

УДК 696/697

Сплавська В.О., Дубровська В.В., Шкляр В.І.

Національний Технічний Університет України
«Київський Політехнічний Інститут»**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З
ГЕОТЕРМАЛЬНИМ ДЖЕРЕЛОМ ТЕПЛОТИ**

Анотація: Проведено оцінку ефективності роботи різних схем приєднання системи теплозабезпечення до контуру геотермального теплоносія міні-ГеоТЕС в с. Медведівка АР Крим.

Аннотация: Проведена оценка эффективности работы различных схем присоединения системы теплообеспечения к контуру геотермального теплоносителя мини-ГеоТЭС в с. Медведовка АР Крым.

Annotation: Estimated the effectiveness of the various schemes of accession the geothermal heat supplying system to the geothermal circuit of the mini-geothermal heat power station in Medvedivka, Crimea.

Основним аспектом національної безпеки держави є її енергетична незалежність. В умовах економічної кризи та загального виснаження родовищ традиційних паливно-енергетичних ресурсів, це питання постає ще більш гостро та потребує пошуку альтернативних шляхів його вирішення. Одним з найбільш енергодефіцитних регіонів України є АР Крим, що зумовлено залежністю економіки півострова від забезпечення енергоресурсами з материка. На сьогодні потреби економіки в них покриваються лише на 17,4% за рахунок власної генерації [1].

При вирішенні енергетичної проблеми АР Крим слід враховувати, що даний регіон є рекреаційною зоною. Тому, замість систем на традиційних паливно-енергетичних ресурсах, доцільно використати комбіновані системи із застосуванням відновлюваних джерел енергії, технічно досяжний потенціал яких на території АР Крим складає 6,61 млн. т у.п./рік [1].

До альтернативних джерел, які на сьогодні можуть ефективно використовуватися в енергетичному господарстві України, відносяться енергія сонця, вітру, біомаси, малих річок та геотермальна енергія. Остання є привабливою для енергетичного комплексу країни з точки зору ресурсного потенціалу. Найбільш перспективними для використання в геотермальних системах теплопостачання (ГСТ) можна вважати термальні води з температурою 50...80°C, що зумовлено їх відносною розповсюдженістю та доступністю, відносно невеликою глибиною залягання і, як наслідок, вартістю добування (рис. 1) [2].

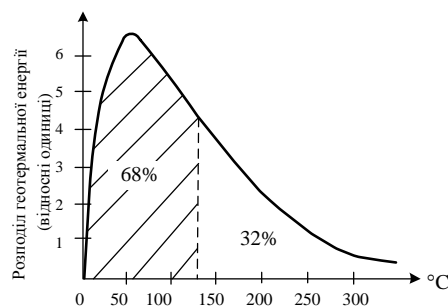


Рис. 1 Поширеність світових запасів геотермальної енергії за температурами.

При розробці геотермальних систем теплопостачання необхідно забезпечити максимальне значення коефіцієнта їх ефективності $\eta_{\text{геот}}$. Регулювання геотермальних систем теплопостачання та тепловий розрахунок систем опалення та охолодження слід здійснювати згідно з ВСН 56-87 [3].

У загальному вигляді коефіцієнт ефективності геотермальних систем теплопостачання має вигляд [4]:

$$\eta_{\text{геот}} = i \cdot z \cdot \zeta_{\text{об}} \cdot (1-d), \quad (1)$$

де $i = \frac{t_{\text{гт}} - t_{\text{с}}}{t_{\text{тп}} - 5}$ - степінь відносного спрацьовування температурного перепаду;

$t_{\text{гт}}$, $t_{\text{тп}}$ та $t_{\text{с}}$ - розрахункова температура геотермального теплоносія, теплоносія системи теплопостачання та температура теплоносія після системи теплопостачання (скидна температура);

z - степінь відносного використання максимумів опалювального, вентиляційного навантаження та навантаження гарячого водопостачання (ГВП) (див. табл. 1);

