

УДК 621.577.22

## Перспективи та аспекти застосування систем теплохолодопостачання, які використовують приповерхневі шари води в якості теплового акумулятора

Е.С. Малкін<sup>1</sup>, Є.О. Кулінко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, saodhar@gmail.com

<sup>2</sup>аспірант, Київський національний університет будівництва і архітектури, kyo@itek.org.ua

*Розглянуто питання застосування приповерхневих шарів води в якості теплового акумулятора. Розглянуті можливі схеми відбору теплової енергії землі та приповерхневих вод. Вказано на ряд факторів, що впливають на не стаціонарність процесів теплоакumuлювання. Описано можливі шляхи реалізації поставленого питання. Окреслено ряд проблем та шляхи можливого їх вирішення. Наведено принципові схеми, які можуть бути використані для реалізації систем теплохолодопостачання, які використовують приповерхневі шари води в якості теплового акумулятора.*

*Ключові слова: енергозбереження; геотехнологія; тепловий насос; акумуляція.*

**Вступ.** Сезонна нерівномірність споживання і обмеженість запасів природних енергоносіїв в Україні призводить до необхідності пошуку нетрадиційних способів видобутку та зберігання теплової енергії. У сформованих гірничо-геологічних і кліматичних умовах країни зниження енергетичних навантажень може бути досягнуто за рахунок створення систем підземного акумулювання теплоти. Ці системи забезпечать потреби опалення, гарячого водопостачання та кондиціонування інженерних споруд за рахунок акумулювання теплової енергії та холоду у водоносних пластах.

Акумулювання теплової енергії в підземних водоносних пластах – це нова нетрадиційна енергозберігаюча технологія для тепло- та холодопостачання. Взимку холод є в надлишку, тоді як влітку в наявності «безкоштовна» тепла енергія. Сезонне акумулювання енергії дозволяє вирішити проблему розбіжностей надходження та відпуску теплової енергії. Створення спеціальних резервуарів для зберігання теплоносія з акумульованим теплом вимагає великих витрат і складних технічних рішень. У той же час, підземні водоносні пласти можуть бути середовищем, що підходить для довгострокового акумулювання тепла і холоду.

Враховуючи особливості клімату і актуальність питань енергозбереження, технологія підземного акумулювання теплової енергії у водоносних шарах може становити інтерес і знайти можливе застосування у великій кількості регіонів. На даний момент існує ряд теплохолодонасосних геотермальних установок представлених основними чотирма видами, такими як: горизонтальна,

вертикальна і водовмісна відносяться до замкнених систем та з відкритим циклом відповідно – відкрита. Кожна з цих систем має свої переваги і недоліки. Але жодна з них не задовольняє комплексні потреби споживачів в теплий і холодний період року. Вважаємо, що для забезпечення теплохолодопостачання об'єктів доцільно використовувати системи із акумуляцією теплоти.

В останні роки теплові насоси, як джерело теплової енергії, стали все частіше застосовуватись у централізованому теплопостачанні. Найбільш інтенсивно ці роботи розгорнулись у Швеції. Із діючих в країні 130 тис. теплових насосів 90 тис. мають сумарну теплопродуктивність 1000 МВт та забезпечують приблизно половину всього навантаження усіх ТН. Серед діючих великих теплонасосних станцій централізованого теплопостачання необхідно відзначити станції, що споруджені в містах Бурленге (24 МВт), Умео (34 МВт), Ужала (39 МВт), Еребру (40 МВт) та Стокгольмі (160 МВт) [1-3]. Як низькотемпературні джерела для цих станцій використовуються міські стічні води, промислові водяні стоки та морська вода [1-3].

Крім Швеції, теплонасосні станції для централізованого теплопостачання споруджені також в інших західноєвропейських країнах, серед яких необхідно відзначити станції, що експлуатуються в Норвегії (м. Осло – 8 МВт), Німеччині (м. Кіль – 9 МВт), Данії (м. Фредеріксхавн – 10 МВт), Швейцарії (м. Базель – 11 МВт).

Приповерхневі води є системою, яка працює в нестационарних умовах, що значно ускладнює вирішення задач. На рис. 1 наведено схему факторів, що впливають на формування процесів в пласті.

