

Ю. П. Морозов, д-р техн. наук, завідувач відділу (Інститут відновлюваної енергетики НАН України), Київ, Україна, geotherm@ukr.net

СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Проведено аналіз тенденції розвитку й використання геотермальних джерел енергії. Показано, що дальший розвиток вироблення електроенергії з використанням геотермальних ресурсів пов'язано із застосуванням бінарних енергоустановок, що використовують температуру геотермального теплоносія 90–130 °С. Однією з проблем системи видобування тепла Землі є зворотне закачування використаного теплоносія. Найбільшого розвитку за останнє десятиліття сягнуло використання тепла верхніх шарів Землі з допомогою геотермальних теплових насосів. В Україні до цього процесу долучилося 14 підприємств. Також в Україні є довгостроковий досвід використання термальних вод на основі застосування геотермальних циркуляційних систем.

Ключові слова: геотермальна енергетика, тепло верхніх шарів Землі, темпи розвитку геотермальної енергетики, геотермальні теплові насоси, тепла продуктивність свердловини.

Сучасні напрями розвитку геотермальної енергетики можна простежити за результатами роботи Міжнародного геотермального конгресу, який проводять кожні п'ять років, починаючи з 1995 року.

На рис. 1 показано зростання сумарної встановленої потужності геотермальних електричних станцій у світі. З графіка видно, що сумарна встановлена потужність ГеоЕС станом на 2010 рік становить 12 ГВт [4].

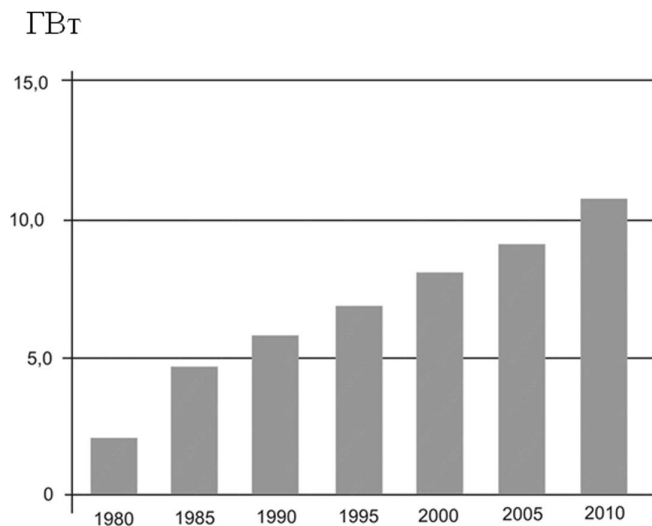


Рис. 1. Зростання сумарної встановленої потужності геотермальних електричних станцій у світі

На рис. 2 показано дані щодо розподілу за типами технологій енергоблоків ГеоЕС, запущених в експлуатацію після 2005 року (усього 139 блоків).

Енергоблоки, указані на рис. 2, використовують високотемпературний теплоносій з температурою понад 150 °С. Енергоблоки, які застосовують бінарний цикл, можуть використовувати теплоносій з температурою 80–90 °С. Саме така температура характерна для багатьох геотермальних родовищ України і, за висновками Міжнародного геотермального конгресу, розвиток геотермальної енергетики під час виробництва електроенергії здійснюватиметься найвищими темпами із застосуванням бінарних установок.

Прогнозне зростання геотермальної енергетики показано на рис. 3. З рисунка видно, що 2020 року сумарна потужність геотермальних електростанцій подвоїться, а 2030 року це зростання становитиме 300 % проти 2010 року.

Установлена геотермальна потужність і річне виробництво теплоти з 1995 по 2015 роки показано на рис. 4.

Потужність теплових установок станом на 2010 рік сягає близько 70 ГВт, при цьому потужність цих установок збільшилася на 45 % протягом останніх 5-ти років [6]. На рис. 5 наведено процентне співвідношення використання геотермального тепла в різних технологіях у світі. З даних, наведених на рис. 5, видно, що використання геотермальних джерел енергії для роботи геотермальних теплових насосів збільшилося із 49 до 55,3 %, використання тепла термальних вод у бальнеології й рекреації зменшилося з 24,9 до 20,31 %. Водночас пряме опалення приміщень збільшилося з 14,4 до 15,01 %. Інші напрями використання геотермального тепла майже не змінились.

За останні 10 років найбільших темпів розвитку як у європейських країнах, так і в Україні сягнуло використання геотермальних теплових насосів, тобто використання тепла верхніх шарів Землі. Верхні шари Землі – це умовний термін і в різних джерелах літератури він означає глибини від 50 до 400 м.



