вчені з всього світу. Реалізатором ідеї ґрунтових (земляних) геотермальних теплових насосів, які отримали в подальшому реальне практичне застосування особливо для північних країн, вважається винахідник-ентузіаст Роберт Вебер (Robert C. Webber). В середині 40-х років ХХ століття Вебер випадково доторкнувся до гарячої труби на виході з морозильної камери та зрозумів, що тепло просто викидається назовні. Винахідник задумався над тим, як використовувати це тепло, та вирішив помістити трубу в бойлер для нагріву води. В результаті Вебер забезпечив свою сім'ю такою кількістю гарячої води, яке вони фізично не могли використовувати, при цьому частина тепла від нагрітої води потрапляла в повітря. Це підштовхнуло його до думки, що від одного джерела тепла можна нагрівати і воду, і повітря одночасно, тому Вебер удосконалив свій винахід і почав проганяти гарячу воду по спіралі (через зміювик) і за допомогою невеликого вентилятора поширювати тепло по будинку з метою його опалення. Згодом саме у Вебера з'явилася ідея «викачувати» тепло з землі, де температура не занадто змінювалася протягом року. Він помістив в ґрунт мідні труби, по яким циркулював фреон. На сьогоднішній день така технологія вилучення тепла з ґрунту називається безпосереднім кипінням та вважається найефективнішою [2].

Дослідницька група з енергетичних геоструктур (Лабораторія механіки ґрунту LMS), до якої входять такі вчені: Лессе Лалуї, Алессіо Феррарі, Меліс Сутман, яка займається спостереженням, вимірюванням, розумінням та прогнозуванням того, як енергетичні геоструктури поведуться з точки зору мультифізики. Головною метою цих вчених є забезпечити оптимальні енергетичні, геотехнічні та структурні характеристики цієї технології [3].

Вчені Гонконгський політехнічний університет: Чжан Венке, Ян Хонгсін, Лу Лін вдосконалили технологію наземного з'єднання теплових насосів (GCHP), яка має високопродуктивні характеристики у сфері енергозбереження, захисту навколишнього середовища та пов'язаними з цим

перевагами. Розвиток їх досліджень призвів до створення нового типу земляного теплообмінника (GHE) під назвою "енергетична куча". Спіральні теплообмінники укладені в палі фундаменту будівель, таким чином інтегруючи несучу конструкцію будівель з компонентом теплопередачі. Певна частина нагрівального навантаження або охолоджуючого навантаження виконана таким чином, тим самим зменшуючи первісну вартість всієї системи охолодження та опалення. Їх поліпшення полягає в тому, що спіральна лінія замінює відокремлені котушки, таким чином, що послідовність пов'язаних котушок з певним діаметром розподіляється по глибині палі. Відповідно, обробляються не тільки крок котушки, а й кути спіралі. Таким чином, модель просочування спірального джерела тепла ефективно показує теплові переливани з більшою точністю і точністю під час комбінованого вкладу як в провідність, так і в проходження ґрунтових вод [4].

Науковець ЦНТІ-філіалу ФДБУ "РЕА" Мінерго Росії Петровський Володимир Павлович створив фундаментну палю з вбудованим в залізобетонне тіло палі теплообмінник, яка крім забезпечення основних параметрів з механічної міцності і несучої здатності, дозволила вирішити завдання по утилізації низькопотенційної теплової енергії поверхневих шарів ґрунту, і використовувати її в автономних системах теплопостачання і гарячого водопостачання будинків і споруд з тепловими насосами та пальових фундаментів, виконаному з палі з вбудованими теплообмінниками. Фундаментна палля має квадратний суцільний перетин, цільна, з поперечним армуванням стовбура, що складається із залізобетонного пальового тіла і пальної арматури, яка відрізняється тим, що в середині залізобетонного стовбурового тіла встановлений вбудований U-подібний порожній теплообмінник, трубчастого форми, необхідного профілю та конфігурації, при цьому внутрішній об'єм вбудованого теплообмінника заповнений рідким робочим тілом-теплоносієм. [5, 6].

Відкрите акціонерне товариство "Інсолар-Інвест", Васильїв Григорій Петрович, Горнов Віктор Федорович, Юрченко Ігор Андрійович запропонували використовувати теплоаккумуляційні властивості ґрунту, а саме ґрунтові герметичні теплообмінники, термосвердловини, по яким циркулює теплоносії та витяг з ґрунту, або/та скидання в ґрунт низькопотенційної теплової енергії. В ґрунті організовують спрямовану течію ґрунтових вод за допомогою відкритих свердловин, з яких як мінімум одна водозабірна та одна нагнітальна, при цьому витягнута з ґрунту ґрунтова вода перед нагнітанням назад в ґрунт можна охолоджувати, відбираючи низькопотенційне тепло, або нагрівати, скидаючи низькопотенційне тепло в ґрунт.

В якості герметичних ґрунтових теплообмінників та/або відкритих водозабірних та нагнітальних свердловин використовують шпунтові огорожі котлованів, які розробляються під фундаменти і підземні поверхи будівель, при цьому в шпунтових огорожах можуть чергуватися відкриті водяні і герметичні термосвердловини [7].

Білоруське Республіканське унітарне підприємство «Інститут житла – НІПТІС» ім. Атаєва С.С., Данилевський Леонід Миколайович, Пилипенко Володимир Митрофанович розробив спосіб пристрою енергетичної палі, при якому виготовляють залізобетонну палю шляхом укладання арматурного каркаса та U-подібної трубки для циркуляції теплоносія в форму для заливки бетону, при цьому кінці U-подібної трубки для циркуляції теплоносія виводять з того боку залізобетонної палі, яка буде знаходитися на поверхні ґрунту, забивають виготовлену залізобетонну палю в ґрунт на задану глибину, обрізають залізобетонну палю на необхідному рівні, звільняють від бетонного покриття виведені кінці U-подібної трубки і для циркуляції теплоносія, які потім підключають до труб подачі та відведення теплоносія, що створює колектор контуру циркуляції теплового насоса, а арматурний каркас та клас бетону вибирають виходячи з необхідної міцності залізобетонної палі. [8].