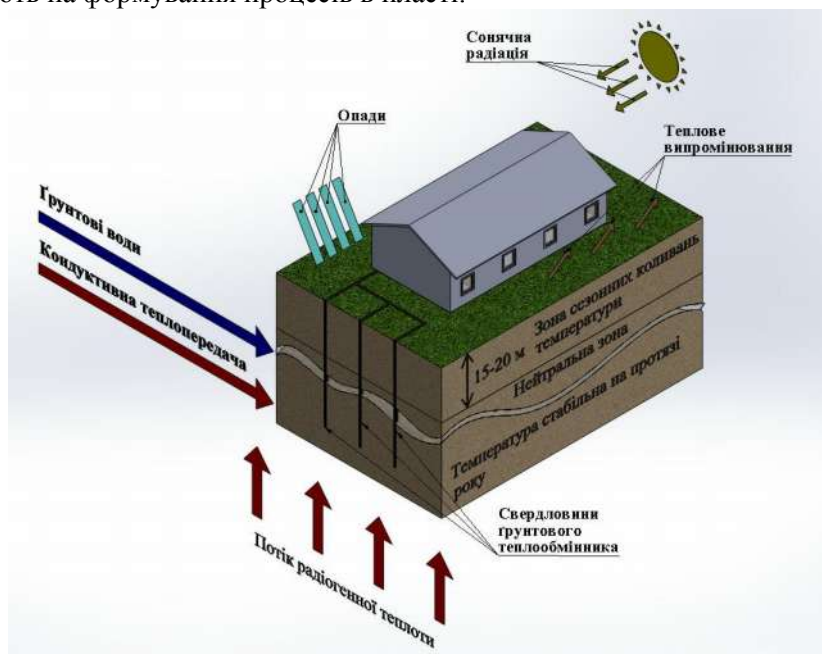


Рис. 1. Фактори, що формують температурний режим ґрунтового масиву системи відбору низькопотенціального тепла поверхневих шарів Землі

Коротко розглянемо можливі схеми відбору теплової енергії (рис. 2) з приповерхневих шарів води та ґрунту. У загальному випадку можна виділити два види систем тепловідбору: відкриті системи: в якості джерела низькопотенціальної теплової енергії використовуються ґрунтові води, що підводиться безпосередньо до теплових насосів; замкнуті системи: теплообмінники розташовані в ґрунтовому масиві; при циркуляції по ньому теплоносія із зниженою відносно ґрунту температурою відбувається «відбір» теплової енергії від ґрунту і перенос її до випарника теплового насоса (або, при використанні теплоносія з підвищеною відносно ґрунту температурою, його охолодження).

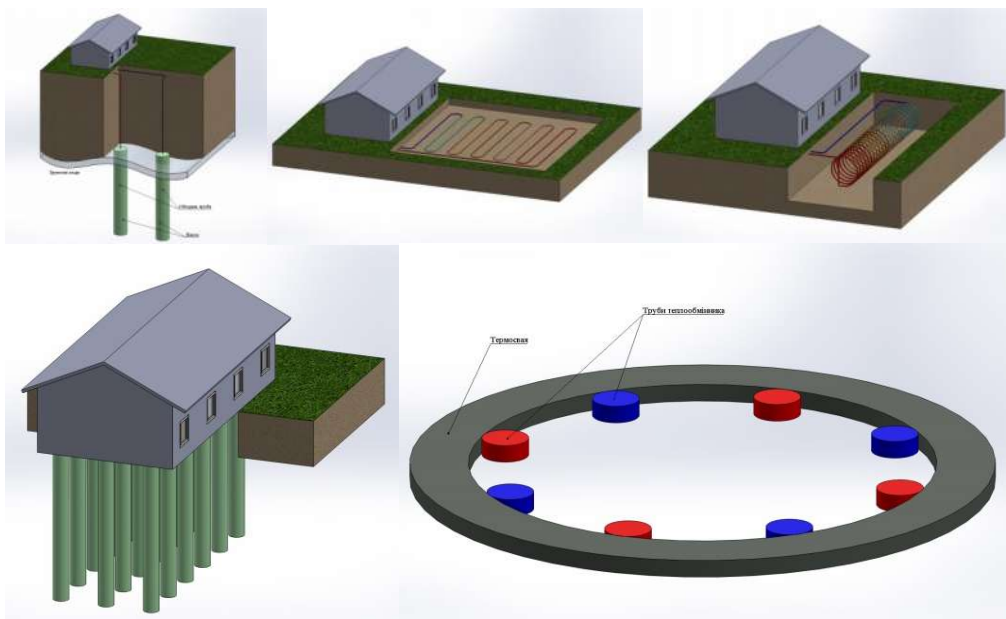


Рис. 2. Системи відбору теплової енергії від приповерхневих вод та ґрунту

Що стосується тепло насосних систем теплопостачання з використанням у якості джерел теплоти ґрунту, то слід відмітити, в багатьох районах України вони характеризуються малою тепловою потужністю системи (1,5-2 кВт)/(28 м<sup>2</sup> поверхні землі), тобто вони придатні для невеликих систем потужністю до 30 кВт.

