

УДК 536.24; 536.53

В.В.Величко (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Дослідження закономірностей проникності гірського масиву при заповненні водою вертикальної свердловини

На основі експериментальних досліджень підтверджено тип ґрунтів, що оточують вертикальну свердловину, яка використовується при проведенні досліджень. Оцінено теплофізичні характеристики масиву ґрунту, що оточує вертикальну свердловину. Розроблено схему експериментальної установки для натурних досліджень теплових процесів у верхніх шарах Землі з вертикальними свердловинами. Бібл. 8, табл. 4, рис. 6.

Ключові слова: гірський масив, вертикальна свердловина, інженерно-геологічний елемент, теплофізичні властивості ґрунту.

ORCID: 0000-0001-9979-0994

Вступ. Одним із джерел теплової енергії для теплопостачання приміщень є природна теплота ґрунту. Реалізувати її вилучення та використання можна за допомогою створення вертикальних підземних теплообмінників. Розмір необхідної поверхні теплообмінників та акумулюючі властивості ґрунту залежать від його теплофізичних властивостей, складу та вологовмісту.

Дослідження процесу поширення тепла в середовищі описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = 0. \quad (1)$$

де a – коефіцієнт дифузійного переносу енергії (коефіцієнт температуропровідності), для гірських порід його середнє значення – $0,0118 \text{ м}^2/\text{год}$.

Дослідження закономірностей проникності гірського масиву виконуємо і кількісно визначаємо за законом лінійної фільтрації Дарсі:

$$Q = \frac{\kappa}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta l} \cdot F. \quad (2)$$

де Q – загальна витрата рідини, $\text{см}^3/\text{с}$; κ – коефіцієнт проникності, см^2 ; μ – динамічна в'язкість рідини, $\text{дин}\cdot\text{с}/\text{см}^2$; $\Delta p/\Delta l$ – градієнт тиску, $\text{дин}/\text{см}^3$; F – поверхня фільтрації, см^2 .

Характеристики вертикальної свердловини. В результаті інженерно-геологічних дослід-

жень на території Національного ботанічного саду ім. М.М.Гришка НАН України (м. Київ) було пробурено одну свердловину глибиною 20 м. Свердловина була обсаджена обсадною трубою діаметром 219 мм до глибини 19,8 м. Різьбові з'єднання труб загерметизовані силіконом і зверху покриті розплавленим бітумом. Ґрунтові води даною свердловиною розкрито не було.

В геологічній будові товща ґрунтів у межах розвіданої глибини 20 м розділена на три інженерно-геологічні елементи (ІГЕ):

- 1 – насипний ґрунт в інтервалі глибин 0-1 м;
- 2 – супіски пилуваті, лесоподібні, палеовибурі, макропористі, карбонатизовані, потужністю 10,2 м, в інтервалі глибин 1-11,2 м;
- 3 – суглинки легкі, пилуваті, від бурого до сірувато-бурого, твердої та напівтвердої консистенції, із включенням стяжень карбонатів, гальки з прошарками піску, потужністю 8,8 м в інтервалі глибин 11,2-20,0 м.

Виділення в масиві ґрунтів ІГЕ, визначення їх найменування та середні значення показників фізичних властивостей ґрунтів виконано згідно нормативної літератури [1, 2].

На основі трьох зразків проб ґрунту (№1241-1243) зроблено визначення коефіцієнта теплопровідності. При цьому було використано стандартний прилад типу ИТ-λ-400 (вимірювач теплопровідності), призначений для вимірювання

теплопровідності кристалічних та щільних осадових гірничих порід, з яких можна вибурювати зразки циліндричної форми діаметром 15 мм та заввишки 3,5-4 мм [3]. Прилад складається з теплового блоку (блок вимірювальний, блок живлення та регулювання, мікровольт-наноамперметр), який призначений для розміщення зразка для дослідження, задання умов експерименту та отримання первинної вимірювальної інформації. Зовнішній вигляд вимірювача теплопровідності ИТ-λ-400 показано на рис. 1.

Основні технічні характеристики приладу ИТ-λ-400 такі:

- діапазон значень вимірюваних коефіцієнтів теплопровідності: від 0,1 до 5,0 Вт/(м·К);
- межі допустимої основної відносної похибки вимірювання коефіцієнта теплопровідності: ±10%;
- діапазон значень середньої температури зразка: від -100 до +400°C.



Рис. 1. Вимірювач теплопровідності ИТ-λ-400.

Методика, що використовується при дослідженні, дозволяє оцінити величину теплопровідності тільки вологих пластичних суглинків та, можливо, глинистих супісків, які дозволяють сформувати зразки необхідної форми та розмірів.

Фізико-механічні властивості проб ґрунтів, що відібрані при бурінні вертикальної свердловини та визначені при дослідженнях із використанням лабораторного обладнання, наведено в таблицях 1, 2.

Таблиця 1. Фізико-механічні властивості проб ґрунтів

Лабораторний номер проби	Глибина відбору проб ґрунту, м	Найменування ґрунту	Природна вологість <i>W</i> , д.о.*	Густина ґрунту <i>ρ</i> , г/см ³	Порожнистість <i>n</i> , д.о.*	Теплопровідність <i>λ</i> , Вт/(м·К)
ПГЕ - 1						
1234	1,8-2,0	супіски	0,112	1,76	0,407	–
1225	1,6	супіски	0,207	–	–	–
1235	2,2-2,4	супіски	0,123	1,80	0,400	–
1236	5,4-5,6	супіски	0,128	1,83	0,392	–
1226	5,4	супіски	0,127	–	–	–
1237	6,0-6,1	супіски	0,135	1,90	0,373	–
1238	6,4-6,6	супіски	0,128	1,85	0,386	–
1239	9,4-9,5	супіски	0,155	1,98	0,358	–
	середнє		0,139	1,85	0,390	–
	мінімум		0,112	1,76	0,358	–
	максимум		0,207	1,98	0,407	–
ПГЕ - 2						
1227	11,6	суглинки	0,191	–	–	–
1228	12,4	суглинки	0,247	–	–	–
1229	14,0	суглинки	0,171	–	–	–
1230	14,4	суглинки	0,168	–	–	–
1231	16,2	суглинки	0,137	–	–	–
1232	18,9	суглинки	0,143	–	–	–
1233	20,0	суглинки	0,161	–	–	–
1241	12,5-12,7	суглинки	–	–	–	1,31
1242	16,7-16,9	суглинки	–	–	–	1,24
1243	19,8-20,0	суглинки	–	–	–	1,61
	середнє		0,174		–	

* д.о. – доля одиниці.

Таблиця 2. Гранулометричний склад ПГЕ

Гранулометричний склад, %, для частинок, мм								
Лабораторний номер проби	Глибина відбору проб ґрунту, м	валуни	пісок			пил		глина
		1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПГЕ - 1								
1234	1,8-2,0	0,3	0,8	1,0	17,1	65,3	4,6	10,9
1225	1,6	–	–	–	–	–	–	–
1235	2,2-2,4	-	0,1	0,4	21,8	59,5	7,6	10,6
1236	5,4-5,6	0,1	0,6	2,0	20,6	60,8	5,8	10,1
1226	5,4	–	–	–	–	–	–	–
1237	6,0-6,1	0,1	0,4	1,9	18,4	62,8	6,8	9,6
1238	6,4-6,6	0,2	0,7	1,6	22,9	57,8	6,6	10,2
1239	9,4-9,5	0,1	0,3	2,2	31,9	50,3	5,8	9,4
середнє		0,13	0,48	1,52	22,12	59,42	6,2	10,13
мінімум		0,1	0,1	0,4	17,1	50,3	4,6	9,4
максимум		0,3	0,8	2,2	31,9	65,3	7,6	10,9

По кожній пробі виконувалась серія з 5 вимірювань із відбором зразків у різних місцях цієї проби, як у верхній, так і в нижній частинах, а також декілька повторних вимірювань. За літературними даними для глин характерна низька теплопровідність (0,83-1,24 Вт/м·К), для глинистих піщаників – дещо вища (1,24-1,65 Вт/м·К), тобто варіації глинистості є одним із факторів, що обумовлює великий діапазон змін теплопровідності осадових порід [4].