Рис. 2. Дані щодо розподілу за типами технологій енергоблоків ГеоЕС, запущених в експлуатацію після 2005 року (усього 139 блоків)

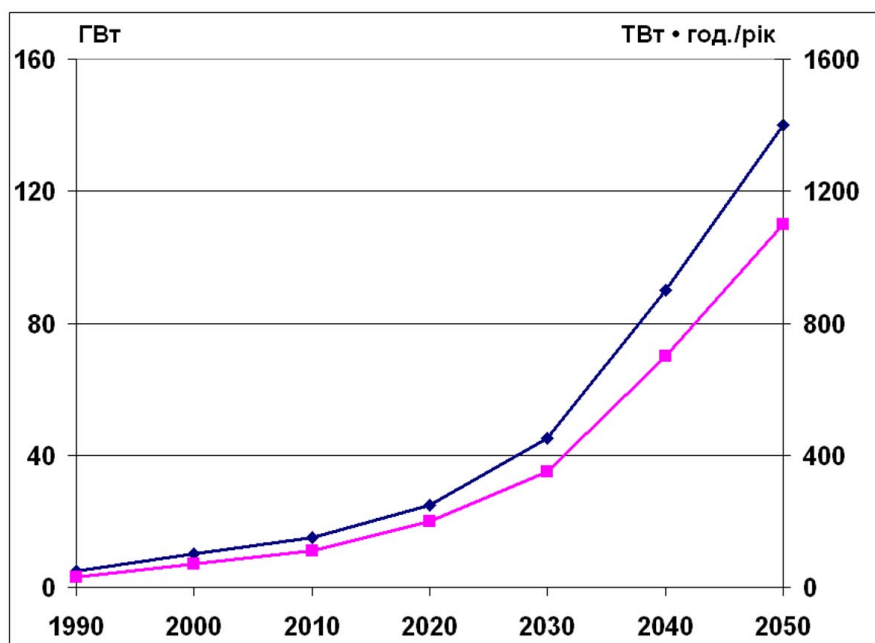


Рис. 3. Сумарна встановлена потужність геотермальних електростанцій у світі (квадрати, ліва шкала) і вироблена геотермальна електрична енергія (ромби, права шкала) за період з 1995 по 2010 рр., прогноз на перспективу до 2050 р. [4]

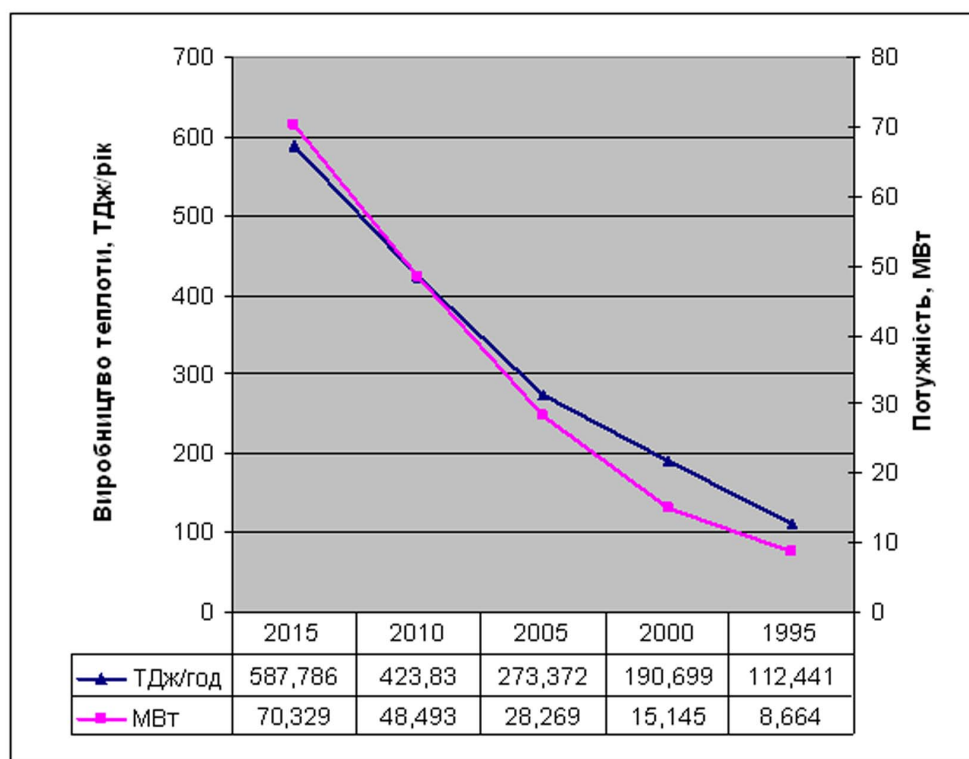
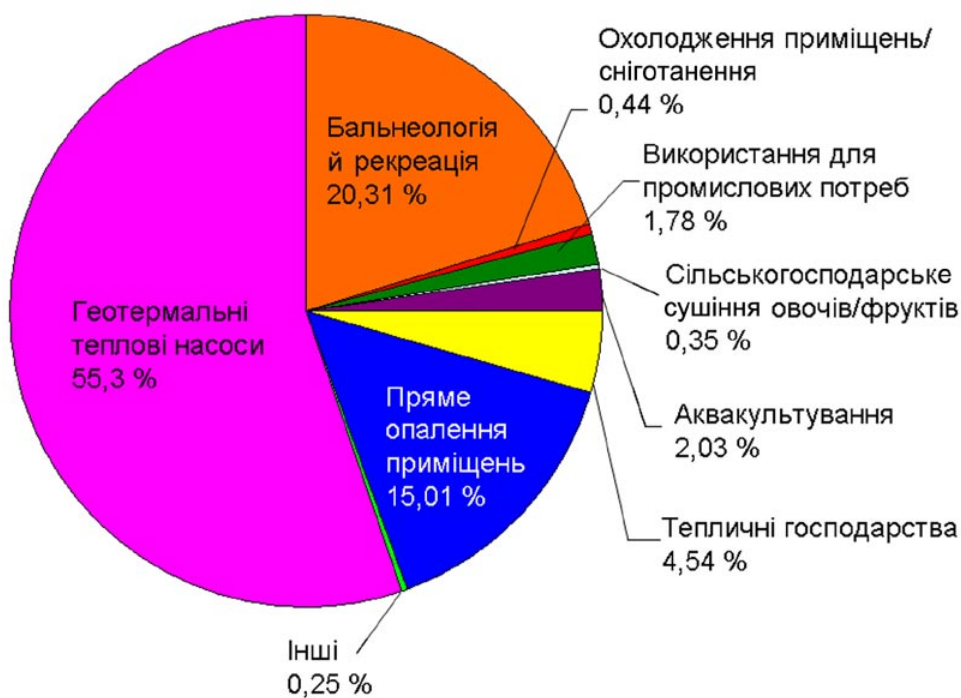