Установа освіти «Білоруський державний технологічний університет» Філатов Святослав Олегович виконали моделювання впливу конструктивних параметрів енергетичних палей на енергетичні параметри роботи теплового насоса, результати якого показали, що при проектуванні систем теплопостачання на основі ґрунтових теплових насосів з енергетичною системою слід враховувати конструктивні параметри. Інтерес представляє дослідження параметрів роботи теплові насоси при подальшому збільшенні кількості труб енергетичних систем та різних схем включення енергетичних систем в циркуляційний контур [9].

Кунтиш Володимир Борисович, Володін Віктор Іванович вчені цього ж університету, розробили енергетичну палю, що включає корпус у вигляді залізобетонної вертикальної труби круглого поперечного перерізу з теплоносієм, що відрізняється тим, що співвісно в ній на всю довжину встановлена труба з низкотеплопровідного матеріалу, з декількома бічними отворами на нижньому кінці та газоподібним теплоносієм. На внутрішній поверхні стінки корпусу міститься два симетрично розташованих поздовжніх паза для закріплення в них поздовжніх ребер на зовнішній поверхні труби з низкотеплопровідного матеріалу, причому довжина поздовжніх ребер менше висоти енергетичної палі [10].

**Метою роботи** є виявлення невіршених раніше проблем, недоліків тепло-енергетичних систем з використанням теплових насосів, ґрунтових теплообмінників інтегрованих у фундамент, енергетичних палей для їх вдосконалення, впровадження та адаптації в будівлі та споруди молочних фермерських господарств великої рогатої худоби.

Для **досягнення поставленої мети** треба вирішити наступні задачі: надати характеристику та виконати аналіз та класифікації теплоенергетичних систем з використанням теплових насосів, з ґрунтовими теплообмінниками, інтегрованими в фундамент (з палями), за технологічними та конструкційними параметрами, виявити їх недоліки та переваги.

**Головна частина.** Класифікація тепло-енергетичних систем з використанням теплових насосів наведена на рисунку 1. Ці системи можливо класифікувати за такими характеристиками: походження низькопотенційного тепла для теплових насосів, місцем розташування теплових насосів та видом затрачуваної енергії.

Походження джерел низькопотенційного тепла для теплових насосів може бути: природним, штучним або змішаним [11-12]. До природних джерел можливо віднести: геотермальні (використання тепла ґрунту або підземних вод (ґрунтові, артезіанські та термальні), водні (енергія водойм, річок озер, та т. п.), сонячні та повітряні (використання тепла повітря навколишнього середовища). Окремо можливо виділити теплові насоси, що використовують вторинне тепло іншого теплового процесу, яке потребує утилізації – наприклад, тепло технологічного процесу чи стічні води.

Велике значення для продуктивності та ефективності теплового насоса має температура джерела тепла. При використанні геотермальної енергії обов'язковим є обстеження земельної ділянки для визначення типу ґрунту, його теплоємності, геологічних особливостей та можливості розташування. При використанні води в якості джерела тепла – необхідно провести хімічний аналіз води. Всі ці фактори повинні бути враховані при проектуванні систем теплопостачання на основі теплових насосів. Ґрунт – найбільш оптимальне джерело розсіяного тепла. Він акумулює сонячне випромінювання, яке падає на його поверхню та постійно отримує тепло від земного ядра. Ґрунт характеризується стабільною температурою, яка мало залежить від погоди. Вже на глибині 5-7 метрів температура ґрунту практично стала протягом всього року і складає 10-12°C. Теплоємність ґрунту залежить від декількох факторів – типу ґрунту, геологічного складу та вологості.



Рис. 1. Класифікації тепло-енергетичних систем з використанням теплових насосів

Чим вища вологість – тим більше тепла можна отримати. Вологий глиняний ґрунт буде мати найкращі теплові характеристики, а великий вміст піску значно зменшує кількість відібраного тепла [11].

За принципом дії теплові насоси розрізняють паро-компресорні (споживають механічну енергію), абсорбційні (для одержання холодної води), теплоізолюючі (використовують теплову енергію джерел тепла) та термоелектричні (використовують безпосередньо електричну енергію) [13]. При

класифікації за поєднанням джерел низькопотенційного тепла та середовища, що нагрівається, розрізняють наступні варіанти: повітря-повітря, повітря-вода, ґрунт-повітря, ґрунт-вода, вода-повітря та вода-вода. За видами енергії, що витрачається, розрізняють теплові насоси, що використовують електроенергію, паливо того або іншого вигляду, вторинні енергетичні ресурси [12].

Класифікація теплоенергетичних систем з теплообмінниками представлена на рис. 2.



Рис. 2. Класифікація теплоенергетичних систем з ґрунтовими теплообмінниками та з теплообмінниками інтегрованими в фундамент (з палями)

Ці системи можливо класифікувати за такими параметрами: способом передачі енергії та різновидом систем теплообміну. За способом передачі тепла теплообмінники поділяються на прості, що безпосередньо встановлюються в ґрунт

та інтегровані – вмонтовані безпосередньо в каналізацію, в палі фундаменту та теплові мережі.

За різновидами систем теплообміну: геозонди, які встановлюються вертикально на глибину, як правило, від 50 до 300 м; геотермальні колект-

ори, що укладаються горизонтально на глибину не менше 0,5 м нижче глибини промерзання ґрунту; Helix-зонди, що встановлюються на глибину до 5 м та інтегровані в армокаркас колекторні трубопроводи для використання тепла оточуючих шарів землі (так звані енергетичні палі) [1].

