

УДК 621.577.4:697.34

Басок Б.І.<sup>1</sup>, Швець М.Ю.<sup>2</sup>, Барило А.А.<sup>2</sup>, Недбайло О.М.<sup>1</sup>, Ткаченко М.В.<sup>1</sup><sup>1</sup> Інститут технічної теплофізики НАН України<sup>2</sup> Інститут відновлюваної енергетики НАН України

## АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ БУДІВНИЦТВА ТЕПЛОНАСОСНОЇ СТАНЦІЇ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄ ТЕПЛОТУ СТИЧНИХ ВОД БОРТНИЦЬКОЇ СТАНЦІЇ АЕРАЦІЇ ДЛЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВИХ МІКРОРАЙОНІВ «ОСОКОРКИ» ТА «ПОЗНЯКИ» М. КИЄВА

Проаналізовано технічні характеристики будівництва і експлуатації теплонасосної станції з електричним та турбінним приводом, що використовує низькопотенційну теплоту стічних вод Бортницької станції аерації для теплопостачання житлових мікрорайонів «Осокорки» і «Позняки» м. Києва.

Проанализированы технические характеристики строительства и эксплуатации теплонасосной станции с электрическим и турбинным приводом, использующей низкопотенциальную теплоту сточных вод Бортнической станции аэрации для теплоснабжения жилых микрорайонов «Осокорки» и «Позняки» г. Киева.

There have been analyzed economical parameters needed to build and operate a heat-pump installation with electric and turbine drives. The installation is operated on the base of low potential sewage waters heat at Bortnychi aeration plant. The whole unit has been developed to provide heat supply in Osokorky and Poznyaky residential regions in Kyiv.

 $G$  – витрата; $S$  – ціна або собівартість; $E$  – витрата електроенергії; $Q$  – кількість виробленої теплової енергії; $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує витрати; $\Delta\tau_{\text{ок}}$  – додатковий термін окупності; $I$  – витрати на виробництво; $\Phi$  – річний фонд оплати праці.**Індекси верхні:** $i$  –  $i$ -й варіант;

рік – річні (в рік).

**Індекси нижні:**

ам – амортизація;

г – природний газ;

е – електроенергії;

о.п – оплати праці;

пр. – інші;

р – ремонт;

т – теплоти.

В останній час в зв'язку з дефіцитом теплогенеруючих потужностей зростають проблеми теплопостачання м. Києва. Особливо гострою є ситуація із забезпеченням теплою в районах, що обслуговує ТЕЦ-5 (частина правого берега Дніпра, мікрорайони Осокорки і Позняки). Для компенсації теплового дефіциту була ведена в експлуатацію перша черга станції теплопостачання «Позняки» потужністю 200 Гкал/год, в подальшому планується продовження її наступної черги будівництва із доведенням теплової потужності в 2015 році до 380 Гкал/год. Після 2015 року потужність станції збільшиться до 740 Гкал/год [1] за рахунок введення в експлуатацію ще двох

водогрійних котлів. В роботах [2-4] розглядалась можливість та з енергетичної точки зору була доведена доцільність будівництва теплових насосів (ТН) на електричному або турбінному приводі, що використовують низькопотенційну теплоту стічних вод Бортницької станції аерації для теплопостачання житлових мікрорайонів «Осокорки» та «Позняки» м. Києва, замість встановлення водогрійних котлів.

Метою даної роботи була необхідність проаналізувати економічні характеристики будівництва та експлуатації теплонасосної станції з електричним та турбінним приводом, а також водогрійної котельні для теплопоста-

чання житлових мікрорайонів «Осокорки» та «Позняки» м. Києва.

Розглянемо економічні характеристики використання різних варіантів теплоенергетичного обладнання необхідного для покриття теплових навантажень споживачів, які запропоновані в роботі [4] (рис.1):

**Варіант 1.** Водогрійні котли (КВГМ-100 – 2 шт, КВГМ-180 – 3 шт).

**Варіант 2.** 10 теплових насосів з електроприводом та водогрійні котли (КВГМ-100 – 2 шт, КВГМ-180 – 2 шт).

**Варіант 3.** 7 блоків теплонасосних установок з турбіною ПР-6-35/5/1,2 та водогрійні котли (КВГМ-100 – 2 шт, КВГМ-180 – 1 шт).

