

О. П. Остапенко, к. т. н., доц.; О. В. Бакум

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОНАСОСНИХ СТАНЦІЙ ЗА УМОВ ЗМІНИ ВАРТОСТІ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ТА ЗМІННИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

Проаналізовано економічну ефективність теплонасосних станцій (ТНС) з різними джерелами низькотемпературної теплоти для промисловості та муніципальної теплоенергетики за умов зміни вартості паливно-енергетичних ресурсів і змінних режимів роботи. Представлені рекомендації можна використати для прогнозування умов ефективної інтеграції ТНС у системи тепlopостачання підприємств промисловості та муніципальної теплоенергетики.

Ключові слова: економічна ефективність, теплонасосна станція, теплонасосна установка, вартість паливно-енергетичних ресурсів.

Вступ

Значний потенціал можливої економії паливно-енергетичних ресурсів від застосування теплових насосів в Україні та екологічні переваги стимулюють упровадження теплонасосних станцій (ТНС) у промисловість і муніципальну енергетику. Для економічно ефективної роботи ТНС потрібно сприятливе співвідношення цін на паливо та електроенергію, що характерно лише для теплових насосів з електроприводом. Економічна ефективність та окупність ТНС з приводом від газопоршневого двигуна (ГПД) не залежить від вартості електроенергії, а залежить лише від вартості палива.

На енергетичному ринку України спостерігаємо суттєву різницю у вартості природного газу для промислових підприємств та підприємств муніципальної теплоенергетики. Це зумовлює значну різницю у економічній ефективності від упровадження теплонасосних станцій у промисловість і муніципальну теплоенергетику та необхідність здійснення оцінки економічної ефективності.

За останні роки проведено низку досліджень з ефективності застосування теплонасосних установок (ТНУ) у теплових схемах джерел енергопостачання. У роботі [1] авторами виконано дослідження з підвищення енергоефективності джерел тепlopостачання шляхом використання ТНУ з урахуванням впливу схемних рішень і режимів роботи. Оцінку ефективності ТНС здійснювали за такими критеріями: економія палива порівняно з наявною схемою, річні витрати на паливо та електроенергію, капіталовкладення, собівартість одиниці теплоти, термін окупності, річні приведені витрати та прибуток.

У [2] визначали економічні показники систем тепlopостачання з ТНУ в умовах економіки Росії. Розрахунки проводили для різних співвідношень ціни на паливо (газ, вугілля) та електроенергію. У дослідженні [2] запропоновано такі критерії оцінки економічної ефективності: інтегральний ефект (чистий прибуток), індекс дохідності (прибутковості) і термін окупності капіталовкладень. У [3] розглядають схеми використання ТНУ на промислових електростанціях. У дослідженні [4] проаналізовано ефективність ТНС з електроприводом та з приводом від газотурбінної установки і котлом-утилізатором.

Авторами [5] проведено порівняльні дослідження трьох систем енергопостачання за собівартістю теплоти (на основі газового котла, теплового насоса та когенераційної установки з тепловим насосом) за умови зміни вартості електроенергії та газу для різних груп споживачів. Ураховували вартість газу та електроенергії лише для соціально-бюджетної та житлово-

комунальної сфери. Запропоновані результати одержано лише для наявних цін на електроенергію, тому не дозволяють здійснити оцінку ефективності застосування ТНУ у разі зміни ціни на паливно-енергетичні ресурси.

У роботі [6] проведено оцінку ефективності чотирьох джерел теплопостачання потужністю 3 МВт на основі електрокотла, паливного котла (газ, рідке паливо) та теплонасосної установки. В основу економічних моделей покладено середні показники вартості паливно-енергетичних ресурсів в Україні. У роботі [7] проведено оцінку енергоефективності теплонасосної установки малої потужності порівняно з традиційними джерелами теплопостачання на основі електричного та газового котлів.

У дослідженні [8] здійснено оцінку економічної ефективності ТНС потужністю 1 МВт для систем теплопостачання з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора ТНУ та цін на енергоносії. Досліджували економічну ефективність і просту окупність варіантів ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти та видами приводу компресора ТНУ. Здійснено оцінку економічної ефективності ТНС за поточних значень вартості енергоносіїв та прогнозованого підвищення їхньої вартості найближчим часом. У дослідженні [8] не враховано вплив змінних режимів роботи ТНС на показники економічної ефективності.