Геозонди встановлюють на глибину від 50-100 метрів, щоб вигідно використовувати постійні температури навколишнього ґрунту для отримання теплової енергії, але така велика глибина вимагає високих енергозатрат та ресурсів при його монтажі. Специфіка цих подвійних U-подібних геозондів полягає в тому, що вони не мають зварних з'єднань, та поворот труб в оголовці здійснений в заводських умовах. Оголовок геозондів, виконаний з поліестерової смоли, що забезпечує додатковий захист вигинів контурів труб. Таким чином, виключений ризик утворення негерметичного зварного з'єднання та забезпечується висока ступінь надійності. Крім того, ці трубопроводи дуже стійкі до утворення тріщин, подряпин та до впливу точкових навантажень. Буріння свердловин, в даній системі дуже витратне [1].

Геотермальні колектори встановлюються поблизу будівлі, яка, має досить великий відкритий майданчик та представляють собою ідеальну альтернативу геозондам. В них висока продуктивність, і їх укладання не вимагає проведення витратних бурових робіт. Геотермальні колектори виготовляють з зшитого поліетилену, так як така труба особливо стійка до пошкоджень та точкових навантажень, то ґрунт, який отримують при її укладанні, може бути використаний і для зворотної засипки. Так можливо зменшити витрати на дорогій заміні ґрунту і скоротити витрати при укладанні. Завдяки покращеній теплопровідності змішаних ґрунтів, в порівнянні з піском, збільшується продуктивність геотермальної установки та скорочуються експлуатаційні витрати. Колекторний трубопровід може бути оснащеним додатковим киснезахисним шаром та захисним шаром з поліетилену низького тиску. Труби з незшитого поліетилену необхідно укладати на піщану подушку, в іншому випадку каміння, постійно будуть впливати на трубу та зможуть призвести до її зламу. Труби із зшитого поліетилену несприйнятливі до таких навантажень, і їх можна укладати в ґрунтову основу без пристрою додаткової піщаної підготовки. Чим вище теплопровідність ґрунту, тим краще його тепловіддача. Таким чином, збільшується коефіцієнт корисної дії теплового насоса і скорочується споживання енергії. Сухий пісок має погану теплопровідність; змішані ґрунти, в яких утримується волога, значно краще проводять тепло.

Спіральні зонди призначені для використання як при будівництві нових будівель, насамперед будинків з низьким споживанням енергії, так і при реконструкції старих споруд. Вони використовуються в тому випадку, якщо є невелика ділянка землі та буріння свердловини виключено

з гідрогеологічних або геологічних міркувань. Основна перевага цієї системи полягає в тому, що вона має форму спіралі довжиною 1,1 м, які витягуються до 3,0 м. Завдяки цьому скорочуються витрати на зберігання та транспортування. Спеціальна поліетиленова плівка фіксує відстань між витками і діаметр зонда та має погану теплопровідність. Спіральний зонд виготовляють з високоякісного матеріалу PE-Xa, що забезпечує додаткову надійність та довговічність системи, оскільки прямий і зворотний трубопроводи виготовлені з однієї суцільної труби, на оголовці зонда немає з'єднань. Таким чином, спіральні геозонди являють собою ідеальну альтернативу геотермальним колекторам за рахунок своєї малогабаритності та малими витратами на установку.

У сучасному будівництві для поліпшення статичної на погано несучій основі в фундамент будівлі закладаються буронабивні палі. Якщо в ці палі інтегруються спеціальні трубопроводи для використання теплоти поверхневого ґрунту, то вони називаються енергетичні палями. За допомогою таких енергетичних паль з ґрунту основи може забиратися тепло для опалення будівлі та навпаки подаватися в ґрунт в цілях охолодження. При інтеграції колекторної системи виникають лише незначні додаткові витрати. При монтажі, поряд з високою межею міцності труб, важливою перевагою є їх незначні радіуси вигину. Завдяки цьому забезпечується тривала та надійне вироблення теплової енергії. При цьому інтегрований в трубу киснезахисний шар перешкоджає утворенню корозії сталевих елементів, знаходяться у всій системі [1].

Класифікація теплоенергетичних систем з теплообмінниками інтегрованими в фундамент (з палями) зображена на рис. 2. Ці системи можливо класифікувати за такими ознаками: за сферами використання та технічними характеристиками. Вони можуть бути використані в багатоповерхових будинках, тунелях (метро), тепличних господарствах, молочних фермах великої рогатої худоби, переробних підприємства, трансформаторних підстанціях та офісних будівлях [3]. За технічними параметрами вони діляться на технологічні та конструкційні характеристики.

Класифікація теплоенергетичних систем з теплообмінниками інтегрованими в фундамент (з палями) за конструкційними параметрами представлена на рисунку 3 та можуть охарактеризованими наступними параметрами: за видом контурів трубопроводів, перетином паль, формою теплообмінника, поєднанням колекторів, матеріалом паль, теплоносієм, за навантаженням, відкритком геоструктур на навантаження, джерелом навантаження, положенням теплообміннику, положенням труб, формою труб, типом, класом на стиснення бетону, матеріалом арматури.