Таблиця 1

Тип системи тепло-споживання	Степінь використання максимуму навантаження	Коефіцієнт використання термоводозабору
Системи опалення		
Без пікового підігрівання	$z_{\text{оп}} = \frac{T_{\text{сез}} \cdot \varphi_{\text{сер.оп}}}{8500}$	$\bar{\tau}_{\text{св.оп}} = z_{\text{оп}} \cdot \frac{(t_{\text{гт}} - t_{\text{с}})}{(t_{\text{гт}} - t_{\text{п.о.}} - 5) - \varphi_{\text{сер.оп}} \cdot (t_{\text{с}} - t_{\text{п.о.}} - 5)}$
З піковим підігріванням теплоносія	$z_{\text{оп}} = \frac{T_{\text{сез}} \cdot \varphi_{\text{сер.оп}}}{8500}$	$\bar{\tau}_{\text{св.оп}} = \frac{T_{\text{п}}}{8500} + \frac{T_{\text{сез}} - T_{\text{п}}}{8500} \cdot \frac{\bar{\varphi}_{\text{оп}} \cdot (t_{\text{гт}} - t_{\text{сп}})}{(t_{\text{гт}} - t_{\text{п.о.}} - 5) - \bar{\varphi}_{\text{оп}} \cdot (t_{\text{сп}} - t_{\text{п.о.}} - 5)}$
Системи вентиляції		
Без пікового підігрівання	$z_{\text{вент}} = \frac{T_{\text{сез}} \cdot \varphi_{\text{сер.вент}}}{8500}$	$\bar{\tau}_{\text{св.вент}} = z_{\text{вент}} \cdot \frac{(t_{\text{гт}} - t_{\text{с}})}{(t_{\text{гт}} - t_{\text{п.о.}}) - \varphi_{\text{сер.вент}} \cdot (t_{\text{с}} - t_{\text{п.о.}})}$
З піковим підігріванням теплоносія	$z_{\text{вент}} = \frac{T_{\text{сез}} \cdot \varphi_{\text{сер.вент}}}{8500}$	$\bar{\tau}_{\text{св.вент}} = \frac{T_{\text{п}}}{8500} + \frac{T_{\text{сез}} - T_{\text{п}}}{8500} \cdot \frac{\bar{\varphi}_{\text{вент}} \cdot (t_{\text{гт}} - t_{\text{сп}})}{(t_{\text{гт}} - t_{\text{п.о.}} - 5) - \bar{\varphi}_{\text{вент}} \cdot (t_{\text{сп}} - t_{\text{п.о.}} - 5)}$
Система ГВП	$z_{\text{ГВП}} = \frac{5500 + 0,35 \cdot T_{\text{сез}}}{8500}$	$\bar{\tau}_{\text{св.ГВП}} = \frac{6800 + 0,2 \cdot T_{\text{сез}}}{8500}$

$\zeta_{\text{об}} = f(\bar{\tau}_{\text{св.об}})$ - степінь відносного збільшення розрахункового дебіту термоводозабору для об'єкту вцілому, який визначається за графічними залежностями (рис. 2) залежно від середньозваженої величини коефіцієнта використання термоводозабору свердловини:

$$\bar{\tau}_{\text{св.об}} = \alpha \cdot \bar{\tau}_{\text{св.оп}} + \beta \cdot \bar{\tau}_{\text{св.вент}} + \gamma \cdot \bar{\tau}_{\text{св.ГВП}}, \quad (2)$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1, \quad (3)$$

де α , β , γ - частки розрахункового дебіту геотермальної води, що витрачаються відповідно на опалення, вентиляцію та ГВП;

d - частка пікового підігрівання в річному тепловому балансі системи геотермального теплопостачання (рис. 3).

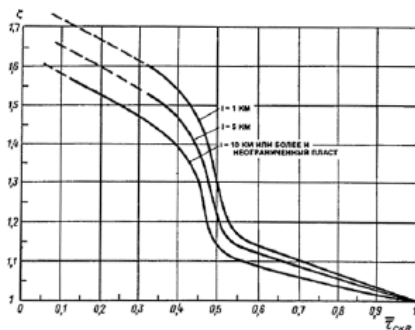


Рис. 2 Графік для визначення ступеня відносного збільшення розрахункового дебіту термоводозабору.