Розподіл підземних вод на території України обумовлений геологічною будовою та історією природного розвитку різних її частин, які являють собою відокремлені гідрогеологічні регіони, що відрізняються один від одного за віком, складом і умовами залягання утворень, що їх складають, за сукупністю основних природних чинників, які визначають закономірності формування, розподіл, склад і умови експлуатації підземних вод.

При районуванні підземних вод України, яким в свій час займалися Б.Л. Лічков, В.І. Лучицький, К.І. Маков, О.К. Ланге, Н.І. Толстіхін, А.Є. Бабінець,

Ф.А. Руденко, М.І. Дробноход, В.М. Шестопалов та інші дослідники, враховувались різноманітні природні та штучні чинники.

За гідрогеологічним районуванням, виконаним у ДВ УкрДГРІ (1984-1987 р.р.), на території України виділено 3 материкові системи басейнів підземних вод: А – Східноєвропейську систему басейнів пластових вод і басейнів тріщинно-жильних вод кори вивітрювання; Б – Скіфсько-Турансько-Західносибірську систему басейнів пластових вод, а також В – Карпатсько-Кримсько-Кавказ-Коистдагсько-Памірську систему басейнів пластово-блокових, пластових вод, води кори вивітрювання та лавових покривів. В межах першої виділено 5 складних басейнів підземних вод I порядку: Волино-Причорноморський, Дніпровсько-Донецький, Український, Передкарпатський, Придобруджинський. В межах двох перших басейнів виділено по 3 басейни II-го порядку (трьом останнім відповідають однойменні басейни II порядку). Система Б розбита на два складних басейни I-го порядку: Донецький та Добруджинсько-Кримсько-Передкавказький. В останньому виділено 3 басейни II-го порядку. Система В поділена на Кримсько-Кавказький та Карпатський складні басейни I порядку (останній поділяється на два басейни II-го порядку - Закарпатський і Карпатський) [4]. Таким чином, всього виділено дев'ять басейнів I порядку. В цілому дослідження гідрогеології території України дозволяє стверджувати про можливість застосування їх в якості теплових акумуляторів при вирішенні ряду задач:

- Дослідження максимальних перепадів температур водяного пласта з урахуванням не порушення умов існування мікроорганізмів (мікроценозу).
- Аналітичне розв'язання задачі теплопереносу.
- Створення математичної моделі нестационарного режиму явищ тепло переносу, результатом якої стане визначення оптимальних геометричних параметрів свердловини.
- Розробка розрахунково-експериментальної методики досліджень фільтрації та теплопереносу у водоносному горизонті, який використовується як акумулятор нагрітої та охолодженої води.
- Експериментальне дослідження фільтрації та теплопереносу у водоносному горизонті, який використовується як акумулятор нагрітої та охолодженої води.
- Створення інженерних методик визначення характеристик теплохолодонасосного обладнання, яке використовується в досліджувальній системі.
- Створення інженерних методик визначення оптимальної відстані між головними та дренажними свердловинами.

Нижче наводимо принципову схему системи, яка дозволить реалізувати механізм роботи в режимах «зима-літо».