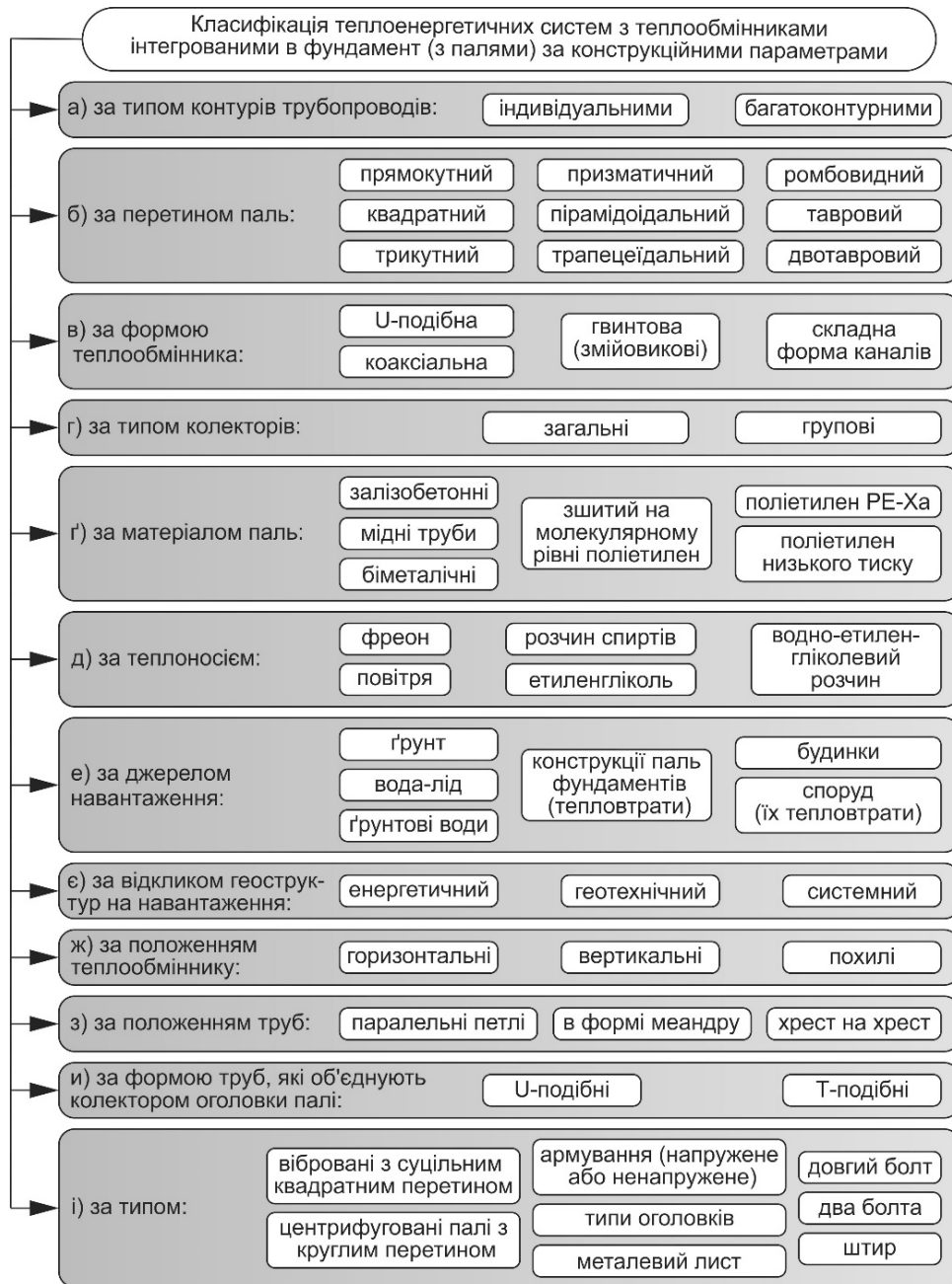


Рис. 3. Класифікація теплоенергетичних систем з теплообмінниками інтегрованими в фундамент (з палями) за конструкційними параметрами

В залежності від потужності системи енергетична палія може бути обладнана індивідуальними або багатоконтурними контурами, трубопроводами [14]. Палі можуть мати: квадратний, круглий, ромбовидний, призматичний, пірамідоїдальний, трикутний, ромбовидний, прямокутний, тавровий, двотавровий або трапецеїдальний перетин, який буде впливати на несучу здатність палі [15]. В залежності від характеристик ґрунту та характером теплових потоків теплообмінника можуть мати: U-подібну, гвинтову (змійовикову),

коаксіальну форму та складну форму каналів [10]. Теплообмінники можуть об'єднуватися загальними або груповими колекторами. Палі можуть бути виготовлені з наступних матеріалів: залізобетонні, мідні труби, біметалічні (накатні алюмінієві ребра), зшитий на молекулярному рівні поліетилен, поліетилен низького тиску або поперек зшитий поліетилен РЕ-Ха [16, 17, 18]. В даних системах можуть бути використані наступні теплоносії: етиленгліколь, розчин спиртів, водно-етиленгліколевий розчин, фреон або повітря [8].

Первинною функцією енергетичної палі є передача навантаження від будівлі на ґрунт. Додатково, палю можна використовувати в якості середовища для передачі термальній енергії. На відміну від інших систем термальної енергії, енергетичні палі можна використовувати в якості основної системи передачі навантаження. За потреби, пікові навантаження повинні компенсуватися за рахунок використання додаткових систем термальною енергії. Якщо при будівництві необхідно використовувати фундаментні палі, то існує можливість їх термальною активації. Дане додаток до основної функції вимагає менше інвестицій, але при цьому відіграє значну роль у всій енергосистемі об'єкта [18].

Відклик геоструктур на навантаження може бути: енергетичним, геотехнічним та системним. Джерелом навантаження на ці системи є: ґрунт, ґрунтові води, будинки, вода-лід (фазовий перехід) басейну в підвалі будинку, споруд (їх теплові втрати) та конструкції палей фундаментів (тепловтрати) [5-6].

Положення теплообміннику може бути: горизонтальним, вертикальним та похилим. Положенням труб цих систем буває: паралельні петлі, в формі меандру, хрест на хрест та спіралью. Труби подачі та обороту енергетичної палі можуть бути об'єднані за допомогою колектора оголовком палі, з використанням Y-подібного або T-подібного трійників і згруповані з іншими палями в системі [18].

