

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

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ, ЕКОЛОГІЧНИЙ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОНАСОСНИХ СТАНЦІЙ НА ПРИРОДНИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ ДЖЕРЕЛАХ ТЕПЛОТИ

Оцінено енергетичну, екологічну та економічну ефективність теплонасосних станцій (ТНС) з різними видами приводу компресора на природних та промислових джерелах низькотемпературної теплоти (поверхневі води, вода системи оборотного водопостачання, ґрунтові води, геотермальні води, повітря, вторинні енергоресурси, каналізаційні стічні води та теплота ґрунту) з урахуванням змінних режимів роботи систем теплопостачання в широкому діапазоні зміни потужності теплонасосної установки (ТНУ). Запропоновано методи комплексної оцінки ефективності ТНС за змінних режимів роботи за енергетичними, екологічними та економічними показниками. Результати досліджень дозволяють здійснити вибір режимів роботи ТНС з метою досягнення заданих значень показників енергетичної, екологічної та економічної ефективності цілорічної роботи ТНС.

Ключові слова: теплонасосна станція, низькотемпературне джерело теплоти, енергетична ефективність, екологічна ефективність, економічна ефективність, витрата палива, економія умовного палива, економія робочого палива, зниження викидів вуглекислого газу.

Вступ

Упровадження теплонасосних технологій виробництва теплоти в Україні є одним з ефективних енергоощадних заходів, що забезпечують економію органічного палива і зниження забруднення навколишнього середовища. Відповідно за «Енергетичною стратегією України на період до 2030 року», затвердженою розпорядженням Кабінету Міністрів України №145-р від 15 березня 2006 р., розвиток системи теплопостачання планують здійснювати шляхом поступового нарощування виробництва теплоти на основі електричних теплогенераторів (переважно – теплових насосів) [1].

Найбільшого енергоощадного ефекту досягають від впровадження теплонасосних станцій, у яких тепловий насос поєднується з додатковим піковим джерелом теплоти. Однією з умов раціонального застосування теплонасосних станцій є наявність природних або промислових джерел низькотемпературної теплоти з досить високою температурою протягом року, які не потребують значних витрат на перекачування та не призводять до корозії устаткування. Теплота, що виробляють теплонасосні станції, може бути використана для опалення та гарячого водопостачання житлових, промислових та громадських споруд, а також для технологічних потреб [2 – 3].

Дефіцит паливно-енергетичних ресурсів в Україні та екологічні переваги теплових насосів стимулюють упровадження теплонасосних станцій у промисловість і муніципальну енергетику. Спорудження на основі водогрійних котелень теплонасосних станцій з природними або промисловими джерелами низькотемпературної теплоти дозволить скоротити споживання природного газу, зменшити вартість теплової енергії та полегшити техногенне навантаження на навколишнє середовище.

За останні роки проведено низку досліджень ефективності теплонасосних станцій у теплових схемах джерел енергопостачання [1, 3 – 13]. Зокрема, у роботі [3] авторами виконано дослідження з підвищення енергоефективності джерел теплопостачання шляхом використання ТНС з урахуванням впливу схемних рішень та режимів роботи. Схеми зазначених ТНС наведено в роботі [3].

У роботі [4] досліджено та проаналізовано 108 проектів теплонасосних станцій для 21 Наукові праці ВНТУ, 2013, № 3

області України з використанням теплоти повітря, морської води, річкової води, ґрунту, водосховищ, шахтних вод, термальних вод, каналізаційних стічних вод та вторинних енергоресурсів (ВЕР) металургійних комбінатів. Визначено, що найбільші масштаби використання в Україні ТНС на теплоті стічних вод, річкової води, теплоти ґрунту та ґрунтових вод. Використання в ТНС теплоти морської води, геотермальних вод, шахтних вод, ВЕР металургійних комбінатів можливе лише в окремих областях України, проте обґрунтовується значними обсягами економії палива. Максимальні значення економії палива забезпечують ТНС з використанням теплоти термальних та каналізаційних стічних вод (58,17 % та 56,09 % відповідно). Найменша економія палива властива ТНС з використанням теплоти повітря (20,41 %).

Упровадження в Україні ТНС загальною потужністю 909,48 МВт із використанням наявних у регіонах джерел низькотемпературної теплоти дозволить зекономити 614,650 млн. м³ на рік природного газу. Це забезпечить зниження викидів СО₂ в Україні кількістю 732,263 тис. тонн на рік, що дозволить знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище (особливо у великих промислових центрах) та підвищити економічну ефективність упровадження ТНС із залученням коштів від продажу квот на викиди СО₂ згідно з Кіотським протоколом.