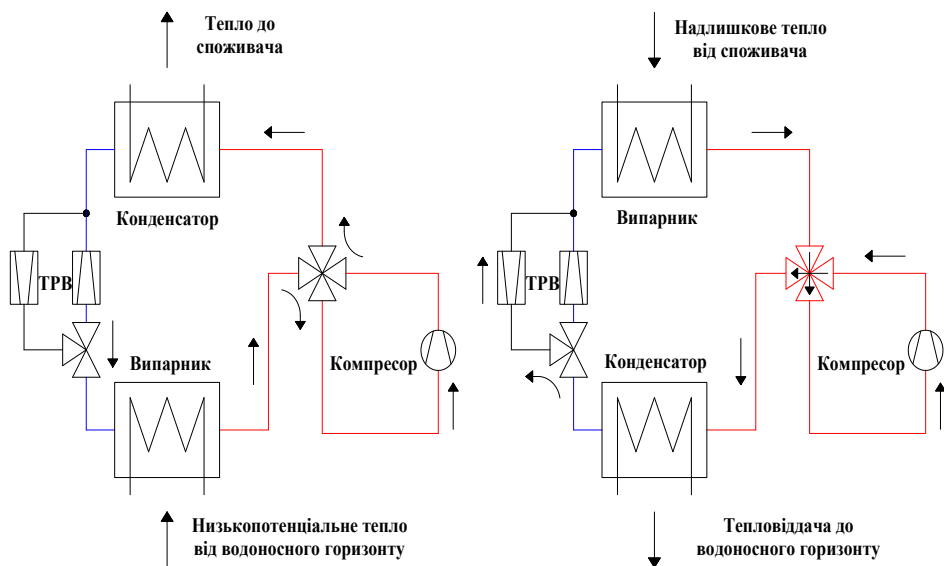
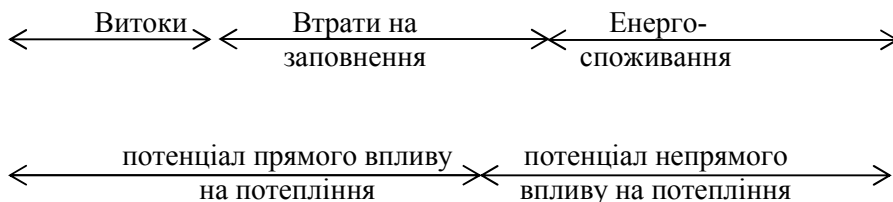


Рис. 3. Принципова схема роботи системи в режимах опалення і охолодження

Особливу увагу слід приділяти вибору холодоагенту, який дозволить ефективно працювати системі в режимах «зима-літо». Проводимо аналіз фактора TEWI для порівнювальних холодоагентів:

$$\text{TEWI} = \text{TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT}$$

$$\text{TEWI} = (\text{GWP} \times L \times n) + (\text{GWP} \times m [1 - \alpha_{\text{recovery}}]) + (n \times E_{\text{annual}} \times \beta)$$



- GWP = Потенціал впливу на глобальне потепління [по відношенню до CO<sub>2</sub>]
- L = Об'єм витоків за рік [кг]
- n = Термін експлуатації системи [роки]
- m = Робочий об'єм холодоагенту [кг]
- $\alpha_{\text{recovery}}$  = Коефіцієнт повторного використання
- E<sub>annual</sub> = Енергоспоживання за рік [кВт·год]
- $\beta$  = Викид CO<sub>2</sub> на 1 кВт·год енергії (змішана од.)

Очевидно, що потенціал прямого впливу на потепління вищий у того холодоагенту в якого значення потенціалу впливу на глобальне потепління [по відношенню до CO<sub>2</sub>] більше, а от потенціал непрямого впливу на глобальне потепління залежить від вище прорахованих потужностей компресора.

Приймаємо, що термін експлуатації ТНУ для всіх холодоагентів рівний 10 рокам, викид CO<sub>2</sub> на 1 кВт·год енергії становить  $\beta = 0,6 \text{ кг}\cdot\text{CO}_2/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ .

Результати розрахунків зводимо в таблицю:

Таблиця 1

Основні показники холодоагентів при їх використанні в в режимах нагріву та охолодження

Ознака	Одиниця вимірювання	Значення			
		R134a	R290	R404a	R407c
Назва холодоагенту		R134a	R290	R404a	R407c
Хімічна формула		C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	R125/R143a/R134a	R32/R125/ R134a
Температура кипіння	°C	-26,3	-41,79	-46,7	-43,56
Критична температура	°C	101,06	96,6	72,7	86,7
Критичний тиск	МПа	4,059	4,25	3,735	4,63
Озоноруйнівний потенціал, ODP		0	0	0	0
Потенціал глобального потепління, GWP		1430	0,001	3750	1600
Питомий тепловідбір з 1 м <sup>3</sup> пласта	кВт·год/м <sup>3</sup>	4,049			
Тривалість роботи ТНУ в режимі опалення	год/рік	4488			
Питома тепловіддача на 1 м <sup>3</sup> пласта	кВт·год/м <sup>3</sup>	4,543			
Тривалість роботи ТНУ в режимі охолодження	год/рік	4000			
2- й сезон роботи в режимі опалення					
Електрична потужність компресора на 1 м <sup>3</sup> пласта	кВт/м <sup>3</sup>	0,7208	0,7361	0,7873	0,7836
Питома тепловіддача конденсатора з 1 м <sup>3</sup> пласта	кВт/м <sup>3</sup>	4,77	4,785	4,836	4,833
Коефіцієнт перетворення		6,62	6,50	6,14	6,17
Фактор TEWI (енергоспоживання)	кг·CO <sub>2</sub>	1,94	1,98	2,12	2,11

