

УДК 662.997:621.577.4

М.Ю.Швец, В.Г.Олійніченко, А.А.Барило (Ін-т відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Теплопостачання бальнеологічного комплексу з використанням теплових насосів та термальної води

В роботі запропоновано схему теплопостачання бальнеологічного комплексу в с. Косино Закарпатської області з використанням теплових насосів та термальної води. Розраховані техніко-економічні характеристики її функціонування.

В работе предложена схема теплоснабжения бальнеологического комплекса в с. Косино Закарпатской области с использованием тепловых насосов и термальной воды. Рассчитаны технико-экономические характеристики её функционирования.

Метою даної роботи була оцінка техніко-економічних показників побудови та цілорічного функціонування бальнеологічного комплексу на базі свердловини 16-Т Косинського родовища термальних вод. Дебіт і температура води на гирлі свердловини – 15 м³/год та 50°С відповідно.

В даний час свердловина 16-Т використовується для подачі геотермальної води у два басейни в літній період. Подача здійснюється чавунним трубопроводом довжиною 650 м і діаметром 89 мм, який прокладено на глибині 0,5 м. Досвід експлуатації системи подачі геотермальної води показав, що втрата температури у трубопроводі в літній час складає 4°С, тобто у зимовий час вона становитиме біля 10°С. Температура термальної води на вході у басейн влітку становить 46°С.

Планується побудова цілорічного відкритого басейну площею 220 м² та підтримка в ньому температури води на рівні 36°С (при зовнішній температурі мінус 10°С) та опалення адміністративно-житлового корпусу площею 3000 м².

Оцінка тепловтрат басейну та вибір системи його обігріву. Основні тепловтрати басейну формуються за рахунок випаровування води із дзеркала басейну. При температурі зовнішнього повітря мінус 10°С та середній вологості 70% з 220 м² випаровується біля 270 літрів води на годину. Тоді кількість теплоти, що витрачається на випаровування, дорівнює:

$$Q^{\sigma} = G_{\sigma} \cdot r = \frac{270}{3600} \cdot 2400 = 180 \text{ кВт}, \quad (1)$$

де G_{σ} – витрата води на випаровування, кг/с; r – коефіцієнт пароутворення (2400 кДж/кг).

Загальні тепловтрати басейну на 25-30% більші. Тоді маємо:

$$Q_p^{\sigma} = (1,25 \dots 1,3) \cdot Q^{\sigma} = 225 \text{ кВт}. \quad (2)$$

Визначимо необхідну мінімальну температуру термальної води на вході в басейн для покриття теплової потужності басейну при температурі повітря мінус 10°С та при максимальній витраті термальної води 15 м³/год:

$$t_T^{ex} = t_{\sigma} + \frac{Q_p^{\sigma}}{c \cdot G} = 36 + \frac{225 \text{ кВт}}{4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 4,17 \text{ кг/с}} = 49^{\circ}\text{C}, \quad (3)$$

де G – витрата термальної води, кг/с; c – теплоємність води (4,2 кДж/(кг·К)); t_{σ} – температура води в басейні, °С.

Таку температуру термальної води можна отримати при використанні предізольованих труб. Виберемо поліетиленову трубу $\varnothing 110$ мм з товщиною стінки 6 мм, ізольовану пінополіуретаном товщиною 45 мм. Оцінимо втрату температури у даному трубопроводі:

$$K = \frac{1}{\frac{0,045}{0,04} + \frac{1}{10}} = 0,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); \quad (4)$$

$$t_T^{ex} = t_T^{ex} - \frac{\pi \cdot d \cdot l \cdot K (t_T - t_T)}{c \cdot G} = 50 - \frac{3,14 \cdot 0,2 \cdot 750 \cdot 0,82 \cdot (50 - 5)}{4200 \cdot 4,17} = 49,1^{\circ}\text{C}, \quad (5)$$

де l, d – довжина та діаметр трубопроводу, м; $t_T^{вих}$, $t_T^{вх}$ – відповідно температура термальної води на виході та на вході у трубопровід, °С; G – витрата термальної води, кг/с; K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К); c – теплоємність води (4,2 кДж/(кг·К)).

