

## **ТЕПЛОВІ ПОМПИ – ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ**

*Зроблений аналіз використання теплових pomp в різних країнах світу та прогноз упровадження їх у найближчому майбутньому. Розглянуто стан виробництва на ВАТ «Мелітопольський завод холодильного машинобудування «Рефма». Приведені дані роботи теплових pomp різних систем. Зроблений детальний аналіз роботи теплової помпи з використанням тепла стічних вод та розрахунки окупності при використанні в опаленні.*

**Ключові слова:** *теплова помпа, тепло-помпова установка, низькопотенційна, теплота, джерело «Рефма», холодильний компресор, перетворення.*

*Сделан анализ использования тепловых насосов в разных странах и прогноз внедрения их в ближайшем будущем. Рассмотрено состояние производства на ОАО «Мелитопольский завод холодильного машиностроения «Рефма». Приведены данные работы тепловых насосов разных систем. Произведен детальный анализ работы теплового насоса с использованием тепла сточных вод и расчеты окупаемости при использовании в отоплении.*

**Ключевые слова:** *тепловой насос, тепло-насосная установка, низкопотенциальная теплота, источник «Рефма», холодильный компресор, преобразование.*

*The analysis of thermal pumps use in the different countries of the world and the forecast of their introduction in the near future is made. The condition of manufacture at the Open Society « The Melitopol factory of refrigerating mechanical engineering «Refma» is considered. The data of works of thermal pumps of different systems are resulted. The detailed analysis of the thermal pump's work at use of sewage heat is made and a recoupment of use at heating is calculating.*

**Key words:** *thermal, pump, heat-pump, system, low-potential, heat, source, «Refma», refrigerator, compressor, conversion.*

Використанню теплових pomp (ТП) в світі приділяється значна увага як перспективному енергоощадному напрямку. Однак вирішення питань ефективності, вибір типу ТП, масштабів та сфер їх оптимального використання в різних країнах відрізняються і є далеко не однозначними.

Наприклад, в Європі 77 % упроваджених теплових pomp використовують зовнішнє повітря в якості джерела тепла, хоча у Швеції, Швейцарії та Австрії переважають ТП, які використовують тепло із ґрунту.

У Норвегії в кінці ХХ сторіччя нараховувалось в експлуатації 27 200 теплопомпових установок. Із них 67 % використовують в якості джерела тепла зовнішнє повітря, 12 % – відпрацьоване повітря, 19 % – воду та ґрунт.

У світі установлено більше 90 мільйонів теплових pomp. Біля 5 мільйонів змонтовано в Європі. А в Японії тепло-помпові установки є основним обладнанням в забезпеченні теплом житлового фонду.

У Сполучених Штатах виробляються більше мільйона теплових pomp на рік, а кількість ТП, що експлуатується, досягає 15 мільйонів одиниць. Китайський ринок, що швидко розвивається, уже досяг більше 10 мільйонів установлених теплопомпових одиниць.

За прогнозами світового енергетичного комітету (СЕК) до 2020 року в розвинених країнах 75 % систем опалювання і гарячого водопостачання будуть використовувати теплові помпи.

Отже, особливістю теплових pomp (ТП) є можливість використання тепла навколишнього середовища з високою ефективністю. Ефективність ТН визначається коефіцієнтом перетворення, тобто відношенням теплової потужності до затраченої енергетичної потужності, і може складати  $E = 3 \dots 7$ . Величина  $E$  залежить від конкретних умов використання джерела тепла, при цьому цей коефіцієнт тим вище, чим вище температура середовища, з якого використовується енергія.

Виходячи з цього, привабливим є використання в якості джерела тепла скидних (стічних) вод.

Привабливість стічних вод полягає в тому, що вони мають досить високу температуру (за даними міського комунального підприємства «Миколаївводоканал» температура стічних вод у зимовий період становить  $6 \text{ }^\circ\text{C}$ ), що може забезпечити високий коефіцієнт перетворення (4 і більше). До того ж, перекачувальні станції стічних вод розташовуються поблизу житлових масивів, а це зменшує втрати теплоти в трубопроводах при транспортуванні.

При вартості 1 кВт.год електричної енергії 70,15 коп/кВт.год (для об'єктів промислової сфери) вартість отриманого тепла може скласти менше за 17,5 коп/кВт.год (або 70 грн/Гкал).