У публікаціях [1, 8, 9] визначено енергетичні та економічні передумови ефективної інтеграції ТНС у системи теплопостачання промислових підприємств і підприємств муніципальної енергетики в Україні.

У роботі [10] оцінено енергетичну, екологічну та економічну ефективність ТНС з різними видами приводу компресора на природних та промислових джерелах низькотемпературної теплоти з урахуванням змінних режимів роботи систем теплопостачання в широкому діапазоні зміни потужності ТНУ. У дослідженні [10] не враховано вплив зміни вартості паливно-енергетичних ресурсів на показники економічної ефективності ТНС.

У роботах [1 – 10] авторами не здійснено оцінку економічної ефективності ТНС з різними видами приводу в системах теплопостачання промислових підприємств і підприємств муніципальної теплоенергетики за умов зміни вартості палива та електроенергії для змінних режимів роботи ТНС.

Метою дослідження є оцінка економічної ефективності теплонасосних станцій в Україні за умов зміни вартості паливно-енергетичних ресурсів та змінних режимів роботи ТНС; аналіз економічної ефективності ТНС у промисловості та муніципальній теплоенергетиці; проведення оптимізаційних техніко-економічних досліджень з метою визначення оптимальних економічних умов застосування ТНС у системах теплопостачання промислових підприємств і підприємств муніципальної теплоенергетики.

Основна частина

Дослідження проводили методом математичного моделювання роботи ТНС з використанням програми в середовищі Excel. Досліджували економічну ефективність ТНС з максимальною потужністю 10 МВт в опалювальний сезон, максимальна потужність ТНС у режимі роботи для гарячого водопостачання становила 2 МВт. За порівняльний варіант брали варіант роботи водогрійної котельні такої ж потужності. Досліджували економічну ефективність ТНС з електроприводом та приводом компресора від ГПД. Схеми зазначених ТНС наведено в роботі [1].

Джерелами низькотемпературної теплоти для ТНС були: поверхневі води, вода системи оборотного водопостачання, ґрунтові води, геотермальні води, повітря, вторинні енергоресурси (ВЕР), каналізаційні стічні води та теплота ґрунту. Характеристику джерел низькотемпературної теплоти наведено в роботі [10].

Енергетичну та економічну ефективність ТНС значною мірою визначають оптимальним розподілом навантаження між теплонасосною установкою та водогрійним котлом у складі

ТНС. Цей розподіл характеризується часткою навантаження ТНУ у складі ТНС β , яку визначають як відношення потужності конденсатора ТНУ до потужності ТНС $\beta = \frac{Q_{тну}}{Q_{тнс}}$.

На основі аналізу результатів проведених досліджень визначено оптимальні значення показника β для ТНС на різних джерелах теплоти з різними видами приводу компресора ТНУ за змінних режимів роботи теплової мережі. Кожному із цих режимів відповідає певне значення теплових потужностей ТНС, ТНУ та частки навантаження ТНУ β . Результати досліджень енергетичної ефективності ТНС за умови змінних режимів роботи наведено в роботі [11].

Економія умовного та робочого палива від упровадження ТНС значною мірою зумовлена оптимально підібраними режимами роботи ТНС, раціональним розподілом навантаження між водогрійним котлом та ТНУ, отже, оптимальним значенням частки навантаження ТНУ у складі ТНС β . На основі визначених значень частки навантаження ТНУ β визначають економію умовного та робочого палива ТНС для певного режиму роботи системи теплопостачання.

Економічну ефективність від упровадження ТНС визначають як різницю експлуатаційних витрат заміщеної водогрійної котельні та ТНС. До експлуатаційних витрат під час роботи водогрійної котельні або ТНС належать: витрати на паливо, електроенергію, воду, амортизацію обладнання та поточний ремонт, заробітну плату та інші витрати. Найвагомішою складовою в структурі експлуатаційних витрат та собівартості теплової енергії є витрати на паливо (для котельних та ТНС з приводом від газопоршневого двигуна) та електричну енергію (для ТНС з електроприводом). Крім того, значний вплив на енергетичну і, як наслідок, економічну ефективність ТНС чинять режими роботи ТНС та температурний рівень обраного джерела низькотемпературної теплоти.