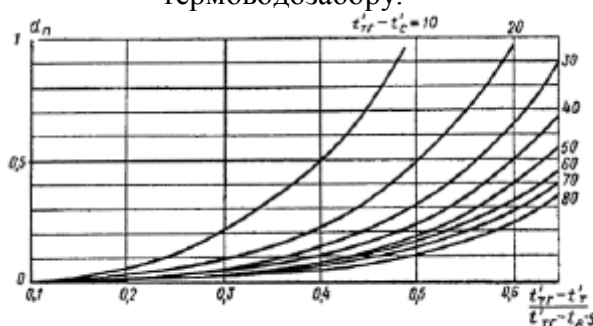


Рис. 3 Графіки для визначення частки пікового підігрівання при опаленні.

Для об'єктів геотермального теплопостачання, що мають навантаження на опалення, вентиляцію та ГВП, загальний коефіцієнт $\eta_{\text{геот}}$ визначається за формулою:

$$\eta_{\text{геот}} = \zeta_{\text{об}} \cdot \left[\alpha \cdot i_{\text{оп}} \cdot Z_{\text{оп}} \cdot (1 - d_{\text{п}}^{\text{оп}}) + \beta \cdot i_{\text{вент}} \cdot Z_{\text{вент}} \cdot (1 - d_{\text{п}}^{\text{вент}}) + \gamma \cdot i_{\text{гвс}} \cdot Z_{\text{гвс}} \cdot (1 - d_{\text{п}}^{\text{гвс}}) \right]. \quad (4)$$

Частки розрахункового дебіту тепловитрат розраховуються за наступними формулами:

$$\alpha = \frac{Q_{\text{оп}}}{c \cdot G_{\text{Т}}^{\text{пит}} \cdot \Delta t_{\text{оп}}}, \quad (5)$$

$$\beta = \frac{Q_{\text{вент}}}{c \cdot G_{\text{Т}}^{\text{пит}} \cdot \Delta t_{\text{вент}}}, \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{Q_{\text{гвп}}}{c \cdot G_{\text{Т}}^{\text{пит}} \cdot \Delta t_{\text{гвп}}}. \quad (7)$$

де $Q_{\text{оп}}, Q_{\text{вент}}, Q_{\text{гвп}}$ - відповідно розрахункові навантаження систем опалення, вентиляції та ГВП, кВт;

c - питома теплоємність геотермальної води, кДж/(кг · °С);

$\Delta t_{\text{оп}}, \Delta t_{\text{вент}}, \Delta t_{\text{гвп}}$ - розрахункові перепади температур теплоносія в системах опалення, вентиляції та ГВП, °С;

$G_{\text{Т}}^{\text{пит}}$ - питома витрата геотермальної води, що припадає на одиницю розрахункового

теплового навантаження об'єкту (1 МВт), кг/Дж. Питома витрата геотермальної води визначається за формулою:

$$G_T^{\text{пит}} = \frac{1}{c \cdot (Q_{\text{об}})} \cdot \left(\frac{Q_{\text{оп}}}{\Delta t_{\text{оп}}} + \frac{Q_{\text{вент}}}{\Delta t_{\text{вент}}} + \frac{Q_{\text{ГВП}}}{\Delta t_{\text{ГВП}}} \right), \quad (8)$$

де $Q_{\text{об}} = Q_{\text{оп}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{ГВП}}$ - загальне теплове навантаження об'єкту геотермального теплопостачання, кВт;

Технічні рішення геотермальних систем опалення повинні забезпечувати більш глибоке використання теплового потенціалу геотермального теплоносія, що досягається створенням підвищеного розрахункового перепаду його температур та характеризується високим (близьким до 1) значенням розрахункового коефіцієнта ступеня використання теплового потенціалу теплоносія. Геотермальні системи опалення, зазвичай, слід проектувати однотрубними по біфілярній схемі або ж двотрубними.

При біфілярних системах опалення, приєднання до теплових мереж по залежній схемі, може бути передбачено кількісне регулювання опалювального навантаження, що визначається за формулою:

$$\bar{G} = \frac{G}{G'} = \varphi \cdot \frac{t_{\text{гт}} - t_{\text{п.о.}}}{(t_{\text{гт}} - t_{\text{п.о.}}) - (t_{\text{с}} - t_{\text{п.о.}}) \cdot \varphi^\chi}, \quad (9)$$

де φ - коефіцієнт відпуску теплоти на опалення;

G, G' - поточна та розрахункова витрати теплоносія.