Рис. 4. Установлена геотермальна потужність та річне виробництво теплоти з 1995 по 2015 роки



2010 рік



2015 рік

Рис. 5. Використання геотермального тепла в різних технологіях у світі

Теплоту верхніх шарів Землі можна використовувати майже всюди як джерело для теплопостачання з використанням геотермальних теплових насосів або для кондиціонування повітря приміщень. Розвиток технологій добування й використання теплоти верхніх шарів Землі спрямовано на забезпечення екологічної безпеки таких систем і підвищення їхньої енергоефективності способом застосування акумуляторів теплоти та оптимізацію роботи теплових насосів.

Порівняння прямого використання геотермальної енергії у світі за 1995, 2000, 2005, 2010 і 2015 роки в ТДж/рік наведено на рис. 6.

На рис. 7 наведено частку використання відновлюваних джерел енергії в загальному енергоспоживанні в деяких країнах Європи, Сполучених Штатах Америки та Азії, середні ціни на теплопостачання в Європі, Сполучених Штатах Америки та Південній Кореї наведено на рис. 8.

На рис. 9 показано співвідношення між насосами, що використовують як низькопотенційне джерело тепла повітря, і насосами, які використовують як низькопотенційне джерело тепла верхніх шарів Землі. У Швеції, Німеччині, Франції, Австрії, Фінляндії, Норвегії й Англії використання геотермальних теплових насосів становить понад 50 % [3].

В Україні з геотермальними тепловими насосами працює 14 фірм. На рис. 10 показано кількість теплових насосів, які встановлено впродовж 2000–2014 рр. Потужність поодиноких геотермальних об'єктів переважно становить 20 кВт. Найбільша потужність на впроваджених установках дорівнює 350 кВт. Загальна кількість об'єктів, які введено в експлуатацію тільки на двох підприємствах, становить понад сто двадцять. Загальна ж потужність цих геотермальних об'єктів дорівнює близько 5 МВт.

У табл. 1 наведено приклади теплоспоживачів та їхнє розміщення.