Для випадків змінних режимів роботи та змінного теплового навантаження ТНС протягом року середньорічне значення відносної економічної ефективності ТНС (у відсотках) може бути визначене так:

$$\Delta E_{\text{сеп.річ.}} = \frac{\sum_i \Delta E_i \cdot \tau_i}{\tau_{\text{річ.}}}, \quad (1)$$

де ΔE_i – відносна економічна ефективність ТНС для i -го режиму роботи ТНС, %; τ_i – тривалість i -го режиму роботи ТНС, год./рік; $\tau_{\text{річ.}}$ – річна тривалість роботи ТНС, год./рік.

Відносна економічна ефективність ТНС (у відсотках) для i -го режиму роботи може бути визначена так:

$$\Delta E_i = \frac{(E_{\text{кот}})_i - (E_{\text{тнс}})_i}{(E_{\text{кот}})_i} \cdot 100, \quad (2)$$

де $(E_{\text{кот}})_i$ – експлуатаційні витрати для i -го режиму роботи заміщеної котельні, грн./рік; $(E_{\text{тнс}})_i$ – експлуатаційні витрати для i -го режиму роботи ТНС, грн./рік.

Дослідження економічної ефективності проводили за укрупненими показниками. Для різних джерел теплоти в ТНС не враховували витрати на спорудження систем відбору теплоти від низькотемпературного джерела.

Застосування теплових насосів зумовлює зменшення забруднення навколишнього середо-

вища та скорочення шкідливих викидів у атмосферу. Залучення коштів від продажу квот на викиди CO₂, згідно з Кіотським протоколом, дозволить підвищити економічну ефективність упровадження ТНС та скоротити термін окупності останніх. У дослідженні враховано, що додаткові кошти від продажу квот на викиди CO₂ становлять 20 \$/т викидів.

Зважаючи на сучасну складну ситуацію в паливно-енергетичному комплексі країни та тенденцію до зростання цін на паливно-енергетичні ресурси, дослідження економічної ефективності ТНС проводили для поточних значень вартості енергоресурсів у промисловості та муніципальній теплоенергетиці та з урахуванням прогнозованого підвищення вартості природного газу для промислових підприємств у найближчий період. Значення вартості паливно-енергетичних ресурсів, для яких проводили дослідження, показано в табл. 1.

Таблиця 1

Вартість паливно-енергетичних ресурсів

Значення вартості паливно-енергетичних ресурсів	Сфера впровадження ТНС		
	Муніципальна теплоенергетика (ціни станом на 01.03.2014) [12]	Промисловість (ціни станом на 01.03.2014) [12]	Промисловість (ціни станом на 01.12.2013) [12], (прогноз на 2014 р.)
Ціна на електроенергію, грн./кВт·год	1,239	1,239	1,239
Ціна на природний газ, грн./тис. м ³	2296,32	4201,512	4876,08

У табл. 1 наведено значення вартості паливно-енергетичних ресурсів у промисловості та муніципальній теплоенергетиці станом на 01.03.2014. Тут для порівняння зазначена вартість природного газу для промислових підприємств станом на 01.12.2013, оскільки, за прогнозними оцінками, у другому кварталі 2014 року можливе встановлення нової ціни на природний газ на рівні ціни 2013 року.

Нами здійснено оцінку відносної економічної ефективності ТНС з різними видами приводу та джерелами низькотемпературної теплоти за умов зміни вартості паливно-енергетичних ресурсів та змінних режимів роботи ТНС.

У табл. 2 показано значення відносної економічної ефективності для ТНС з електроприводом на теплоті стічних вод залежно від частки навантаження ТНУ за умов змінних режимів роботи та вартості паливно-енергетичних ресурсів. З табл. 2 видно, що за ціни природного газу 2296,3 грн./тис. м³ для підприємств муніципальної теплоенергетики такий варіант ТНС є збитковим, на що вказують від'ємні значення відносної економічної ефективності. За ціни природного газу в промисловості від 4201,512 до 4876,08 грн./тис. м³ (за прогнозними оцінками) буде забезпечено відносну економічну ефективність такого варіанту ТНС.

У табл. 3 показано значення відносної економічної ефективності для ТНС з електроприводом на теплоті оборотної води залежно від частки навантаження ТНУ за умов змінних режимів роботи та вартості паливно-енергетичних ресурсів. Тут ми фіксуємо характер зміни показників відносної економічної ефективності ТНС, аналогічний до попередніх результатів, показаних у табл. 2. Для цього варіанту ТНС суттєві значення відносної економічної ефективності буде забезпечено за ціни природного газу від 4201,512 грн./тис. м³ і вище. Отже, цей варіант ТНС буде економічно ефективним лише в промисловості.