Проведені дослідження дали змогу експериментально встановити характер зміни коефіцієнта теплопровідності реальних ґрунтових масивів у залежності від температури та визначити тип ґрунтів (суглинок).

Породи двох верхніх горизонтів за теплопровідністю майже не відрізняються одна від одної (1,31 та 1,24 Вт/м·К). Самим теплопровідним є нижній горизонт (1,61 Вт/м·К) (див. табл. 1).

Експериментальне заповнення теплоносієм вертикальної свердловини. Дослідження закономірностей проникності гірського масиву

при заповненні водою вертикальної свердловини проводились на установці, яка створена на території Національного ботанічного саду ім. М.М.Гришка НАН України. Ця експериментальна установка для дослідження теплообміну теплоносія з гірським масивом верхніх шарів Землі складається із 7 свердловин глибиною 20 м, термопар, які встановлені на глибинах від 1 до 12 м, системи опитування, контролю та реєстрації сигналів від термопар, системи забезпечення подачі води в свердловину та вимірювання і регулювання витрат води (циркуляційного насоса, трубопроводів, запірно-регулюючої арматури), перетворювача інтерфейсів та персонального комп'ютера (багатоточкової системи вимірювання температур) [5–8].

Схема розміщення дослідної та вимірювальних свердловин та оголовка вертикальної свердловини для заповнення її теплоносієм наведено на рис. 2 та 3, складові елементи установки наведено в таблиці 3.

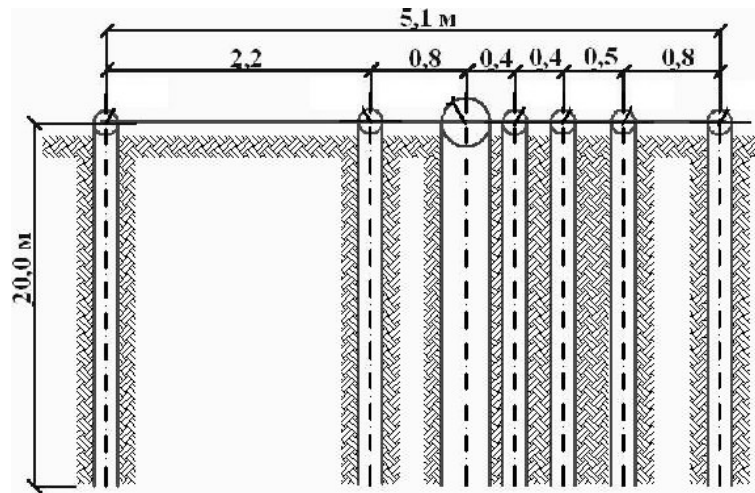


Рис. 2. Схема розміщення дослідної та вимірювальних свердловин.



Рис. 3. Схема оголовка вертикальної свердловини.

Таблиця 3. Складові елементи установки

№ п/п	Назва, тип, марка	Кількість, шт.
1	Лічильник води (витрата теплоносія 2,5 м ³ /год) (GROSS ETR-UA 15/80 для г.в. для вимірювання кількості теплоносія)	1
2	Соляний бойлер (об'єм 500 л, 2 кВт) (Tatramat VTS-500/3)	2
3	Засувка тонкого регулювання потоку теплоносія (Ду = 15 мм)	1
4	Трубопровід поліпропіленовий (PP-R, Ду = 25 мм), довжина одиниці 2 м	3
5	Трубопроводи поліетиленові (ПЕ-100, Ду = 25 мм, стінка 2 мм) прокладено від кімн. 1.1 до вертикальної свердловини та занурено у вертикальну свердловину, довжина одиниці 2 м	20
6	Вертикальна свердловина (глибина 19,80 м, діаметр 219 мм)	1
7	Датчики-термопари (розміщені на 6 контурах навколо вертикальної свердловини та на 7 ярусах за глибиною, розміщені через кожні 2 м до глибини $H = 12$ м)	39
8	Прилади контролю температури (УКТ-38-Щ4-ТП)	6
9	Адаптер мережі (АС-2 для взаємного перетворення сигналів приладів у вигляді "струмової петлі" та сигналів інтерфейсу RS-232)	1
10	Робоча станція (PC, персональний комп'ютер та програма для автоматичного контролю технологічних процесів, що дозволяє проводити збір, відображення та архів даних, які надходять від приладів ОБЕН на ПК)	1

Схему експериментальної установки для натурних досліджень теплових процесів у верхніх шарах Землі з вертикальними свердловинами наведено на рис. 4. Установка складається з трьох основних компонентів: I – система подачі та регулювання теплоносія; II – вертикальна свердловина з датчиками температури; III – вимірювальний блок.

За цією схемою теплоносії подається у свердловину через трубопроводи від солярного бойлера, вода в якому нагрівається завдяки сонячним колекторам. Забезпечення потрібного теплового та гідравлічного режимів дослідження теплообміну відбувається за допомогою трубчастого електронагрівача (тена) бойлера (2 кВт) та кількісного регулювання засувками тонкого регулювання і байпаса, а витрата теплоносія контролюється за допомогою лічильника.

Необхідність заповнення вертикальної свердловини водою обумовлена проведенням різного

роду досліджень, таких як вимірювання температури гірського масиву на різних глибинах, визначення теплофізичних властивостей гірського масиву і труб вертикальних свердловин, отримання води при потраплянні свердловини у водоносний горизонт.

Дослідження проводилося шляхом закачування носія з баків-акумуляторів (солярних бойлерів) у свердловину №7(В). Початкова температура носія в експерименті була 58°C.

Реєстрація проведення експериментів з дослідження теплових процесів виконувалася в автоматичному режимі за допомогою багатоточкової системи вимірювання температур.

Результати дослідження оброблені в табличній формі та представлені у вигляді експериментальних графіків, які характеризують зміну температури і витрати теплоносія, що закачується в свердловину. Результати проведення закачування теплоносія наведено в таблиці 4 та на рис. 5, 6.

