Лекція 8

Геотермальна енергетика на службі в АПК

8.1 Геотермальна енергетика

8.2 Отримання електроенергії при використанні геотермальних вод

8.3 Виробництво електроенергії при перетворенні низькотемпературних геотермальних вод

8.4 Опалення і гаряче водопостачання термальними водами

8.5 Грунт, як джерело низькопотенційної теплової енергії

8.1 Геотермальна енергетика

Геотермальна енергетика заснована на використанні тепла Землі.

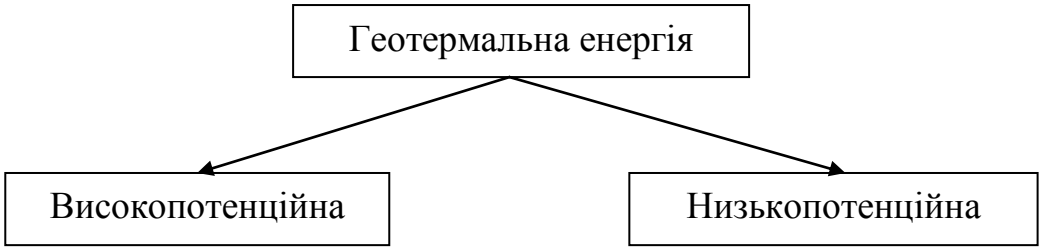


Рисунок 1 – Види геотермальної енергії.

Високопотенційна теплова енергія ***є джерелом гідротермальних ресурсів - термальних вод, нагрітих до високої температури в результаті геологічних процесів в землі. Висока температура підземних вод дозволяє використовувати їх для теплопостачання будівель, а також інших виробничих і господарських потреб***.

Використовують високопотенційне тепло землі:

- в Росії - Камчатка і район Кавказьких мінеральних вод;

- в Європі - Угорщина, Ісландія і Франція;

- в Україні - Закарпаття, Прикарпаття, Крим, Полтавська, Харківська, Донецька, Луганська, Херсонська, Запорізька області.

Згідно даним Державного комітету України по геології і використанню надр на території Кримського регіону, потенційні ресурси геотермальних вод складають до 27 млн. $м^3$ протягом доби, можуть бути задіяні для роботи енергетичних установок потужністю 35-40 МВт і виробляти до 150 млрд. кВт-год теплової енергії в рік.

Загальна економія котельно-пічного палива в Криму за рахунок використання геотермальної енергії склала за період 2006-2010 рр. - 135,6 тис. тонн у. п.

Столиця Ісландії - Рейк'явік, в якій проживає близько половини населення країни, опалюється тільки за рахунок тепла підземних джерел.

Тепло землі використовують для опалення, вирощування овочів і фруктів. Спочатку 19 століття воно використовується для перетворення в енергію, тобто

гарячі підземні джерела використовуються на електростанціях.

У 1904 році в невеликому італійському містечку Лардерелло, названому на честь французького інженера Ландереллі, який в 1827 році розробив проект використання теплових джерел, була побудована перша електростанція. Від малих потужностей подібних електростанцій переходили до великих і в даний час потужність станції досягла 360 тисяч кіловат.

Подібна електростанція потужністю 160 тисяч кіловат працює в Новій Зеландії і потужністю 500 тисяч кіловат в США в 120 кілометрах від Сан-Франциско.

Низькопотенційна теплова енергія - ***використання низькопотенційного тепла землі за допомогою теплових насосів.***

Низькопотенційне тепло Землі використовується в різних типах будівель і споруд для:

- опалення;
- гарячого водопостачання;
- кондиціонування або охолодження повітря;
- обігріву бігових або інших доріжок в зимову пору року;
- запобігання обмерзанню машин і обладнання;
- підігріву футбольних полів на відкритих стадіонах.

Охолодження повітря використовується менш інтенсивно, в основному в США, де теплові насоси функціонують в системах повітряного опалення, суміщеного з вентиляцією, що дозволяє підігрівати і охолоджувати зовнішнє повітря.

Теплові насоси в європейських країнах працюють в системах водяного опалення. Ефективність теплових насосів збільшується при зменшенні різниці температур випарника і конденсатора, для опалення будівель використовують систему підлогового опалення (тепла підлога), в якій використовується теплоносій з температурою (35-40ºС). Велика частина теплових насосів, призначених для роботи з нізкопотенційним теплом Землі, обладнана компресорами з електричним приводом.

Найбільша кількість подібних систем використовується в США, Швеції та

Канаді, а також в країнах Центральної і Північної Європи (таблиця 1).

Таблиця 1 - Рівень використання низькопотенційної теплової енергії Землі за допомогою теплових насосів в країнах світу

Країна	Встановлена потужність обладнання, мВт	Вироблена енергія, тДж/рік
Австрія	228	1094
Німеччина	344	1149
Канада	360	891
Росія	1,2	11
США	4800	12000
Фінляндія	80,5	484
Франція	48	255
Швейцарія	300	1962
Швеція	377	4128

Механічна система для підготовки гарячого водопостачання включає наступні елементи:

- парокомпресійні теплонаносні установки (ТНУ);
- баки-акумулятори гарячої води;
- системи збору низькопотенційної теплової енергії і низькопотенційного тепла, вентиляційного повітря, що видаляється;
- циркуляційні насоси, контрольно-вимірювальну апаратуру.

Режим роботи теплових насосів, що використовують тепло землі і тепло повітря є постійним, а споживання гарячої води - змінним, тому систему гарячого водопостачання обладнують баками-акумуляторами.