Використання такої системи опалювання дозволяє відмовитися від газу за рахунок електричної енергії, якою Україна забезпечена достатньою мірою. До того ж можливо забезпечення підтримки вітчизняного виробника, яким є Мелітопольський завод холодильного обладнання ВАТ «Рефма». Виробничі потужності заводу дозволяють проводити ТН теплопродуктивністю від 10 до 350 кВт. на напівгерметичних компресорах власного виробництва. На базі імпортних поршневих полугерметичних, спіральних і гвинтових компресорів завод може випускати ТН теплопродуктивністю від 5 до 1500 кВт в одному агрегаті.

Термін окупності тепло-помпового обладнання не перевищує 6-7 опалювальних сезонів.

У м. Дніпропетровську для опалювання і гарячого водопостачання розроблений проект із застосуванням теплової помпи з використанням теплоти навколишнього повітря для 5-ти поверхової будівлі гуртожитку площею 3660 кв.м. Річна економія у порівнянні з централізованим опалюванням становить 50 000 грн. Середній коефіцієнт перетворення енергії складає при цьому 2,5. Термін окупності – 10 років.

Максимальна потужність обігрівальних пристроїв нам потрібна тільки тоді, коли температура навколишнього повітря падає до мінімуму. За даними фірми Therna, якщо постачання тепла буде складатися з 2-х джерел, з яких один дорого коштує, але виробляє «дешеву» енергію та має номінальну потужність 60 % від розрахункового навантаження (теплова помпа), а другий дешевий, але який виробляє дорогу енергію (електронагрівач, на випадок більш низької температури навколишнього повітря), то за опалювальний сезон перше джерело виробить приблизно 92 % енергії, друге – 8 %. Ця комбінація дозволяє знизити вартість капітальних витрат і зменшити термін окупності теплової помпи. Виходячи з цього, визначимо номінальну потужність теплової помпи.

Визначимо ефективність застосування теплової помпи для опалювання типової школи з використанням тепла стічних вод. Помпи 5ПБ50-2-024 можуть забезпечити при температурі кипіння застосовуваного теплоносія (хладону)  $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  і конденсації  $t_k = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  коефіцієнт перетворення  $E = 3,9$ , а при  $t_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  і  $t_k = 50 \text{ }^\circ\text{C}$   $E = 5$ . При згаданій вище температурі стічних вод ( $6 \text{ }^\circ\text{C}$ ) може бути забезпечена температура кипіння біля  $t_0 = 4 \text{ }^\circ\text{C}$  і коефіцієнт перетворення  $E = 4,5$ .

Початкові дані для розрахунку:

$S = 2904$ , кількість градусоднів для Миколаївської області (середня різниця між температурою навколишнього повітря та нормальною температурою всередині приміщення, помножена на кількість днів в опалювальному сезоні);

$t_v = 21$  °С, температура всередині приміщення;

$t_n = -20$  °С, розрахункова мінімальна температура зовнішнього повітря;

$F = 5712,8$  кв.м., опалювальна площа школи;

$q_1 = 0,093$  кВт/кв.м., питоми теплове навантаження нетермомодернізованої будівлі;

$q_2 = 0,042$  кВт/кв.м., питоми теплове навантаження термомодернізованої будівлі;

$K_t = 0,7$ , коефіцієнт, що враховує багатотарифну вартість електричної енергії;

$C_e = 0,2436$  грн, вартість 1 кВт електричної енергії;

$C_t$  = вартість 1 Гкал теплової енергії (для об'єктів комунальної сфери).

Розрахунок проведемо для варіантів будівлі:

1 – нетермомодернізованої, 2 – термомодернізованої.

Визначимо ефективність застосування теплової помпи для опалювання типової школи з використанням тепла стічних вод. Помпи 5ПБ50-2-024 можуть забезпечити при температурі кипіння застосовуваного теплоносія (хладону)  $t_o = 0$  °С і конденсації  $t_k = 50$  °С коефіцієнт перетворення  $E = 3,9$ , а при  $t_o = 10$  °С і  $t_k = 50$  °С  $E = 5$ .

При згаданій вище температурі стічних вод (6 °С ) може бути забезпечена температура кипіння біля  $t_o = 4$  °С і коефіцієнт перетворення  $E = 4,5$ .

Розглянемо далі випадок використання теплоти стічних вод при розрахунку ефективності опалювання школи.