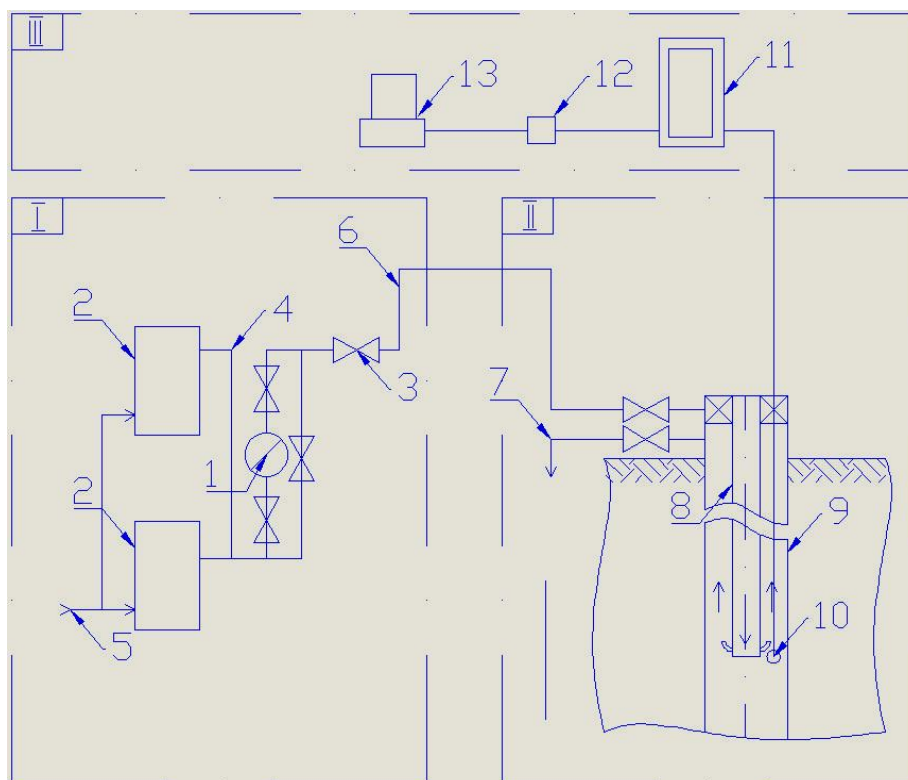


Рис. 4. Схема експериментальної установки для натурних досліджень теплових процесів у верхніх шарах Землі:

- 1 – лічильник води; 2 – солярний бойлер (№1, №2); 3 – засувка тонкого регулювання носія; 4 – байпас; 5 – трубопровід підживлюючий (холодна вода); 6 – трубопровід до свердловини; 7 – трубопровід від свердловини на дренаж;
- 8 – трубопровід у свердловині; 9 – вертикальна свердловина; 10 – датчики-термопар;
- 11 – прилади контролю температури; 12 – адаптер сигналів; 13 – міні-комп'ютер.

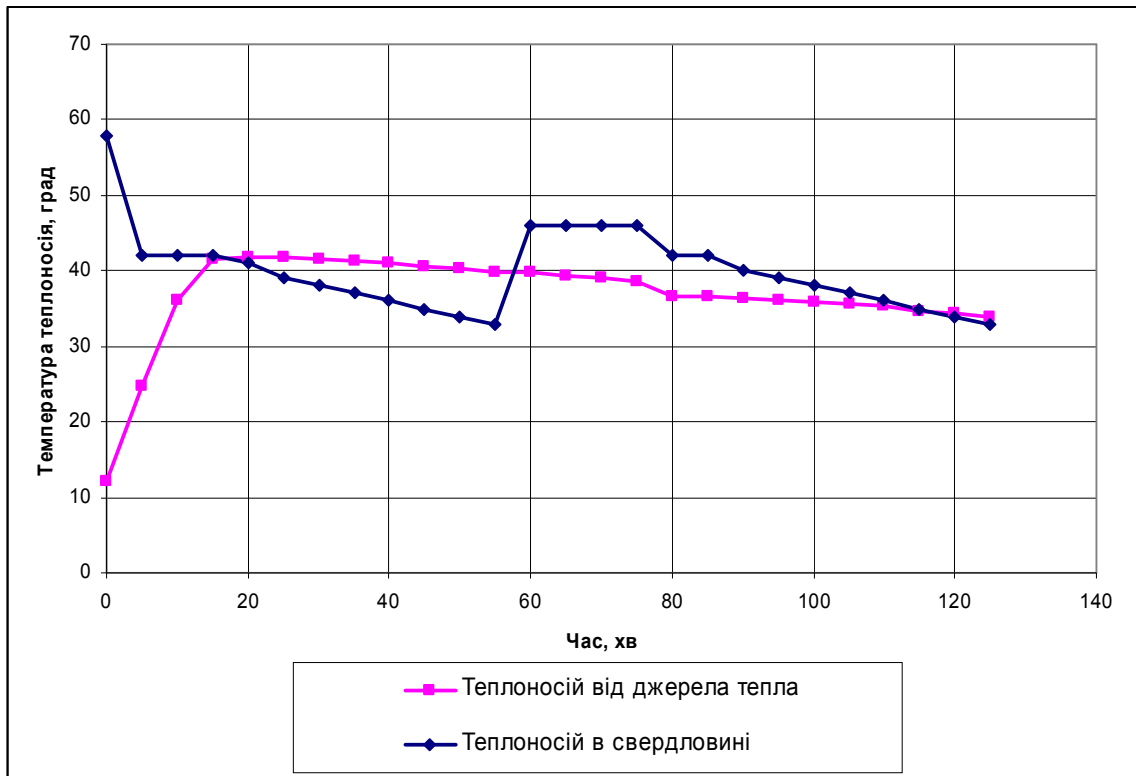


Рис. 5. Температура теплоносія, що закачується в свердловину.

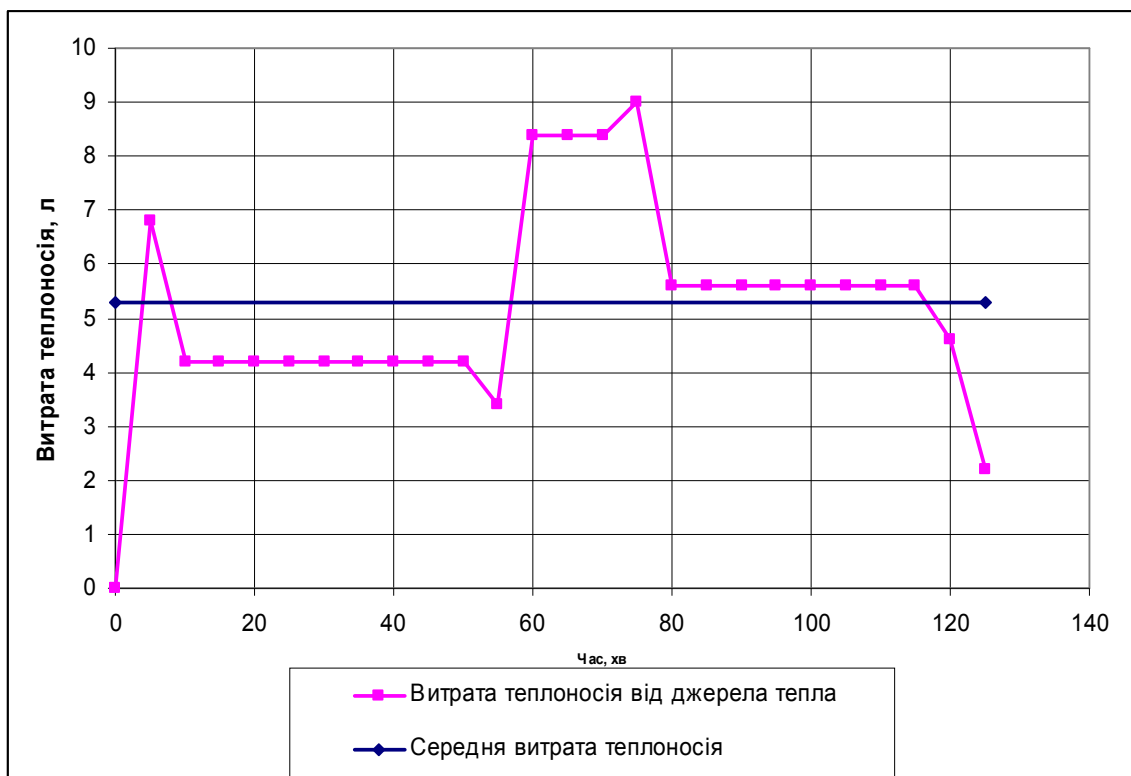


Рис. 6. Витрата теплоносія, що закачується в свердловину.