Тобто для функціонування відкритого басейну температури та витрати термальної води свердловини 16-Т буде достатньо.

Розрахуємо необхідну кількість термальної води для нагрівання басейну в залежності від температури навколишнього середовища. Для цього наведемо кліматичні характеристики Закарпатської області. Середньорічна температура повітря становить 9,7°С, найнижча вона у січні (мінус 2,8°С), найвища – в липні (19,9°С). Кліматичні дані наведено в таблиці 1.

Було розраховано необхідну кількість

термальної води для нагрівання басейну та тепловтрати при різних значеннях температури навколишнього повітря. Результати наведено на рис. 1.

Річні тепловтрати басейну згідно розрахунків оцінюються в 1400 Гкал (1600 МВт·год).

Розрахунок економічних показників функціонування басейну. При розрахунках економічних показників були прийняті наступні вихідні дані:

1. Термін експлуатації басейну – 25 років; трубопроводів, що подають термальну воду – 25 років; свердловинного насоса – 5 років.
2. Вартість обладнання теплової частини басейну та його встановлення складає 350 тис. грн.
3. Експлуатаційні витрати складаються з витрат на електроенергію та заробітну плату персоналу і оцінюються в 150 тис. грн. на рік. Витрати на ремонти – 30 тис. грн. на рік.
4. Амортизація розраховується за лінійною схемою протягом 5 років.

Таблиця 1. Середня температура (°С) та вологість (%) повітря по місяцях у Закарпатській області [1, 2]

Параметри		Місяці року											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Середня температура	Добова	-2,8	-0,2	4,7	10,7	15,6	18,5	19,9	19,4	15,5	10,3	4,6	-0,4
	Денна	-1	2	7	16	20	25	26	25	21	15	8	2
	Нічна	-6	-3	1	6	9	13	14	13	10	6	3	-2
Середня вологість		82	77	69	63	65	67	67	69	72	75	81	84

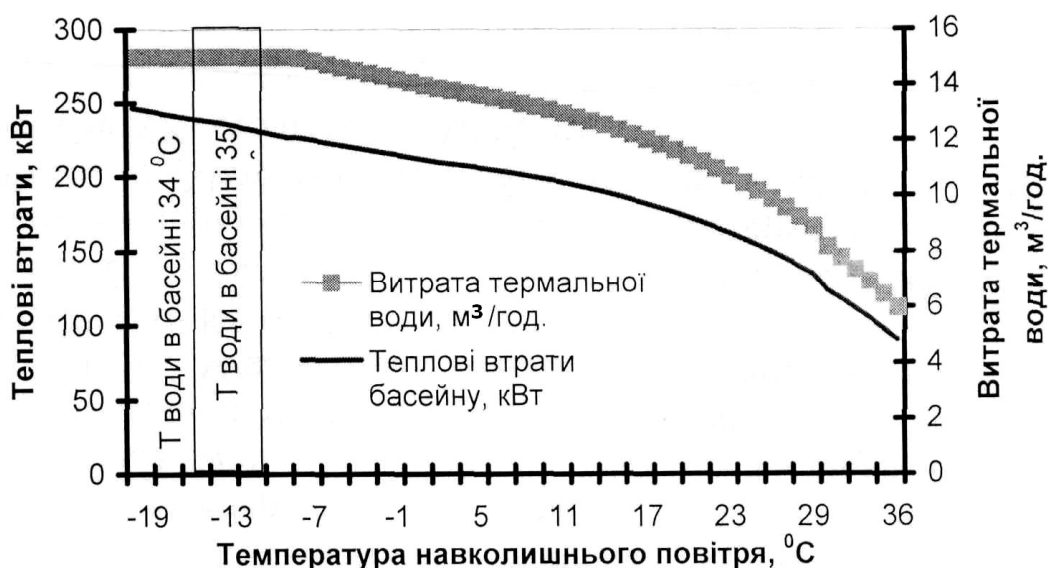


Рис. 1. Необхідна кількість термальної води для нагрівання басейну і тепловтрати при різних значеннях температури навколишнього повітря.

