

УДК 621.577.2

В.Г.Олейниченко¹, Н.В.Марченко², І.О.Кушнір³ (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Ефективні напрямки інвестування в галузі геотермальної енергетики

Проведено аналіз стану галузі геотермальної енергетики в Україні та визначено чотири базові типи теплових насосів, які використовують геотермальну енергію, і певні конструктивні відмінності. Застосована методика аналізу з використанням методу парних порівнянь та встановлені критерії, що враховують технічні показники насосів, а саме: теплова потужність насоса, питома вартість на 1 кВт виробленої теплоти, коефіцієнт перетворення теплової енергії, діапазон температур ефективної роботи теплового насоса, термін експлуатації теплових насосів. Проведено аналіз базових типів теплових насосів та визначено їх інтегральні оцінки. Найвищу інтегральну оцінку – 8,74 отримали теплові насоси "вода-вода", а найменшу – 7,49 – теплові насоси "грунт-повітря". Пропонується зосередити інвестиції в галузі геотермальної енергетики на теплових насосах типу "вода-вода" з коефіцієнтом перетворення теплової енергії 5, а також на теплових насосах типу "грунт-вода" з коефіцієнтом перетворення теплової енергії 4. Бібл. 7, табл. 5.

Ключові слова: геотермальна енергетика, тепловий насос, коефіцієнт перетворення теплової енергії, питома вартість на 1 кВт виробленої теплоти.

ORCID: ¹0000-0003-4651-9682; ²0000-0001-9921-9077; ³0000-0002-7763-7080

Вступ. Сучасний розвиток світової енергетики неможливо уявити без використання відновлюваних джерел енергії. Значний вклад у загальний енерговидобуток від відновлюваних джерел енергії може внести геотермальна енергетика.

На сьогоднішній день тепловий насос (ТН) є найбільш ефективною енергозберігаючою системою опалення та кондиціонування. Теплові насоси набули широкого поширення в США, Канаді та країнах Європейського Союзу. ТН встановлюються в громадських будівлях, приватних будинках і на промислових об'єктах. Геотермальний тепловий насос був встановлений навіть у широко відомому хмарочосі Нью-Йорка The Empire State Building. Масштаби впровадження теплових насосів приголомшують: у США щорічно виробляється близько 1 млн теплових насосів. При будівництві нових громадських будівель використовуються виключно теплові насоси. Ця норма була закріплена Федеральним законодавством США. У Швеції 50% всього опалення забезпечують теплові насоси. У Стокгольмі 12% всього опалення міста забезпечується геотермальними тепловими насосами загальною потужністю 320 МВт, що використовують у якості джерела тепла Балтійське море з температурою +8°C. У Німеччи-

ні передбачена дотація держави на установку геотермальних теплових насосів у розмірі 400 євро за кожен кВт встановленої потужності. У світі, за прогнозами Світового Енергетичного Комітету, до 2020 року частка теплових насосів у теплопостачанні складе 75% [1].

Невирішені питання та постановка задачі статті. Кожен із розглянутих типів теплових насосів має свої недоліки та переваги. Питання, які ж теплові насоси найбільш доцільні для подальших досліджень, розробки та впровадження, досі не є обґрунтованими. Тому метою даної роботи є як розробка методики, так і проведення на її основі експертного порівняльного аналізу типів теплових насосів методом парних порівнянь на основі наступних критеріїв: коефіцієнт перетворення теплової енергії, термін експлуатації, діапазон температур ефективної роботи ТН, питома вартість на 1 кВт виробленої теплоти, теплова потужність насоса тощо.

Задачею дослідження є визначення на основі експертних оцінок та математичних розрахунків типів теплових насосів з найбільшою інтегральною оцінкою та потенціалом для наступного їх дослідження, розробки та впровадження у народне господарство.

Вибір методу дослідження. Для вибору ефективного напрямку вкладання інвестицій та вибору об'єкта для інвестування існує ряд методів, а саме:

- метод ранжирування;
- метод парних порівнянь;
- метод абсолютної оцінки;
- метод аналізу ієрархій;
- метод вибору.