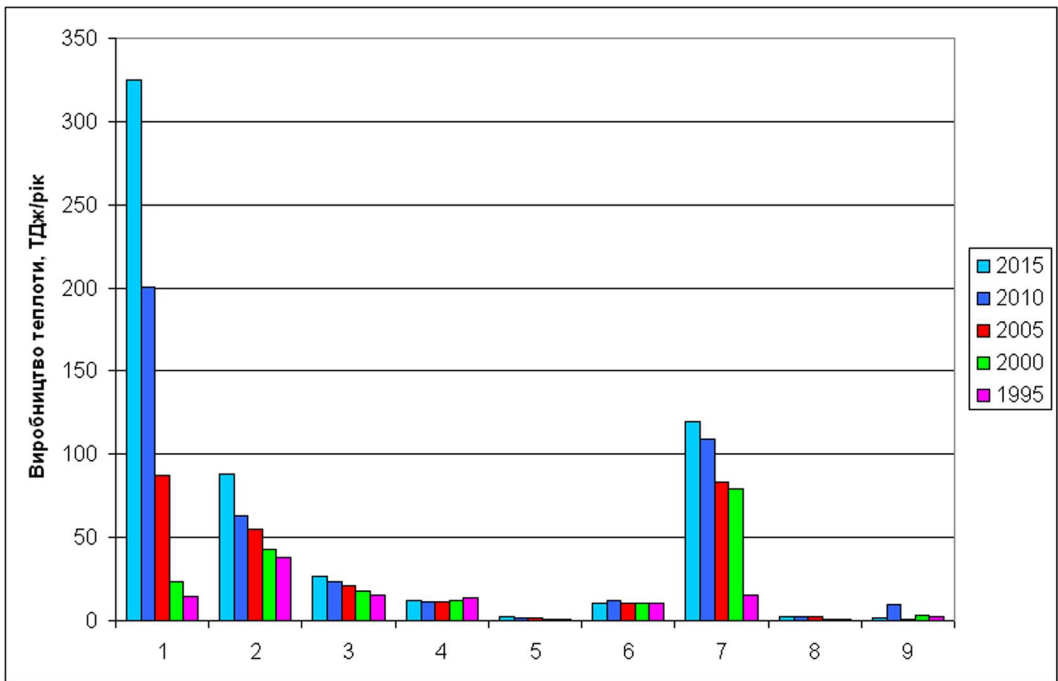


Рис. 6. Порівняння прямого використання геотермальної енергії в усьому світі за 1995, 2000, 2005, 2010 і 2015 роки (у ТДж/рік)

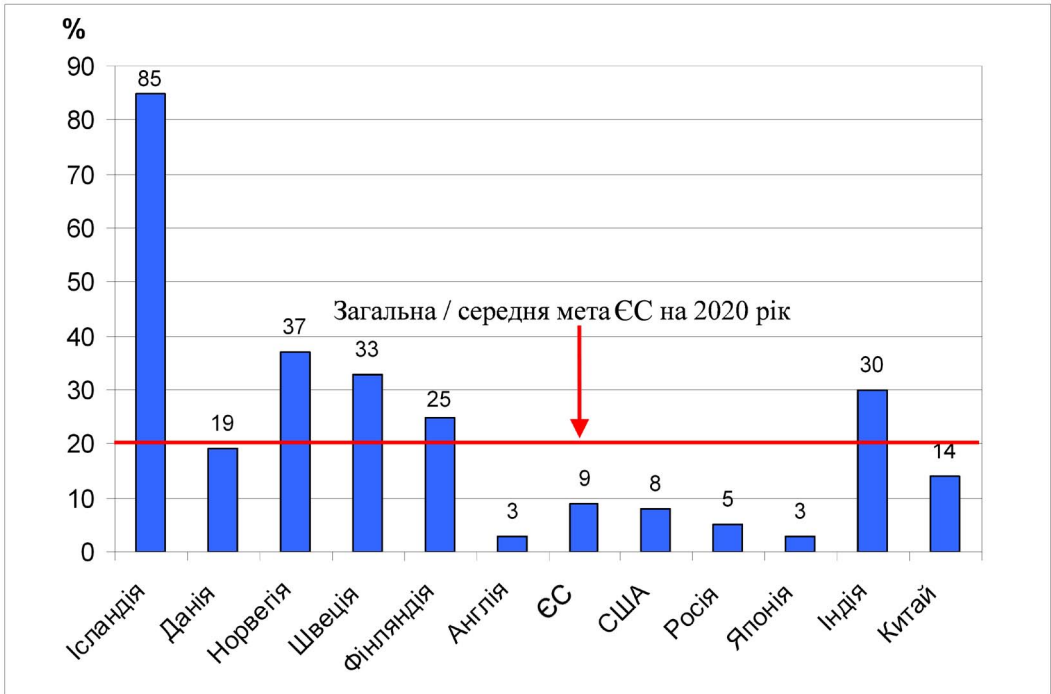


Рис. 7. Частка використання відновлюваних джерел енергії в загальному енергоспоживанні (OECD, IEA, Samorka 2014)