Таблиця 4. Результати закачування теплоносія у вертикальну свердловину

Час, хв	Витрата за показниками лічильника, м ³		Витрата, л	Швидкість		Температура теплоносія для закачування, °С	Температура теплоносія у свердловині на глибині 12 м, °С
	початок	кінець		л/хв	л/с		
0	3589	3589	0	0	0	58	12,2
5	3589	3623	34	6,8	0,113	42	24,7
10	3623	3644	21	4,2	0,7	42	36,2
15	3644	3665	21	4,2	0,7	42	41,6
20	3665	3686	21	4,2	0,7	41	41,9
25	3686	3707	21	4,2	0,7	39	41,9
30	3707	3728	21	4,2	0,7	38	41,6
35	3728	3749	21	4,2	0,7	37	41,3
40	3749	3770	21	4,2	0,7	36	41
45	3770	3791	21	4,2	0,7	35	40,6
50	3791	3812	21	4,2	0,7	34	40,2
55	3812	3823	11	3,4	0,057	33	39,9
60	3823	3865	42	8,4	0,14	46	39,7
65	3865	3907	42	8,4	0,14	46	39,3
70	3907	3949	42	8,4	0,14	46	39
75	3949	3994	45	9	0,15	46	38,5
80	3994	4022	28	5,6	0,093	42	36,6
85	4022	4050	28	5,6	0,093	42	36,6
90	4050	4078	28	5,6	0,093	40	36,3
95	4078	4106	28	5,6	0,093	39	36,1
100	4106	4134	28	5,6	0,093	38	35,8
105	4134	4162	28	5,6	0,093	37	35,6
110	4162	4190	28	5,6	0,093	36	35,4
115	4190	4218	28	5,6	0,093	35	34,6
120	4218	4241	23	4,6	0,077	34	34,3
125	4241	4252	11	2,2	0,037	33	34
			Σ=663				

Заповнення вертикальної свердловини про- водилось із середнім значенням витрати теплоно- сія 5,3 л/хв протягом інтервалу часу 125 хвилин; загальна витрата теплоносія склала 663 л. В інте- рвалі часу 0-55 хвилин теплоносії подавався від солярного бойлера №1 з початковою температу- рою 58°С у кількості 234 л, а в інтервалі часу 60- 125 хвилин – від солярного бойлера №2 з почат- ковою температурою 46°С у кількості 429 л.

Висновки. 1. На території НБС ім. М.М.Гришка пробурено вертикальну сверд- ловину глибиною 19,8 м та діаметром 219 мм. Пропонується використовувати цю свердловину для вивчення гідродинамічних і теплофізичних

властивостей ґрунту та дослідження вертикаль- них ґрунтових теплообмінників.

2. Експериментально встановлено характер зміни та величину коефіцієнта теплопровідності реальних ґрунтових масивів у залежності від тем- ператури і підтверджено тип ґрунтів – суглинок.

3. Розроблено схему експериментальної уста- новки для дослідження вертикальних свердловин.

4. Проведено експеримент із заповненням свердловини теплоносієм з температурою, фіксо- ваною в часі та за величиною.

5. Плануються наступні етапи досліджень вертикальних свердловин при проектуванні ґрун- тових теплообмінників системи тепло- та холо- допостачання приміщень НБС ім. М.М.Гришка.

1. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) "Грунти. Класифікація".

2. ДСТУ Б В.2.1-5-96 (ГОСТ 20522-96) "Грунти. Методи статичної обробки результатів випробувань".

3. Денисова Э.И., Шак А.В. Измерение теплопроводности на измерителе ИТ-"Лямбда"-400: Методическое руководство к лабораторной работе. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. – 35 с.

4. Физические величины. Справочник. А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

5. Морозов Ю.П., Величко В.В., Туз В.О., Олійніченко В.Г. Экспериментальна установка з дослідження теплових процесів у вертикальних свердловинах в натурних умовах // Відновлювана енергетика. – 2011. – №1(24). – С. 82–88.

6. ГОСТ Р 8.585-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Термомпары. Номинальные статические характеристики преобразования.

7. УКТ38 Щ4 Устройство для измерения и контроля температуры восьмиканальное. Руководство по эксплуатации.

8. АС-2 Адаптер интерфейса. Руководство по эксплуатации. – М. ОВЕН. – 17 с.

REFERENCES

1. DSTU B V.2.1-2-96 (HOST 25100-95) "Soils. Classification". (Rus)

2. DSTU B V.2.1-5-96 (HOST 20522-96) "Soils. The methods of static processing of test results". (Rus)

3. Denisova E.I., Shak A.V. Measuring thermal conductivity on the meter ИТ "Lambda"-400: Methodological Guide to laboratory work. – Yekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI, 2005. – 35 p. (Rus)

4. Physical quantities. Directory. Babichev A.P., Babushkina N.A., Bratkovskiy A.M. et al.; Eds. Grigoreva I.S., Meylikhova Ye.Z. – M.: Energoatomizdat, 1991. – 1232 p. (Rus)

5. Morozov Yu.P., Velychko V.V., Tuz V.O., Oliinichenko V.H. Experimental research installation with thermal processes in vertical wells in natural conditions // Vidnovliuvana enerhetyka. – 2011. – №1(24). – Pp. 82–88. (Ukr)

6. GOST R 8.585-2001 State system for ensuring the uniformity of measurements. Thermocouples. Nominal static characteristics of conversion. (Rus)

7. УКТ38 Shch4 The eight-channel device for measuring and controlling the temperature. Manual. (Rus)

8. AS-2 Interface adapter. Manual. – M. OUYEN. – 17 p. (Rus)

В.В.Величко (Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Исследования закономерностей проницаемости горного

массива при заполнении водой вертикальной скважины

На основе экспериментальных исследований подтвержден тип грунтов, окружающих вертикальную скважину, используемую при проведении исследований. Проведена оценка теплофизических характеристик массива грунта, окружающего вертикальную скважину. Разработана схема экспериментальной установки для натурных исследований тепловых процессов в верхних слоях Земли с вертикальными скважинами. Библ. 8, табл. 4, рис. 6.

Ключевые слова: горный массив, вертикальная скважина, инженерно-геологический элемент, теплофизические свойства грунта.

Velychko V. (Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine, Kyiv)

Soil massif permeability pattern research at vertical well water fill

On the basis of experimental research confirmed the soil type that surrounding vertical well and used in conducting research. Conducted estimation of soil massif thermophysical characteristics that surrounding vertical well. Scheme of the experimental setup developed for field research of thermal processes in the upper layers of the Earth with vertical wells. *References 8, tables 4, figures 6.*

Keywords: soil massif, vertical well, scientific-geological element, soil thermophysical properties.

SYNOPSIS

One of the common sources of thermal energy is natural heat of the soil. Using this heat can be implemented through the creation of underground soil heat exchangers with the use of vertical wells. The subject of study is research of thermophysical properties in the soil massif that surrounding vertical wells.

