

6. Інструкція з обстеження та оновлення пунктів Державної геодезичної мережі України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до джерела: http://www.gki.com.ua/files/page/0003028_file.pdf.

7. Постанова КМУ № 470-2004-п від 14.04.2004 «Про затвердження Положення про державну мережу моніторингу глобальних навігаційних супутникових систем і Програми забезпечення функціонування і розвитку державної мережі моніторингу глобальних навігаційних супутникових систем на період до 2010 року».

8. Топографо-геодезична та картографічна діяльність (законодавчі та нормативні акти). – К.: Антекс «Вінниця», 2000. – 405 с.

9. Яцків Я.С. Українська мережа станцій космічної геодезії та геодинаміки (Укргеокосмомережа) // Я.С. Яцків, О.В. Болотіна, С.Л. Болотін, М.М. Медведський, О.О. Хода, О.С. Вольвач. – К.: ВАІТЕ, 2005. – 62 с.

Рукопись поступила в редакцию 11.03.14

УДК 620.9-97: 621.482

В.В. СУРТАЄВ, канд. техн. наук, доц., В.С. ОСИПЧУК, студент
Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Геотермальна енергія дозволяє отримувати необхідну людству енергію завдяки теплоті надр Землі. Чим більше віддалений від центра Землі певний внутрішній шар, тим нижче його температура. Але навіть самий верхній шар Землі (біля 10-ти км) містить кількість теплоти, якої достатньо для забезпечення всіх енергетичних потреб людини. Через розлами в корі тепло проникає на поверхню планети. Потенціал геотермальної енергії величезний і невичерпний. Залишається лише навчитися використовувати те, що так великодушно дарує природа.

Для ефективного використання теплоти надр Землі необхідно мати докладні й достовірні відомості про переваги й недоліки даного типу альтернативних джерел енергії. До безумовних переваг геотермальної енергії варто віднести її фактичну невичерпність і стабільність дії. Теплоту надр Землі можливо отримувати постійно, на відміну від енергії вітру або Сонця [1-3].

Використання підземних вод може становити небезпеку для здоров'я людини, оскільки останні можуть містити токсичні з'єднання.

Використовувати підземну енергію для опалення людство почало відносно недавно, перший випадок був зафіксований тільки в XIV сторіччі. Вперше отримувати електричну енергію за рахунок геотермальної винайшли в Італії на початку XX століття. «Батьком» світової геотермальної енергетики взагалі, і італійської зокрема, варто вважати Джинорі Конті, що провів вдалий науковий експеримент і довів реальність даного процесу. Розвиток геотермальної енергетики, як і багатьох інших альтернативних джерел енергії, було вповільнено через низьку вартість нафти в 70-х роках XX століття. Згодом інтерес до даного питання відновився, оскільки необхідність у надійному й екологічно чистому джерелі енергії стала занадто очевидною. Великий внесок розвиток даного наукового напрямку належить Росії і Україні, хоча найбільш перспективним використанням геотермальних джерел енергії виглядає в сейсмічно активних районах планети. Тобто в країнах, на території яких розташовані вулкани (діючі або погаслі) або гейзери [1].

Швидкий прогрес технологій дозволяє сподіватися, що рішення всіх даних проблем буде незабаром знайдене [1,4].

Аналіз досліджень і публікацій. Оцінювати загальні перспективи розвитку геотермальної енергетики можливо лише з огляду перспективи розвитку в кожній конкретній країні.

Кожний регіон характеризується власними природними умовами що вимагає відмінних підходів до рішення даного завдання. Тому вибір на користь того або іншого джерела альтернативної енергії є справою кожної держави, що пов'язана з врахуванням величезної кількості факторів.

З упевненістю можливо стверджувати тільки одне - геотермальна енергетика вже протягом 100 років перебуває під пильною увагою кращих вчених світу і змушує говорити про себе все більше й частіше, а тій енергетичній кризі, що витає над планетою, буде тільки сприяти збільшенню популярності даного джерела [1-3].

Зауважимо також, що в зонах сучасного вулканізму, високотемпературні джерела вже значною мірою освоєні як у технологічному відношенні (стандартні методи буріння, парові турбіни з тиском 5-7 атм), так і за обсягами промислового використання (до 50-70 % розві-

даних запасів у розвинених країнах), існують більші запаси середньо-температурних термальних вод (100-200 °С), освоєння яких лише тільки починається [1,2].