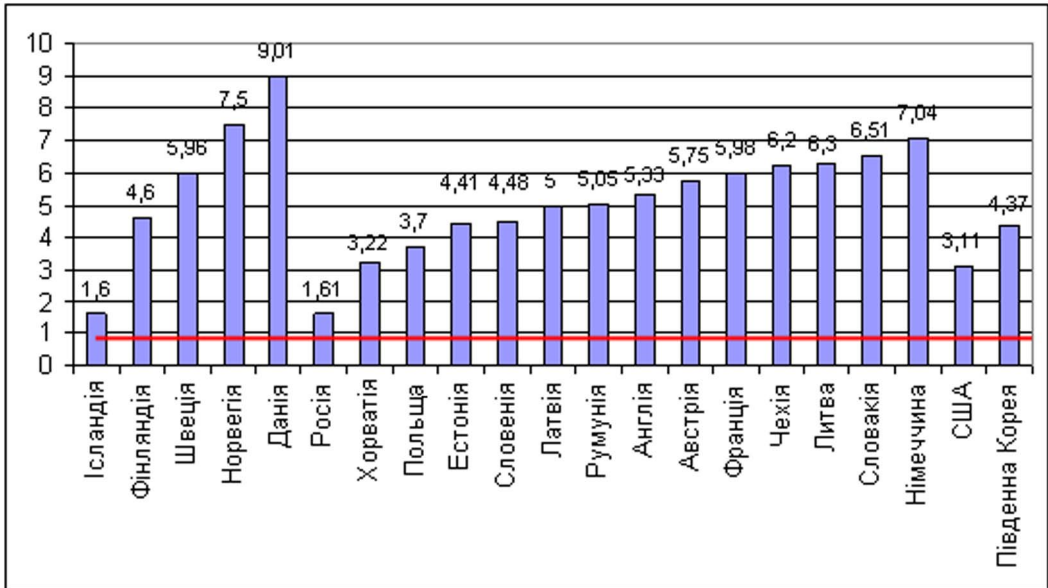


Рис. 8. Середні ціни на теплопостачання в Європі, Сполучених Штатах Америки та Південній Кореї (Euroheat and Power, 2014)

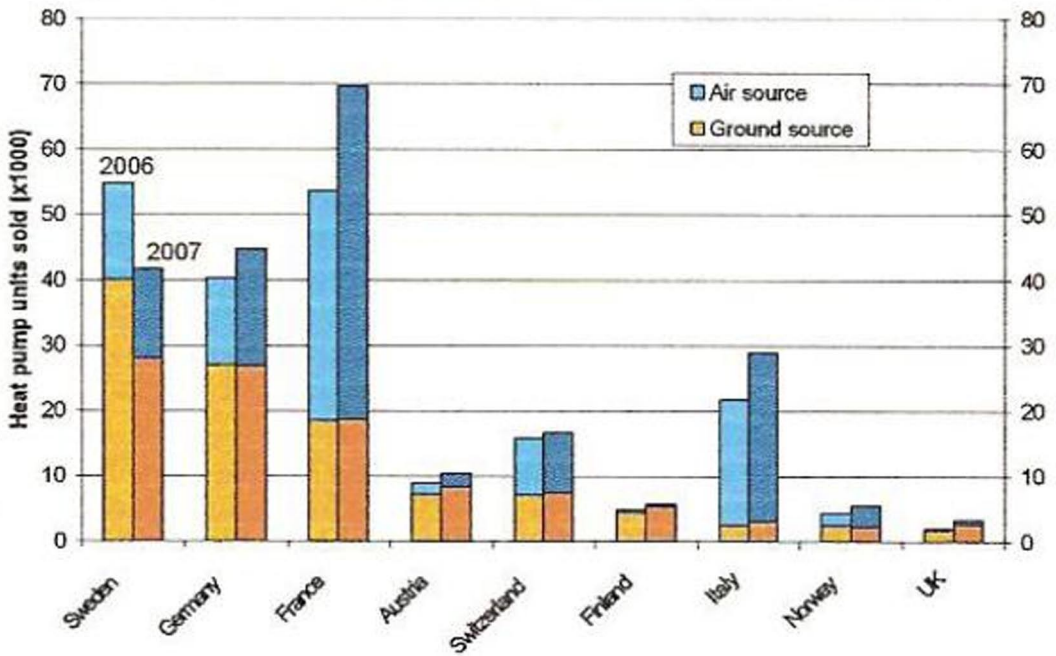


Рис. 9. Кількість проданих повітряних і геотермальних теплових насосів [3]