Показник степені χ визначається за співвідношенням:

$$\chi = \ln 0,5 \cdot \left[\ln \frac{t_{\text{гт}} - 0,5 \cdot (t_o' + t_{\text{п.о.}})}{t_{\text{гт}} - t_o'} + \frac{1}{1-P} \cdot \ln \frac{(t_o' - t_{\text{п.о.}})^{-m} - (t_{\text{гт}} - t_{\text{п.о.}})^{-n}}{0,5^{-n} \cdot (t_o' - t_{\text{п.о.}})^{-n} - (t_{\text{гт}} - t_{\text{п.о.}})^{-n}} \right]^{-1}, \quad (10)$$

де t_o - поточне значення температури зворотної води, °С, що визначається як:

$$t_o = t_{\text{п.о.}} + (t_o' - t_{\text{п.о.}}) \cdot \varphi^\chi, \quad (11)$$

де $t_{\text{гт}}, t_o'$ - розрахункові температури гарячої та зворотної води теплової мережі, °С.

Ефективність роботи системи геотермального теплопостачання ϵ . Медведівка за наведеною вище методикою визначаємо при наступних параметрах:

- температура геотермальної води зі свердловини $t_{\text{гт}} = +64^\circ\text{C}$;
- температура відпрацьованого теплоносія/скидної води $t_{\text{с}} = +40^\circ\text{C}$;
- температура зворотного трубопроводу системи опалення $t_o' = +40^\circ\text{C}$;
- розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування системи опалення $t_{\text{п.о.}} = -17^\circ\text{C}$;
- коефіцієнт, що враховує відмінність реальних умов від розрахункових $\alpha = 1,242$;

- середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{\text{ср.о.}} = 3,1^{\circ}\text{C}$;
- тривалість опалювального періоду $n_o = 154$ доби;
- температура холодної (водопровідної) води в літній період $t_{\text{х.л.}} = 15^{\circ}\text{C}$;
- температура холодної (водопровідної) води в зимовий період $t_{\text{х.з.}} = 5^{\circ}\text{C}$;
- коефіцієнт, що враховує зниження середнього динної витрати води на ГВП в літній період $\beta = 0,8$;
- розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування системи вентиляції $t_{\text{р.в.}} = -2,2^{\circ}\text{C}$;
- усереднене за опалювальний період число годин роботи системи вентиляції протягом доби $z_v = 16$ год.

В центральній частині села розташовано комплекс 2-4-поверхових будівель культурного, комунально-побутового та виробничого призначення. Загальне теплове навантаження населеного пункту складає $Q_{\text{т}} = 1,155$ МВт. Навантаження на системи опалення, ГВП та вентиляції наведено відповідно у табл.2.