Річна кількість виробленої теплоти необхідної для покриття графіку теплових навантажень споживачів згідно з розрахунками становить 2378 тис. МВт·год (2050 тис. Гкал).

#### *Капіталовкладення*

В варіанті 1 вже запущено в дослідну експлуатацію два водогрійних котла КВГМ-100 та потребується побудова та введення в експлуатацію ще трьох водогрійних котлів КВГМ-180 з орієнтовною вартістю по 150 млн. грн. кожен. Сумарні капіталовкладення – близько 450 млн. грн.

При варіанті 2 вже запущено в дослідну експлуатацію два водогрійних котла КВГМ-100 та потребується побудова та здача в експлуатацію 10 теплових насосів з електроприводом та електричної підстанції на 80 МВА та двох водогрійних котлів КВГМ-180. Орієнтовна вартість обладнання та будівництва – біля 1200 млн. грн.

При варіанті 3 вже запущено в дослідну експлуатацію два водогрійних котла КВГМ-100 та потребується побудова та здача в експлуатацію 7 блоків теплонасосних установок з турбіною ПР-6-35/5/1,2 та водогрійного котла КВГМ-180. Перелік основного необхідного обладнання для будівництва 7 блоків теплонасосних установок: парові котли – БКЗ-75-39-ГМ (2 шт.) та БКЗ-100-39-ГМ (3 шт.); турбіни – ПР-6-35/5/1,2 (7 шт.); теплові та живильні насоси – ПЕ-100-56 (6 шт); конденса-

сатні насоси – 12 шт.; підігрівачі живильної води – ПВ-30 (7 шт.); деаератори – ДСА 300/100 (2 шт.); підігрівачі мережної води – ПСВ 200-7-15 (10 шт.); система водопідготовки. Орієнтовна вартість будівництва першого блоку біля 250 млн. грн., а другого та наступного – 125 млн. грн. Орієнтовна вартість побудови та здачі в експлуатацію 7 блоків теплонасосних установок та водогрійного котла КВГМ-180 – біля 1150 млн. грн.

#### *Амортизація*

Термін експлуатації всіх варіантів складає 25 років та амортизація – 4 відсотки від капіталовкладень.

#### *Витрати на ремонти*

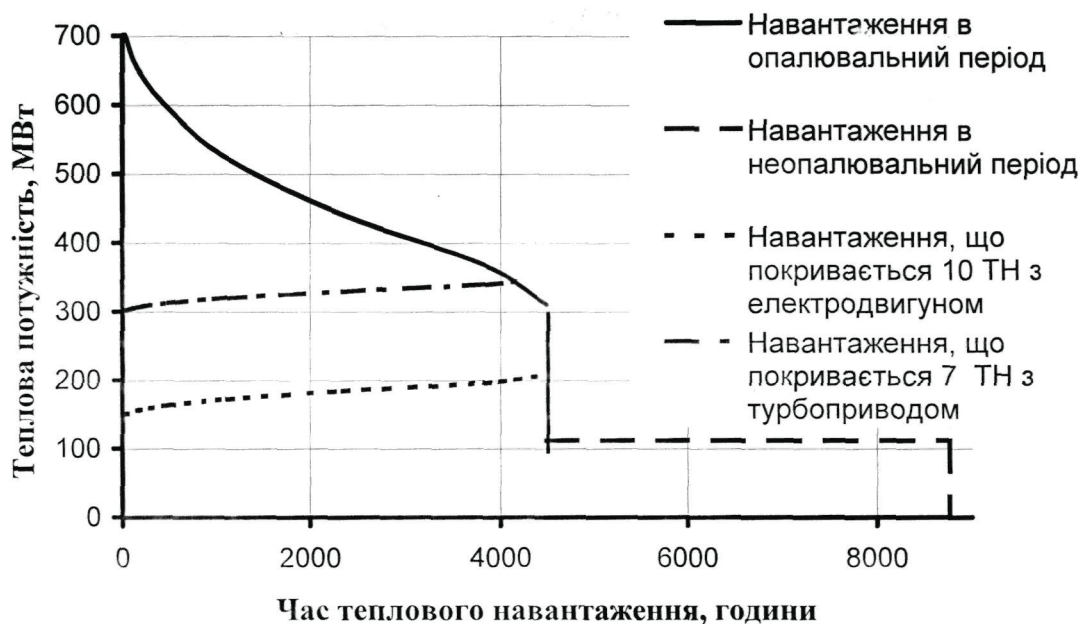
Для першого та третього варіанту приймаються 4 відсотки від капіталовкладень, а для другого варіанту приймаються 2 відсотки від капіталовкладень, так як витрати на ремонти електричного обладнання нижчі, ніж для тепломеханічного.