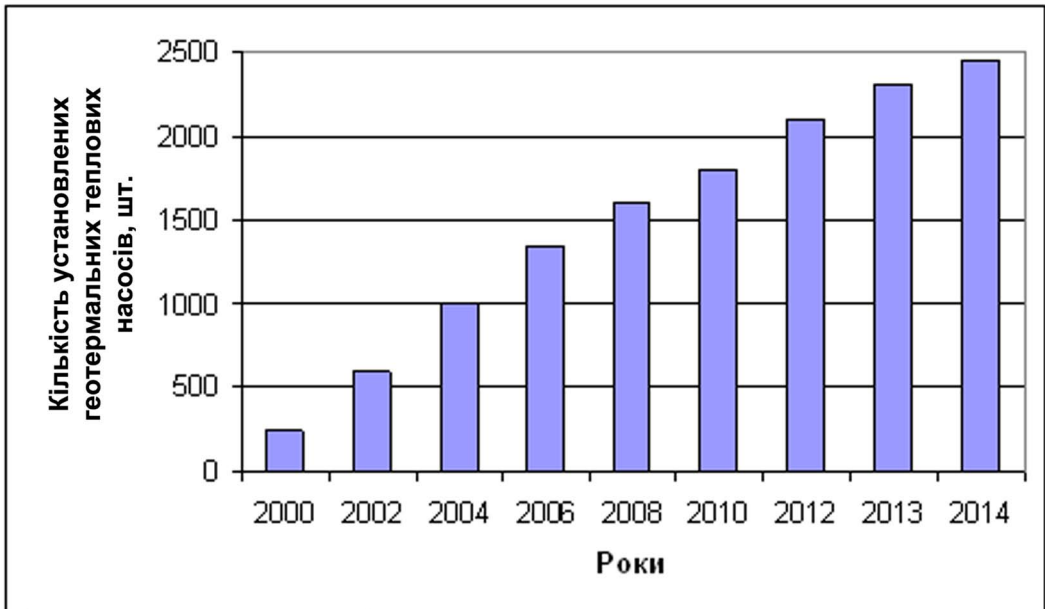


Рис. 10. Кількість геотермальних теплових насосів, які встановлено в Україні

Таблиця 1. Типи теплоспоживачів та їхнє розміщення

Тип теплоспоживача	Кількість, шт.	Установлена потужність, МВт	Джерело теплоти	Розміщення (область)
Котедж	96	2,6	свердловини 30–50 м, озеро, горизонтальні земляні колектори	Київська Черкаська Хмельницька Івано-Франківська Кіровоградська Харківська Донецька
Басейн	12	1,4	свердловини 30–50 м	Київська Кіровоградська
Офісний центр	14	0,25	свердловини 30–50 м	Київська
Навчальний корпус	2	0,15	свердловини 30–50 м, повітря	Рівненська Івано-Франківська Вінницька
Адміністративні будівлі	5	0,35	свердловини 30–50 м	Кіровоградська Івано-Франківська Київська
Готель	4	0,11	свердловини 30–50 м	Одеська Київська
УСЬОГО	133	4,86		

На основі даних, котрі було наведено на Міжнародному геотермальному конгресі, можна дійти висновку, що головним напрямом технології видобування геотермальних ресурсів рекомендовано технологію зі зворотним закачуванням термальних вод, тобто геотермальну циркуляційну систему (ГЦС). Цю технологію в Україні освоєно з 1986 року. Відтоді збудовано 15 ГЦС, зокрема 12 – в АР Крим, дві – в Закарпатській і одну в Херсонській області. Дані щодо них наведено в табл. 2. Приклади практичного використання ГЦС показано на фото.

Умови для створення геотермальних циркуляційних систем є в багатьох регіонах України, насамперед йдеться про райони видобування газу, позаяк маємо обводнені газові родовища з тисячами ліквідованих і законсервованих свердловин.

Видобувати глибинну теплоту Землі можна через окремі бурові свердловини [2], зокрема розвідувальні, параметричні, нафтові й газові свердловини, які виве-

дено з експлуатації. Глибина цих свердловин в Україні сягає 4–5 тис. м і більше. Геотермальний градієнт на території Дніпровсько-Донецької западини становить у середньому $2,7^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$, а в районі Прикарпаття й Закарпаття – $3,6\text{--}4,0^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ [1].

Розрахунки показують, що максимальна теплова продуктивність свердловини завглибшки 5 тис. м з геотермальним градієнтом $2,7$ становить $1,3\text{ МВт}$, по закінченні $40 \cdot 10^3$ годин вона падає до значення $0,65\text{ МВт}$.

Розпорядженням Кабінету міністрів України від 01.10.2014 р. № 902-р прийнято Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року [5]. У табл. 3 і 4 наведено відповідні показники цього плану. Можна дійти висновку, що станом на 2015 рік частково виконано пункти, які стосуються виробництва теплової енергії з геотермальних і аеротермальних джерел енергії.

Таблиця 2. Дані щодо ГЦС, які збудовано в Україні

№ з/п	Номер свердловини, населений пункт	Q самовиливу (м ³ /доб.)	Глибина свердловини (м)	T (°C) на гирлі/ у пластових умовах
АР Крим, Красногвардійський р-н				
1	Сверд. 32, с. Котельникове	1 600	1 500	66/69
2	Сверд. 33, с. Рівне	3 345	1 569	65/68
3	Сверд. 35, с. Новоолексіївка	4 925	1 360	58/60
4	Сверд. 36, с. Янтарне	1 490	2 300	87/92
5	Сверд. 38, с. П'ятихатка	4 000	1 300	57/60
АР Крим, Сакський р-н				
6	Сверд. 14, с. Трудове	2 300	1 160	54/н. с.
7	Сверд. 16, с. Іллінка	1 730	1 200	59/62
8	Сверд. 21, с. Сизівка	1 730	1 400	63/67
9	Сверд. 28, с. Зернове	1 730	1 100	51/н. с.
10	Сверд. 41, с. Фрунзе	1 740	1 130	62/64
АР Крим, Джанкойський р-н				
11	Сверд. 39, с. Медведівка	670	1 500	68/74
12	Сверд. 1, с. Передмістне	1 894	1 500	67/69
Закарпатська обл.				
13	Сверд. 16Т, с. Косино	397	1 190	51/н. с.
14	Сверд. 2Т, с. Берегове	346	1 049	60/н. с.
Херсонська обл.				
15	с. Чонгар	650	1 500	64/73