Таблиця 2

№	Найменування об'єкту	Система опалення				Система ГВП				Система вентиляції	
		V	$t_{\text{вн}}$	q_o	Q_o^{max}	m	a	$Q_{\text{Г.В.ср.}}^3$	$Q_{\text{Г.В.ср.}}^{\text{л.}}$	q_v	Q_v^{max}
		м ³	°C	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$	МВт	од.	$\frac{\text{кг}}{\text{доба}}$	МВт	МВт	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	МВт
1	Дитячий садочок	2500	20	0,44	0,05055	100	11,5	0,00080	0,00051	0,48	0,02028
2	Гараж	2500	10	0,56	0,04695	20	5	0,00007	0,00004	0,56	0,00966
3	Аптека	1000	20	0,47	0,02160	40	5	0,00014	0,00009	0,47	0,00794
4	Гуртожиток	4500	18	0,52	0,10172	150	85	0,00885	0,00567	0,1	0,00671
5	Вузол зв'язку	1500	18	0,5	0,03260	50	5	0,00017	0,00011	0,53	0,01185
6	Житлова будівля	5000	18	0,52	0,11302	300	100	0,02083	0,01333	0,1	0,00745
7	Їдальня	1500	16	0,41	0,02521	12	12,7	0,00011	0,00007	0,43	0,00832
8	Магазин	800	12	0,49	0,01412	70	5	0,00024	0,00016	0,49	0,00349
9	Житлова будівля	2000	18	0,77	0,06694	200	100	0,01389	0,00889	0,1	0,00298
10	Житлова будівля	2000	18	0,77	0,06694	200	100	0,01389	0,00889	0,1	0,00298
11	Амбулаторія	700	20	0,47	0,01512	40	5,2	0,00014	0,00009	0,47	0,00556
12	Дім культури	5000	18	0,38	0,08259	50	2,6	0,00009	0,00006	0,4	0,02980
13	Сільрада	1000	16	0,5	0,02049	50	5	0,00017	0,00011	0,53	0,00684
14	Гуртожиток	1500	18	0,77	0,05021	100	85	0,00590	0,00378	0,1	0,00224
15	Житлова будівля	2000	18	0,77	0,06694	200	100	0,01389	0,00889	0,1	0,00298
16	Школа	4500	18	0,45	0,08803	150	3	0,00031	0,00020	0,49	0,03285

	ВСЬОГО	38000		0,86304		0,07951	0,05088		0,16192
--	---------------	--------------	--	----------------	--	----------------	----------------	--	----------------

Питома витрата геотермальної води за формулою (8) складає:

$$G_T^{\text{пит}} = 13,274 \text{ кг/с.}$$

Тоді, частки розрахункового дебіту геотермальної води α, β, γ за формулами (5)-(7) відповідно складають:

$$\alpha = 0,6466, \quad \beta = 0,1213, \quad \gamma = 1 - 0,6466 - 0,1213 = 0,2321.$$

Середньоопалювальний коефіцієнт відпуску теплоти на опалення та вентиляцію складає:

$$\varphi_{\text{ср.оп}} = \frac{(t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.о}})}{(t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}})} = 0,4568;$$

$$\varphi_{\text{ср.вент}} = \frac{(t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.о}})}{(t_{\text{вн}} - t_{\text{р.в}})} = 0,7613.$$

Степінь відносного використання максимуму навантаження визначається за формулами табл. 1:

$$z_{\text{оп}} = 0,1986; \quad z_{\text{вент}} = 0,3310;$$

$$z_{\text{ГВП}} = \frac{5500 + 0,35 \cdot T_{\text{сез}}}{8500} = 0,7992.$$

Коефіцієнти використання свердловини визначаються за формулами табл. 1:

$$\bar{\tau}_{\text{св.оп}} = 0,1367; \quad \bar{\tau}_{\text{св.вент}} = 0,2761; \quad \bar{\tau}_{\text{св.ГВП}} = 0,8870.$$

Середньозважена величина коефіцієнта використання свердловини за формулою (2) становить:

$$\bar{\tau}_{\text{св.об}} = 0,2601.$$

Степінь відносного збільшення розрахункового дебіту свердловини міні-ГеоТЕС при $\bar{\tau}_{\text{св.об}} = 0,2601$ (за умови, що дану свердловину приймаємо як напівобмежений пласт з $I_{\text{п}} = 5 \text{ км}$) згідно з рис. 2 складає $\zeta_{\text{об}} = 1,575$.

Степінь відносного спрацювання температурного перепаду при $t_{\text{гт}} = t_{\text{п}} = +64^\circ\text{C}$ становить:

$$i_{\text{оп}} = i_{\text{вент}} = i_{\text{ГВП}} = 0,4068.$$

Коефіцієнт ефективності геотермального тепlopостачання для даної схеми за

формулою (4):

$$\eta_{\text{геот}} = 0,1440.$$

Очевидно, що має місце неефективне використання потенціалу геотермального родовища.

З метою визначення шляхів підвищення ефективності роботи установки були побудовані залежності питомої витрати геотермального теплоносія від температур мережевої води на вході та виході з системи тепlopостачання.

З рис. 4, 5 можна зробити висновок, що досягти економії потенціалу геотермального родовища можна шляхом підвищення температури теплоносія та зменшення температури відпрацьованого теплоносія системи теплозабезпечення.