Викладення матеріалу та результати досліджень. Унаслідок об'єктивних факторів України загрожує енергетичний вакуум. Залежність від імпортованих енергоносіїв призвела до того, що Україна на протязі останніх 20-ти років за енергоємністю внутрішнього валового продукту (ВВП) приблизно у 3-5 разів перевищує показники розвинених країн, таких як, наприклад: США, Японія, Німеччина та ін. Використання викопних органічних палив у великих кількостях і відсутність достатніх засобів для поліпшення стану навколишнього середовища також має наслідком погіршення екологічної ситуації [4]. Саме тому, для надійного забезпечення споживачів паливом і електроенергією, необхідно, крім органічного палива і атомної енергетики, включати в паливно-енергетичний баланс країни екологічно чисті нетрадиційні джерела енергії. Перспективним і підготовленим для практичного використання, у науковому і технічному відношеннях, видом нетрадиційної енергії є тепло надр Землі. Геотермальна енергія широко використовується у світі для господарських потреб, але головним чином з відкритих джерел, таких як на Камчатці, в Ісландії та інших місцях планети [1-3].

Ідея замкненого контуру - забирати із земних глибин гарячу воду, відбирати теплоту й закачувати охолоджену воду в іншу свердловину (на відстані 300 м, на таку ж глибину) - була висловлена вже більше тридцяти років тому академіками О.Н. Щербанем і О.О. Кремньовим. Уперше цей метод застосовано у Франції. Він так і називався «український спосіб отримання геотермальної енергії». Нажаль ідея й теоретичні розробки в Україні у той час не були реалізовані на практиці. Проте, кілька десятків країн світу успішно виробляють геотермальну енергію використовуючи «український спосіб». Україна ж за реалізацією на сьогоднішній день займає десь 20-те місце у світі по використанню теплоти надр Землі [1-3,5].

Протягом декількох років вітчизняні вчені відпрацьовували методики і технологію відбору теплоти високо-мінералізованих теплоносіїв (надзвичайно засолених вод) камчатських відкритих джерел геотермальних вод. Підсумком даних успішних робіт стало будівництво на Камчатці Паужетської і Мутновської геотермальних електростанцій. Внесок українських учених у будівництво геотермальних станцій у Росії значний, їх продовжують залучати до подальших розробок станцій, подібних до Паужетської. Останнє обумовлено ще й тим фактом, що провідне місце у проведенні фундаментальних досліджень у галузі використання геотермальної енергетики серед країн колишнього Союзу належить Україні [1-3,5].

В Україні на території Кримського півострова побудовано 20 подібних станцій. Остання, прийнята міжвідомчою комісією як типова, розрахована на 5 МВт теплової потужності і дозволяє обігріти 2 тисячі квартир - велике селище з теплими басейнами і ін. На ній відпрацьовано багато режимів роботи, апробовані матеріали для покриття поверхні труб. У результаті тривалих спостережень за роботою станції зроблені досить цінні висновки для розвитку галузі геотермальної енергетики в цілому. По-перше, не було помічено спаду температури в шарі-накопичувачі, по-друге, створена працею вітчизняних вчених система підтвердила свою повну працездатність, і, по-третє - отримано практичні докази того, що геотермальна енергія найдешевша (у 4-5 разів дешевше, ніж на інших теплових станціях). До того ж в екологічному плані геотермальна станція - найбільш чисте джерело енергії [4]. Метод апробований в Україні, на вітчизняному устаткуванні і за рубежом отримав високі схвальні оцінки [1,4].

Розвідані ресурси геотермальних вод, оцінені й затверджені Держкомгеології України, становлять близько 50000 МВт. Освоєння тільки розвіданих ресурсів термальних вод і парогідро-терм дозволить покрити більше 10 % потреб України в тепловій і електричній енергії, і зменшити завезення з інших країн мільйонів тонн органічного палива [1-3].

Наявні в Україні ресурси оцінюються еквівалентно до запасів палива у кількості $3.4 \cdot 10^{11}$ т у.п. Потенційна потужність ГеоТЕС з урахуванням вичерпності запасів і ККД перетворення геотермальної енергії складає 230 ГВт. Дані щодо районування прогнозних джерел геотермальної енергії в Україні наведено на рис. 1. Серед перспективних для розвитку Геотермальної енергетики районів України слід виділити Закарпаття де за геологічними даними на глибині до 6 км температури гірничих порід досягають 230-275 °С [1-3,5].

У наш час досліджено тільки близько 45 % відсотків території України і це результати не спеціалізованої розвідки, а випадкові виявлення геотермальних джерел, зроблені геологами при розвідці корисних копалин.

Карта рис. 1 постійно оновлюється і коректується. Зараз вже приблизно третя частина території України з півночі на південь визнана перспективною для освоєння геотермальної енергії.