Гарячі підземні води, що виходять на земну поверхню, з'явилися давно і використовувалися людиною в лікуванні і побуті, про що свідчать археологічні розкопки, проведені в СРСР, Греції, Італії.

Для отримання механічної енергії за допомогою природної пари перша спроба була зроблена в Італії, в кінці XIX століття. Для цього винахідник-дослідник Райян спорудив спеціальну парову машину потужністю 9 к. с., а пізніше - 40 к. с.

На природній парі в 1913 році почала працювати парова турбіна

потужністю 250 кВт, а через рік в Лардерелло була побудована перша електростанція, яка складалася з трьох турбогенераторів потужністю 7250 кВт.

Дослідженнями по питаннях використання енергії тепла землі займається наука, що отримала назву, - "**Геотерміка"**.

«**Геотерміка»** - ***вивчає тепловий стан земної кори і Землі в цілому, а також його залежність від геологічної будови, складу і стану гірських порід, магматичних процесів, що відбуваються в землі***.

Критерієм теплового стану земної кулі є поверхневий градієнт температури, що дозволяє судити про втрати тепла Землі.

Геотермічним ступенем називається величина, відповідна поглибленню в метрах, при якому температура підвищується на 1ºС.

У зв'язку зі зміною інтенсивності сонячного випромінювання тепловий режим перших 1,5-40 м земної кори характеризується добовими і річними коливаннями. Далі мають місце багаторічні і вікові коливання температури, які з глибиною поступово затухають.

На будь-якій глибині температура приблизно може бути визначена за формулою

$$T = t_в + \frac{H + h}{a}, \qquad (1)$$

де $t_в$ – середня температура повітря даної місцевості, ^{O}C;

H – глибина, для якої визначається температура, м;

h – глибина шару постійних річних температур, м;

a – геотермальний ступінь, м.

Геотермічні умови землі різноманітні.

Середня величина геотермічного ступеня рівна 33 м і з поглибленням на кожних 33 м від зони постійної температури температура шару підвищується на 1ºС. Бували випадки, коли збільшення температури на 1ºС відбувалося при заглибленні на 2-3 м.

Такі аномалії спостерігаються в областях діючого вулканізму. У деяких районах, у тому числі і на Камчатці, на глибині 400-600 м температура земної

кори доходить до 150-200ºС і більше.

Тому, для отримання електричної енергії за рахунок глибинного тепла землі використовуються геотермальні родовища в районах активного вулканізму.

Отримання електричної енергії за рахунок глибинного тепла землі неможливе без надглибоких свердловин, які необхідно бурити.

Для надглибокого буріння свердловин використовуються два проекти:

- американський,

- російський.

Американський проект полягає в тому, щоб пробурити найбільш тонкий шар в районі Тихого океану і досягти верхньої мантії, визначити її склад і властивості.

Російський проект передбачає надглибоке буріння на суші, а не на морі. Надглибока свердловина, пробурена в зоні високих температур, розширює можливості використання багатств земної кори і є могутнім джерелом підземної теплової енергії.

Буріння надглибоких свердловин проводиться поетапно: спочатку 7-10 км, а потім до 15 км..

Основні недоліки буріння надглибоких свердловин:

- проходка свердловин ведеться на низьких швидкостях;

- неможливість досягти більшого діаметру свердловин, що стримує їх корисний дебіт.

Тому учені шукають принципово **нові методи проходки надглибоких свердловин, до яких відносяться:**

- вибуховий,

- кавітаційний.

При використанні вибухового методу на забій свердловини через колону бурових труб періодично поступають заряди, вибух яких приводить до подальшого поглиблення свердловини.

При використанні методу кавітації в свердловину опускаються скляні або пластмасові кульки, наповнені повітрям при атмосферному тиску. Опускання кульки на велику глибину приводить до вибуху і поглиблення свердловини.

Ведуться дослідження по використанню для цих цілей ультразвуку,

цілеспрямованої дії електромагнітних хвиль, електрогідравлічного розряду, штучної кулевидної блискавки або струменя плазми.

Крім того, ведуться дослідження ефективності використання для вказаних цілей реактивного бурового снаряда, розробленого російським інженером М.І. Циферовим.

Випробування вказаних снарядів, що працюють на твердому (пороховому) паливі, показали, що при бурінні свердловин в рихлих породах їх швидкість досягає 1 м/с. Щоб пробурити колодязь діаметром 1 м і глибиною 20 м, реактивному снаряду необхідно лише 20-22 секунди.

Розроблені М.І. Циферовим конструкції реактивних снарядів дозволяють бурити свердловини діаметром від 100 мм до 2000 мм і більш, а глибина вироблення залежить від запасу палива і потужності реактивного двигуна. Встановлено, що при вазі твердого палива 5 тонн снаряд за 250 секунд пройде в слабкоцементуємій породі на глибину 150-200 метрів.

Для надглибокого буріння свердловин М.І. Циферовим була розроблена керована ракета багаторазового використання, яка запускається із спеціальної платформи, що обладнана направляючими стапелями, приладами стеження, теплопроводом, системою перехоплення ракети, що повертається із забою, і іншими системами.

Вказані розробки мають великі переваги перед традиційним бурінням, оскільки енергія до породопорушуючого інструменту подається не з поверхні землі, а виробляється на борту снаряда, що дозволяє в сотні раз понизити металоємність і вагу бурової установки, яка досягає 400-500 т при проходці глибоких свердловин.