Підвищення значення коефіцієнта ефективності та скорочення питомої витрати геотермальної води слід забезпечувати шляхом використання систем опалення зі збільшеним розрахунковим перепадом температур теплоносія пікового підігрівання, теплових насосів, комплексного використання геотермального теплоносія з послідовним приєднанням різнорідних споживачів, переважним використанням геотермальної теплоти на ГВП, системи повітряного опалення, сезонних споживачів геотермальної води. Зазначені способи можуть комбінуватися.

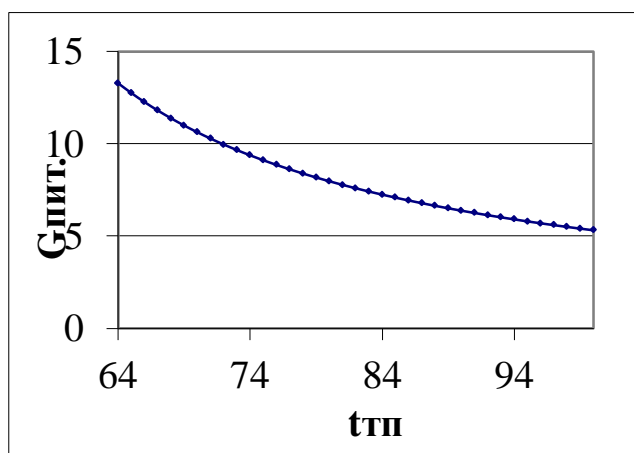


Рис. 4 Залежність питомої витрати геотермального теплоносія від температури теплоносія системи теплозабезпечення

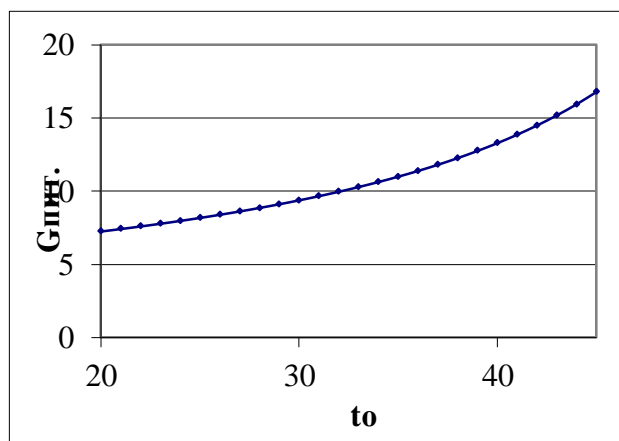


Рис. 5 Залежність питомої витрати геотермального теплоносія від температури відпрацьованого теплоносія системи

Проведемо аналогічні розрахунки ефективності системи геотермального тепlopостачання при піковому підігріванні теплоносія системи тепло забезпечення:

$$G_T^{\text{пик}} = 5,310 \text{ кг/с.}$$

Визначимо коефіцієнт відпуску теплоти, що відповідає моменту відключення пікового підігрівання, якщо моменту закінчення опалювального сезону відповідає коефіцієнт $\varphi_k = 0,27$:

$$\varphi_{\text{п.оп}} = \frac{(t_{\text{гр}} - t_{\text{вн}} - 5)}{(t_{\text{тп}} - t_{\text{вн}} - 5)} = 0,52.$$

Орієнтовна тривалість роботи пікового підігрівача складає:

$$T_{\text{п}} = \frac{(1 - \varphi_{\text{п.оп}})^{1/B}}{A} = 10,953 \text{ діб},$$

де A та B – емпіричні коефіцієнти, які визначають за рис. 6, 7 як функції від розрахункової температури опалення (при $t_{\text{р.о.}} = -17^{\circ}\text{C}$, $A = 0,029$, $B = 0,64$).