Таблиця 2

Значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті стічних вод з електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Відносна економічна ефективність ТНС ΔE_i , %		
	Муніципальна теплоенергетика	Промисловість	Промисловість (прогноз)
0,158	-5,442	2,413	3,722
0,187	-8,122	3,568	5,517
0,217	-10,802	4,724	7,312
0,246	-13,482	5,879	9,107
0,315	-10,885	4,825	7,445
0,344	-13,565	5,981	9,240
0,374	-16,244	7,136	11,035
0,472	-16,327	7,238	11,167
0,502	-19,007	8,393	12,962
0,629	-21,769	9,651	14,890

Таблиця 3

Значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті оборотної води з електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Відносна економічна ефективність ТНС ΔE_i , %		
	Муніципальна теплоенергетика	Промисловість	Промисловість (прогноз)
0,158	0,119	5,452	6,341
0,187	-0,190	7,903	9,253
0,217	-0,499	10,355	12,165
0,246	-0,808	12,806	15,076
0,315	0,237	10,904	12,683
0,344	-0,071	13,355	15,594
0,374	-0,380	15,807	18,506
0,472	0,356	16,356	19,024
0,502	0,047	18,807	21,936
0,629	0,475	21,808	25,365

У табл. 4 показано значення відносної економічної ефективності для ТНС з електроприводом на теплоті ґрунту залежно від частки навантаження ТНУ за умов змінних режимів роботи та вартості паливно-енергетичних ресурсів. Із табл. 4 видно, що за ціни природного газу 2296,3 грн./тис. м³ для підприємств муніципальної теплоенергетики такий варіант ТНС є збитковим, про що свідчать від'ємні значення відносної економічної ефективності. За ціни природного газу в промисловості від 4201,512 до 4876,08 грн./тис. м³ (за прогнозними оцінками) буде забезпечена незначна відносна економічна ефективність такого варіанту ТНС, яка може збільшитись у разі подальшого зростання вартості природного газу.

Таблиця 4

**Значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті ґрунту
з електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ, %**

Частка навантаження ТНУ β	Відносна економічна ефективність ТНС ΔE_i , %		
	Муніципальна теплоенергетика	Промисловість	Промисловість (прогноз)
0,158	-8,994	0,472	2,050
0,187	-13,967	0,374	2,765
0,217	-18,939	0,276	3,480
0,246	-23,912	0,178	4,195
0,315	-17,987	0,943	4,100
0,344	-22,960	0,846	4,815
0,374	-27,933	0,748	5,530
0,472	-26,981	1,415	6,150
0,502	-31,954	1,317	6,865
0,629	-35,974	1,887	8,200

У табл. 5 показано значення відносної економічної ефективності для ТНС з електроприводом на теплоті повітря залежно від частки навантаження ТНУ за умов змінних режимів роботи та вартості паливно-енергетичних ресурсів. Тут ми фіксуємо характер зміни показників відносної економічної ефективності ТНС, аналогічний до попередніх результатів, показаних у табл. 4. Для цього варіанту ТНС суттєві значення відносної економічної ефективності ТНС будуть забезпечені за ціни природного газу понад 4876,08 грн./тис. м³. Такий варіант ТНС буде економічно ефективним лише у промисловості за умови подальшого зростання вартості палива. У такому разі доцільніше обрати інший варіант ТНС (з іншим джерелом низькотемпературної теплоти та іншим видом приводу), що забезпечуватиме високу економічну ефективність.

Таблиця 5

**Значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті повітря
з електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ, %**

Частка навантаження ТНУ β	Відносна економічна ефективність ТНС ΔE_i , %		
	Муніципальна теплоенергетика	Промисловість	Промисловість (прогноз)
0,158	-7,803	1,122	2,611
0,187	-12,776	1,025	3,326
0,217	-17,749	0,927	4,041
0,246	-22,722	0,829	4,756
0,315	-15,606	2,245	5,221
0,344	-20,579	2,147	5,936
0,374	-25,552	2,049	6,652
0,472	-23,409	3,367	7,832
0,502	-28,382	3,269	8,547
0,629	-31,212	4,490	10,443

У табл. 6 показано значення відносної економічної ефективності для ТНС з електроприводом на теплоті поверхневої води залежно від частки навантаження ТНУ за умов змінних режимів роботи та вартості паливно-енергетичних ресурсів. Для цього варіанту ТНС буде забезпечено аналогічний до попередніх результатів характер зміни показників відносної економічної ефективності ТНС (див. табл. 5). Але відносна економічна ефективність такого варіанту ТНС за високої ціни природного газу в промисловості (від 4876,08 грн./тис. м³) є істотною, ніж у попередньому варіанті. Указаний варіант ТНС буде економічно ефективним лише у промисловості за умови вартості природного газу від 4876,08 грн./тис. м³.