Енергетичні палі поділяються на два типи, що відрізняються один від одного перетином та методом виготовлення вібровані палі із суцільним квадратним перетином 250x250 та 350x350 мм і довжиною 6-12 м з попередньо напруженим або ненапруженим армуванням. Для використання палей в різних фундаментах передбачено 4 типи оголовків: штир, довгий болт, два болта і металевий лист (до листа може бути приварено 2 типа наголовників (з двома або чотирма болтами) або прикріплені болтами, пропущеними через отвір в палі, деталі для кріплення відтяжок); центрифуговані палі з круглим перетином (циліндричні порожнисті палі) діаметром 420 та 560 мм довжиною 7-13 м з попередньо напруженим або ненапруженим армуванням. Форма порожнистих палей дозволяє здійснити стикування окремих секцій (ланок) і, таким чином, отримати складові палі будь-якої довжини. Ще однією перевагою порожнистих палей є порівняно мала вага, тому вони не вимагають важкого устаткування для занурення в ґрунт. Порожнина палі після занурення заповнюється бетоном. Для цих палей передбачено 8 типів наголовників [15].

Енергетичні палі виготовляються з важкого бетону класом по міцності на стиск: В25 – вібровані ненапружені, В30 – вібровані напружені, В40

– центрифуговані напружені. При тому, що спирається палі на скельні та великоуламкові ґрунти класу бетону по міцності слід приймати не нижче В25 незалежно від їх довжини. Палі залізобетонні енергетичні армуються каркасами та спіралями з попередньо напруженою або ненапруженою арматурою. Поздовжня арматура використовується: для напружених віброваних та центрифугованих енергетичних палей – гарячекатана сталь класу А-I, А-III та А-V; для ненапружених віброваних палей – гарячекатана арматурна сталь класу А-III. В якості робочої та конструктивної арматури застосовується стрижнева гарячекатана арматурна сталь класу А-I. Спіралі виготовляються зі звичайної арматурного дроту періодичного профілю класу ВрI. Монтажні петлі конструкцій виготовляються з стрижневий гладкою гарячекатаною арматурної сталі класу А-I. [15].

Класифікація теплоенергетичних систем з теплообмінниками інтегрованими в фундамент (з палями) за технологічними параметрами представлена на рис. 4, до яких можливо віднести: призначення, спосіб монтажу, спосіб установки, способом виконання, функціональність палей та видами палей.

Ці системи можливо застосовувати для гарячого водопостачання, тепlopостачання, охолодження, підігріву доріжок, усунення обледеніння та підігріву полів, також перспективним напрямком є постачання пару [2].

Енергетичні палі встановлюються або з використанням методів переміщення ґрунту, або системи земляних робіт [14]. Монтаж палей може виконуватися такими способами: буріння свердловини, забивання, укрупчування, вдавлювання та комбінований. Найбільш перспективним методом є метод вдавлювання, бо його можливо застосовувати на проблемних технічно ділянках, біля тунелів, підземних переходів і т.п.

Існує багато способів виконання палей: за допомогою пневмопробійника, шляхом занурення сваєбійної установки конічної пробивної труби-пробивного сердечника, шляхом облаштування розширеної основи з втрамбованого в дно свердловини жорсткого матеріалу, шляхом забивки молотом обсадної труби чавунним або залізобетонним конуса-втрачаємим башмаку та шляхом буріння свердловини на задану глибину [19]. До основних недоліків цих систем можливо віднести:

- обмежена область застосування таких палей через порівняно невеликий діаметр до 0,14 та в деяких випадках до 0,26 м та глибини влаштування до 2-6 м, а також неможливість виконання в ґрунтах з наявністю прошарків або навіть ліній з підвищеною щільністю та міцністю і тим більше в товщі щільних ґрунтів

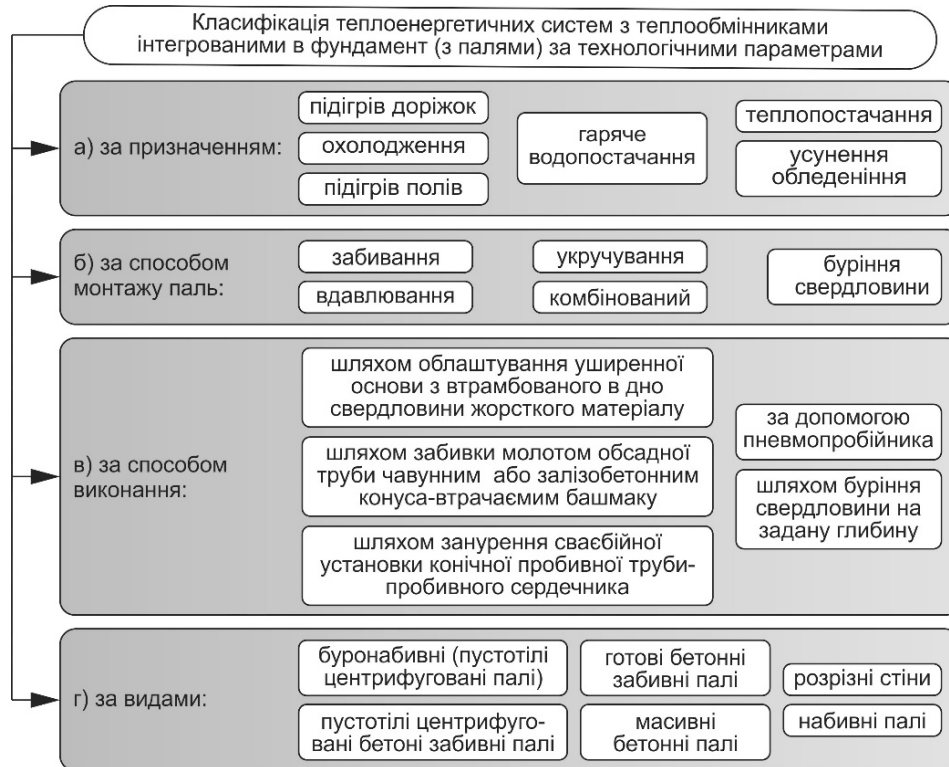


Рис. 4. Класифікація теплоенергетичних систем з теплообмінниками інтегрованими в фундамент (з пальями) за технологічними параметрами