Кожен із вищезгаданих методів має як свої переваги, так і недоліки. Як і при проведенні досліджень, на першому етапі з визначення найбільш ефективної конструкції установки у нашому випадку також доцільно використати метод парних порівнянь, що наведений у роботах [2, 3].

Вибір методу парних порівнянь обумовлений тими факторами, що він забезпечує можливість однозначно сформулювати основу ранжирування; має відносно простий математичний апарат у порівнянні з методом ієрархій, що важливо для невеликої кількості досліджуваних параметрів. Крім того, в даному методі не існує залежності думки респондента (експерта) від набору параметрів, що пропонуються для порівняння.

В залежності від виду теплоносія у вхідному та вихідному контурах теплові насоси можна поділити на такі основні типи:

- тепловий насос "грунт-вода";
- тепловий насос "вода-вода";
- тепловий насос "повітря-вода";
- тепловий насос "грунт-повітря";
- тепловий насос "вода-повітря";
- тепловий насос "повітря-повітря".

Для порівняльного аналізу оберемо чотири базові варіанти конструктивного і технологічного виконання теплових насосів, які найбільш поширені у світі.

Теплові насоси "грунт-вода". Грунт – це, мабуть, найбільш універсальне джерело розсіяного тепла. Він акумулює сонячну енергію, підігріваячись круглий рік від земного ядра. При цьому він завжди "під ногами" і здатний віддавати тепло незалежно від погоди. Адже вже на глибині 5-7 м температура практично постійна протягом усього року. Для середньої смуги України вона становить 5-8°C. Це дуже підходящі умови для роботи ТН. Необхідна енергія збирається те-

плообмінником, заглибленим у землю, і акумулюється в носії, який потім подається у випарник ТН і повертається назад за новою порцією тепла. В якості такого переносника енергії використовують незамерзаючу, екологічно нешкідливу рідину (її називають також "розсолон" або антифризом).

Головна перевага – універсальність і проста монтажу. Є різні схеми розкладки труби: петля, змійка, зигзаг, плоскі та гвинтові спіралі різних форм і т.п. Вибір визначається теплопровідністю ґрунту і геометрією ділянки. Продуктивність теплозбору більша на зволжених суглинках і менша на сухих піщаних ділянках. У середньому 1 м² поверхні ґрунту може забезпечити "постачання" 10-35 Вт потужності. Довжину труби в одній петлі, причому цільну, без роз'ємів, прагнуть обмежити (не більше 600 м), інакше помітно збільшуються витрати енергії на циркуляційному насосі. Якщо потрібна більша потужність, петель роблять кілька.

Ґрунтові зонди (вертикальні колектори) – це система довгих труб, що опускаються в глибоку свердловину (50-150 м). Тут потрібен лише клаптик землі, зате потрібні дорогі бурильні роботи. На глибині завжди однакова температура – близько 10°C, тому зонди потужніші горизонтальних колекторів. Один метр їх довжини постачає від 30 до 100 Вт теплової потужності, в залежності від ґрунту. Найбільш застосовувані зонди: труба в трубі та U-подібний зонд. По одній лінії "розсіл" подається циркуляційним насосом вниз, по іншій ним же піднімається наверх, до випарника. Для поліпшення теплопередачі та підвищення міцності зонду зазор між землею або обсадною трубою і робочими трубами заповнюється бетоном або бетоном. Якщо потрібно отримати велику потужність, то таких теплозбірників роблять кілька. Відстань між ними – 5-7 м.

Теплові насоси "вода-вода". Джерелом тепла можуть бути поверхневі (річки, озера) або ґрунтові води (свердловини), а також скидна вода технологічних установок. Самі насоси майже не відрізняються від тих, які працюють з "розсолон". Але завдяки більш високій температурі теплоносія взимку річна ефективність застосування пристроїв типу "вода-вода" виявляється максимальною. А якщо поруч тече незамерзаюча річка

або знаходиться ставок, ви можете укласти петлю труби з антифризом на дно (притопивши вантажами) і обігріватися практично задарма. Зі свердловиною складніше. Воду з неї (з розрахунку близько 0,25 м³/год на 1 кВт теплової потужності) свердловинним насосом подають прямо у випарник, а потім зливають у другу свердловину, віддалену від першої вниз за течією води в підземному шарі на 15-20 м. При цьому водоносний шар повинен прийняти і відвести зливу воду, інакше невеличка повінь вам забезпечена.