Рис. 1. Районування прогнозних джерел геотермальної енергії в Україні [1]: 1 - багатообіцяючі території з розвіданими запасами геотермальних вод; 2 - обіцяючі території з нерозвіданими запасами геотермальних вод; 3 - перспективні території з виявленими запасами геотермальних вод; 4 - території з невідомим потенціалом; 5 - великі міста - потенційні споживачі геотермальної енергії

До перспективних для освоєння територій потрапили: Київ, Дніпропетровськ, Полтава, Харків, Донецьк і ін. Найбільш перспективна територія Західної України,

де зосереджені аномально високі температури на невеликій глибині і відносно чистий носій теплоти - вода. Відзначимо і південь України, що примикає до Криму, і особливо Крим. Передбачається що дві станції на ділянках будівництва Керченський і Тарханкутський, будуть давати майже половину тієї потужності, що намічалось отримати за допомогою АЕС [1, 5].

Потрібно відмітити, що здебільшого температура води з надр досягає 100 °С. Для того, щоб отримати електроенергію при таких параметрах теплоносія, необхідна проміжна рідина з низькотемпературним кипінням. У світовій практиці використовується бутанол, що кипить при температурі нижче 100 °С. У замкненому контурі він, перетворюючись у пару, подається на парогенератор, що виробляє електроенергію. Пара, конденсується, і у вигляді рідини повертається на повторний розігрів і т.ін. Отримувати електроенергію доцільніше при використанні більш високих температур. Наприклад, під Полтавою, є джерело з температурою більше 200 °С. Такі джерела є на заході і на півдні України та у Криму.

Перспективний план передбачає протягом 12 років охопити 42-45 % території України 1500 геотермальними станціями по виробництву як теплоти, так і електроенергії. Вартість цих станцій коливається в межах 1,5-2,0 млрд дол. Окупність витрат, за розрахунками економістів, досягається вже через 2-3 роки, що також визначає перевагу над іншими способами. Нагадаємо, що окупність витрат у сонячній енергетиці близько 100 років. Потенціал впровадження геотермальних станцій дозволить на 12 % скоротити споживання органічного палива і збільшити приблизно на 25-30 % власні ресурси енергетики [1-3, 5-7].

Якщо видобуток термальних вод, зазвичай, не пов'язаний з технологічними труднощами, то ефективне перетворення теплової енергії в електричну вимагає створення спеціального тепломеханічного устаткування. Традиційні енергоустановки на водяній парі не придатні для джерел теплоти з вказаними температурами через малу щільність пари й, відповідно, неприйнятно великі габарити турбін. Крім того, практично вся турбіна й конденсатор повинні працювати у вакуумній зоні, що спричиняється значну корозію устаткування через присмоктки повітря [1-7].

Нагадаємо, що застосування низько-киплячих робочих тіл (РТ) дозволяє зробити розміри турбіни прийнятними й уникнути надходження повітря в робочий контур двоконтурної енергоустановки.

Для комерціалізації ГеоТЕС на низько-киплячих робочих тілах (РТ) потрібно значно знизити вартість обладнання, що можливо досягти лише збільшенням серійності, що в свою чергу обумовлює необхідність в уніфікації обладнання [1-3, 5-7].

Перший великий крок в даному напрямку було зроблено ізраїльською фірмою «Ормат», що розробила серійний енергомодуль номінальною потужністю 1,2 МВт з уніфікованою турбіною і системою автоматики.

При зміні температури термальної води найбільша виробка електроенергії досягається підбором робочого тіла й застосуванням каскадних теплових схем зі ступеневим спрацюванням теплового потенціалу. До недоліків такого підходу слід віднести [2-3, 5-10]:

відсутність оптимальних РТ для кожного інтервалу температур термальних вод (по 15-20°С);

зниження ККД турбіни, необхідність заміни генератора і змін у конструкції теплообмінного обладнання при переході на інше РТ і змінах температури термальних вод.

Тим не менше, в наш час тільки модульні установки застосовуються у промисловому масштабі. Розглянемо далі детальніше технологічні аспекти вироблення електроенергії на ГеоТЕС. ГеоТЕС зазвичай будуються на геотермальних покладах пароводяної суміші і обладнуються протитисковими турбінами. Поклади пароводяної суміші можливо зустріти у районах (в Росії це переважно Камчатка та Курильські острова). Найпростішим способом виробництва електроенергії є використання протитискових парових турбін [5-11].

На рис. 2 зображено просту схему ГеоТЕС, що працює наступним чином: пароводяна суміш із геотермального резервуара по підйомній свердловині 1 спрямовується у сепаратор 2, де і відбувається поділ на рідку (вода з розчиненими солями і газами) і газову (водяна пара і пласти неконденсованих газів) фази.