Відносний коефіцієнт відпуску теплоти складає:

$$\bar{\varphi}_{\text{оп}} = \frac{(\varphi_{\text{п.оп}} + \varphi_{\text{к}})}{2 \cdot \varphi_{\text{п.оп}}} = 0,7596.$$

Температура скидної води, що відповідає моменту відключення пікового підігрівання:

$$t_{\text{сп}} = \varphi_{\text{п}} \cdot (t_{\text{о}} - t_{\text{вн}} - 5) + (t_{\text{вн}} + 5) = 29,8^{\circ}\text{C}.$$

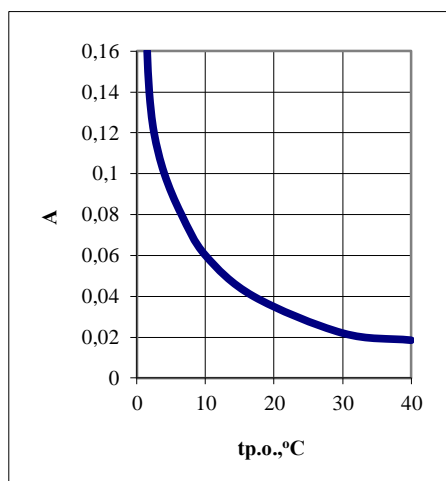


Рис. 6 Графічна залежність для визначення емпіричного коефіцієнта A .

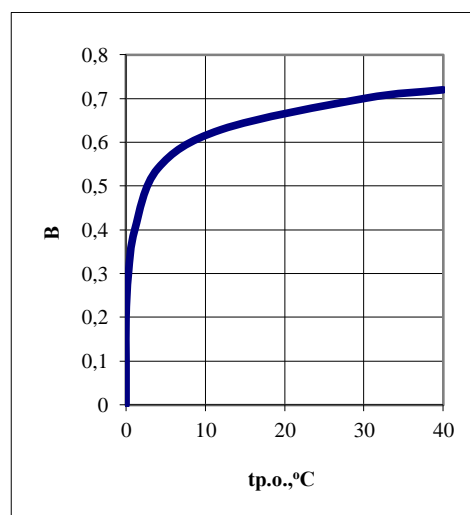


Рис. 7 Графічна залежність для визначення емпіричного коефіцієнта B .

Коефіцієнти використання свердловини складають:

$$\bar{\tau}_{\text{св.оп}} = \bar{\tau}_{\text{св.вент}} = 0,3277.$$

Частка пікового підігрівання на опалення, вентиляцію та ГВП визначається за графічною залежністю (рис. 2):

$$\frac{t_{\text{тп}} - t_{\text{гт}}}{t_{\text{тп}} - t_{\text{вн}} - 5} = 0,48, \quad t_{\text{тп}} - t_{\text{о}}' = 60^{\circ}\text{C}, \quad \text{за рис. 2 } d_{\text{н}} = 0,12.$$

Степінь відносного спрацювання температурного перепаду:

$$i_{оп} = i_{вент} = i_{ГВП} = \frac{(t_{гп} - t_o')}{(t_{гг} - 5)} = 1,0169.$$

Середньозважена величина коефіцієнта використання свердловини становить:

$$\bar{\tau}_{св.об} = 0,4575.$$

Степінь відносного збільшення розрахункового дебіту свердловини міні-ГеоТЕС при $\bar{\tau}_{св.об} = 0,4575$ для напівобмеженого пласту з $I_{п} = 5$ км згідно з рис. 2 складає $\zeta_{об} = 1,36$.

Коефіцієнт ефективності геотермального теплопостачання для даної схеми складає:

$$\eta_{геот} = 0,4310.$$

В ході дослідження системи геотермального теплопостачання, було встановлено, що одним з найбільш потенційних напрямків підвищення ефективності роботи системи є зменшення температури відпрацьованого теплоносія системи тепло забезпечення. За результатами проведених розрахунків було побудовано графічну залежність ККД геотермальної системи теплозабезпечення від зміни температури скидної води в діапазоні від 40 °С до 25°С (рис. 8).

Здійснення кількісного регулювання опалювального навантаження за формулами (10)-(11) дасть змогу підвищити ефективність роботи системи теплозабезпечення на 5-10% (рис. 9, 10).