Таблиця 3. Виробництво електроенергії з геотермальних джерел енергії (тис. т нафтового еквівалента)

Виробництво електроенергії	2014 рік		2015 рік		2016 рік		2017 рік		2018 рік		2019 рік		2020 рік	
	МВт	ГВт·г	МВт	ГВт·г	МВт	ГВт·г	МВт	ГВт·г	МВт	ГВт·г	МВт	ГВт·г	МВт	ГВт·г
Геотермальна енергія	6	30	8	44	10	56	12	73	14	84	17	105	20	120

Таблиця 4. Виробництво теплової енергії з геотермальних і аеротермальних джерел енергії

Виробництво теплової енергії за видами джерел	2009 рік	2014 рік	2015 рік	2016 рік	2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік
Геотермальна (крім низькотемпературного геотермального тепла для застосування в теплових насосах)		30	33	36	39	42	46	50
Відновлювана енергія від теплових насосів, зокрема:	40	130	200	280	350	420	500	600
Аеротермальна	27	90	140	195	245	290	360	420
Геотермальна	9	26	39	55	70	85	90	120
Гідротермальна	4	14	21	30	35	45	50	60

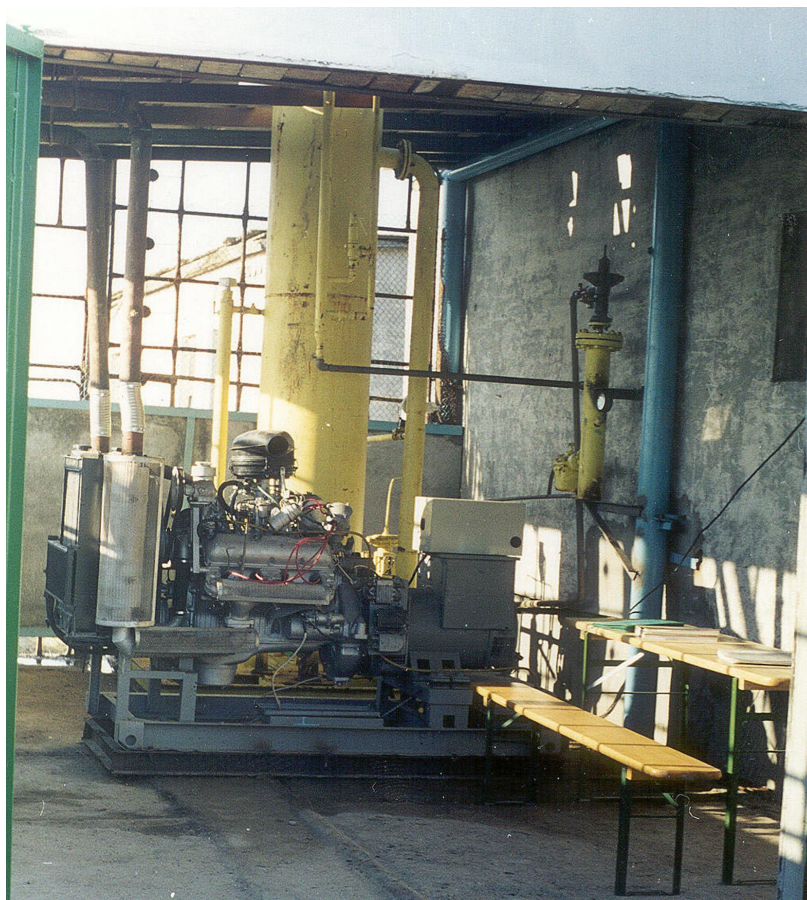


Фото. Геотермальний тепловий пункт (с. Медведівка, Джанкойський р-н, АР Крим)

Висновки

Серед геотермальних джерел енергії найбільшого розвитку у світі отримало використання тепла верхніх шарів Землі, що становить більше ніж 50 % від загального використання теплоти Землі.

Пряме використання тепла Землі за останні 5 років має тенденцію до зростання.

Розвиток електроенергетики з використанням геотермального теплоносія, за даними Всесвітнього геотермального конгресу, передбачено із застосуванням бінарних енергетичних установок.

Розрахунки показують, що максимальна теплова продуктивність свердловини завглибшки 5 тис. м з геотермальним градієнтом 2,7 становить 1,3 МВт, по закінченні 40·10³ годин вона падає до значення 0,65 МВт.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Гордиенко В. В.* Геотермический атлас Украины/Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В. и др.//Национальная Академия наук Украины. Институт геофизики им. С. И. Субботина. – Киев, 2004. – 60 с.