8.2 Отримання електроенергії при використанні геотермальних вод

Переваги геотермальних електростанцій:

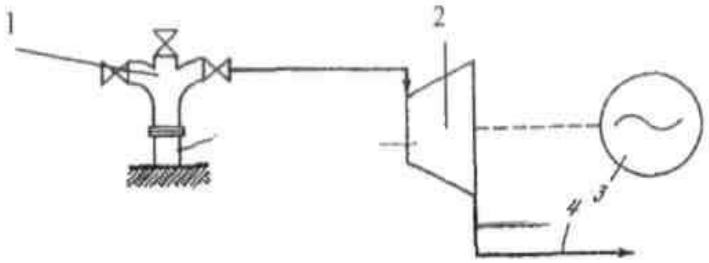
- простота конструкції, надійність в роботі, простота в управлінні;
- немає потреби встановлювати котел або атомний реактор;
- для роботи електростанції не потрібне паливо, оскільки використовується природна пара;
- постійна вихідна потужність протягом року дозволяє підтримувати високий коефіцієнт використання максимуму навантаження, як правило не менше 88-95 %;
- мінімальні витрати на будівництво;
- незначна собівартість вироблення електроенергії ;
- використання енергоносія низького тиску дозволяє понизити небезпеку перепадів тиску і температури;
- наслідки різних аварій, несправностей менш небезпечні і обмежуються тільки зоною, яку займає станція;
- малі витрати на вироблення електроенергії;
- мінімальний термін окупності.

В світовій практиці використання геотермальних вод для отримання електроенергії є цілий ряд **технологічних схем геотермальних електростанцій:**

1. З безпосереднім використанням природної пари.
2. З конденсаційною турбіною і прямим використанням природної пари.
3. З пароперетворювачем.

Розглянемо кожну з них.

Однією з простих і доступних геотермальних електростанцій є **електростанція з безпосереднім використанням природної пари** (рис. 2). Вона є паротурбінною установкою з протитиском. Під час роботи електростанції природна пара зі свердловини подається безпосередньо на турбіну, а з неї в атмосферу або в установку, яка уловлює цінні хімічні речовини. При роботі турбіни з протитиском можна подавати в неї вторинну пару або пару, що отримується з сепаратора.

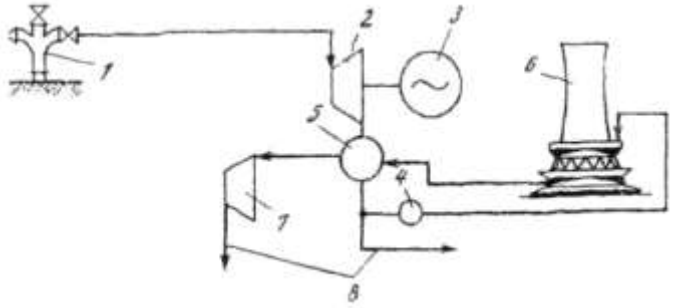


1 – свердловина; 2 – турбіна; 3 – генератор; 4 – вихід в атмосферу.

Рисунок 2 - Схема геотермальної електростанції з безпосереднім використанням природної пари.

З використанням вказаної схеми електростанція працює без конденсаторів. Тому не потрібний компресор для видалення конденсату з газів, що не конденсуються. Простота даної електростанції призводить до мінімальних капіталовкладень і експлуатаційних витрат.

Найбільш сучасною схемою електростанції для отримання електричної енергії є **геотермальна електростанція з конденсаційною турбіною і прямим використанням природної пари** (рис. 3).



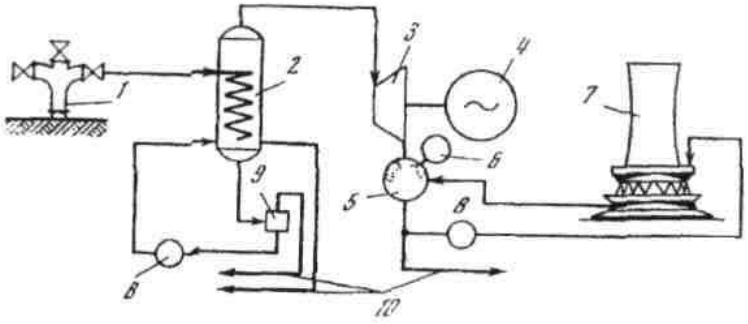
1 – свердловина; 2 – турбіна; 3 – генератор; 4 – насос; 5 – конденсатор; 6 – градирня; 7 – компресор; 8 – скидувач.

Рисунок 3 - Схема геотермальної електростанції з конденсаційною турбіною і прямим використанням природної пари.

Працює вона таким чином: зі свердловини пара подається в турбіну, а відпрацьована в турбіні пара потрапляє в змішуючий конденсатор. Суміш води, що охолоджує, і конденсату, відпрацьованого в турбіні пари, подається з конденсатора в підземний бак, а звідти циркуляційними насосами подається в градирню для охолодження. Охолоджена вода з градирні подається в конденсатор.

Геотермальні електростанції з пароперетворювачем найбільш вигідні у

випадках, коли природна пара має високу температуру і великий вміст газів (рис. 4).



1 – свердловина; 2 – пароперетворювач; 3 – турбіна; 4 – генератор;
5 – конденсатор; 6 – вакуумний насос; 7 – градирня; 8 – насос; 9 – дегазатор;
10 – скидувач.

Рисунок 4 - Схема геотермальної електростанції з пароперетворювачем.

Працює електростанція даного типу за наступною схемою: пара зі свердловини потрапляє в пароперетворювач і віддає тепло вторинному теплоносію, після чого чиста вторинна пара прямує в конденсаційну турбіну, а звідти відпрацьована пара поступає в конденсатор.