Теплові насоси "повітря-вода". За універсальністю застосування в українських умовах цей тип насосів сьогодні займає друге місце. І самі насоси дешевші, і труби (з незмінними земляними роботами) не вимагаються. Недолік один, але істотний: із морозного повітря багато тепла не відбереш. Стійко, хоча й зі зменшеною потужністю, ці пристрої працюють до -15°C, а потім треба включати інший котел. У деяких моделях у конструкцію вже вбудовані ТЕНи потужністю від 3 до 12 кВт. Крім того, фірми наполегливо працюють над тим, щоб ще більше знизити робочу температуру. Конструктивно пристрої типу "повітря-вода" виконуються двома компоновальними схемами: спліт і моно. У першому випадку установка складається з двох блоків, з'єднаних комунікаціями. Один (зовнішній) включає потужний вентилятор і випарник (монтується на ділянці недалеко від будинку). Другий (внутрішній) містить конденсатор і автоматику і встановлюється в приміщенні. Компресор може розташовуватися або зовні – щоб не шумів, або у будинку, або у внутрішньому модулі. У моноблоках всі елементи збираються в загальному корпусі і монтується в будинку, а з вулицею з'єднуються гнучким повітровідводом. Вони постачаються більшістю фірм, але володіють обмеженою потужністю – зазвичай 3-16 кВт. Є моноблоки, що допускають як зовнішній, так і внутрішній монтаж.

Теплові насоси "грунт-повітря". Принцип роботи теплових насосів "грунт-повітря" полягає в акумуляції теплової енергії, яка знаходиться в ґрунті, і подальшому обігріванні приміщень із використанням розігрітого повітря. В якості елемента для відбору теплової енергії в представлених установках можуть використовуватися як

геотермальні зонди, так і ґрунтові колектори. Функціонально і перші, і другі призначені для транспортування теплоносія по замкнутому контуру. Мета такої операції – елементарна передача тепла малої величини від ґрунту до випаровувача теплового насоса. Основна відмінність колекторів полягає у їх конструктивному виконанні. Зонди занурюються в бурові свердловини і витягують теплову енергію з великих глибин при постійній температурі ґрунту, а ґрунтові колектори прокладаються на невеликому заглибленні (трохи нижче області промерзання – мінімум 1 м) у спеціальній траншеї, викопаній змієюю або спіраллю. При організації знімання тепла вищеписаним методом потрібна наявність прилеглої ділянки великої площі. Сам тепловий насос "грунт-повітря" монтується в приміщенні, а вже до нього підключається вся гідравлічна схема [4].

Визначення критеріїв для порівняльного аналізу теплових насосів. Для виконання порівняльного аналізу були прийняті вихідні критерії, у яких враховано технічні показники теплових насосів, а саме:

- теплова потужність насоса;
- термін експлуатації теплових насосів;
- питома вартість на 1 кВт виробленої теплоти;
- коефіцієнт перетворення теплової енергії;
- діапазон температур ефективної роботи теплового насоса.

Розглянемо більш детально вищенаведені критерії.

X_1 – теплова потужність насоса. Цей критерій показує кількість теплоти, яку повинен виробляти тепловий насос для компенсації теплових втрат опалюваного об'єкта.

X_2 – термін експлуатації теплових насосів. Цей критерій показує період ефективної роботи теплового насоса.

X_3 – питома вартість на 1 кВт виробленої теплової енергії. Цей критерій характеризує терміни окупності теплового насоса.

X_4 – коефіцієнт перетворення теплової енергії, який визначається відношенням кількості теплоти, отриманої від теплового насоса, до витрат енергії для роботи компресора (приводу) теплового насоса. Цей коефіцієнт може бути від 2,5 до 5 для різних типів теплових насосів.