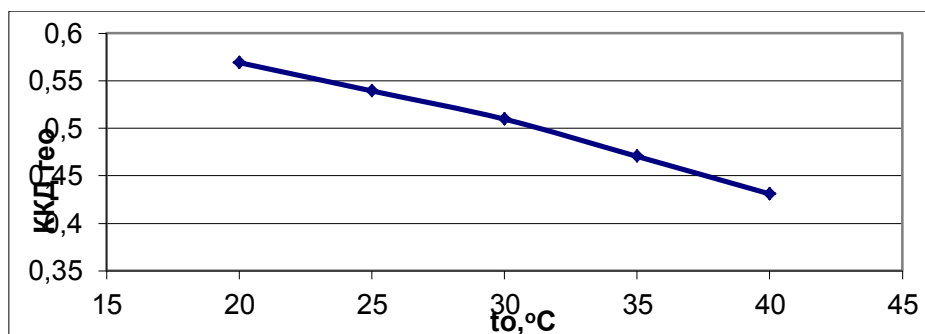


Рис. 8 Залежність ККД системи геотермального теплозабезпечення від температури відпрацьованої води.

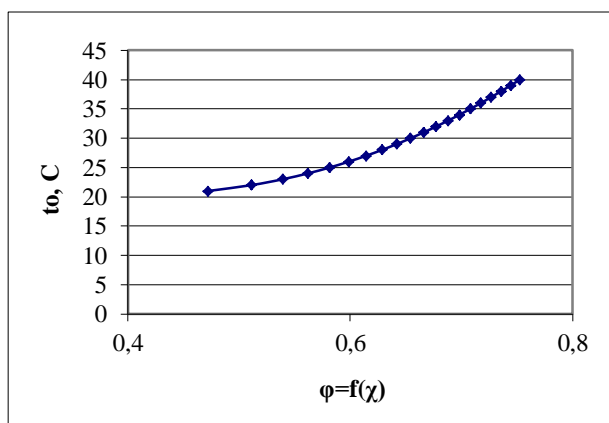


Рис. 9 Графік температури зворотної води при кількісному регулюванні опалювального навантаження.

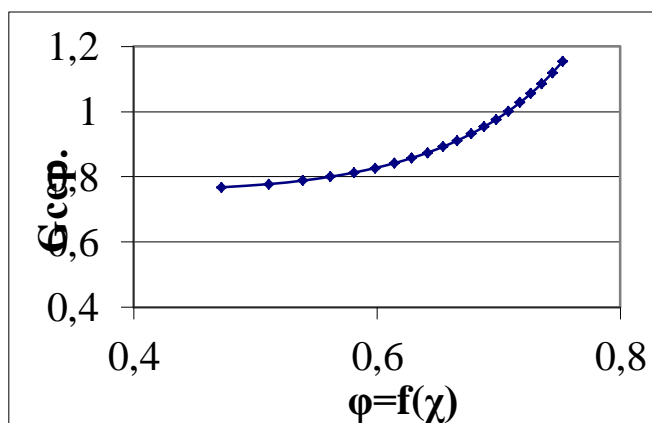


Рис. 10 Графік витрати теплоносія при кількісному регулюванні опалювального навантаження.

Висновки: підвищення коефіцієнта ефективності та зменшення питомої витрати геотермальної води слід забезпечувати шляхом використання систем опалення зі збільшеним розрахунковим перепадом температур теплоносія пікового підігрівання. Використання утилізації низькопотенційної теплоти відпрацьованого геотермального теплоносія в тепловій схемі дає змогу значно розширити температурний діапазон опалювальних навантажень споживача, а також підвищити ефективність використання геотермального джерела за рахунок збільшення температурного ліміту геотермальних вод, що спрацьовує в системі теплозабезпечення.

Перелік літератури:

1. Програма енергозбереження в автономній Республіці Крим на 2010-2014 роки від 17.02.2010 № 1569-5/10.
2. Баласанян Г.А. Оценка эффективности интегрированных когенерационных систем. – М.: Экотехнологии и ресурсосбережение, 2006. – № 3. – С. 9 – 12.
3. ВСН 56-87 «Геотермальное теплохладоснабжение жилых и общественных зданий и сооружений».
4. Кодылев А.В. Геотермальные установки: Методические указания. – Казань:КазГАСУ, 2010. – 70 с.