У табл. 7 показано значення відносної економічної ефективності для ТНС з електроприводом на теплоті ґрунтових вод залежно від частки навантаження ТНУ за умов змінних режимів роботи та вартості паливно-енергетичних ресурсів. Тут ми фіксуємо характер зміни показників відносної економічної ефективності ТНС, аналогічний до попередніх результатів, показаних у табл. 6. Як і в попередньому випадку, цей варіант ТНС буде економічно ефективним лише у промисловості за умови вартості природного газу від 4876,08 грн./тис. м³.

Таблиця 6

Значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті поверхневої води з електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Відносна економічна ефективність ТНС ΔE_i , %		
	Муніципальна теплоенергетика	Промисловість	Промисловість (прогноз)
0,158	-5,467	2,517	3,849
0,187	-8,485	3,480	5,476
0,217	-11,502	4,443	7,102
0,246	-14,520	5,407	8,729
0,315	-11,268	4,718	7,384
0,344	-14,285	5,681	9,011
0,374	-17,303	6,645	10,638
0,472	-17,068	6,919	10,919
0,502	-20,086	7,882	12,546
0,629	-22,868	9,120	14,454

Таблиця 7

Значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті ґрунтових вод з електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Відносна економічна ефективність ТНС ΔE_i , %		
	Муніципальна теплоенергетика	Промисловість	Промисловість (прогноз)
0,158	-5,828	2,202	3,541
0,187	-8,827	3,183	5,186
0,217	-11,825	4,164	6,831
0,246	-14,824	5,146	8,476
0,315	-11,657	4,403	7,081
0,344	-14,655	5,385	8,726
0,374	-17,654	6,366	10,371
0,472	-17,485	6,605	10,622
0,502	-20,484	7,586	12,267
0,629	-23,314	8,806	14,162

У табл. 8 показано значення відносної економічної ефективності для ТНС з електроприводом на теплоті геотермальних вод залежно від частки навантаження ТНУ за умов змінних режимів роботи та вартості паливно-енергетичних ресурсів. Для цього варіанту ТНС суттєві значення відносної економічної ефективності буде забезпечено у всьому діапазоні зміни вартості природного газу. Отже, такий варіант ТНС буде економічно ефективним у муніципальній теплоенергетиці та в промисловості.

Таблиця 8

Значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті геотермальних вод з електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Відносна економічна ефективність ТНС ΔE_i , %		
	Муніципальна теплоенергетика	Промисловість	Промисловість (прогноз)
0,158	6,580	8,984	9,384
0,187	9,131	12,998	13,643
0,217	11,682	17,012	17,901
0,246	14,232	21,026	22,159
0,315	13,161	17,967	18,769
0,344	15,711	21,981	23,027
0,374	18,262	25,996	27,285
0,472	19,741	26,951	28,153
0,502	22,292	30,965	32,411
0,629	26,321	35,934	37,537

У табл. 9 показано значення відносної економічної ефективності для ТНС з електроприводом на теплоті ВЕР залежно від частки навантаження ТНУ за умов змінних режимів робо-

ти та вартості паливно-енергетичних ресурсів. Тут ми фіксуємо високі значення відносної економічної ефективності ТНС у всьому діапазоні зміни вартості природного газу в промисловості та муніципальній теплоенергетиці за умов змінних режимів роботи.

У табл. 10 наведено значення відносної економічної ефективності для ТНС з приводом від ГПД на теплоті стічної води залежно від частки навантаження ТНУ за умов змінних режимів роботи та вартості паливно-енергетичних ресурсів. Як видно з табл. 10, для різних значень вартості природного газу забезпечено суттєву відносну економічну ефективність цього варіанту ТНС. Слід зазначити, що відносна економічна ефективність варіантів ТНС з приводом від ГПД мало змінюється залежно від вартості палива.