Таблиця 1

Величина, що визначається	Розрахункова формула	Одиниця вимірювання	Результат	
			Варіант 1	Варіант 2
1. Теплове навантаження будівлі	$P = q * F$	кВт	531,3	240,1
2. Річне споживання енергії на опалювання	$Q = \frac{0,086 * P * S}{t_B - t_H}$	кВт×год (Гкал)	944,5×10 (812,12)	426,9×10 (367,1)
3. Теплова потужність теплової помпи	$P_{T.П} = 0,6 * P$	кВт	318,8	144,1
4. Потужність електронагрівача	$P_E = 0,4 * P$	кВт	122,5	96
5. Річне вироблення теплової енергії тепловою помпою	$Q_{T.П}^B = 0,92 * Q$	кВт×год (Гкал)	868,94×10 (747,2)	392,75×10 (337,7)
6. Річне вироблення (споживання) електронагрівачем	$Q_E^B = 0,08 * Q$	кВт×год	75,56×10	34,15×10
7. Річне споживання електричної енергії тепловою помпою	$Q_{T.П}^П = \frac{Q_{T.П}^B}{E}$	кВт×год	193,1×10	87,3×10
8. Загальне річне споживання енергії системою теплова помпа – електропідігрівач	$Q = Q_{T.П}^П + Q_E$	кВт×год (Гкал)	270,66×10 (232,73)	121,45×10 (104,43)

Закінчення табл. 1

9. Економія енергії на опалювання	$\Delta Q = Q - Q_E$	Гкал	579,39	262,67
10. Загальна економія у витратах на опалювання	$E_k = C_T * \Delta Q - C_P * 0,7 * Q_C$	грн	80729,32	30205,28
11. Електрична потужність теплової помпи	$P_{Т.П}^E = \frac{P_{Т.П}}{E}$	кВт	70,84	32,02
12. Загальна вартість системи	$\Sigma C = 350 * P_{Т.П}^E$	\$, грн	24794 198352	11207 896656
13. Термін окупності	$T_{ок} = \frac{\Sigma C}{E_k}$	років	2,45	2,97

При розрахунку прийнято:

- 1.1. Використання існуючої радіаторної системи.
- 1.2. Обов'язкова наявність трьохпозиційного лічильника.

1.3. Вартість 1 кВт встановленої потужності системи \$ 350, оскільки передбачається використання вітчизняних теплових pomp і враховується відсутність ґрунтових робіт (загалом, вартість знаходиться в межах \$ 300-1200), а також незначна в порівнянні з тепловим насосом вартість електропідігрівача.

- 1.4. Курс долара прийнятий \$ 1 = 8 грн.

Розглянемо далі випадок використання теплоти ґрунту, прийнявши при цьому вартість 1 кВт потужності системи 500 \$ , тобто з використанням вітчизняного обладнання і проведенням ґрунтових робіт.

До п. 12 розрахунки повторюються. У п. 12 отримаємо загальну вартість системи:

1. для варіанту 1 –  $\Sigma C = 500 \times 70,84 = \$ 35\,420$  ( 283 360 грн);
2. для варіанту 2 –  $\Sigma C = 500 \times 32,02 = \$ 16\,010$  ( 108 080 грн);

Тоді термін окупності:

- для варіанту 1  $T_{ок} = 283\,360 : 80\,729,32 = 3,5$  роки;
- для варіанту 2  $T_{ок} = 108\,080 : 30\,205,3 = 3,6$  роки.

При цьому передбачається, що у випадку з використанням тепла ґрунту ми отримаємо також коефіцієнт перетворення  $E = 4,5$  ( в Миколаєві зимою температура ґрунту на глибині 0,8 м становить 2,3 °С, а на глибині 1,2 м – 4,4 °С.

І нарешті, випадок поєднання нашої системи з системою обігріву «тепла підлога». Звичайно, «тепла підлога» є дуже ефективною системою обігріву, найбільш відповідною раціональному розподілу температури тепла в приміщенні, що дозволяє економити до 10...15 % енергії в порівнянні з традиційною радіаторною, однак на сьогодні вартість установки водяної системи опалювання «тепла підлога» дуже висока – \$ 40...80 на м<sup>2</sup>. Можливо, вартість такої системи може бути значно знижена при будівництві житлового будинку. Поки при установці вона набагато перевершує вартість вище простих систем, що розглядаються.

Так, вартість, наприклад, такої системи для школи буде становити:

$$Стн = 60 \times 5712,8 = \$ 342768 \text{ (} 2\,742\,144 \text{ грн)}.$$

Розглянемо термін окупності для такої системи у порівнянні з терміном окупності системи «теплова помпа – електропідігрівач – ґрунтове тепло» з радіаторним обігрівом, вартість якої приблизно у 10 разів менше.