2. *Морозов Ю. П.* Эффективность извлечения теплоты горного массива путем использования буровой скважины/Морозов Ю. П.// Альтернативная энергетика и экология. – Саратов, 2014. – № 23(163). – С. 49–52.

3. Розпорядження Кабінету міністрів України від 01.10.2014 р. № 902-р. “Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року”.

4. Геотермальная энергия. <http://sobitel.ru/enegetika/teploenergo52.htm>.

5. *Rybach L.* Geothermal Energy in Europe ICS-UNIDO Geothermal Workshop, Trieste/I, 10–12 December, 2008.

6. *Rybach L.*, 2010 (<http://www.wgc2010.org>).

REFERENCES

1. *Gordienko V. V., Gordienko I. V., Zavgorodnjaja O. V., Logvinov I. M., Tarasov V. N., Usenko O. V.* Geothermal Atlas of Ukraine//Nacionalnaja Akademija nauk Ukrainy. Institut geofiziki im. S. I. Subbotina. – Kiev, 2004. – 60 p. (In Russian).

2. *Morozov Ju. P.* Heat recovery efficiency of the rock mass through the use of a borehole// Alternativnaja jenergetika i jekologija. – Sarov, 2014. – № 23(163). – P. 49–52. (In Russian).

3. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 01.10.2014. № 902-r. “On National Action Plan on Renewable Energy for the period till 2020”. (In Ukrainian).

4. Geothermal energy. <http://sobitel.ru/enegetika/teploenergo52.htm>.

5. *Rybach L.* Geothermal Energy in Europe ICS-UNIDO Geothermal Workshop, Trieste/I, 10–12 December 2008.

6. *Rybach L.* 2010 (<http://www.wgc2010.org>).

Рукопис отримано 06.11.2015.

Ю. П. Морозов, доктор технических наук, зав. отделом (Институт возобновляемой энергетики НАН Украины), Киев, Украина, geotherm@ukr.net

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Проведен анализ тенденции развития и использования геотермальных источников энергии. Показано, что дальнейшее развитие производства электроэнергии с использованием геотермальных ресурсов связано с применением бинарных энергоустановок, использующих температуру геотермального теплоносителя 90–130 °С. Одной из проблем системы добычи тепла Земли является обратная закачка использованного теплоносителя. Наибольшее развитие за последнее десятилетие получило использование верхних слоев Земли с применением тепловых насосов. В Украине практическое применение геотермальных тепловых насосов осуществляется на 14 предприятиях на основе импортных геотермальных насосов. В Украине имеется долгосрочный опыт использования термальных вод на основе применения геотермальных циркуляционных систем.

Ключевые слова: геотермальная энергетика, тепло верхних слоев Земли, темпы развития геотермальной энергетики, геотермальные тепловые насосы, тепловая производительность скважины.

Yu. P. Morozov, *Institute of renewable energy of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,*
geotherm@ukr.net

MODERN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF GEOTHERMAL ENERGY

Power thermal plants in 2010 is about 70 GW, while the power of these plants increased by 45 % over the past 5 years.

Using geothermal energy for geothermal heat pumps increased from 49 to 55,3 %, the use of heat in thermal water balneology and recreation dropped from 24,9 to 20,31 %. At the same time direct heating of premises increased from 14,4 to 15,01 %. Other uses of geothermal heat virtually unchanged.

Over the past 10 years, the largest growth rates in European countries and in Ukraine, received use of geothermal heat pumps that use heat the upper layers of the Earth. The upper layers of the Earth - a suspended sentence and in different sources means the depth from 50 to 400 m.

In Ukraine, 14 companies engaged in geothermal heat pumps. Unit capacity geothermal facilities in the main is 20 kW. The greatest power of embedded systems is 350 kW.

The total number of objects that are in operation only two companies, representing more than one hundred and twenty. The total geothermal capacity of these facilities is about 5 MW.

Based on the data, which were presented at the International Congress of geothermal, we can conclude that the main focus of the extraction technology of geothermal resources recommended technology with thermal water reinjection, i.e. geothermal circulation system (GCS). This technology is mastered in Ukraine since 1986. Ukraine has built 15 GCS, including 12 in the Crimea, two in Transcarpathia and one in Kherson region.

The conditions for creating geothermal circulation systems are available in many regions of Ukraine; first of all gas production areas. Ukraine has flooded gas fields, where thousands of liquidated and the mothballed wells.

Deep Earth heat extraction can be done through a single drill hole. Intelligence, parametric, oil and gas wells decommissioned, can be used to extract the heat of the Earth. The depth of these wells in Ukraine reaches 4 000–5 000 m and more. Calculations show that the maximum heat output of the well depth of 5 000 m at a geothermal gradient of 2,7 is 1,3 MW, at the end of $40 \cdot 10^3$ hours it drops to 0,65 MW.

Keywords: *geothermal energy, heat the upper layers of the Earth, the pace of development of geothermal energy, geothermal heat pumps and thermal performance of wells.*