Таблиця 9

Значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті ВЕР з електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Відносна економічна ефективність ТНС ΔE_i , %		
	Муніципальна теплоенергетика	Промисловість	Промисловість (прогноз)
0,158	11,456	13,059	13,326
0,187	10,759	13,888	14,409
0,217	13,564	18,041	18,787
0,246	16,370	22,194	23,165
0,315	15,908	19,469	20,062
0,344	18,713	23,622	24,441
0,374	21,518	27,775	28,819
0,472	23,862	29,203	30,094
0,502	26,667	33,356	34,472
0,629	31,816	38,937	40,125

Таблиця 10

Значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті стічної води з приводом від ГПД залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Відносна економічна ефективність ТНС ΔE_i , %		
	Муніципальна теплоенергетика	Промисловість	Промисловість (прогноз)
0,158	4,190	4,575	3,942
0,187	7,217	7,879	6,789
0,217	10,613	11,587	9,984
0,246	14,450	15,777	13,595
0,315	10,431	11,389	9,813
0,344	13,827	15,096	13,008
0,374	17,664	19,287	16,618
0,472	17,658	19,279	16,612
0,502	21,495	23,469	20,222
0,629	26,276	28,689	24,720

У табл. 11 показано значення відносної економічної ефективності для ТНС з приводом від ГПД на теплоті оборотної води залежно від частки навантаження ТНУ за умов змінних режимів роботи та вартості паливно-енергетичних ресурсів. Тут ми фіксуємо високі значення відносної економічної ефективності ТНС у всьому діапазоні зміни вартості природного газу в промисловості та муніципальній теплоенергетиці за умов змінних режимів роботи.

Таблиця 11

Значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті оборотної води з приводом від ГПД залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Відносна економічна ефективність ТНС ΔE_i , %		
	Муніципальна теплоенергетика	Промисловість	Промисловість (прогноз)
0,158	5,953	5,651	5,600
0,187	9,711	9,218	9,136
0,217	13,194	12,524	12,412
0,246	18,067	17,150	16,997
0,315	13,749	13,051	12,935
0,344	17,232	16,357	16,211
0,374	22,105	20,983	20,796
0,472	21,704	20,602	20,419
0,502	26,577	25,228	25,003
0,629	31,715	30,106	29,837

У табл. 12 наведено значення відносної економічної ефективності для ТНС з приводом від ГПД на теплоті ґрунту залежно від частки навантаження ТНУ за умов змінних режимів роботи та вартості паливно-енергетичних ресурсів. Для цього варіанту забезпечено нижчі, ніж для двох попередніх варіантів ТНС з приводом від ГПД (див. табл. 10 та 11), значення відносної економічної ефективності ТНС у всьому діапазоні зміни вартості природного газу в промисловості та муніципальній теплоенергетиці.

Таблиця 12

Значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті оборотної води з приводом від ГПД залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Відносна економічна ефективність ТНС ΔE_i , %		
	Муніципальна теплоенергетика	Промисловість	Промисловість (прогноз)
0,158	2,524	2,396	2,374
0,187	4,703	4,464	4,425
0,217	7,382	7,008	6,945
0,246	10,641	10,101	10,011
0,315	7,301	6,930	6,868
0,344	9,980	9,473	9,389
0,374	13,238	12,566	12,454
0,472	13,332	12,655	12,543
0,502	16,591	15,748	15,608

0,629	21,102	20,031	19,852
-------	--------	--------	--------

Для варіантів ТНС з приводом від ГПД для решти джерел теплоти одержано аналогічні значення відносної економічної ефективності за умов змінних режимів роботи та вартості паливно-енергетичних ресурсів. Слід зазначити, що відносна економічна ефективність забезпечується для всіх варіантів ТНС з приводом від ГПД у всьому діапазоні зміни вартості природного газу та режимів роботи та мало змінюється в залежності від вартості палива.

Висновки

Здійснено оцінку відносної економічної ефективності ТНС з різними видами приводу компресора та джерелами низькотемпературної теплоти для промисловості та муніципальної теплоенергетики за умов зміни вартості паливно-енергетичних ресурсів і змінних режимів роботи.

Високі значення відносної економічної ефективності ТНС з приводом від ГПД забезпечуються для всіх джерел низькотемпературної теплоти за змінних режимів роботи у всьому діапазоні зміни вартості природного газу в промисловості та муніципальній теплоенергетиці та мало змінюються залежно від вартості палива.