#### *Експлуатаційні витрати*

Варіант 1. Річна витрата газу на покриття графіка навантажень з ККД водогрійних котлів 93% та теплою згоряння 35,5 МДж/м<sup>3</sup> – 259 млн. м<sup>3</sup>. Електроспоживання на мережні насоси та власні потреби в опалювальний період оцінюється в 10 МВт, а неопалювальний – 4 МВт. Річне електроспоживання – 60 тис. МВт·год.

Варіант 2. Річна витрата газу та часткове покриття графіка навантажень водогрійними котлами – 118 млн. м<sup>3</sup>. Електроспоживання на теплові та мережні насоси та власні потреби в опалювальний період оцінюється в 74 МВт, а в неопалювальний – 42 МВт. Річне електроспоживання – 500 тис. МВт·год.

Варіант 3. Річна витрата газу на роботу парових котлів та часткове покриття графіка навантажень водогрійними котлами – 197 млн. м<sup>3</sup>. Електроспоживання на мережні насоси та власні потреби в опалювальний період оцінюється в 14 МВт, а в неопалювальний – 5,6 МВт. Річне електроспоживання – 84 тис. МВт·год.



**Рис. 1.** Графік теплових навантажень споживачів ТМ №6 ТЕЦ-5 на 2020 рік та розрахунку частину теплових навантажень, що може бути покрита 10 тепловими насосами Unitor 50FY з електроприводом чи 7 блоками теплонасосних установок з турбіною ПР-6-35/5/1,2 [4].

#### Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу

Варіант 1. Необхідна кількість персоналу розраховується по питомій кількості персоналу для котельних згідно рекомендацій [5], та становить для котельних потужністю понад 2500 ГДж/год. – 0,024 людини/(ГДж/год.). Тоді для варіанту 1 необхідна кількість персоналу – 75 чоловік. При розрахунках середньорічний фонд заробітної плати згідно [5] приймається 150 мінімальних місячних оплат праці (на 1.07.2012 року складає 1102 грн.). Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу складає біля 12 млн. грн.

Варіант 2. Кількість персоналу та витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу дорівнює кількості персоналу та витратам на заробітну плату для котельної аналогічної потужності. Для даного варіанту розрахована кількість персоналу – 75 чоловік. Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу становлять біля 12 млн. грн.

Варіант 3. Кількість персоналу розрахову-

ється як сума персоналу на обслуговування водогрійних котлів – 40 чоловік та блоків ТНУ з турбіною (згідно [5] – 3 люд./МВт) – 95 чоловік. Сумарна кількість персоналу – 135 чоловік. Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу складають біля 21 млн. грн.

В табл. 1 наведено розрахункові техніко-економічні характеристики теплоенергетичного обладнання на покриття теплових навантажень споживачів при використанні: варіант 1 (водогрійних котлів КВГМ-100 – 2 шт, КВГМ-180 – 3 шт); варіант 2 (10 теплових насосів з електроприводом та водогрійних котлів КВГМ-100 – 2 шт, КВГМ-180 – 2 шт); варіант 3 (7 блоків теплонасосних установок з турбіною ПР-6-35/5/1,2 та водогрійних котлів КВГМ-100 – 2 шт, КВГМ-180 – 1 шт).