В пароперетворювачі неконденсуючі гази, що містяться в парі, відділяються і йдуть на хімічні заводи, або викидаються в атмосферу

Порівняно з першим варіантом, коли електростанція, що використовує природну пару безпосередньо, питомі витрати пари в цьому випадку менше на 30 %.

По першому варіанту - використання геотермальних електростанцій найвигідніше в тих районах, де є достатні запаси природної пари.

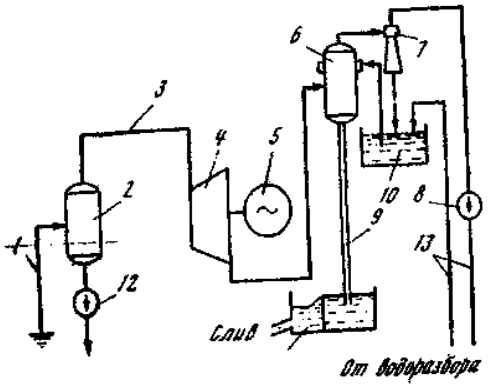
В Італії працюють такі електростанції потужністю:

- 4 тис. кВт при питомих витратах пари біля 20 кг/с;
- 16 тис. кВт, де встановлено чотири турбогенератори потужністю по 4 тис. кВт, її забезпечують парою 7-8 свердловин.

По другому варіанту - працює найкрупніша геотермальна електростанція в Італії, використовуючи природну пару. На даній електростанції встановлено чотири турбогенератори потужністю по 26 тис. кВт і два турбогенератори для покриття власних навантажень потужністю по 9 тис. кВт. Коефіцієнт використання встановленої потужності складає 98 %.

По третьому варіанту, тобто геотермальні електростанції з пароперетворювачами, побудовані в Італії - "Лардерелло-2" і "Кастельнцово". На електростанції "Лардерелло-2" встановлено 7 турбін потужністю по 11 тис. кВт с питомими витратами пари – 14 кг/кВт.

У Росії, на Камчатці, функціонує Паужетська дослідно-промислова геотермальна електростанція (рис. 5).



1 – свердловина; 2 – сепаратор; 3 – паропровід; 4 – турбіна; 5 – генератор; 6 – змішуючий конденсатор; 7 – водоструминний інжектор; 8 – інжекторний насос; 9 - барометрична труба; 10 - бак води, що охолоджує; 11 - зливний колодязь; 12 - насос гарячої води; 13 - трубопровід холодної води.

Рисунок 5 - Схема Паужетської дослідно-промислової геотермальної електростанції.

Її проект розроблений інститутом Теплоелектропроєкт. Схема її роботи проста. Пароводяна суміш поступає зі свердловини в сепаратор з навантаженням парового об'єму 600-800 м^3/год, який розташований на свердловині. В ньому, при тиску 1,5 атм. відбувається розділення пари і води. Відділена від води пара по паропроводу поступає до турбін.

Гаряча вода з температурою 100-110ºС йде по трубах для опалення і гарячого водопостачання житлових будівель. Зайва частина води скидається в річку.

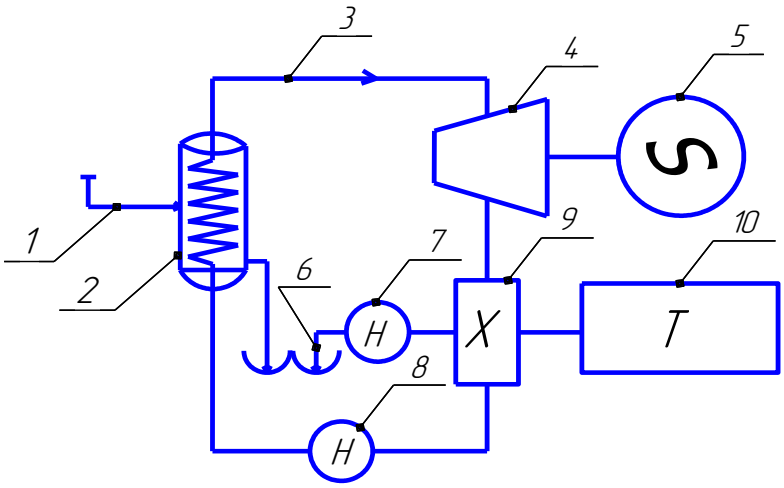
На станції є компактні змішуючи конденсатори. Видалення газів з конденсаторів проводять за допомогою водоструминних інжекторів з витратою води 800-900 м^3/год.

Вказана електростанція має потужність 5 тис. кВт зі встановленими на ній двома турбінами типу "МК-2,5" потужністю по 2,5 тис. кВт кожна. Заводом виготівником турбін є Калузький турбінний завод.

8.3 Виробництво електроенергії при перетворенні низькотемпературних геотермальних вод

Велика частина родовищ геотермальних вод відноситься до низькотемпературних - не більш 60-100ºС. Тому низькотемпературне тепло можна перетворити в електричну енергію при використанні теплоносія з низькою температурою кипіння (хладон-12).

Ученими Російського інституту теплофізики Сибірського відділення Академії наук розроблена схема електростанції, що працює на геотермальній воді Паратунського родовища з початковою температурою 80ºС (рис. 6).



1 - свердловина; 2 - теплообмінник; 3 - хладонопровід; 4 - турбіна; 5 - генератор; 6 - забірник холодної води; 7 - насос холодної води; 8 - насос подачі хладону; 9 - холодильник; 10 - теплиця.

Рисунок 6 - Схема геотермальної електростанції з використанням теплоносія з низькою температурою кипіння.