В Україні найбільш широко планують використовувати теплоту каналізаційних стічних вод та річкової води, що дозволить заощадити відповідно 235,864 та 164,920 млн. м³ на рік природного газу. Упровадження ТНС на теплоті морської води забезпечить економію природного газу кількістю 96,350 млн. м³ на рік [4].

Найбільші обсяги економії енергоресурсів в Україні від застосування ТНС властиві таким областям, як: Дніпропетровська (19,36 %), Луганська (15,70%) та Київська (15,32 %). Це зумовлено значними ресурсами природних та техногенних джерел низькотемпературної теплоти в цих регіонах. Суттєвої економії енергоресурсів від застосування ТНС (11,19 %) можна досягти в АР Крим за рахунок використання значних ресурсів природної низькотемпературної теплоти в регіоні. Дуже незначні обсяги економії енергоресурсів від застосування ТНС у західних областях України, що зумовлено відсутністю в цих регіонах джерел низькотемпературної теплоти техногенного походження. Проте ТНС на природних джерелах теплоти можуть стати основою теплозабезпечення цих регіонів, оскільки зумовлюють зменшення забруднення навколишнього середовища та скорочення шкідливих викидів у атмосферу [4].

Проведено низку досліджень [7 – 13] з визначення економічної ефективності застосування теплонасосних установок в теплових схемах джерел енергопостачання.

У дослідженні [11] 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 ТНС з такими джерелами природної низькотемпературної теплоти та теплоти промислового походження, як: морська вода, водосховище, термальні води, повітря, річка, каналізаційні стічні води, вторинні енергоресурси металургійних комбінатів, шахтні води, ґрунтові води. Ці джерела низькотемпературної теплоти досить поширені на території України. В [11] досліджували економічну ефективність ТНС з електричним приводом компресора ТНУ та приводом від газопоршневого двигуна (ГПД). Схеми зазначених ТНС наведено в роботі [3].

В [11] визначено, що за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного газу на 10 – 50 % економічно ефективними є всі досліджувані варіанти ТНС з приводом від газопоршневого двигуна.

Згідно з [11], для ТНС з електроприводом визначено, що:

– за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості електроенергії на 10 – 50 % економічно ефективними є варіанти використання теплоти

шахтних і термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. За умови підвищення вартості електроенергії понад 20 % нерентабельними стають варіанти ТНС із використання теплоти водосховища та ВЕР металургійних комбінатів;

– за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного газу на 10 – 50 % економічно ефективними є варіанти використання теплоти шахтних і термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод, ВЕР металургійних комбінатів та морської води. Проста окупність варіантів ТНС у цьому випадку зменшується майже вдвічі;

– за сучасного рівня цін на енергоносії та в разі одночасного підвищення вартості електроенергії та природного газу на 10 – 50 % економічно ефективними є варіанти використання теплоти шахтних і термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. У цьому випадку проста окупність варіантів ТНС зменшується майже в півтора рази.

Представлені результати досліджень [3, 4, 11] визначають енергетичні та економічні передумови ефективної інтеграції ТНС у системи тепlopостачання промислових підприємств та підприємств муніципальної енергетики в Україні.

Основна частина

У проаналізованих роботах [1 – 13] авторами не здійснено оцінку енергетичної, екологічної та економічної ефективності теплонасосних станцій в Україні з різними видами приводу за змінних режимів роботи для природних і промислових джерел низькотемпературної теплоти.

Метою цього дослідження є визначення енергетичних, екологічних та економічних переваг застосування в Україні теплонасосних станцій з різними видами приводу за змінних режимів роботи з урахуванням наявних джерел природної та промислової низькотемпературної теплоти; аналіз енергетичної, екологічної та економічної ефективності ТНС за змінних режимів роботи для різних джерел низькотемпературної теплоти та видів приводу компресора ТНУ.