Знайдемо сумарні річні витрати на виробництво теплоти  $I_T$ , грн./рік для різних варіантів теплоенергетичного обладнання на покриття теплових навантажень споживачів по формулі:

$$I_T = G_T^{\text{рік}} \cdot S_T + E^{\text{рік}} \cdot S_e + \alpha_{\text{ам}} + \alpha_p + \Phi_{\text{о.п}}^{\text{рік}} \cdot (1 + \alpha_{\text{пр}}), \quad (1)$$

Таблиця 1. Розрахункові техніко-економічні характеристики теплоенергетичного обладнання на покриття теплових навантажень споживачів

Параметр	Теплоенергетичне обладнання		
	варіант 1	варіант 2	варіант 3
Встановлена потужність, МВт	850	840	850
Річна кількість виробленої теплоти, тис. МВт·год (тис. Гкал)	2378 (2050)		
Капіталовкладення, млн. грн.	450	1200	1150
Амортизація (4 %), млн. грн.	18	48	46
Річні витрати на ремонти, млн. грн.	18	24	46
Витрата газу в рік, млн. м <sup>3</sup>	259	118	197
Річна витрата електроенергії, тис. МВт·год	60	500	84
Кількість персоналу, чол.	75	75	135
Річний фонд оплати праці, млн. грн	12	12	21

де  $G_{\Gamma}^{\text{рік}}$  – витрата газу в рік, тис. м<sup>3</sup>;  $S_{\Gamma}$  – ціна природного газу, грн./тис. м<sup>3</sup>;  $E^{\text{рік}}$  – річна витрата електроенергії на власні потреби, МВт·год.;  $S_e$  – ціна електроенергії, грн./(МВт·год.);  $\alpha_{\text{ам}}$  – річна амортизація обладнання, грн.;  $\alpha_p$  – річні витрати на ремонти обладнання, грн.;  $\Phi_{\text{оп}}$  – річний фонд оплати праці, грн.;  $\alpha_{\text{пр}}$  – коефіцієнт, що враховує сумарні інші витрати (приймається 0,5).

Собівартість теплоти  $S_T$ , грн./Гкал визначається по формулі:

$$S_T = I_T / Q^{\text{рік}} \quad (2)$$

На рис. 2 приведено розрахункову собівартість теплоти  $S_T$ , грн./(МВт·год.)<sub>T</sub> згідно формул (1, 2), при різних цінах природного газу, грн./тис. м<sup>3</sup> та електроенергії, грн./(МВт·год.) при використанні різного теплоенергетичного обладнання на покриття теплових навантажень споживачів: варіант 1 (водогрійних котлів КВГМ-100 – 2 шт, КВГМ-180 – 3 шт); варіант 2 (10 теплових насосів з електроприводом та водогрійних котлів КВГМ-100 – 2 шт, КВГМ-180 – 2 шт); варіант 3 (7 блоків теплонасосних установок з турбіною ПР-6-35/5/1,2 та водогрійних котлів КВГМ-100 – 2 шт, КВГМ-180 – 1 шт).

Для промислових споживачів тариф на електроенергію ПАТ «Київенерго» на 1.07.2012

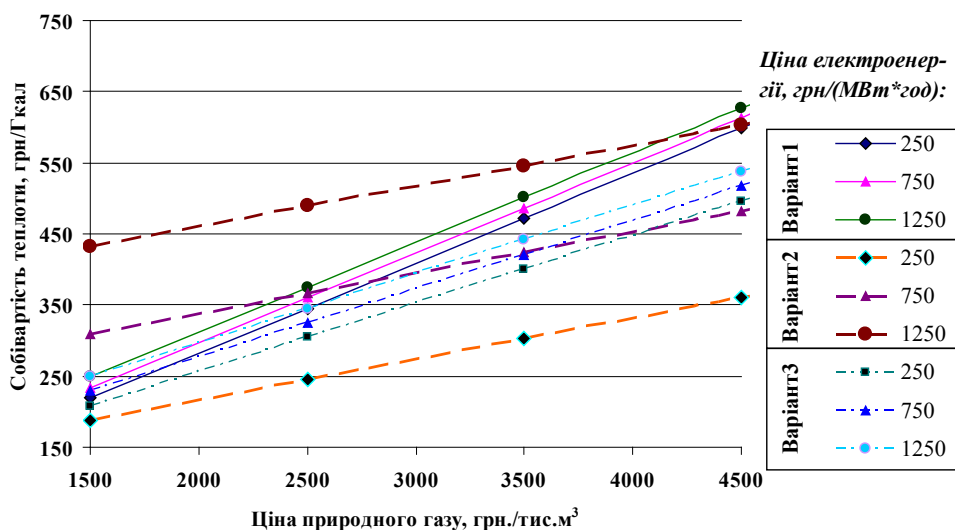
складає 743,7 грн./(МВт·год.) для I класу напруги та 946,7 для II класу напруги, а теплоту – 800,61 грн./Гкал. Вартість газу для промислових споживачів складає 3885 грн./тис. м<sup>3</sup>. При тарифах на газ та електроенергію, що діють для промисловості, собівартість теплоти для першого варіанту становить 530 грн./Гкал; другого – 440 грн./Гкал; третього – 470 грн./Гкал.