У цьому випадку необхідно врахувати велику ефективність системи «тепла підлога» у порівнянні із радіаторною.

Розрахунок зробимо орієнтовано для варіанту 1:

1. Економія енергії на опалювання:

$$\Delta Q' = 1,15 \times \Delta Q = 579,39 \times 1,15 = 666,3 \text{ Гкал}$$

2. Електрична потужність помпи:

$$P_{\text{ТН}}^E = 0,85 \times P_{\text{ТН}}^E = 0,85 \times 70,84 = 60,2 \text{ кВт}$$

3. Загальна економія у витратах на опалювання:

$$E_k = C_t \times \Delta Q' - C_e \times 0,7 \times 0,85 \times Q_c = 196 \times 666,3 - 0,1752 \times 0,85 \times 270,66 \times 10 = \\ = 130594,8 - 40306,7 = 90\,288,1 \text{ грн}$$

4. Вартість системи:

$$\Sigma C = 283360 + 274214 = 557574 \text{ грн}$$

5. Термін окупності:

$$\text{Ток} = 557574 : 90288 = 6,2 \text{ років}$$

6. При вартості ж Є 40/кв.м будемо мати термін окупності:

$$\text{Ток} = 283360 + 274214 : 90288 = 31,15 \text{ року}$$

7. Взагалі можна записати формулу для приблизного визначення терміну окупності в залежності від вартості 1 кв.м. «теплої підлоги» для школи:

$$\text{Ток} = 3,14 + 0,8 \times \text{Стп}$$

Так, при вартості Ст.п = \$ 14, Ток = 3,14 + 0,8 x 14 = 14,3 років.

Отже, систему теплової помпи з тепловою підлогою поки можна рекомендувати для будинків, що знову будуються, де вартість теплої підлоги може бути меншою, а окупність рознесена на великий термін.

Таким чином, перевага теплових pomp перед другими джерелами теплозабезпечення незаперечна:

- ККД від 300 % до 700 %;
- для підтримки комфортної температури житла необхідно мінімум електроенергії;
- система довговічна;
- відсутність закупівлі, транспортування, зберігання палива;
- стійка робота системи;
- не потребує спеціальних приміщень;
- використання ТП з «тепловою підлогою» забезпечить більш комфортне розподілення тепла в приміщенні.

### **ВИСНОВКИ:**

1. Система опалювання радіаторна з тепловою помпою і використанням тепла стічних вод проста, економічна, має невеликий термін окупності (2,45...3 роки), порівняно дешева, оскільки не потребує ґрунтових робіт.

2. Система опалювання радіаторна з тепловою помпою, що використовує тепло навколишнього середовища (атмосферного повітря) проста, економічна, має термін окупності 10 років, порівняно дешева, оскільки не потребує ґрунтових робіт.

3. Система опалювання з тепловою помпою, що використовує тепло ґрунту, економічна, термін окупності 3,5 роки, більш дорога, ніж перші дві у зв'язку із наявністю ґрунтових робіт.

4. Система опалювання «тепла підлога» з тепловою помпою економічна, але дуже дорога у зв'язку із великими витратами безпосередньо на «теплу підлогу» і поки може бути рекомендована для будівель, що знову будуються.

5. Система опалювання з тепловою помпою – це екологічно чистий метод опалення та одержання теплої води без емісії CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> та інших викидів, які порушують озоновий шар та є причиною кислотних дощів. Також відсутні викиди у приміщенні, тому що нема спалювання речовин, а також не використовуються заборонені холодоагенти.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Стронський Л.М. Перспективи масштабного застосування тепло-помпових установок // Ринок інсталяційний. – 2002. – № 4-5.
2. Проект теплових насосов Therma.
3. Нагорный Н.А., Ризун И.Р., Сысоев В.Г., Теляшов Л.Л., Чернобрывец А.П. Использование тепловых насосов для отопления. Наукові праці. – 2007. – Випуск 48. – С. 62-68.
4. Промышленная энергетика и теплотехника. Под общей ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.
5. Смик В. Обігрівання без використання природного палива // Ринок інсталяційний. – 2004. – № 4.

Рецензенти: д.т.н., професор Радченко М.І.;  
к.т.н., доцент Сирота О.А.

© Франк Д.Б., Волосатов Г.О.,  
Нагорный М.О., Ризун И.Р.,  
Чернобрывец А.П., Ризун О.И., 2010

*Стаття надійшла до редколегії 10.04.2010 р.*