Згідно схеми вода зі свердловини подається в теплообмінник, віддає частину теплової енергії на випаровування хладону-12 в замкнутому контурі. Пари хладону-12 подаються з теплообмінника в турбіну, що обертає електрогенератор. Відпрацьована в турбіні пара поступає в холодильник, де конденсується і рідкий хладон-12 циркуляційним насосом подається в теплообмінник. Тобто відбувається замкнута безперервна циркуляція проміжного теплоносія з низькою температурою кипіння (29,8ºС).

Вказана схема хладонового перетворювача із замкнутим циклом працює при перепаді температур 80-85ºС і завдяки комплексному використанню (обігрів

теплиць і парників) отриманий порівняно високий коефіцієнт корисної дії.

Конденсація парів хладону-12 відбувається завдяки використанню холодної води річки Паратунки з середньою цілорічною температурою 5ºС. Річкова підігріта вода містить мало розчинених солей і її можна застосовувати в теплицях і парниках. Геотермальна вода свердловин має багато солей, тому її надалі не використовують.

Проблема енергетично некондиційних термальних вод в США вирішується інакше. У них є цілий ряд родовищ термальних вод з високою температурою і з підвищеною мінералізацією, а також з великою кількістю газів. Усунення вказаних недоліків було здійснене за рахунок розробки паротурбінного циклу нового типу, який відрізняється від звичайних циклів геотермальних електростанцій тим, що в якості теплоносія застосовується ізобутан.

В паротурбінній установці використовується пароводяна суміш з температурою 163ºС і протягом всього процесу енергообміну підтримується тиск вище тиску насиченої пари, щоб не відбувалося випаровування і виділення розчинених в рідині газів. Проходячи, через теплообмінник, гаряча вода віддає своє тепло вторинному теплоносію-ізобутану, а охолоджена термальна вода закачується в сусідню свердловину, відносячи розчинні солі і гази.

Пари ізобутану, розширюючись, обертають ротор турбіни, а разом з ним електричний генератор.

Відпрацьовані пари конденсуються у вторинному теплообміннику з водяним охолодженням, звідки рідкий ізобутан відкачується і подається у випарник для повторного циклу.

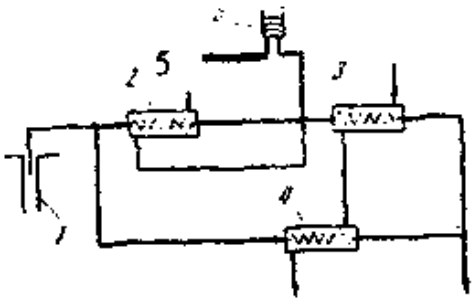
В США працює електростанція з ізобутановою триступінчастою радіальною турбіною потужністю 9 тис. кВт, частота обертання якої складає 750 $с^{-1}$.

Проблема подібних установок ускладнюється тим, що багато геотермальних родовищ розташовано на територіях, де недостатньо дешевої річкової води для охолодження. Незалежно від цього, паротурбінна установка з використанням ізобутану має багато переваг порівняно з виробництвом електроенергії по одноконтурному циклу з розширенням або по двоконтурному з пароводяним циклом.

8.4 Опалення і гаряче водопостачання термальними водами

Для опалення житлових і виробничих будівель, теплиць, а також гарячого водопостачання необхідна температура води не нижче 50-60ºС.

Для геотермального теплопостачання необхідне використання проміжних теплообмінників (рис. 7).



1 - свердловина; 2 - теплообмінник системи опалення; 3, 4 - відповідно, теплообмінник гарячого водопостачання 1-го і 2-го ступеня; 5 - система опалення.

Рисунок 7 - Принципова схема геотермального теплопостачання з проміжними теплообмінниками.

Ефективне використання геотермальних вод залежить від вмісту в них солей. При вмісті великої кількості солей використовуються схеми з проміжними теплообмінниками. Представлена схема (рис. 7) зручна тим, що вона має мінімум конструктивних елементів і не вимагає додаткових витрат палива або електроенергії.

<u>При функціонуванні схем з термальними водами необхідно розглядати два випадки</u>:

- термальна вода має температуру вище 80ºС, але сильно мінералізована;
- термальна вода маломінералізована з температурою нижче 80ºС.

Розглянемо обидва випадки.

<u>Випадок 1</u>. Термальна вода, що поступає зі свердловини, розділяється на дві паралельні гілки:

- одна з них, прямує в теплообмінник опалення, а потім в теплообмінник першого ступеня підігріву води для гарячого водопостачання;
- друга, в теплообмінник другого ступеня. Для уникнення заростання трубопроводу, термальну воду використовують з проміжним теплообмінником.

Якщо термальна вода високомінералізована її зі свердловини подають в резервуар із змійовиками, по яких поступає прісна вода з річки. Підігріта прісна вода йде до споживача, а солі, що випали в осад з термальної води, осідають в резервуарі на зовнішніх поверхнях змійовика.

На курорті "Нальчик" багато років термальна вода використовується в лікуванні. Вода температурою 78ºС, поступає зі свердловин в теплообмінник типу "труба в трубі", який віддає частину тепла прісній воді. Далі прісна вода подається по трубах в житлові і виробничі будівлі для гарячого водопостачання і технологічних потреб, в теплиці, в яких вирощують в рік по два урожаї овочів, а охолоджена до температури 37-38ºС термальна вода подається у ванни і душі лікарні.