Оцінемо термін окупності додатково вкладених коштів необхідних для будівництва 10-ти теплових насосів з електроприводом та водогрійних котлів (КВГМ-180 – 2 шт) та 7-ми блоків теплонасосних установок з турбіною ПР-6-35/5/1,2 та водогрійного котла (КВГМ-180 – 1 шт) в порівнянні з будівництвом трьох водогрійних котлів КВГМ-180 в результаті зменшення собівартості теплоти за формулою:

$$\Delta \tau_{\text{ок}}^i = (K^i - K^1) / (I_T^1 - I_T^i + \alpha_{\text{ам}}^i - \alpha_{\text{ам}}^1), \quad (3)$$

де  $I_T$  – сумарні річні витрати на виробництво теплоти, грн./рік;  $K$  – капіталовкладення, грн.;  $\alpha_{\text{ам}}$  – річна амортизація обладнання, грн.;  $i$  –  $i$ -й варіант.

При тарифах на газ (3885 грн./тис. м<sup>3</sup>) та електроенергію (743,7 грн./(МВт·год.)), що діють для промисловості, термін окупності додатково вкладених коштів для другого та третього варіанту складе 3,7 та 4,1 років відповідно.



**Рис. 2.** Собівартість теплоти при різних цінах природного газу та електроенергії при використанні різного теплоенергетичного обладнання на покриття теплових навантажень споживачів.

### Висновки

Розрахунки показують доцільність будівництва ТН з турбоприводом, а також електроприводом в порівнянні з водогрійними котлами. Собівартість виробленої теплоти ТН на електричному та турбінному приводі нижча від собівартості теплоти, виробленої водогрійними котлами при існуючих цінах на енергоносії для промисловості. Термін окупності додатково вкладених коштів, необхідних для будівництва ТН на електричному та турбінному приводі, складе 3,9 та 4,4 років відповідно.

Найвигідніше з енергетичної точки зору будувати ТН з турбоприводом, але це потребує великих витрат на введення в експлуатацію першого блоку (250 млн. грн.), тоді як будівництво першого агрегату ТН з електроприводом обійдеться в 90 млн. грн.

При подальшому зростанні цін на газ рентабельність будівництва ТН з турбоприводом та електроприводом буде збільшуватися. Також можливо збільшення рентабельності будівництва ТН з електроприводом при впровадженні спеціальної ціни на електричну енергію для теплових насосів, які вироблятимуть теплоту для населення.

### ЛІТЕРАТУРА

- <http://kyivenergo.ua>
- Швец М.Ю., Басок Б.И., Недбайло А.Н. Использование низкопотенциальной теплоты сточных вод в системе теплоснабжения жилых микрорайонов «Осокорки» и «Позняки» г. Киева // Пром. теплотехника. – 2011. – Т. 33. – № 7. – С. 86-87.
- Басок Б.И., Швец М.Ю. та інші. Використання низкопотенційної теплоти стічних вод Бортницької станції аерації для теплопостачання житлових микрорайонів «Осокорки» і «Позняки» м. Києва // Пром. теплотехника. – 2011. – Т. 33. – № 8. – С. 144-148.
- Басок Б.И., Швец М.Ю. та інші. Аналіз технічних характеристики теплонасосної станції, що використовують низкопотенційну теплоту стічних вод Бортницької станції аерації для теплопостачання житлових микрорайонів «Осокорки» і «Позняки» м. Києва. // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 33. – № 6. – С. 58-63.
- Теплоэнергетика и теплотехника: Общие вопросы: Справочник / Под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – 3-е изд., перераб. – М.: МЭИ, 1999. – 528 с.

Получено 30.07.2012 г.