Розрахунок економічних показників функціонування басейну виконано на основі методики, викладеної в [3]. Результати розрахунку наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Розрахункові техніко-економічні характеристики показників функціонування басейну (теплової частини)

Параметр	Тепло-енергетичне обладнання
Встановлена потужність, кВт	250
Річна кількість виробленої теплоти, Гкал (МВт·год)	1400 (1600)
Капіталовкладення, тис. грн.	350
Амортизація (20%), тис. грн.	70
Річні витрати на ремонти, тис. грн.	50
Річна витрата електроенергії, МВт·год	90
Річний фонд оплати праці, тис. грн.	150
Собівартість теплоти, грн/Гкал	300

Тоді сумарні річні витрати на виробництво теплоти I_T , грн/рік, визначаються за формулою:

$$I_T = E_{C.H}^{pik} \cdot S_e + \alpha_{ам} + \beta_p + \Phi_{O.П}^{pik} (1 + \alpha_{np}), \quad (6)$$

де $E_{C.H}^{pik}$ – річні витрати електроенергії на власні потреби, МВт·год; S_e – ціна на електроенергію, грн/(МВт·год); $\alpha_{ам}$ – річна амортизація обладнання, грн.; β_p – річні витрати на ремонти обладнання, грн.; $\Phi_{O.П}^{pik}$ – річний фонд оплати праці, грн.; α_{np} – коефіцієнт, що враховує сумарні інші витрати (приймається рівним 0,5).

Розрахункові сумарні річні витрати на виробництво теплоти дорівнюють: $I_T = 420$ тис. грн/рік.

Собівартість теплоти S_T , грн/Гкал, визначається за формулою:

$$S_T = \frac{I_T}{Q_{pik}} = \frac{420}{1400} = 300 \text{ грн/Гкал}, \quad (7)$$

де Q_{pik} – річна кількість виробленої теплової енергії на покриття теплових навантажень споживачів, Гкал.

Обґрунтування доцільності використання низькопотенційної термальної води для опалення і ГВП будівель. Оцінено доцільність використання скидної термальної води для опалення і

ГВП будівлі адміністративно-житлового корпусу площею 3000 м².

Згідно [4], питома потужність системи опалення новозбудованої енергозберігаючої будівлі складає 60 Вт/м² [4]. Тоді розрахункова потужність системи опалення бальнеологічного комплексу в Косино дорівнюватиме:

$$Q_{on} = q_{on} \cdot S = 60 \text{ Вт/м}^2 \cdot 3000 \text{ м}^2 = 180 \text{ кВт}. \quad (8)$$

Середня потужність систем ГВП будівлі складає 25 кВт, душевих басейну – 25 кВт. Сумарна потужність систем теплопостачання складає 230 кВт.

У зв'язку з відсутністю можливості підключення даної будівлі до систем газопостачання, облаштування систем опалення та ГВП можливе в таких варіантах:

1. Традиційна. Система електричних теплих полів, електричних радіаторів (фанкойлів) та електричних бойлерів для ГВП.

2. Енергоефективна. Система гідравлічних теплих полів, фанкойлів та бойлерів непрямого обігріву, які підігріваються тепловим насосом "вода-вода" з використанням низькопотенційної термальної води. Для цього варіанту запропонована технологічна схема, яка показана на рис. 2.

Згідно схеми, термальна вода з температурою 50°C, що поступає зі свердловини 16-Т, насосом НС подається через предізольований трубопровід у відкритий басейн, де підтримується температура води 36°C. Вода, що зливається з басейну, подається насосом НВ у випарники теплових насосів ТН1,2, де охолоджується та скидається в систему утилізації термального теплоносія.

Теплові насоси використовуються для нагрівання оборотної води, яка застосовується для опалення та ГВП у бойлері непрямого нагріву.