1 -й сезон роботи в режимі охолодження					
Електрична потужність компресора на 1 м <sup>3</sup> пласта	кВт/м <sup>3</sup>	0,3942	0,399	0,4112	0,4026
Питомий тепловідбір випарника з 1 м <sup>3</sup> пласта	кВт/м <sup>3</sup>	4,149	4,144	4,132	4,14
Коефіцієнт перетворення		10,53	10,39	10,05	10,28
Фактор TEWI (енергоспоживання)		0,95	0,96	0,99	0,97
Фактор TEWI (сумарне енергоспоживання)	кг·СО <sub>2</sub>	<b>2,89</b>	<b>2,94</b>	<b>3,11</b>	<b>3,08</b>

Для холодоагенту R134a був проведений термодинамічний аналіз та побудова циклів для режимів «зима-літо», який підтвердив можливість та доцільність його використання в досліджуваній системі.

**Висновки.** Застосування комплексних систем теплохолодопостачання є перспективним та технічно можливим напрямком розвитку інженерних систем. Задачі, пов'язані з питанням, можна окреслити наступним чином: дослідження максимальних перепадів температур водяного пласта з урахуванням не порушення умов існування мікроорганізмів (мікроценозу); аналітичне розв'язання задачі теплопереносу; створення математичної моделі нестационарного режиму явищ тепло переносу, результатом якої стане визначення оптимальних геометричних параметрів свердловини; розробка розрахунково-експериментальної методики досліджень фільтрації та теплопереносу у водоносному горизонті, який використовується як акумулятор нагрітої та охолодженої води; експериментальне дослідження фільтрації та теплопереносу у водоносному горизонті, який використовується як акумулятор нагрітої та охолодженої води; створення інженерних методик визначення характеристик теплохолодопостачального обладнання, яке використовується в досліджуваній системі; створення інженерних методик визначення оптимальної відстані між головними та дренажними свердловинами.

### Література

1. Янговский Е. И. Парокомпрессионные теплонасосные установки / Е. И. Янговский, Ю. В. Пустовалов. – М. : Энергоиздат, 1982. – 144 с.
2. Рэй Д. Тепловые насосы / Д. Рэй, Д. Макмайлк; пер. с англ. – М. : Энергоиздат, 1982. – 224 с.
3. Безкоштовна енергія // Ринок інсталяційний. – 1999. – №10. – С. 8.
4. Рубан С. А. Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України / Рубан С. А., Шинкаревський М. А. – К. : УкрДГРІ, 2005. – 572 с.

## **Перспективы и аспекты применения систем теплохолодоснабжения, которые используют приповерхностные слои воды в качестве теплового аккумулятора**

Э.С. Малкин, Е.А. Кулинко

*Рассмотрен вопрос использования приповерхностных шаров воды в качестве аккумулятора. Рассмотрены возможные схемы отбора тепловой энергии земли и приповерхностных вод. Указано на ряд факторов, которые влияют на нестационарность процессов теплового аккумулярования. Описаны возможные пути реализации поставленного вопроса. Очерчен ряд проблем и возможные пути их решения. Приведены принципиальные схемы, которые могут быть использованы для реализации систем теплохолодоснабжения, которые используют приповерхностные шары воды в качестве теплового аккумулятора.*

*Ключевые слова: энергосбережение; геотехнология; тепловой насос; аккумуляция.*

## **Perspectives and aspects of heating and cold supply systems that use surface layers of water as a thermal energy storage.**

E. Malkin, Ye. Kulinko

*The question of the use of surface layers of watter for thermal energy storage is given in the article. The possible heat recovery scheme land and subsurface waters are considered. A number of factors that affect the unsteady heat storage processes are indicated. The possible ways to implement the question are posed. A number of problems and possible solutions are outlined. A schematic diagram that can be used to implement heating and cooling systems which use water layers near the surface as the heat accumulator are shown.*

*Keywords: energy conservation; geotechnology; heat pump; accumulation.*

Надійшла в редакцію 10.06.2014 р.