Для ТНС з електроприводом за умов змінних режимів роботи:

- відносна економічна ефективність ТНС на теплоті стічних вод та оборотної води забезпечено для ціни природного газу (у промисловості) від 4201,512 до 4876,08 грн./тис. м³ (за прогнозними оцінками). Для ціни природного газу 2296,3 грн./тис. м³ (для підприємств муніципальної теплоенергетики) такі варіанти ТНС є збитковим, на що вказують від'ємні значення відносної економічної ефективності. ТНС на теплоті оборотної води забезпечує вищі значення відносної економічної ефективності, ніж на теплоті стічних вод;

- суттєві значення відносної економічної ефективності ТНС на теплоті повітря будуть забезпечені за ціни природного газу понад 4876,08 грн./тис. м³. Такий варіант ТНС слід визнати малоефективним та недоцільним;

- ТНС на теплоті поверхневої води, ґрунту та ґрунтових вод будуть економічно ефективними лише в промисловості за умови вартості природного газу від 4876,08 грн./тис. м³ та вище. Для підприємств муніципальної теплоенергетики за умови ціни природного газу 2296,3 грн./тис. м³ ці варіанти ТНС будуть збитковими, на що вказують від'ємні значення відносної економічної ефективності;

- високі значення відносної економічної ефективності ТНС у всьому діапазоні зміни вартості природного газу в промисловості та муніципальній теплоенергетиці за умов змінних режимів роботи фіксують для ТНС на теплоті геотермальних вод і ВЕР.

Результати досліджень дозволяють оцінити економічну ефективність ТНС за умови зміни вартості паливно-енергетичних ресурсів у промисловості та муніципальній теплоенергетиці за змінних режимів роботи, видів приводу та джерел низькотемпературної теплоти.

Представлені рекомендації можуть бути використані для прогнозування умов ефективної інтеграції ТНС у системи тепlopостачання підприємств промисловості та муніципальної теплоенергетики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах тепlopостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 176 с.
2. Новиков Д. В. Выбор рациональных схем и параметров систем теплоснабжения с теплонасосными установками: дисс. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Новиков Дмитрий Викторович. – Саратов, 2007. – 128 с.
3. Осипов А. Л. Исследование и разработка схем теплоснабжения для использования низкопотенциального тепла на основе применения теплонасосных установок: дисс. ... канд. техн. наук : 05.14.04 / Осипов Айрат Линарович. – Казань, 2005. – 117 с.
4. Маринченко А. Ю. Оптимизация исследований комбинированных теплопроизводящих установок с тепловыми насосами: дисс. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Маринченко Андрей Юрьевич. – Иркутск, 2004. – 120 с.

5. Беляева Т. Г. Оценка экономической целесообразности использования тепловых насосов в коммунальной теплоэнергетике Украины / Т. Г. Беляева, А. А. Рутенко, М. В. Ткаченко, О. Б. Басок // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 5. – С. 81 – 87.
6. Долинский А. А. Тепловые насосы в системе теплоснабжения зданий / А. А. Долинский, Б. Х. Драганов // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 6. – С. 71 – 83.
7. Басок Б. И. Анализ экономической эффективности при реализации теплонасосных систем для теплоснабжения / Б. И. Басок, Т. Г. Беляева, А. А. Рутенко, А. А. Лунина // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 4. – С. 56 – 63.
8. Економічна ефективність теплонасосних станцій для систем теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, О. В. Шевченко // Наукові праці ВНТУ. – 2011. – №4. – Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011_4/2011-4.files/uk/11pohss_ua.pdf.
9. Остапенко О. П. Перспективи застосування теплонасосних станцій в Україні / О. П. Остапенко, О. В. Шевченко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2011. – № 2. – С. 132 – 139.
10. Енергетичний, екологічний та економічний аспекти ефективності теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, О. В. Бакум, А. В. Ющишина // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 3. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/article/viewFile/3040/4626>.
11. Енергетична ефективність теплонасосних станцій з різними джерелами теплоти за умови змінних режимів роботи [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, О. В. Шевченко, О. В. Бакум // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3448/5066>.
12. Національна комісія регулювання електроенергетики України [Електронний ресурс] // Режим доступу: www.nerc.gov.ua.

Остапенко Ольга Павлівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики.

Бакум Олена Вікторівна – студентка інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання. Вінницького національного технічного університету.