In this article is possible to find experimental results of soil massif permeability and thermal conductivity of soil that surrounding vertical well during its filling of heat carrier. Determination of the thermophysical properties of soil massif that surrounding vertical well is necessary for determining the size of soil underground heat exchangers surface.

One part of this work is development of the experimental plant for field research of thermal processes in the upper layers of the Earth with vertical wells. On this plant completed the first stage of research - filling of vertical hole by liquid heat carrier total volume of 663l and at initial temperature of 58 C.

As the heat carrier at filling vertical wells uses water in terms of environmental safety - enters in the aquifer, and in terms of ensuring the following researches

- Temperature measurement of the soil massif at different depths;
- Determination of thermophysical properties of the soil massif and vertical wells pipes.

In conclusion, we see that there is a need for further research of soil massif that surrounding vertical well, with the study of thermal processes at heat carrier motion in the well.

Стаття надійшла до редакції 04.05.16
Остаточна версія 26.05.16

УДК: 621.577.2

В.Г.Олійніченко (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Аналіз технічних вимог до теплотрас геотермального теплопостачання

Проаналізовано існуючі методи теплоізоляції трубопроводів, визначено втрати температури по довжині нагрівального трубопроводу при оптимальній швидкості охолоджуючої рідини в трубопроводі. Бібл. 5, табл. 2.

Ключові слова: теплоізоляція, температура, тепловтрати, теплопередача.

ORCID: 0000-0003-4651-9628

Для транспортування тепла до споживачів використовують трубопроводи, які відносяться до теплових мереж і можуть передавати тепло за допомогою води і пари – їх відповідно називають водяними і паровими. В даний час теплові мережі передають тепло на великі відстані. Щоб уникнути великих тепловтрат, трубопроводи повинні бути теплоізовані.

Розрізняють транзитні, магістральні, розподільні та кільцеві трубопроводи. Теплові мережі, що підводять тепло до промислових підприємств, називають промисловими, до житлових і громадських будинків – комунальними, до підприємств і цивільних будівель – змішаними.

Схеми теплових мереж у плані можуть бути двох видів: радіальні та кільцеві. Радіальна схема теплопостачання являє собою тупикові відгалуження до всіх об'єктів. У випадку аварії ці об'єкти виявляються відключеними. Кільцева схема теплопостачання більш надійна та безперебійна в роботі. У ній всі гілки дрібних відгалужень об'єднані в загальний контур. Теплові мережі різних районів міста можуть бути з'єднані між собою, щоб у разі виходу з ладу одного джерела тепла його можна було дублювати іншим. Це дозволяє безперебійно постачати тепло в усі райони міста і одночасно усувати несправність.

Теплові мережі можуть бути однотрубними, двотрубними і багатотрубними. Найбільш поширена двотрубна система, при якій одна труба – та, що подає воду, інша – зворотна. У цій системі вода циркулює по замкнутому колу: віддавши своє тепло споживачеві, вона повертається до джерела теплової енергії. Однотрубна система

подає теплоносій для опалення та вентиляції, а потім випускає його для потреб гарячого водопостачання. Цей варіант є найбільш дешевим, але важко розраховується. Тритрубна система забезпечує подачу тепла по двох трубах із різними параметрами теплоносія, а повернення здійснюється по третій трубі. У чотиритрубній системі подача тепла на опалення та гаряче водопостачання розділена по двох парах труб. На даний час у населених пунктах найбільш застосовною є роздільна двотрубна система теплопостачання завдяки зручності та економічності її використання.

Для гарячого водопостачання використовують відкритий і закритий варіанти приєднання до теплових мереж. У відкритих мережах гаряча вода забирається із загальної системи опалення. Якість гарячої води невисока. У закритих мережах вода з тепломережі повністю повертається до теплового джерела, нагріваючи водопровідну воду для гарячого водопостачання у пластинчастих теплообмінниках. У цьому випадку якість гарячої води висока.

Теплові мережі прокладаються як над, так і під землею. Надземна прокладка є дешевшою, але часто неприпустима з естетичних міркувань. Підземна прокладка є найбільш поширеною. Розрізняють каналну і безканалну прокладку трубопроводів.

Канальна прокладка трубопроводів дорожча, але надійніша, тому що стінки каналу захищають труби від випадкових впливів, блукаючих струмів і т.д. Канали роблять цегляними і залізобетонними. За конструкцією вони бувають прохідні

(висотою 2 м), напівпрохідні (висотою 1,4 м) і непрохідні.

Безканална прокладка теплопроводів – простий і дешевий спосіб, тому він найбільш поширений, особливо при реконструкції та в малоповерховій забудові. Труби укладаються прямо в ґрунт. Цей спосіб має, однак, великі недоліки: корозія, трудомісткість ремонту, відсутність періодичного нагляду. Частково їх долають, захищаючи труби від зовнішніх впливів ґрунту ізоляційним матеріалом, цементною кіркою та гідроізоляцією.

При будівництві теплотрас особливу увагу приділяють теплової та водонепроникній ізоляції стикових з'єднань трубопроводів. При цьому використовують спеціальну зварену муфту, що забезпечує абсолютно герметичне з'єднання стиків.

Трасу теплових мереж у містах прокладають у відведених для інженерних мереж технічних смугах паралельно до червоних ліній вулиць, доріг і проїздів поза проїзною частиною та смугах зелених насаджень. Іноді допускається розташування теплотраси під проїзною частиною чи тротуаром. Тепломережі не можна прокладати уздовж бровок терас, ярів і т.п.

Магістральні мережі розташовуються по головних напрямках від джерела тепла і складаються з труб великих діаметрів – від 400 до 1200 мм. Розвідні мережі мають діаметр трубопроводів від 100 до 300 мм, а діаметр трубопроводів, що ведуть до споживачів, становить 50-150 мм.

Теплові мережі монтують зі сталевих електрозварюваних труб, розташованих на спеціальних опорах. На трубах влаштовують запірну і регулюючу арматуру (засувки, вентилі). Опори трубопроводів створюють горизонтальну нерушну підставку. Інтервал між опорами визначають при проектуванні.

Опори теплових мереж підрозділяють на нерухомі та рухомі. Нерухомі опори фіксують розташування конкретних місць мереж у певній позиції, не допускаючи ніяких зсувів. Рухомі опори допускають переміщення трубопроводу по горизонталі внаслідок температурних деформацій.

Теплові втрати можуть бути присутні і на ділянці транспортування тепла безпосередньо до

споживача. Якщо теплотраса грамотно спроектована і налагоджена, то величина втрат становить близько 7%. Однак при використанні вітчизняних мережевих насосів майже завжди відбувається перевитрата електроенергії. Також, якщо трубопровід досить довгий, то втрати можуть бути при поганій теплоізоляції трубопроводів. Необхідно, щоб на об'єктах, які підключені до теплотраси, було правильно проведено шайбування – це дає рівномірний розподіл тепла. В іншому випадку тепло може бути повернене в котельню за допомогою зворотного трубопроводу. Це знижує ККД котлоагрегату і погіршує якість опалення у віддалених кінцях теплотраси. У разі, коли вода для системи ГВП підігрівається не на самому об'єкті, трубопровід гарячого водопостачання повинен мати циркулярну схему. За тупиковою схемою до 45% тепла буде витрачено даремно. Втрати енергії на теплотрасі фактично не повинні перевищувати 7%, але потенційно вони можуть становити до 25%.