Оцінимо кожен варіант і знайдемо оптимальний. Для цього порівняємо капіталовкладення та експлуатаційні витрати.

Капіталовкладення:

1. Електрорадіатор – 80 грн/м²; електробойлер для ГВП потужністю 40 кВт (1000 л), 2 шт. (для покриття нерівномірності використання гарячої води) – 100 тис. грн.; електричний трансформатор потужністю 400-500 кВА – 60 тис. грн. Монтаж системи теплопостачання – 40 тис. грн.

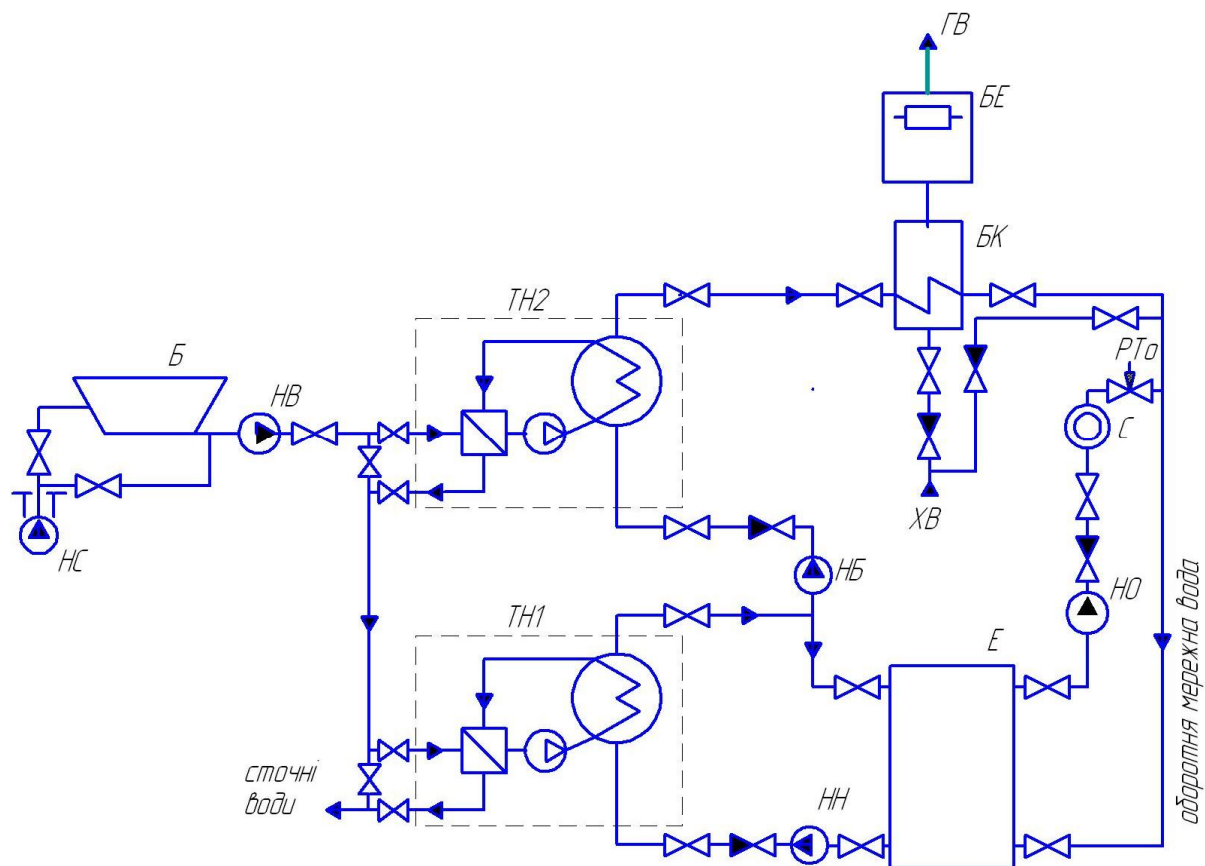


Рис. 2. Технологічна схема теплопостачання бальнеологічного комплексу за допомогою ТН, що використовують низькопотенційну термальну воду: Б – басейн; БЕ – бойлер електричний; БК – бойлер непрямого нагріву; Е – буферна ємність; НБ, НВ, НН, НО, НС – насоси: бойлера непрямого нагріву, випарника ТН, буферної ємності, системи опалення, свердловинний відповідно; РТ₀ – регулятор температури системи опалення; С – споживачі теплоти; ТН1,2 – два теплових насоси; ХВ – холодне водопостачання.