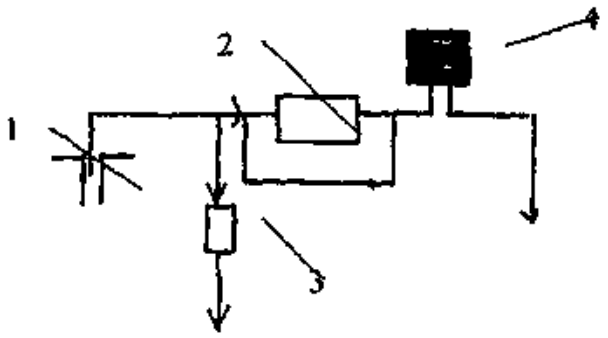
Випадок 2. При даному стані термальної води потрібне підвищення її потенціалу, для чого використовується декілька методів:

- використання термальної води паралельне на опалення і гаряче водопостачання, але з піковим догрівом води для опалення;
- застосування безслівної системи геотермального теплопостачання;
- включення в систему теплових насосів;
- комбіноване використання теплових насосів і пікового догреву.

По першому методу термальна вода поступає зі свердловин в систему гарячого водопостачання і паралельно в пікову котельну, де догрівається до температури, яка відповідає метеоумовам і потім подається в систему опалення (рис. 8).

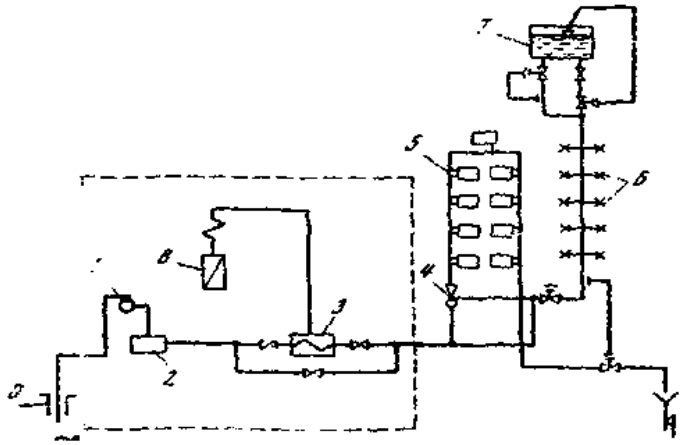
Вказана схема доцільна при бурінні свердловин, вартість яких велика, а пікова котельна дозволяє скоротити їх кількість.

Другий метод є складнішим порівняно з першим, оскільки термальна вода, що поступає зі свердловин, нагрівається до температури 160-200ºС згідно кліматичним умовам, і дозволяє отримати рівну температуру води в теплових мережах і системах гарячого водопостачання. Схема даної установки представлена на рис. 9.



1 - свердловина; 2 - піковий догрівач; 3 - система опалення; 4 - бак-акумулятор.

Рисунок 8 - Схема геотермального теплопостачання з паралельною подачею геотермальної води на опалення і гаряче водопостачання і піковим догрівом на опалення.



0 - свердловина; 1 - дегазатор; 2 - хімводоочистка; 3 - водопідігрівач; 4 - змішувач; 5 - система опалення; 6 - система гарячого водопостачання; 7 - бак-акумулятор; 8 - котельна.

Рисунок 9 - Схема безслівної системи геотермального теплопостачання.

Працює установка в наступній послідовності: термальна вода поступає зі свердловин в котельну, потім в дегазатор і хімічну водоочистку, подається у водопідігрівач. Перегріта у водопідігрівачі вода подається в змішувач, який встановлений на введенні кожного будинку.

У змішувачі мережева вода змішується з відпрацьованою водою з системи опалення і знов подається в систему опалення, а потім в повному об'ємі витрачається в системі гарячого водопостачання. Крім того, передбачена можливість скидання відпрацьованої води з системи опалення в каналізацію, а також в бак-акумулятор для одного або декількох будівель при використанні

однотрубних розподільних мереж.

В літній період відключають підігрівач води, і термальна вода подається на водопостачання по обвідному трубопроводу в котельні.

При даному методі повніше використовується тепло термальної води, скорочується до мінімуму кількість свердловин, зменшується діаметр і протяжність теплових мереж, знижується металоємність систем опалення.

Третій метод по фізичній суті найбільш ефективний, оскільки робота теплових насосів приводить до підвищення концентрації теплової енергії, хоча і за рахунок витрат енергії, що підводиться ззовні.

Четвертий метод декілька аналогічний другому, оскільки використовуються складні установки, що складаються з цілого ланцюжка різноманітних перетворювачів енергії.

Кожен з вказаних методів має переваги і недоліки, тому необхідно для кожної геотермальної установки, виходячи з конкретних умов, економічно обґрунтовувати доцільність її використання.

На тваринницькому комплексі використовують геотермальну воду для приготування кормів і догляду за тваринами. Термальна вода, відпрацьована на комплексі, температурою 25-30ºС прямує у відстійники, а з них перекачується в риборозплідні ставки, а у весінньо-літній час - на поля для зрошування або поливу овочів у відкритому ґрунті, що дозволяє підвищити врожайність на 30 %. При цьому виробництво овочів обходиться в 2 рази дешевше, ніж в теплицях, що обігріваються органічним теплом.

8.5 Грунт, як джерело низькопотенційної теплової енергії

Джерелом нізкопотенційної теплової енергії можуть бути підземні води з невеликою температурою, або грунт поверхневих шарів землі (завглибшки до 400 м). Теплоутримання ґрунтового масиву вище і тому **тепловий режим ґрунту поверхневих шарів землі формується під впливом двох основних чинників**:

- падаючої на поверхню землі сонячної радіації;
- потоку радіогенного тепла із земних надр.