До загальних закономірностей енергозбереження відносяться наступні:

1. Енергозбереження та економічність при створенні систем транспортування, ремонтпридатність конструкції, що дозволяє швидко виявити і усунути неполадки та відмови у надійній роботі.

2. Ефективна теплоізоляція каналу, яка надійно і довговічно працює при умовах експлуатації.

3. Малий гідравлічний опір каналу, по якому проходить транспортування теплоносія, що забезпечує малу потужність, затрачену на прокачування теплоносія.

4. Герметичність систем транспортування, що забезпечує енергозбереження на відтворення теплоносія.

Тому ефективна експлуатація теплопроводів дозволяє здійснити енергозбереження при транспортуванні тепла, яке в даний час складає близько 8% від переданої енергії. Транспортування теплової енергії має місце практично в кожній галузі промисловості, але найбільш широко вона представлена в системах теплофікації.

Теплопроводи можуть розташовуватися під землею або прокладатися над землею. Під зем-

лею вони можуть розташовуватися у прохідних, напівпрохідних та непрохідних каналах і безпосередньо в ґрунті. Найдорожчі і складніші – це теплопроводи у прохідних каналах.

Простіше і дешевше здійснюється прокладка в ґрунті. У прохідних каналах (висота яких становить 2,5 м) обслуговуючий персонал може проводити ремонт і зварювальні роботи, у напівпрохідних – частково, а в непрохідних знаходиться трубопровід. Проте в деяких випадках прокладка у ґрунті практично неможлива. У містах, як правило, застосовується прокладка теплових мереж у прохідних каналах, де розташовуються також силові електричні кабелі, водопровід та кабелі зв'язку. Це забезпечує комплексне вирішення питання енерго- і водопостачання і, в кінцевому рахунку, веде до енергозбереження. Одним з істотних недоліків підземної прокладки теплових мереж є руйнування теплоізоляції під дією вологи ґрунтових вод і вологого повітря в каналах, що призводить до великих теплових втрат. Тому часто, де це можливо, застосовують повітряну прокладку теплопроводів із металевим захистом від дощів (часто це оцинковане залізо), яка простіша у виготовленні та ремонті, а отже, забезпечує енергозбереження. Однак такий спосіб застосовується тільки на околицях міст або на територіях промислових підприємств. Питання про вибір типу теплопроводу (повітряний чи підземний) вирішується з урахуванням місцевих умов і техніко-економічного обґрунтування. Енергозбереження при транспортуванні теплової енергії, в першу чергу, залежить від якості теплової ізоляції. Вона повинна мати не тільки низьку теплопровідність, повітро- і водонепроникність, а також низьку електропровідність, що зменшує електрохімічну корозію матеріалу труби, повітро- і водонепроникність. Тобто збільшення вологості ізоляції може не тільки погіршити її теплопровідність більше ніж у 3 рази, але і призводить до руйнування труб. У результаті термін служби може скоротитися до 4-5 років замість 30, тому самі труби мають антикорозійне покриття, наприклад, у вигляді силікатних емалей, ізолю тощо. Іноді зверху теплової ізоляції укладають азбоцементні футляри з металевими сітками, покриті азбоцементною штукатуркою. Такі футляри

перешкоджають надходженню вологи з повітря і ґрунту. Ця відносно складна конструкція хоча і вимагає додаткових енерговитрат на виготовлення, але зате більш довговічна і за рахунок цього більш вигідна. В останні роки почали широко впроваджуватися теплопроводи типу "труба в трубі" з пінополіуретановою ізоляцією в гідрозахисній оболонці. Така конструкція передбачає застосування не тільки попередньо ізольованих пінополіуретаном та ув'язаних в поліетилен труб, але і всіх компонентів системи (кульової арматури, термічних компенсаторів тощо). Теплоtrasа із попередньо ізольованих пінополіуретаном труб може укладатися в землю безканално і забезпечує суттєве енергозбереження за рахунок попереднього виготовлення окремих ізольованих елементів у заводських умовах, а також завдяки практично повній її термічно- і вологонепроникності. При транспортуванні низькотемпературних теплоносіїв (область температур холодної та криогенної техніки) питання якості теплової ізоляції постають більш гостро, ніж при високих температурах. Це пов'язано з тим, що вироблення 1 кВт холоду при низькій температурі (наприклад, $t = -100^{\circ}\text{C}$) потребує набагато більше енергії, ніж вироблення 1 кВт при високій температурі (наприклад, $t = 100^{\circ}\text{C}$).

В області криогенних температур широке застосування знаходять порошкові матеріали (наприклад, на основі діоксиду кремнію) і різні види вакуумної ізоляції. Слід зазначити, що тепло в пористій ізоляції передається від однієї частинки до іншої як кондуктивним шляхом, так і за рахунок променистого теплообміну.

При створенні в порошковій ізоляції вакууму зменшується теплопровідність ізолюючого матеріалу. При залишковому тиску 1,33 Па (10-2 мм рт. ст.) теплопровідність повітря в 10 разів менша, ніж у нормальних умовах, тобто 0,0023 Вт/(м·К).

Другим типом вакуумної ізоляції є така, що складається з двох герметичних труб (труба в трубі), між якими створюється вакуум. Така ж сама теплопровідність (0,0023 Вт/(м·К)) досягається при залишковому тиску 1,33-10,3 Па.

Третій тип вакуумної ізоляції називається екранно-вакуумною теплоізоляцією; вона склада-

ється з шарів, що чергуються (наприклад, скловолокна і алюмінієвої фольги). На 1 см товщини ізоляції припадає від 20 до 30 шарів. У такій ізоляції фольга виконує роль екранів та істотно зменшує променевою складову в теплопровідності, а за рахунок вакууму істотно зменшується теплопровідність повітря в порах. Тому в області кріогенних температур така теплоізоляція вважається найбільш ефективною і знаходить широке застосування на практиці. У холодильній техніці досить часто застосовується схема холодопостачання з проміжним холодоносієм. Дану схему, як правило, застосовують тоді, коли джерело споживання холоду розташовується на віддаленій відстані від холодильної станції (відстань може бути до 1 км). Схему з проміжним теплоносієм часто використовують у системах кондиціювання повітря, коли у випарнику холодильної машини охолоджується рідкий теплоносій, що циркулює у проміжному контурі та охолоджує повітряні калорифери, які знаходяться в кімнатах приміщення. В даному випадку для циркуляції в проміжному контурі рідкого теплоносія необхідне додаткове обладнання (насос, теплообмінники тощо). Однак транспортувати тепло рідким теплоносієм вигідніше, ніж повітрям, тому що рідина має більшу теплоємність і густину, ніж повітря, і потужності на прокачування рідкого теплоносія витрачається менше, ніж для газоподібного при однаковій переданій кількості тепла.

Останнім часом найбільш популярною є ізоляція трубопроводів пінополіуретаном (ППУ).

Пінополіуретан – легкий і міцний теплоізоляційний матеріал, що має закрити пористу структуру, завдяки якій має найнижчий коефіцієнт теплопровідності в порівнянні з іншими теплоізоляційними матеріалами та мале водопоглинання.