X₅ – діапазон температур ефективної роботи ТН. Цей критерій характеризує температурний режим на випарнику та конденсаторі для різних типів теплових насосів.

Як бачимо, жоден із вищенаведених критеріїв не може бути використаний як однозначний критерій для виявлення типу теплового насоса, в який доцільно вкладати інвестиції.

Визначення найбільш ефективного теплового насоса. Позначимо існуючі варіанти теплового насоса, а саме:

- P1 – теплові насоси "грунт-вода";
- P2 – теплові насоси "вода-вода";
- P3 – теплові насоси "повітря-вода";

P4 – теплові насоси "грунт-повітря".

В якості експертів були залучені провідні фахівці Інституту відновлюваної енергетики НАН України, які мають багатий досвід у проектуванні та дослідженні геотермальних установок, а також мають досвід їх монтування та обслуговування.

Для визначення максимально ефективного за вказаними вище параметрами теплового насоса проведено порівняльний аналіз базових типів теплових насосів методом парних порівнянь, використовуючи рекомендації [5, 6] та, відповідно, методики, наведену в [3].

В таблиці 1 наведені числові значення критеріїв порівняння у відповідності з [3, 7].

Таблиця 1. Вхідні дані для проведення аналізу

Критерії	Одиниці вимірювання	Індекс параметра	Типи теплових насосів			
			теплові насоси "грунт-вода"	теплові насоси "вода-вода"	теплові насоси "повітря-вода"	теплові насоси "грунт-повітря"
			P1	P2	P3	P4
теплова потужність насоса	кВт	X1	5 - 2000	5 - 10000	5-2000	10 - 1000
Термін експлуатації	рік	X2	15 - 20	15 - 20	15 -20	15 - 20
**питома вартість на 1 кВт виробленої теплової енергії	дол./кВт	X3	250 - 1000	150 - 1000	200 - 1000	250 - 1000
коефіцієнт перетворення теплової енергії		X4	4	5	3	4
діапазон температур ефективної роботи ТН	°C	X5	0 - 14	0 - 14	(- 25) - (+20)	0 - 14

*вхідні дані для проведення аналізу теплових насосів NIBE взяті з сайтів www.nibe.eu, <http://freshdom.com.ua/brand/carrier.html>

**питома вартість на 1 кВт виробленої теплової енергії залежить від фірми-виробника.

Метод парних порівнянь передбачає процес ранжування обраних критеріїв за ступенем важливості. Для цього кожному з обраних параметрів присвоєно індекс у відповідності до їх розташування у таблиці 1. Маючи кількість критеріїв *n*, розраховується необхідна кількість порівнянь *p* за формулою:

$$p = \frac{n(n-1)}{2}, \text{ штук.} \quad (1)$$

Для кількості критеріїв *n* = 5 будемо мати необхідну кількість порівнянь *p* = 10.

При парному порівнянні обраних критеріїв використано три ступені їх вагомості: більш ва-

гомий – оцінка 1,5, менш вагомий – оцінка 0,5 та рівнозначні між собою – оцінка 1. Відповідно до методики було опитано 4 незалежних респондентів, кожному з яких запропоновано порівняти попарно критерії X1-X5 та обрати з кожної пари більш вагомий параметр для теплових насосів за умови, щоб їх кількість відповідала числу досліджуваних критеріїв. Збільшення кількості респондентів не приведе до суттєвої загальної інтегральної оцінки обраних конструктивних рішень ТН.

Остаточну (середню) оцінку ступеня важливості кожного з обраних критеріїв отримано як результат зіставлення оцінок кожного з експертів згідно формул:

Для K_1 – середня оцінка першого з двох порівнюваних критеріїв:

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^m B_i}{m}, \text{ балів,} \quad (2)$$

де B_i – числове значення ступеня вагомості кри

терію, визначене кожним експертом; m – кількість експертів.