Залежно від конкретних ґрунтово-кліматичних умов глибина проникнення добових коливань температури зовнішнього повітря і інтенсивності падаючої сонячної радіації коливається в межах від декількох десятків сантиметрів до півтора метри, а глибина проникнення сезонних коливань температури зовнішнього повітря і інтенсивності падаючої сонячної радіації не перевищує 15-20 м (рис. 9).

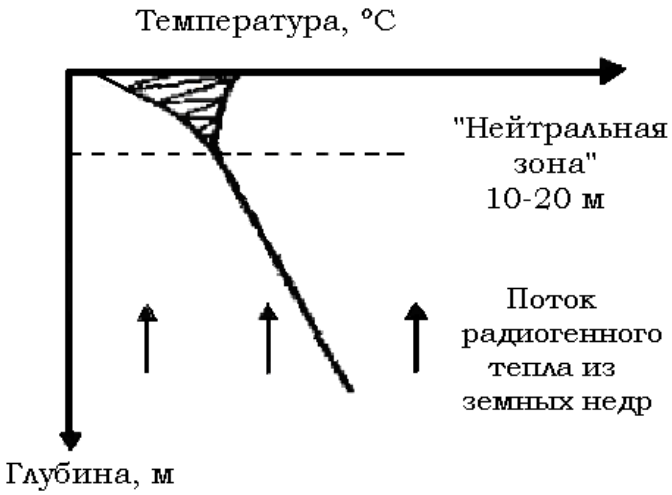


Рисунок 9 - Графік зміни температури землі залежно від глибини

Розташовані нижче глибини "нейтральної зони" шари землі формують температурний режим під впливом теплової енергії, що поступає з її надр, і не залежать від сезонних і добових змін параметрів зовнішнього клімату.

Збільшення глибини призводить до зростання температури землі згідно геометричного градієнта: приблизно 3ºС на кожні 100 м. При цьому величина потоку радіогенного тепла, що поступає з надр землі, для різних регіонів різна. Для Центральної Європи вона складає 0,05-0,12 Вт/м^2.

Земля і земляні води повинні задовольняти вимогам:

- достатня водопроникність землі, що дозволяє своєчасно поповнюватися запасом води;
- задовільний хімічний склад земляних вод, що мають низький вміст заліза і інших включень, що дозволяє уникнути утворень на внутрішній поверхні труб та їх корозії.

Зі всієї різноманітності можна виділити два основні види систем використання низькопотенційної теплової енергії Землі:

- відкриті, в яких в якості джерела низькопотенційної теплової енергії використовуються ґрунтові води, які підведені до теплових насосів;
- замкнуті, в яких теплообмінники розташовані в земляному масиві.

В практиці функціонує велика частина парних свердловин відкритих систем, що дозволяють витягувати земляні води з водоносних шарів землі і повертати воду назад в ті ж водоносні шари (рис. 10).

Їх перевагою є можливість отримання великої кількості теплової енергії при низьких витратах.

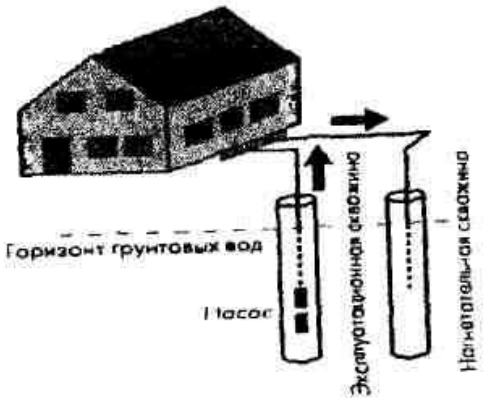


Рисунок 10 - Схема відкритої системи використання низькопотенційної теплової енергії ґрунтових вод.

Системи відкритого типу частіше використовуються для теплопостачання або холодозабезпечення крупних будівель або об'єктів.

Найбільша в світі геотермальна система, яка використовує в якості джерела низькопотенційну теплову енергію земляних вод, розташована в м. Луіссвіль (США штат Кентуккі).

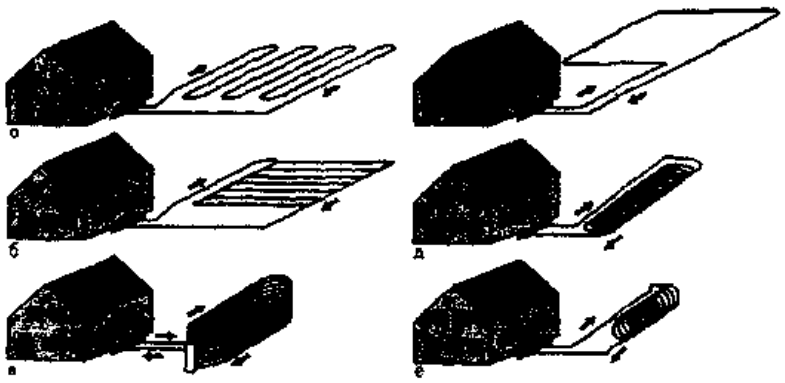
Вказана система використовується для теплопостачання і холодозабезпечення готельно-офісного комплексу. Її потужність складає біля 10 кВт. Іноді застосовують системи, для яких низькопотенційне тепло забирається з відкритих водоймищ, як природних, так і штучних.

Замкнуті системи підрозділяються на:

- горизонтальні
- вертикальні.

Горизонтальна система складається з однотипного земляного теплообмінника, який розташовується поряд з будинком на невеликій, але нижче за рівень промерзання ґрунту, глибині.