Сумарні капіталовкладення складуть біля 450-480 тис. грн.

2. Два теплових насоси (ТН-80) – 400 тис. грн.; буферна ємність та бойлер непрямого нагріву (1000 л) – 50 тис. грн.; циркуляційні насоси (4 шт.) – 40 тис. грн.; електробойлер для ГВП потужністю 25 кВт – 30 тис. грн.; електричний трансформатор потужністю 200-250 кВА – 40 тис. грн. Монтаж системи теплопостачання (тепліх полів) – 200 тис. грн.

Сумарні капіталовкладення складуть біля 750-800 тис. грн.

Експлуатаційні витрати. Для розрахунку ек-

сплуатаційних витрат необхідно побудувати розрахунковий графік теплових навантажень будівлі, спираючись на кліматичні характеристики Закарпатської області:

а) температура навколишнього повітря під час опалювального періоду, °С:

- абсолютний мінімум – мінус 28;
- розрахункова для опалення – мінус 18;
- середня під час опалювального періоду – 1,6;

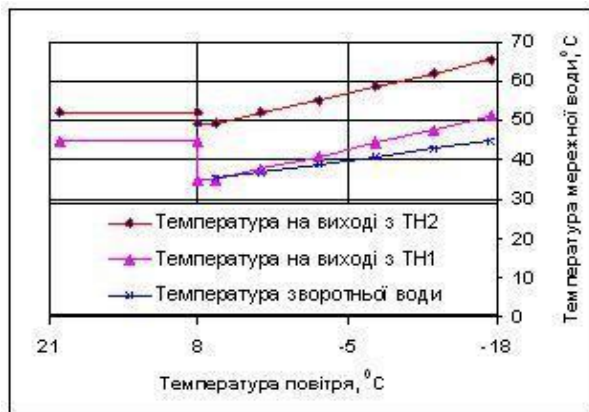
б) тривалість опалювального періоду, годин – 3888.

Середньогодинна температура навколишнього повітря наведена в таблиці 3.

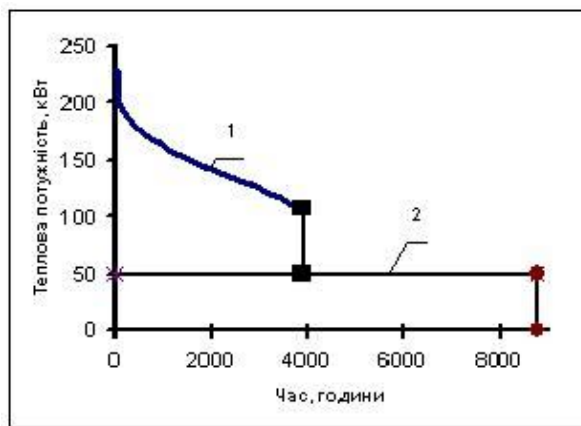
Таблиця 3. Середньогодинна температура навколишнього повітря [2]

Температура зовнішнього повітря, °С	(-24,9)÷(-20)	(-19,9)÷(-15)	-14,9÷(-10)	(-9,9)÷(-5)	(-4,9)÷0	(+0,1)÷(+5)	(+5,1)÷(+8)
Години стояння	2	18	55	404	919	1484	1006

Було обрано температурний графік для проектування системи опалення (рис. 3а) і згідно з вихідними даними та кліматичними характеристиками регіону проведено розрахунки теплових навантажень споживачів (рис. 3б), де лінія 1 – теплові навантаження системи опалення; 2 – навантаження систем гарячого водопостачання.