Для K_2 – середня оцінка другого з двох порівнюваних критеріїв:

$$K_2 = 2 - K_1. \quad (3)$$

Остаточні середні оцінки ступенів важливості кожного з критеріїв наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Визначення вагомості критеріїв експертами

Порівнювані критерії	Експертна оцінка				Середня оцінка порівнюваних параметрів	
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	K_1	K_2
X1-X2	1,0	1,0	1,0	1,5	1,125	0,875
X1-X3	1,0	1,0	1,0	0,5	0,875	1,125
X1-X4	0,5	1,0	1,0	1,0	0,875	1,125
X1-X5	0,5	1,0	0,5	0,5	0,625	1,375
X2-X3	1,0	1,0	0,5	1,0	0,875	1,125
X2-X4	1,0	0,5	1,0	1,0	0,875	1,125
X2-X5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,75	1,25
X3-X4	0,5	1,0	0,5	1,0	0,75	1,25
X3-X5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,125	0,875
X4-X5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5

На основі даних експертної оцінки заповнено таблицю пріоритетів критеріїв (таблиця 3). Значення, що розташовуються вище головної діагоналі матриці в таблиці 3, відповідають середнім оцінкам K_1 у таблиці 2, значення, що розташовані нижче головної діагоналі – оцінкам K_2 . Коefіцієнт пріоритету розраховано для кожного рядка таблиці згідно формули:

$$K_{np} = \frac{\left(\sum_{i=1}^{m-1} K_i\right)}{n \cdot (n-1)}, \text{ балів,} \quad (4)$$

де $\sum_{i=1}^{m-1} K_i$ – сума рядка в таблиці 3; n – кількість порівнюваних критеріїв.

Таблиця 3. Визначення пріоритету критеріїв

Індекс критерію	X1	X2	X3	X4	X5	Визначення пріоритету		Пріоритет критерію
						Сума ряду	K_{np}	
X1	X	1,125	0,875	0,875	0,625	3,5	0,18	4
X2	0,875	X	0,875	0,875	0,75	3,38	0,17	5
X3	1,125	0,875	X	1,25	1,125	4,38	0,22	2
X4	1,25	1,125	1,25	X	1,5	5,125	0,26	1
X5	1,375	0,875	0,875	0,5	X	3,63	0,19	3

На основі таблиці 1 вхідних даних виконано побальне оцінювання кожного критерію, що відповідає ступеню їх вагомості у процесі визначення найбільш оптимального типу теплового насоса. Критеріям, що найкраще відповідають техніко-економічним вимогам та потребам населення, присвоюється значення 10 балів; близьким до найкращих 8-9 балів; достатнім 4-7 балів; близь-

ким до достатніх 2-3 бали; недостатнім значенням 0-1 бал. Результати побальної оцінки наведені в таблиці 4.

На основі таблиці 1 вхідних даних виконано побальне оцінювання кожного критерію, оцінюючи кожне значення відповідно до ступеня їх доцільності у технологічному процесі. Критеріям, що відповідають технічним вимогам найкра-

ще, присвоюється значення 10 балів; близьким до найкращих 8-9 балів; достатнім 4-7 балів; близьким до достатніх 2-3 бали; недостатнім значенням 0-1 бал. Результати побальної оцінки занесені до таблиці 4.

Після виконання побального оцінювання і знаючи вагомості критеріїв, визначені інтегральні оцінки кожного критерію. Отримані результати наведено в таблиці 5.

Таблиця 4. Побальне оцінювання параметрів

Типи теплових насосів	Побальна оцінка характеристик				
	X1	X2	X3	X4	X5
теплові насоси "грунт-повітря"	10	10	6	7	3
теплові насоси "грунт-вода"	9	8	7	8	7
теплові насоси "повітря-вода"	9	7	7	9	9
теплові насоси "вода-вода"	8	8	8	10	10

Таблиця 5. Інтегральна оцінка технологічного та конструктивного виконання теплових насосів