- неповне використання несучої здатності ґрунтів під торцем палі через малу його площу, що не перевищує 0,002-0,018 м<sup>2</sup>; необхідність використання двох видів бетонної суміші, а саме жорсткої бетонної на крупному заповнювачі для вдавнення її в бічну поверхню свердловини при можливому повторному зануренні пробивного сердечника та литого на дрібному заповнювачі при бетонуванні стовбуру палі; утруднення і часто неможливість повторного занурення пробивного сердечника в свердловину, заповнену жорсткою бетонною сумішшю при наявності прошарків і ліній досить міцних і щільних, в тому числі маловологих глинистих ґрунтів; низька несуча здатність таких палей в глинистих ґрунтах з підвищеною вологістю, а також щільних та маловологих ґрунтів в зв'язку з відсутністю можливості вдавнення жорсткої бетонної суміші в стінки свердловини;

- відсутність спеціального навісного обладнання на вантажопідйомні та транспортні механізми та необхідність його кустарного виготовлення;

- відносно низька несуча здатність на вертикальні і тим більше на моментні та горизонтальні навантаження;

- практично повне виключення в передачі навантаження на ґрунт основи по бокові поверхні палі та по всій її довжині на вертикальні і горизонтальні навантаження, внаслідок чого ці палі

доцільно застосовувати лише при прорізці заторфованих і ін. ґрунтів з наявністю в них прошарків торфів, а також в самоущільнюючих від власної ваги ґрунтах з II типом ґрунтових умов і незлежалих насипних ґрунтах.

Крім того, загальним недоліком усіх наведених вище способів виконання є значна (до 0,2-0,5 місяці) перерва у виробництві робіт нульового циклу, необхідна для набору міцності бетону набивних палей до необхідних значень, внаслідок чого істотно збільшуються терміни будівництва [19].

Палі цих систем виконують наступні функції: передача навантаження від конструкції в несучий шар (механічну міцність та несучу здатність) та теплообмін з ґрунтом (низькопотенційна теплова енергія поверхневих та корінних шарів ґрунту).

Фундаментні палі підрозділяються на кілька видів: буронабивні (пустотілі центрифуговані палі, пустотілі центрифуговані бетонні забивні палі, масивні бетонні палі, які вводяться переносним методом, готові бетонні палі, готові бетонні забивні палі, набивні палі та розрізні стіни [18].

#### Висновки.

1. На підставі аналізу та класифікації теплоенергетичних систем з використанням теплових насосів, з ґрунтовими теплообмінниками, інтегрованими в фундамент (з пальями), за технологічними та конструкційними параметрами було встановлено, що застосування теплових насосів



є високоефективним методом при термостабілізації сучасних будівель та споруд.

2. Встановлено, що із всієї сукупності теплових насосів найбільш ефективними є ті, що використовують теплові теплообмінники інтегровані в фундамент та є перспективними для їх впровадження, перш за все, в мало етажних будівлях із великою площею забудови.

3. Із всієї сукупності інтегрованих в фундамент теплообмінників є найбільш перспективним виконання та модернізація теплових систем з палями.

4. Основними переваги енергетичних паль є низькі додаткові інвестиційні витрати.

### Література

1. Геотермия – тепло и холод из недр земли. Системное решение REHAU для использования энергии земли: Rehau. URL: <http://aphd.ua/pryklad-y-oformlennia-bibliografichnoho-opysu-vidpovidno-do-dstu-83022015/> (дата обращения 05.10.2018).

2. Данилевский Л.Н. Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь: Отчёт. Проект №00077154. Технические решения и техническое задание на разработку соответствующей части проектно-сметной документации относительно внедрения мер и размещения оборудования для повышения энергоэффективности в пилотных зданиях. Минск: ПРООН / ГЭФ, 2013. 25 с.

3. Search Laboratory of Soil Mechanics LMS. Energy Geostructures. URL: <https://lms.epfl.ch/research/research-fields/energy-geostructures-thermal-piles> (date of the application 05.10.2018).

4. Zhang Wenke. Study on Heat Transfer Surrounding Pile Foundation Ground Heat Exchangers with groundwater advection: thesis Ph.D. Hong Kong, 2015. 250 p.

5. Фундаментная свая со встроенным теплообменником: пат. 123021 Российская Федерация: МПК E02D 5/30. № 2012127509/03; заявл. 02.07.12; опубл. 20.12.12, Бюл. № 35. 11с.

6. Автономная система теплоснабжения и горячего водоснабжения зданий и сооружений с использованием тепловых насосов и фундаментных свай со встроенными теплообменниками: пат. 123503 Российская Федерация: МПК F24D 3/08. № 2012134968/12; заявл. 15.08.12; опубл. 27.12.12, Бюл. № 36. 13с.

7. Способ использования теплоаккумуляционных свойств грунта: пат. 2416760 Российская Федерация: МПК F24D 11/00. № 2009139306/03; заявл. 26.10.09; опубл. 20.04.11, Бюл. № 11. 3 с.

8. Способ устройства энергетической сваи для теплового насоса: пат. 16773 Республика Беларусь: МПК F24G 3/08. № а 20101034; заявл. 07.07.10; опубл. 28.02.12, Бюл. № 8. 4 с.

9. Филатов С. О. Влияние параметров энергетических свай на работу теплового насоса системы теплоснабжения здания // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць. 2013. Вип. 77. С. 131-135.

10. Энергетическая свая: пат. 9186 Республика Беларусь: МПК E 04D 5/22, F24D 11/00. № u 2012 0992; заявл. 15.11.13; опубл. 30.04.13, Бюл. № 4. 7 с.

11. Частина 2 – джерело тепла для теплового насосу. Сахара: Офіційний сайт. URL: <https://сахара.ua/kompaniya/statti/teplovij-nasos-tehnologija-scho-postijno-rozvivajetsja> (дата звернення 09.09.2018).

12. Використання низькопотенційної теплоти за допомогою теплових насосів. Методичні вказівки для студентів, що навчаються за спеціальністю 133 "Галузеве машинобудування" ОС Бакалавр – Таврійський державний агротехнологічний університет, 2018 – 24 с.