Горизонтальні теплообмінники, в країнах Західної і Центральної Європи, зазвичай є трубами, які щільно розташовані і сполучені між собою послідовно або паралельно (рис. 11 а, б ,г).



а - теплообмінник з послідовно сполучених труб; б - теплообмінник з паралельно сполучених труб; в - горизонтальний колектор, укладений в траншеї; г - теплообмінник у формі петлі; д - теплообмінник у формі спіралі, розташованої горизонтально; е - теплообмінник у формі спіралі, розташованої вертикально.

Рисунок 11 - Види горизонтальних земельних теплообмінників.

Для ефективного функціонування горизонтальних теплообмінників земляна поверхня над ними повинна бути відкритою для дії сонячних променів.

Вертикальні земляні теплообмінники використовуються для отримання низькопотенційної енергії ґрунтового масиву, розташованого нижче 10-20м від рівня землі (рис. 11 в, д, е).

Вказані системи не вимагають ділянок великої площі і не залежать від

інтенсивності сонячної радіації, яка падає на поверхню.

Вони ефективно працюють у всіх видах геологічних середовищ за винятком сухого піску і сухого гравію. Тому вони набули широкого поширення.

Схема опалювання і гарячого водопостачання з вертикальним ґрунтовим теплообмінником одноквартирного житлового будинку представлена на рис. 12.

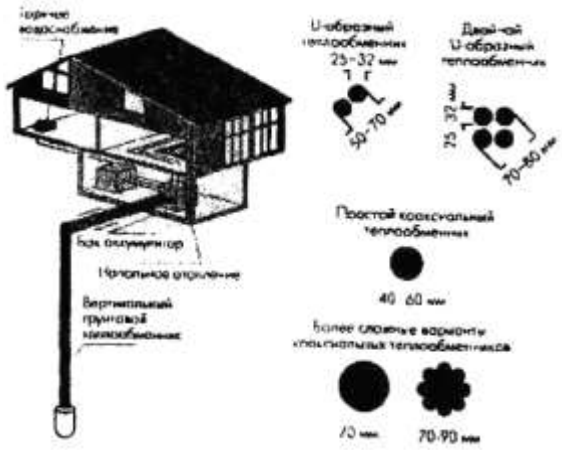


Рисунок 12 - Схема опалення і гарячого водопостачання одноквартирного житлового будинку за допомогою теплонасосної установки з вертикальним ґрунтовим теплообмінником (зліва), перетин різних типів вертикальних ґрунтових теплообмінників (справа)

По трубах (поліетиленовим або поліпропіленовим), що укладені у вертикальних свердловинах завглибшки від 50 до 200 м циркулює теплоносій.

Великого поширення набув U-й теплообмінник. Це дві паралельні труби, які з'єднані в нижній частині. В кожній свердловині розташовують по одній або дві (навіть три) пари таких труб.

У системах з вертикальними ґрунтовими теплообмінниками використовуються і коаксіальні (концентричні) теплообмінники. Найбільш простим коаксіальним теплообмінником є дві труби різного діаметру, вставлені одна в іншу.

З метою збільшення ефективності даних теплообмінників простір між стінками свердловин і трубами заповнюється спеціальним матеріалом, який проводить тепло.

Системи з подібними вертикальними теплообмінниками можуть використовуватися для теплохолодозабезпечення будівель різних розмірів. Для

невеликої будівлі достатньо одного теплообмінника, а для великих будівель використовується ціла група свердловин з вертикальними теплообмінниками.

Найбільша в світі кількість свердловин використовується в системі теплохолодозабезпечення коледжу в США (штат Нью-Джерсі). Вертикальні теплообмінники цього коледжу розміщені в 400 свердловинах завглибшки 130 м.

В Германії найбільша кількість свердловин - 154, завглибшки 70 м використовуються в системі теплохолодозабезпечення центрального офісу служби управління повітряним рухом.

Іноді у вертикальних замкнутих системах використовуються, як земляні теплообмінники, конструкції фундаментних свай із замонолічennими трубопроводами (рис. 13).

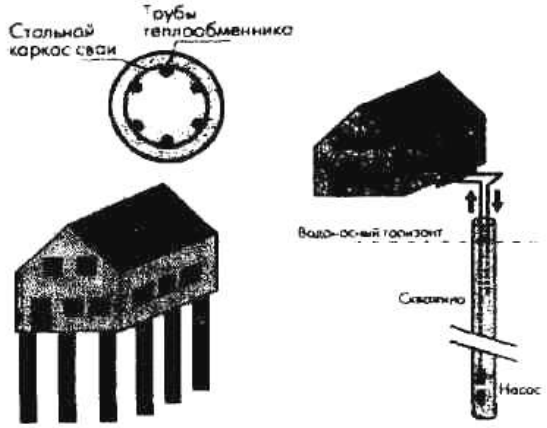


Рисунок 13 - Схема ґрунтових теплообмінників, замонолічennих у фундаментні сваї будівлі: поперечний перетин такої сваї (зверху), схема свердловини змішаного вигляду (справа).

Одним з перспективних напрямів в даному питанні є використання в якості джерела низькопотенційної теплової енергії води з шахт і тунелів, як найбільш досяжних і таких, що мають постійну температуру протягом року.

Системи, які використовують низькопотенційне тепло ґрунтових вод, постійно поповнюються водними запасами за рахунок води, яка просочується з поверхні, а також води, що поступає з глибших шарів ґрунту.

Інша ситуація в системах з вертикальними земляними теплообмінниками. Відведення тепла призводить до зниження температури землі навколо земляного теплообмінника, як за рахунок особливості його конструкції, так і режиму експлуатації.