Вид конструкції	Інтегральна оцінка					Сума інтегральних оцінок	Пріоритет технології
	$K_{np1} * B$	$K_{np2} * B$	$K_{np3} * B$	$K_{np4} * B$	$K_{np5} * B$		
теплові насоси "грунт-повітря"	0,26*10	0,21*10	0,16*6	0,18*7	0,19*3	7,49	4
теплові насоси "грунт-вода"	0,26*9	0,21*8	0,16*7	0,18*8	0,19*7	7,91	3
теплові насоси "повітря-вода"	0,26*9	0,21*7	0,16*7	0,18*9	0,19*9	8,26	2
теплові насоси "вода-вода"	0,26*8	0,21*8	0,16*8	0,18*10	0,19*10	8,74	1

Підсумовуючи наведені викладки, можна констатувати, що для підвищення рівня енергобезпеки держави та зменшення впливу на навколишнє середовище на сьогоднішній день головна увага в розвитку геотермальної енергетики повинна бути зосереджена на теплових насосах "вода-вода" та "грунт-вода" в залежності від регіону, наявності ґрунтових вод, геологічної будови ґрунту.

Так, у південних районах України доцільно використовувати теплові насоси типу "повітря-вода", якщо немає можливості в якості низькопотенційного теплоносія застосувати ґрунтові води.

У північних районах при відсутності ґрунтових вод доцільно використовувати теплові насоси типу "грунт-вода", які працюють з більшим коефіцієнтом перетворення, ніж теплові насоси типу "повітря-вода".

Висновки. 1 Запропоновано методику для визначення ефективних напрямків інвестицій у

галузі геотермальної енергетики з використанням методу парних порівнянь.

2. Визначено типи теплових насосів та запропоновано критерії для методу парних порівнянь, у яких враховувались їх технічні показники:

- коефіцієнт перетворення теплової енергії;
- термін експлуатації;
- діапазон температур ефективної роботи ТН;
- питома вартість на кВт виробленої теплової енергії;
- теплова потужність насоса.

3. Виконано порівняльний аналіз чотирьох базових типів теплових насосів та отримано їх інтегральні оцінки. Найвищу інтегральну оцінку 8,74 отримали теплові насоси "вода-вода", а найменшу інтегральну оцінку 7,49 отримали теплові насоси "грунт-повітря".

4. Для ефективного інвестування у галузі геотермальної енергетики є теплові насоси "вода-вода" з коефіцієнтом перетворювання теплової енергії 5.

1. <http://taga.com.ua/?qw=body/tn.php&vcl=1>
2. *Аналіз конструкцій вітрових енергетичних установок* / В.П. Коханевич, Г.П. Душина, Н.В. Марченко, Д.С. Романченко // Науковий журнал "Енергетика: економіка, технології, екологія". – 2012. – № 2. – С. 61–66.
3. Розен В.П. Методические указания для работы студентов по лабораторному практикуму по курсам "Модели и методы оптимизации систем электроснабжения", "Автоматизированные системы управления и переработки информации" и "Энергетический менеджмент" / Розен В.П., Соловей А.И., Белашев А.А.; – К.: 1999. – 27 с.
4. http://www.ecosvit.net/index.php?action=page&page_id=206
5. Г.Г. Татарова. Методология анализа данных в социологии. Условие транзитивности – режим доступа до матеріалу: http://society.polbu.ru/tatarova_sociology/ch33_all.html
6. Елепов Б.С., Чистяков В.М., Управление процессами использования информационных ресурсов, Новосибирск: издательство "Наука". 1989.–235 с.
7. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. / С.О.Кудря. – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 492 с. – ISBN 978-966-622-521-7.