а



б

Рис. 3. Температурний графік (а) та графік теплових навантажень споживачів (б): 1 – теплові навантаження системи опалення; 2 – теплові навантаження системи ГВП.

Оціночна необхідна річна кількість теплоти складає 770 МВт·год (670 Гкал).

Для оцінки коефіцієнта трансформації для теплового насоса використаємо формулу для ідеального циклу Карно [5, 6] та напівемпіричну формулу Мартиновського [7]:

$$\varphi = k \cdot \frac{T_1}{T_1 - T_2}; \quad (9)$$

$$\varphi = 0,74 \frac{T_2}{T_1 - T_2} - (0,0032T_2 + 0,765 \frac{T_2}{T_1}) + 0,9, \quad (10)$$

де T_1, T_2 – температура в конденсаторі та у випарнику теплового насоса відповідно, К; k – відношення реального коефіцієнта трансформації до

ідеального (в сучасних теплових насосах коливається в межах 0,45-0,6), прийнято рівним 0,5.

$$T_1 = T_{3,B} + \frac{\varphi \cdot W^{TH}}{2 \cdot c \cdot G_{M,B}} + \Delta T_K; \quad (11)$$

$$T_2 = T_{ЦВ} - \frac{(\varphi - 1)W^{TH}}{2 \cdot c \cdot G_{ЦВ}} - \Delta T_B, \quad (12)$$

де $T_{3,B}, T_{ЦВ}$ – температура відповідно зворотної мережевої та циркуляційної води, К; Q_T^{TH}, W^{TH} – теплова потужність та потужність приводу компресора теплового насоса відповідно, Вт; $G_{M,B}, G_{ЦВ}$ – витрата відповідно мережевої та циркуляційної води через ТН, кг/с; c – теплоємність води, Дж/(кг·К); $\Delta T_K, \Delta T_B$ – температурний напір конденсатора та випарника ТН, К (рівний 5 К).

На рис. 4 наведено результати розрахунків залежності середніх коефіцієнтів трансформації для обох ТН від температури навколишнього повітря за формулою (10).

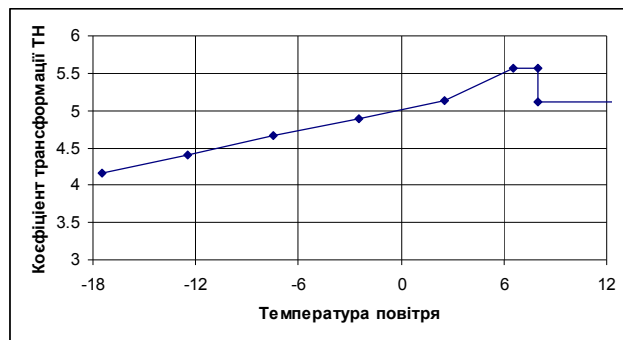


Рис. 4. Залежність середніх коефіцієнтів трансформації для обох ТН від температури навколишнього повітря.

Тоді необхідна кількість електроенергії для компресорів ТН складає біля 150 МВт·год.

Потужність, необхідну для насосного обладнання, знайдемо за формулою [8, 9]:

$$N_{ГО} = \sum \frac{G \cdot \Delta p}{\rho_e \cdot \eta_{н.о}}, \quad (13)$$

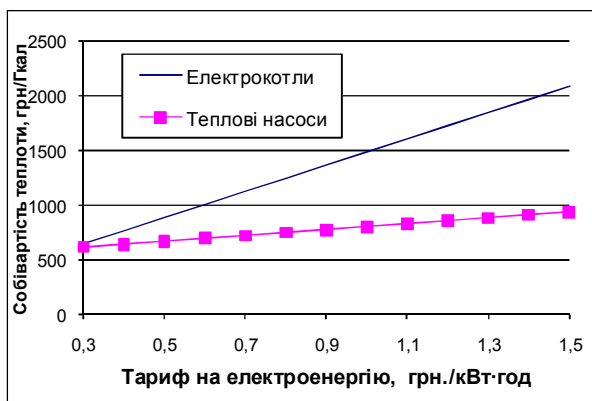
де G – витрата води, кг/с; Δp – втрата тиску на гідравлічний опір, Па; ρ_e – густина води, кг/м³; $\eta_{н.о}$ – КПД насоса (дорівнює 0,85).