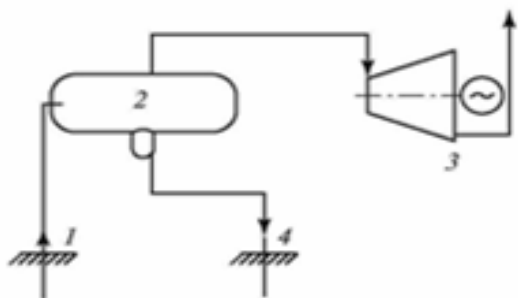


Рис. 2. Проста схема ГеоТЕС [5]: 1 - підйомна свердловина; 2 - сепаратор; 3 - парова турбіна з генератором; 4 - нагнітальна свердловина

Потім парогазова суміш потрапляє на протитискові турбіну з генератором 3, відпрацьований пар з неконденсованими газами скидається у атмосферу, а сепарована вода після можливого використання для теплозабезпечення повертається у геотермальний резервуар по нагнітальній (реінжекційній свердловині 4. При низькому солемісті можливий скид відпрацьованої води у

відкриті водойми [5].

Енергоблоки з протитисковими турбінами прийнято використовувати при надто високому вмісті у газовій фазі неконденсованих газів (від 12 до 15 % від маси), коли їх видалення з конденсатору стає економічно і екологічно не вигідним [5-11]. Якщо з геологічних причин час експлуатації геотермальних покладів недостатній для окупності конденсаційних енергоблоків, то розробку аж до вичерпання покладів провадять протитисковими енергоблоками.

Крім того, енергоблоки з протитисковими турбінами інколи використовують при розробці геотермальних родовищ для приводу бурових верстатів замість дизелів, а також як пускові комплекси ГеоТЕС із наступною можливою заміною на конденсаційні блоки. Такі турбіни випускаються в Японії, США, Італії, а їхня потужність звичайно не перевищує 10 МВт [5-9]. У Росії енергоблоки з протитисковими турбінами встановлені і експлуатуються на о. Кунашир, розроблені і виробляються на Калузькому турбінному заводі енергоблоки Омега-500, Туман-2 і Туман-2,5 (див. табл. 1, наведено дані технічних характеристик енергоблоків) [5].

Таблиця 1

Основні характеристики геотермальних турбін Калузького турбінобудівного заводу [5]

Показник	ГеоТЕС малої потужності				ГеоТЕС середньої потужності			
	Омега-500	Туман-2	Туман-2,5	Туман-4к	6,0	12,0	20,0... (25,0)	23,0
Потужність, МВт	0,5	1,7	2,5	4,0	6,0	12,0	20,0... (25,0)	23,0
Тиск на вході, МПа	0,7	0,5	0,7	0,8	0,2	0,6	0,7	0,7
Тиск за турбіною, МПа	0,1	0,1	0,1	0,011	0,01	0,0085	0,012	0,012
Витрата пари, т/год.	10,0	38,0	44,0	32,0	75,0	90,0	147,0	170,0
Частота, Гц	50	50	60	50	50	50	50	60

Оскільки протитискові турбіни по своїй конструкції значно простіше конденсаційних, їхня ціна помітно нижча. Якщо для конденсаційних енергоблоків типові питомі капіталовкладення 1000-1200 дол. за 1 кВт встановленої потужності (без урахування витрат на розвідку родовища, буріння свердловин і облаштування родовища), то для протитискових блоків капіталовкладення знижуються до 600-700 дол. за 1 кВт встановленої потужності. Однак різниця в собівартості електроенергії значно менше, тому що питома витрата пари на одиницю потужності в протитискових турбін приблизно вдвічі вище, ніж у конденсаційних [5].

ГеоТЕС з конденсаційними турбінами на покладах пароводяної суміші застосовують у більшості випадків. Останнє зумовлено більшою ефективністю теплової схеми з протитисковими турбінами.

На рис. 3 показано схему ГеоТЕС з конденсаційною турбіною, що діє наступним чином: геотермальна пароводяна суміш чи волога пара з неконденсованими газами (НКГ) із підйомної свердловини 1 подається у сепаратор 2, звідки пара потрапляє на вхід конденсаційної турбіни 3, а мінералізована вода спрямовується на реінжекційну свердловину 8 для повернення у пласт.