REFERENCES

1. <http://taga.com.ua/?qw=body/tn.php&vcl=1>
2. *Analiz konstrukcij witrowuch energetycznych ustanowok* / V.P. Kochanewich, G.P. Duschina, N.W. Marchenko, D.S. Romanchenko // Naukowyj zurnal "Energetika: ekonomika, technologii, ekologii" – 2012. – № 2. – S. 61–66.
3. Rozen W.P. Metodicheskie ukasanija dlja raboti studentow po laboratornomu praktikumu po kursam "Modeli i metody optimisaziji system elektrosnabgenija", "Awtomatizirowanniye sistemi uprawlenija i pererabotki informaziji" i "Energeticheskij menedgment" / Rozen W.P., Solowej A.I., Belaschew A.A. ; – K. : 1999. – 27 s.
4. http://www.ecosvit.net/index.php?action=page&page_id=206
5. G.T. Tatarowa. Metodologija analiza dannich w soziologii. Usloviye tranzitiwnosti – regim dostupu do materialu: http://society.polbu.ru/tatarova_sociology/ch33_all.html
6. Elepow B.S., Chistyakow B.M., Uprawlenie prozessami ispol'sowanija informazionnich resursow, Nowosibirsk; isdatel'stvo "Nauka". 1989.-235 s.
7. Kudrya S.O. Unconventional and renewable energy sources: the textbook / SO Kudrya. - K.: NTUU "KPI", 2012. - 492 p.– ISBN 978-966-622-521-7.

В.Г.Олейниченко, Н.В.Марченко, И.А.Кушнир (Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Эффективные направления инвестирования в отрасль геотермальной энергетики

Проведен анализ состояния отрасли геотермальной энергетики в Украине и определены четыре базовых типа тепловых насосов, которые используют геотермальную энергию, определены конструкторские отличия. Применена

методика анализа с использованием метода парных сравнений и установлены критерии анализа, которые учитывают технические показатели насосов, а именно: тепловая мощность насоса, удельная стоимость на 1 кВт выработанной тепловой энергии, коэффициент преобразования тепловой энергии, диапазон температур эффективной работы теплового насоса, сроки эксплуатации тепловых насосов. Проведен анализ базовых типов тепловых насосов и определены их интегральные оценки. Наибольшую интегральную оценку 8,74 получили тепловые насосы "вода-вода", а самую меньшую интегральную оценку 7,49 получили тепловые насосы "грунт-воздух". Предлагается сосредоточить инвестиции в отрасли геотермальной энергетики на тепловых насосах "вода-вода" с коэффициентом преобразования тепловой энергии 5 и на тепловых насосах типа "грунт-вода" с коэффициентом преобразования тепловой энергии 4. Библ. 7, табл. 5.

Ключевые слова: геотермальная энергетика, тепловой насос, коэффициент преобразования тепловой энергии, удельная стоимость на 1 кВт выработанной тепловой энергии.

Olijnichenko V., Marchenko N., Kushnir I. (Institute for Renewable Energy at NAS of Ukraine, Kyiv)

Effective directions for investing in the geothermal power industry

Analysis of geothermal energy sector in Ukraine was held and it was determined four base types of heat pumps, which use geothermal energy and some of their constructional differences. Methodology for their analysis was developed by using the method of paired comparisons and were established criterions that taking into account technical parameters of the pumps namely: thermal capacity of the pump, unit cost per 1 kWh of produced heat, thermal energy conversation efficiency, temperature range for efficient performance of the heat pump, heat pump's operational lifetime. The base heat pump types analysis was held and their integral score was determined. References 7, table 5.

Keywords: geothermal energy, heat pump, thermal energy conversation efficiency, unit cost per 1 kWh of produced heat.

SYNOPSIS

Analysis of geothermal energy sector in Ukraine was held and it was determined four base types of heat pumps, which use geothermal energy and some of their constructional differences. Methodology for their analysis was developed by using the method of paired comparisons and were established criterions that taking into account technical parameters of the pumps namely: thermal capacity of the pump, unit cost per 1 kWh of produced heat, thermal energy conversation efficiency, temperature range for efficient performance of the heat pump, heat pump's operational lifetime. The base heat pump types analysis was held and their integral score was determined. The highest integral score of 8,74 was assigned to the water-to-water heat pumps, and lowest score of 7,49 was gained by the earth-to-air heat pumps.

It was proposed to locate investments in field of geothermal energy and water-to-water heat pumps with thermal energy conversation efficiency 5, and earth-to-water heat pumps with thermal energy conversation efficiency 4.

Стаття надійшла до редакції 12.07.17

Остаточна версія 30.08.17