13. Теплові насоси (геотермальні системи) принцип роботи. URL: <http://www.ecosvit.net/ua/teplovij-nasos-vidi-ta-zastosuvannya#%D0%92%D0%B8%D0%B4%D0%B8%20%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%E2%80%A6> (дата звернення 09.09.2018).

14. An energy heap. URL: <http://www.ffgb.be/Business-Units/Piles/Energiepaal.aspx%3Flang%3Den-US&prev=search> (date of the application 22.06.2018).

15. Сваи энергетические. URL: [http://www.blo-ck-gbi.ru/neftegazovoe-stroitelstvo/svai\\_zhelezobetonye/svai\\_zhelezobetonye\\_\\_energy\\_svai](http://www.blo-ck-gbi.ru/neftegazovoe-stroitelstvo/svai_zhelezobetonye/svai_zhelezobetonye__energy_svai) (дата обращения 21.06.2018).

16. Филатов, С. О. Эффективность использования энергетических свай с теплоносителем воздух в системах вентиляции и теплоснабжения / С. О. Филатов, В. И. Володин // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т. 35, № 3. – С. 44-50.

17. RAUGEO – системы использования тепла грунта техническая информация 827600 RU. URL: [http://luir.com.ua/files/2/RAUGEO\\_geo\\_zonty-kollektora\\_i\\_energ\\_svai\\_TI.pdf](http://luir.com.ua/files/2/RAUGEO_geo_zonty-kollektora_i_energ_svai_TI.pdf) (дата обращения 21.06.2018).

18. Энергетические сваи. Сахара: Официальный сайт. URL: <https://сахара.ua/ru/produkcija/teplo-i-vodopostachannya/uponor/geotermalni-sistemi/energetichni-svai> (дата обращения 21.06.2018).

19. Устройство забивной сваи в пробитой скважине с уширенным основанием: пат. RU2582530C2 Российская Федерация: МПК E02D5/00. № RU2014117507A; заявл. 10.11.15; опубл. 27.04.16, URL: <https://patents.google.com/patent/RU2582530C2/ru>.

### References

1. Geotermija – teplo i holod iz nedr zemli. Sistemnoe reshenie REHAU dlja ispol'zovanija jenergii zemli: Rehau. URL: <http://aphd.ua/pryklady-oformlennia-bibliografichnoho-opysu-vidpovidno-do-dstu-83022015/> (data obrashhenija 05.10.2018).

2. Danilevskij L.N. Povyshenie jenergeticheskoy jeffektivnosti zhilyh zdaniy v Respublike Belarus': Otchjot. Proekt №00077154. Tehnicheskie reshenija i tehnicheskoe zadanie na razrabotku sootvetstvujushhej chasti proektno-smetnoj dokumentacii otnositel'no vnedrenija mer i razmeshhenija oborudovanija dlja povyshenija jenergojeffektivnosti v pilotnyh zdaniyah. Minsk: PROON/GJeF, 2013. 25 s.

3. Search Laboratory of Soil Mechanics LMS. Energy Geostructures. URL: <https://lms.epfl.ch/research/research-fields/energy-geostructures-thermal-piles> (date of the application 05.10.2018).

4. Zhang Wenke. Study on Heat Transfer Surrounding Pile Foundation Ground Heat Exchangers with groundwater advection: thesis Ph.D. Hong Kong, 2015. 250 p.

5. Fundamentnaja svaja so vstroennym teploobmennikom: pat. 123021 Rossijskaja Federacija: MPK E02D 5/30. № 2012127509/03; zajavl. 02.07.12; opubl. 20.12.12, Bjul. № 35. 11s.

6. Avtonomnaja sistema teplosnabzhenija i gorjachego vodosnabzhenija zdaniy i sooruzhenij s ispol'zovaniem teplovyh nasosov i fundamentnyh svaj so vstroennymi teploobmennikami: pat. 123503 Rossijskaja Federacija: MPK F24D 3/08. № 2012134968/12; zajavl. 15.08.12; opubl. 27.12.12, Bjul. № 36. 13s.

7. Sposob ispol'zovanija teploakkumuljacionnyh svojstv grunta: pat. 2416760 Rossijskaja Federacija: MPK F24D 11/00. №2009139306/03; zajavl. 26.10.09; opubl. 20.04.11, Bjul. № 11. 3 s.

8. Sposob ustrojstva jenergeticheskoy svai dlja teplovogo nasosa: pat. 16773 Respublika Belarus': MPK F24G 3/08. № a 20101034; zajavl. 07.07.10; opubl. 28.02.12, Bjul. № 8. 4 s.

9. Filatov S.O. Vlijanie parametrov jenergeticheskikh svaj na rabotu teplovogo nasosa sistemy teplosnabzhenija zdaniya // Budivel'ni konstrukcii: Mizhvidomchij naukovno-tehnichnij zbirnik naukovih prac'. 2013. Vip. 77. S. 131-135.

10. Jenergeticheskaja svaja: pat. 9186 Respublika Belarus': MPK E 04D 5/22, F24D 11/00. № u 2012 0992; zajavl. 15.11.13; opubl. 30.04.13, Bjul. № 4. 7 s.

11. Chastyna 2 – dzherele tepla dlja teplovoho nasosu. Sakhara: Ofitsiyni sait. URL: <https://caxa.pa.ua/kompaniya/statti/teplovij-nasos-tehnologija-sc-ho-postijno-rozvivajetsja> (data zvernennia 09.09.2018).

12. Vykorystannia nyzkopotentsiinoi teploty za dopomohoiu teplovykh nasosiv. Metodychni vkazivky dlja studentiv, shcho navchajutsia za spetsialnistiu 133 "Haluzeve mashynobuduvannia" OS Baka-lavr – Tavriiskiy derzhavnyi ahrotekhnolohichniy universytet, 2018 – 24 s.