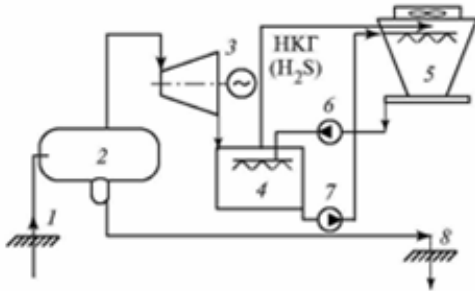


Рис. 3. Схема ГеоТЕС з конденсаційною турбіною [5]: 1 - підйомна свердловина; 2 - сепаратор; 3 - конденсаційна турбіна; 4 - конденсатор; 5 - градирня; 6 - циркуляційний насос; 7 - конденсатний насос; 8 - нагнітальна свердловина

Відпрацьована пара подається у змішувальний конденсатор 4. Оскільки у більшості випадків на геотермальних покладах відсутні джерела охолоджуючої води (річки, пруди охолоджувачі), застосовується зворотна система відводу скидної теплоти, що включає циркуляційний насос 6, баштову градирню 5 і конденсатний насос 7. Неконденсовані гази, що за-

звичай містять велику кількість сірководню, видаляються з конденсатора ежекторами і подаються на верхній зріз градирні для розсіювання у атмосфері разом з паровим факелом. Обладнання таких ГеоТЕС випускається у ряді країн, в тому числі у: Італії, США, Японії [1-3].

Максимальна потужність конденсаційного енергоблоку (див. схему рис. 3) складає 100 МВт (ГеоТЕС Гейзери, США), але звичайна потужність енергоблоків знаходиться у межах 12-50 МВт.

У Росії освоєно випуск усього основного устаткування, в цілому не поступається, а по деяких показниках і переважає кращі світові зразки. На Калузькому турбінному заводі розроблено малий конденсаційний енергомодуль повної заводської готовності Туман 4 (Камчатка, Верхньо-Мутновська ГеоТЕС - три модулі по 4 МВт), і турбіни середньої потужності на вологій парі (Верхньо-Мутновська ГеоТЕС, перша черга потужністю 50 МВт, перший блок 25 МВт, сумарна з другою чергою потужність складе 100 МВт) [5-11].

Висновки і шляхи подальших досліджень. Виходячи із зазначеного і на основі оцінки технічних можливостей Неотес, обмежень по екологічних і економічних причинах, можливо зробити висновки про розвиток геотермальної електроенергетики:

1. Пріоритетом з точки зору практичного впровадження є створення досить великих ГеоТЕС на базі високотемпературних геотермальних родовищ із температурою більше 1500 °С і одиничною потужністю блоків 10-50 МВт.

2. Також доцільно розвивати мережі дрібних ГеоТЕС і комбінованих електростанцій з використанням як теплоти геотермальних вод, так і теплоти, отриманої в результаті спалювання органічних видів палива (нафти, газу, вугілля), а також комбінованих енерготехнологічних вузлів для отримання електроенергії, теплоти і корисних компонентів із геотермальних теплоносіїв.

3. Продовжувати дослідження існуючих геотермальних джерел енергії і виявляти нові джерела в раніше не досліджених чи мало досліджених районах країни.

Список літератури

1. Геотермальная энергетика - Википедия: http://ru.wikipedia.org/wiki/%C3%E5%EE%F2%E5%F0%EC%E0%EB%FC%ED%E0%FF_%FD%ED%E5%F0%E3%E5%F2%E8%EA%E0
2. Гетермальная энергетика. http://ru.wikipedia.org/wiki/Гетермальная_энергетика.
3. LGE http://www.eninnet.ru/lge/geotes_r.htm
4. Охрана окружающей среды // Учебник для технических специальностей вузов / Под ред. **С.В. Бегова** - М.: Высшая школа, 1991.
5. Геотермальные электростанции (ГеоТЭС): <http://gisee.ru/regionsupport/articles/low-energy/19412/>
6. Гетермальное энергоснабжение. www.esco.co.ua/journal/2005_11/art07_28.htm.
7. Геотермическая электростанция. БСЭ, т. 6.
8. **Выморков Б.М.** Геотермальные электростанции. – М.-Л., 1966. **Конечников А.** Энергия тепла Земли // Конечников А., Остапенко С. Электропанорама. – 2003. – №7-8.
9. **Поваров О.А., Васильев В.А., Томков Ю.П., Томаров Г.В.** Геотермальные электрические станции с комбинированным циклом для северных районов России. <http://www.transgasindustry.com>.
10. **Занин А.И.** Паровые турбины. / **А.И. Занин, А.С. Соколов** - М.: Высшая школа, 1988.
11. **В.И. Кирюхин** Парові турбіни малої потужності КТЗ // **В.И. Кирюхин, Н.М. Тараненко, Е.П. Огурцова** и др. // М.: Энергоатомиздат, 1987.