Потужність насосного обладнання в зимовий період складе біля 4 кВт, а в літній – 1,5 кВт. Тоді необхідна кількість електроенергії для насосного обладнання системи теплопостачання становить біля 23 МВт·год.

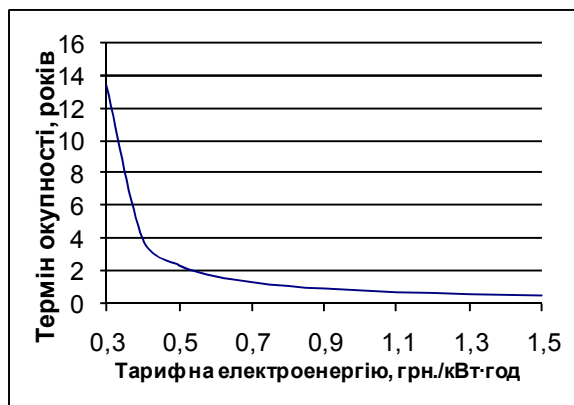
Таблиця 3. Розрахункові техніко-економічні характеристики показників систем теплопостачання

Параметр	Традиційна (електрокотли)	Енергоефективна (ТН)
Встановлена потужність, кВт	230	
Річна кількість виробленої теплоти, Гкал (МВт·год)	670 (770)	
Капіталовкладення, тис. грн.	450-480	750-800
Амортизація (20%), тис. грн.	90	160
Річні витрати на ремонти, тис. грн.	25	50
Річна витрата електроенергії, МВт·год	800	180
Річний фонд оплати праці, тис. грн.	95	150
Річні витрати на виробництво теплоти, тис. грн. (Тариф на електроенергію 1 грн/кВт·год)	1000	540
Собівартість теплоти, грн/Гкал	1500	800

На рис 5а, 5б наведено залежність собівартості теплоти від ціни на електроенергію, а також термін окупності для обох систем теплопостачання.



а



б

Рис. 5: а) – залежність собівартості теплоти від ціни на електроенергію для обох систем теплопостачання; б) – термін окупності впровадження ТН.

Висновки. 1. В роботі запропоновано схему теплопостачання бальнеологічного комплексу з використанням теплових насосів і термальної води та розраховано техніко-економічні характери-

стики бальнеологічного комплексу в с. Косино Закарпатської області.

2. Показано доцільність використання термальної води для підігріву басейну та подальше використання скидної термальної води в якості низькопотенційного джерела теплоти для ТН, що використовується для теплопостачання житлового корпусу.

3. При тарифі на електроенергію більше 0,30 грн/кВт·год вигідніше використовувати ТН, ніж електроопалення житлового корпусу. При сучасних тарифах на електроенергію для промисловості термін окупності впровадження ТН складає близько 1,5 року.

- <http://www.meteoprog.ua/ua/climate/Uzhgorod/>
- Апарцев М.М. Настройка водяных систем централизованного теплоснабжения // Справочное пособие. – М.: Энергоиздат, 1983. – 202 с.
- Теплоэнергетика и теплотехника: Общие вопросы: Справочник / Под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – 3-е изд., перераб. – М.: МЭИ, 1999. – 528 с.
- Швец М.Ю. Анализ эффективности использования различных видов электрического отопления помещений // Відновлювана енергетика. – 2006. – № 4. – С. 23–27.
- Теплотехника: Підручник. – 2-е вид., перероб. і доп./ Під ред. Б.Х. Драганова – К.: ІНКОС, 2005. – 400 с.
- www.ochsner.com
- Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов / Под ред. В.М. Бродянского. – М.: Энергия, 1979. – 288 с.
- Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М.: МЭИ, 2001. – 564 с.
- Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975.