Популярність пінополіуретанів пояснюється простотою процесу їх отримання на місці застосування. Це досягається тим, що вихідною сировиною для отримання пінополіуретанів служать рідкі продукти, при змішуванні яких у певному співвідношенні відбувається хімічна реакція синтезу полімеру з одночасним його спінюванням. Можливість рецептурної зміни властивостей пінополіуретанів у широкому діапазоні дозволяє використовувати їх для теплоізоляції промисло-

вих і житлових будинків, приміщень, що зводяться із залізобетонних блоків, цегли та інших матеріалів, для теплоізоляції та ущільнення віконних і дверних прорізів (у будівництві), а також для теплоізоляції трубопроводів різного призначення.

Унікальні якості ППУ – найменший коефіцієнт теплопровідності, екологічна безпека, довговічність, забезпечення акустичної ізоляції, антикорозійний захист, мале водопоглинання і висока технологічність переробки – зумовили широке застосування пінополіуретанів для теплоізоляції трубопроводів, тепловодопостачання, кріогенних трубопроводів, стін, дахів, підвалів, стель, мансард, житлових і виробничих приміщень, саун, бань; при виготовленні ізотермічних і морозильних автофургонів та камер, "сендвіч-панелей", теплоізоляційних блоків різного призначення; для герметизації міжпанельних стиків у будинках, дверних і віконних коробок. І це далеко не повний перелік можливостей такого унікального матеріалу.

Переваги пінополіуретану як ізолятора:

- найнижчий коефіцієнт теплопровідності (0,022-0,03 Вт/(м·К));
- низька щільність (40-55 кг/м³);
- висока адгезійна міцність (немає необхідності в кріпильних елементах або клеї);
- висока акустична ізоляція;
- відсутність "містків холоду";
- можливість ізоляції конструкцій будь-якої конфігурації та розмірів;
- довговічність покриттів (не схильні до розкладання і гниття, не руйнуються під впливом сезонних температурних коливань, атмосферних опадів, агресивної промислової атмосфери);
- екологічність одержуваного матеріалу (за гігієнічними нормами дозволено застосування в холодильних камерах для зберігання харчових продуктів).

Ізоляція труб пінополіуретаном є одним із шляхів економії теплової енергії при обслуговуванні об'єктів теплопостачання.

Застосування в будівництві та промисловості трубопроводів із теплоізоляцією з ППУ є одним із основних джерел економії тепла в наші дні.

Пінополіуретанова теплоізоляція трубопроводів – це швидке безшовне нанесення будь-якої

складності і форми, необмежена товщина шару, швидке затвердіння, а також стійкість до механічних навантажень і високе енергозбереження.

Конструкції з використанням пінополіуретану мають вигідні переваги в порівнянні з раніше застосовуваними теплоізоляційними матеріалами (таблиця 1):

- підвищення довговічності з 10-15 до 30 років і більше;
- зниження теплових втрат з дійсних 25-30% до 2-3%;
- зниження експлуатаційних витрат у 2 рази;
- зниження витрат на ремонт теплотрас у 3 рази.

Пінополіуретан – це новий і найбільш актуальний на сьогоднішній день теплоізоляційний матеріал, різновид пластмаси, широко застосовуваний у всьому світі. По теплопровідності пінополіуретан перевершує практично всі відомі полімери. Найближче до нього тільки екструдований пінополістирол, але труба ППУ перевершить його і

по технологічності, і по температуровитривалості.

Завдяки незвичайним властивостям пінополіуретану, його використовують у широкому діапазоні галузей, зокрема, в геотермальній енергетиці.

Пінополіуретан має високу стійкість до дії хімічних сполук (за винятком деяких розчинників і концентрованих кислот).

Асортимент попередньо ізольованих труб ППУ і сполучних вузлів дає можливість прокласти трасу на будь-якій місцевості, а також в обмежених міських умовах.

Пінополіуретановий теплоізолюючий шар виготовляють на основі двох озононеруйнівних та екологічно безпечних хімічних компонентів: поліолу та ізоціанату. В результаті реакції компонентів утворюється однорідний матеріал із закритими порами. Цей матеріал має високі теплоізоляційні властивості. Основні характеристики фізико-механічних властивостей ППУ наведені в таблиці 2.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз фізичних властивостей жорсткого пінополіуретану та інших матеріалів теплоізоляції

Вид теплоізоляції труб	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	Щільність, кг/м ³	Діапазон робочих температур, °С	Пористість	Термін експлуатації, років
ППУ жорсткий	0,019-0,040	60-160	-150...+145	закрита	30
Пінополістирол	0,043-0,064	15-35	-80...+80	відкрита	15
Мінеральна вата	0,052-0,058	55-150	-40...+120	відкрита	5
Керамзит	0,120-0,180	200-250	-	відкрита	15
Пробкова плита	0,050-0,060	220-240	-30...+90	закрита	3

Таблиця 2. Основні характеристики фізико-механічних властивостей ППУ

Матеріал	пінополіуретан
Щільність	не менше 64 кг/м ³
Міцність при стисненні	не менше 0,37 МПа
Об'ємна частка закритих пор	не менше 88,9%
Водопоглинання при 90-хвилинному кип'ятінні	не більше 5%
Міцність на зсув в осьовому напрямку при температурах: 20°С 140°С	не менше 0,12 МПа не менше 0,8 МПа
Міцність на зсув у тангенціальному напрямку при температурах: 20°С 140°С	не менше 0,2 МПа не менше 0,13 МПа
Теплопровідність при 50°С	не більше 0,031 Вт/(м·°С)
Адгезія	не менше 0,0012 кг/см ²

Завдяки адгезії даного теплоізоляційного матеріалу трубопровід в ППУ ізоляції являє собою єдину конструкцію і забезпечує високоміцне зчеплення між наступними різнорідними поверхнями: сталева труба – пінополіуретан і ППУ – зовнішня водозахисна оболонка.

Висока адгезія вищевказаних поверхонь є необхідною умовою для тривалої експлуатації трубопроводів і скорочення втрат тепла у процесі транспортування. Високоміцна адгезія трубопроводної конструкції досягається при строгому додержанні наступних умов:

- ретельного механічного очищення зовнішньої поверхні металеві труби;
- необхідного температурного режиму, який потрібен для спінування ППУ;
- правильного вибору компонентів пінополіуретану;
- обов'язковою умовою для забезпечення адгезії є спеціальна обробка внутрішньої поверхні оболонки (у разі теплоізоляції поліетиленових труб).

Завдяки високим показникам адгезії, якими характеризується пінополіуретан, а також іншим фізичним властивостям даного матеріалу, трубопроводи, покриті ППУ ізоляцією, мають такі переваги:

- монолітний шар теплоізоляції без так званих "містків холоду";
- ППУ ізоляція повністю повторює конфігурацію трубопроводу;
- високі тепло- та гідроізоляційні властивості;
- тривалий період експлуатації теплоізоляційного шару;
- стійкість до ультрафіолету та атмосферних опадів;
- стійкість до корозії;
- підвищення шумоізоляційних властивостей пінополіуретану;
- стійкість до механічних впливів.

Втрати тепла при транспортуванні теплової енергії залежать від коефіцієнта теплопередачі від теплоносія до навколишнього середовища через стінку трубопроводу і шар теплоізоляції.

В геотермальній енергетиці ізолюють трубопровід від видобувної свердловини до тепlopункту і трубопроводи прямої та зворотної мережевої води.

Оптимальна товщина ізолюючого шару пінополіуретану складає приблизно 20% від діаметра трубопроводу. Збільшення товщини ізолюючого шару не дає значного ефекту в зменшенні втрат теплової енергії, але значно збільшує вартість капітальних витрат.