13. Teplovi nasosy (heotermalni systemy) prynt-syp roboty. URL: <http://www.ecosvit.net/ua/teplovij-nasos-vidi-ta-zastosuvannya#%D0%92%D0%B8%D0%B4%D0%B8%20%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%E2%80%A6> (data zvernennia 09.09.2018).

14. An energy heap. URL: <http://www.ffgb.be/Business-Units/Piles/Energiepaal.aspx%3Fflang%3Den-US&prev=search> (date of the application 22.06.2018).

15. Svai jenergeticheskie. URL: [http://www.blo ck-gbi.ru/heftegazovoe\\_stroitelstvo/svai\\_zhelezobetonnye/svai\\_zhelezobetonnye\\_\\_energy\\_svai](http://www.blo ck-gbi.ru/heftegazovoe_stroitelstvo/svai_zhelezobetonnye/svai_zhelezobetonnye__energy_svai) (data obrashhenija 21.06.2018).

16. Filatov, S. O. Jeffektivnost' ispol'zovanija jenergeticheskikh svaj s teplonositelem vozduh v sistemah ventiljacii i teplosnabzhenija / S. O. Filatov, V. I. Volodin // Promyshlennaja teplotehnika. – 2013. – T. 35, № 3. – S. 44-50.

17. RAUGEO – systemy ispol'zovanija tepla grunta tehniceskaja informacija 827600 RU. URL: [http://luir.com.ua/files/2/RAUGEO\\_geo\\_zonty-kollekto ra\\_i\\_energ\\_svai\\_TI.pdf](http://luir.com.ua/files/2/RAUGEO_geo_zonty-kollekto ra_i_energ_svai_TI.pdf) (data obrashhenija 21.06.2018).

18. Jenergeticheskie svai. Sahara: Oficial'nyj sajt. URL: <https://caxapa.ua/ru/produkcija/teplo-i-vodopostachannya/uponor/geotermalni-sistemi/en-ergetichni-svaji> (data obrashhenija 21.06.2018).

19. Ustrojstvo zabivnoj svai v probitoj skvazhine s ushirenym osnovaniem: pat. RU2582530C2 Rossijskaja Federacija: MPK E02D5/00. № RU2014 117507A; zajavl. 10.11.15; opubl. 27.04.16, URL: <https://patents.google.com/patent/RU2582530C2/ru>.

## Аннотация

### **Анализ тепло-энергетических систем с использованием тепловых насосов с интегрированными в основание грунтовыми теплообменниками**

**В.И. Мельник, Б.М. Цымбал**

В Украине, как части Европы, в связи со значительным увеличением стоимости энергетических ресурсов происходит энергетический кризис, который приводит к сокращению производства, ухудшению уровня микроклиматических условий в помещениях, увеличению стоимости готовой продукции и к большим убыткам, как в сельском хозяйстве, так и в промышленности. Одним из направлений решения этой проблемы является повышение уровня энергосбережения и энергоэффективности, а также комфорта, зданий и сооружений, с помощью альтернативных источников энергии, теплоэнергетических систем с использованием тепловых насосов, грунтовых теплообменников интегрированных в фундамент, энергетических свай.

В данной работе представлен анализ и классификация существующих теплоэнергетических систем с использованием тепловых насосов. Было установлено, что одним из перспективных направлений исследования является теплоэнергетические системы с грунтовыми теплообменниками, интегрированы в фундамент, энергетические сваи. Данные энергетические системы, возможно, классифицировать по технологическим и конструкционным параметрам. Было установлено негативные характеристики этих систем, к которым можно отнести: зависимость от глубины промерзания грунта, сложность процесса монтажа, низкая коррозионная стойкость металлических каркасов и теплообменников. К преимуществам этих систем можно отнести: использование возобновляемых источников энергии, энергии почвы, подземных вод, теплопотерь через фундамент и цоколь дома, энергетических коммуникаций, возможность использования, как для охлаждения и для обогрева помещений, интегрированность в сваи теплообменников, с другими энергетическими системами и горячее водоснабжение. Использование этих систем в зданиях молочных ферм крупного рогатого скота является перспективным направлением исследования.

**Ключевые слова:** *геоэлектроды, теплообменник, энергетическая свая, тепловой насос, молочные фермы, крупный рогатый скот, энергосбережение, энергоэффективность*

## Abstract

### **Analysis of heat and power systems with the use of heat pumps with ground-based heat exchangers integrated into the foundation**

**V.I. Melnik, B.M. Tsybal**

Ukraine, as part of Europe, is undergoing energy crisis due to the significant increase in the cost of energy resources, which leads to a reduction in production, deterioration of the microclimatic conditions in the premises, an increase in the cost of finished products and large losses, both in agriculture and in industry. One of the methods to solve this problem is to increase energy preservation and energy efficiency, as well as comfort of buildings and structures with alternative energy sources, heat and power systems using heat pumps, ground heat exchangers integrated into the foundation, energy piles.

This paper represents the analysis and classification of existing heat-energy systems with the use of heat pumps. It was found that one of the perspective directions of the research is the heat-energy systems with ground heat exchangers integrated into the foundation, energy piles. These energy systems can be classified according to technological and structural parameters. The negative characteristics of these systems identified may include: depth dependence of soil freezing, the complexity of the installation process, low corrosion resistance of metal frames and heat exchangers. The advantages of these systems include: the use of a renewable energy source, ground energy, groundwater, heat loss through the foundation and the basement of the building, energy communications, the possibility of use both for cooling and heating of premises, integration in the heat exchanger pile, with other power systems and hot water supply. The use of these systems in dairy cattle farms is a promising area of research.

**Keywords:** *geocollectors, heat exchanger, energy pile, heat pump, dairy farms, cattle, energy saving, energy efficiency*

---

#### **Бібліографічне посилання / Bibliography link:**

Melnik V.I., Tsybal B.M. Analysis of heat and power systems with the use of heat pumps with ground-based heat exchangers integrated into the foundation // Engineering of nature management, 2019, #2(12), p. 6 - 16.

---

*Подано до редакції / Received: 13.11.2018*