Визначимо максимальну відстань, на яку доцільно транспортувати теплову енергію згідно з вимогами чинних нормативних документів.

Для варіантних розрахунків вибираємо попередньо ізольований ППУ трубопровід 315/219.

Втрати тепла при режимі тепlopостачання 90-70°C і температурі ґрунту $t_{гр} = 10^\circ\text{C}$:

$$Q = \Delta t \cdot A \cdot \frac{\lambda}{\delta},$$

$$Q = (90^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) \cdot 1\text{м}^2 \cdot \frac{0,02}{0,05} = 32 \text{ Вт},$$

де Δt – різниця між температурою прямої води і температурою ґрунту; A – площа зовнішньої поверхні одного погонного метра трубопроводу; λ – коефіцієнт теплопровідності трубопроводу з теплоізолюючим шаром; δ – товщина теплоізолюючого шару.

Площа одного погонного метра трубопроводу:

$$A = \pi \cdot D \cdot L = 3,14 \cdot 0,315 \cdot 1 = 1 \text{ м}^2,$$

де D – діаметр трубопроводу; L – довжина трубопроводу.

Площа поперечного перетину проточної частини:

$$S = \pi \frac{d^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{0,04}{4} = 0,0314 \text{ м}^2.$$

Витрати теплоносія при його швидкості $V = 1 \text{ м/с}$:

$$G = V \cdot S = 1 \cdot 0,0314 = 0,0314 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (31,4 л/с)}.$$

Втрати температури на ділянці довжиною 1000 м складуть:

$$t = \frac{32}{31,4 \cdot 4,19} = 0,243^\circ\text{C}.$$

Втрати тепла при режимі тепlopостачання
 $t_t = (60 - 40)^\circ\text{C}$ і $t_{tp} = 10^\circ\text{C}$:

$$Q = (60^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) \cdot 1\text{м}^2 \cdot \frac{0,02}{0,05} = 20 \text{ Вт}.$$

Втрати температури на ділянці довжиною 1000 м:

$$t = \frac{20}{31,4 \cdot 4,19} = 0,152^\circ\text{C}.$$

Кількість теплоти, виробленої при теплових режимах $90-70^\circ\text{C}$ і $60-40^\circ\text{C}$ однакова і складає:

$$Q = 31,4 \cdot 4,19 \cdot 20 = 505 \text{ кВт}.$$

Втрати тепла при транспортуванні теплоти по КТМ 284 не повинні перевищувати 13%, що складає:

$$505 \cdot 0,13 = 65 \text{ кВт}.$$

Втрати температури теплоносія на ділянці 1000 м складають $0,152^\circ\text{C}$. Таким чином, у відсотковому відношенні від згенерованої температури 20°C втрати тепла складуть:

$$\frac{0,152}{20} \cdot 100 = 0,76\% \text{ на } 1000 \text{ м}.$$

Таким чином, враховуючи, що норми втрат при транспортуванні теплоти не повинні перевищувати 13% [4], визначаємо максимальну довжину трубопроводу вищевказаного діаметра, через який доцільна передача теплової енергії згідно з існуючими нормами:

$$L = \frac{13\%}{0,76\%} = 17105 \text{ м}.$$

В системах геотермального тепlopостачання можлива ситуація, коли теплоспоживач знаходиться на великій відстані від видобувної свердловини, і геотермальний теплоносій необхідно транспортувати на велику відстань. У такому випадку втрата температурного потенціалу на декілька градусів може бути не дуже критичною.

Наприклад:

- температура геотермального теплоносія дорівнює 90°C ;
- температура, яка потрібна на вході в теплообмінник, становить 70°C .

Можливо допустити втрати 20°C при транспортуванні геотермального теплоносія від свердловини до теплообмінника.

Таким чином, враховуючи попередні розрахунки, є можливість транспортувати геотермальний теплоносій на відстань:

$$L = 20 : 0,152 = 131 \text{ км}.$$

Висновки. При використанні найбільш сучасних ізоляційних матеріалів для зменшення втрат теплової енергії, враховуючи вимоги існуючих нормативних документів, визначена максимальна відстань, на яку доцільно транспортувати теплову енергію.

Визначення відстані, на яку доцільно транспортувати геотермальний теплоносій, розраховується в кожному окремому випадку з урахуванням конкретних умов та вимог до температурного режиму опалюваного об'єкта теплоспоживача.

1. СНиП 2.04.14-88. Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів / Держбуд Росії.- М.: ЦІТП Держбуду СРСР, 1998. - 28 с.

2. Сайт <http://prom.ua/Predizolirovannye-truby.html>

3. Сайт <http://teplolivam.ru/yteplenie/novye-texnologii/ppu-teploprovodnost.html>

4. КТМ 204 Україна 244-94 "Посібник та доповнення до норм та вказівок о нормуванні витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні".

5. Сайт <http://www.polyfoam.dp.ua/ppu.htm>

REFERENCES

1. SNyP 2.04.14-88. Thermal insulation of equipment and pipelines / Derzhbud Rosii. - M.: TsITP Derzhbudu SRSR, 1998. - 28 p. (Ukr)

2. <http://prom.ua/Predizolirovannye-truby.html>

3. <http://teplolivam.ru/yteplenie/novye-texnologii/ppu-teploprovodnost.html>

4. КТМ 204 Ukraine 244- 94 "Manual and amendments to standards and guidelines on rationing fuel and heat energy costs for heating residential and public buildings, as well as economic needs in Ukraine". (Ukr)

5. <http://www.polyfoam.dp.ua/ppu.htm>

В.Г.Олейниченко (Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Анализ технических требований к теплотрассам геотермального теплоснабжения

Проанализированы существующие методы теплоизоляции трубопроводов, определены потери температуры по длине нагревательного трубопровода при оптимальной скорости охлаждающей жидкости в трубопроводе. Библ. 5, табл. 2.

Ключевые слова: теплоизоляция, температура, теплопотери, теплопередача.

Oliinichenko V.H. (Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine)

Analysis of technical requirements for heating mains in geothermal heating supply systems

Analyzed existing methods insulation piping loss temperature determined by the length of the heating pipeline at the optimum speed of coolant in the pipeline. References 5, tables 2.

Keywords: Heat insulation, temperature, heat losses, heat transfer.

SYNOPSIS

The article suggests a review of existing methods to transfer coolants from generating source to heat consumers. There have been analyzed technical requirements for heating mains as well as requirements to reduce heat losses in heat transmission process over long distances. The main objective of the article was determining maximum expedient distance to transport thermal energy and transporting features for geothermal heat carrier over long distances.

Стаття надійшла до редакції 07.04.16

Остаточна версія 18.05.16

**XIV МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
ЕНЕРГЕТИКА В ПРОМИСЛОВОСТІ-2016**

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНЕ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, КАБЕЛІ, ПРОВІДИ,
ПРОМИСЛОВА СВІЛОТЕХНІКА, ГІРНИЧІ МАШИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, КВПІА

**XIV МІЖНАРОДНИЙ ФОРУМ
ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС УКРАЇНИ:
СЬОГОДЕННЯ ТА МАЙБУТНЄ**

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, 02660
Київ, Броварський пр-т, 15
М "Лівобережна"
тел./факс: (044) 201-11-57
e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua

ОРГАНІЗАТОРИ:
Міністерство енергетики
та вугільної промисловості України
Міжнародний виставковий центр

Технічний партнер: *RosMedia*

**8-10
Листопада**