Дослідження проводили методом математичного моделювання роботи ТНС із використанням програми в середовищі Excel. Досліджували енергетичну, екологічну та економічну ефективність теплонасосної станції з максимальною потужністю 10 МВт в опалювальний сезон (максимальна потужність ТНС в режимі роботи для гарячого водопостачання становила 2 МВт). За порівняльний варіант приймали варіант роботи водогрійної котельні такої ж потужності. Досліджували ефективність ТНС з електроприводом та приводом компресора від ГПД. Потужність конденсатора теплового насосу змінювалась від 500 до 2000 кВт відповідно до марок теплонасосного обладнання, яке випускає промисловість. Джерелами низькотемпературної теплоти для ТНС були поверхневі води, вода системи оборотного водопостачання, ґрунтові води, геотермальні води, повітря, вторинні енергоресурси, каналізаційні стічні води та теплота ґрунту. Характеристику джерел низькотемпературної теплоти наведено в табл. 1. Дослідження проведено для температурних графіків роботи теплової мережі 150/70, 130/70, 95/70.

Ефективність роботи 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 , яка визначається як відношення потужності конденсатора ТНУ до потужності ТНС $\beta = \frac{Q_{\text{ТНУ}}}{Q_{\text{ТНС}}}$.

У табл. 2 вказано діапазон досліджуваних значень потужності ТНУ для опалювального (ОП) та міжопалювального (МОП) режимів, а також значення частки навантаження ТНУ для опалювального, міжопалювального режимів та середньорічне значення.

Таблиця 1

Характеристика джерел низькотемпературної теплоти [14]

Джерело низькотемпературної теплоти	Температурний рівень джерела, °С
Повітря	-5...+15
Ґрунт	5...10
Ґрунтові води	8...15
Поверхневі води	4...17
Каналізаційні стічні води	10...17
Оборотна вода	25...40
Геотермальні води	40...65
Вторинні енергоресурси	40...70

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 з цих режимів відповідає певне значення теплових потужностей ТНС, ТНУ та частки навантаження ТНУ β .

Проте, аналізуючи ефективність варіантів ТНС та режимів її роботи, не можна обмежуватися лише енергетичними показниками ефективності. Застосування теплових насосів зумовлює зменшення забруднення навколишнього середовища та скорочення шкідливих викидів у атмосферу. Залучення коштів від продажу квот на викиди CO_2 , 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 CO_2 становлять 20 \$/т викидів.

Таблиця 2

Значення потужності теплових насосів та частки теплової потужності ТНУ в ТНС

Потужність ТНУ, кВт		Частка теплової потужності ТНУ в ТНС		
ОП	МОП	ОП	МОП	Серед. за рік
500	500	0,061	0,25	0,158
1000	500	0,121	0,25	0,187
1500	500	0,182	0,25	0,217
2000	500	0,243	0,25	0,246
1000	1000	0,121	0,5	0,315
1500	1000	0,182	0,5	0,344
2000	1000	0,243	0,5	0,374
1500	1500	0,182	0,75	0,472
2000	1500	0,243	0,75	0,502
2000	2000	0,243	1	0,629

В табл. 3 та 4 наведено енергетичні та екологічні показники ефективності ТНС на теплоті стічних вод з електроприводом та приводом від ГПД за умови змінних режимів роботи ТНС відповідно. Тут показано значення економії умовного та робочого палива, а також зниження викидів CO_2 залежно від частки навантаження ТНУ. Аналогічні результати одержано для ТНС з іншими джерелами теплоти.

Як видно з табл. 3, зниження викидів CO_2 спостерігаємо для всіх режимів роботи ТНС,

незважаючи на те, що економії робочого та умовного палива для таких режимів набувають суперечливих значень Для ТНС на стічних водах з приводом від ГПД (табл. 4) для всіх режимів роботи фіксуємо економію робочого й умовного палива та зменшення шкідливих викидів.

Попередній аналіз показує, що ефективність теплонасосних станцій слід оцінювати комплексно, з використанням енергетичних, екологічних та економічних критеріїв, оскільки використання лише енергетичних або одночасно енергетичних та екологічних критеріїв однозначно не визначає ефективність ТНС.

Таблиця 3

Значення економії умовного, робочого палива, зниження викидів CO₂ ТНС на стічних водах з електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Економія, %		
	Умовного палива	Робочого палива	Зниження викидів
0,158	-8,390	15,416	1,010
0,187	-4,550	19,266	1,481
0,2165	-0,690	23,115	1,953
0,246	3,150	26,964	2,425
0,315	-2,120	31,713	2,019
0,344	1,720	35,562	2,491
0,374	5,570	39,411	2,963
0,472	4,190	48,008	3,029
0,502	8,000	51,857	3,501
0,629	10,410	64,306	4,038

Таблиця 4

Значення економії умовного, робочого палива, зниження викидів CO₂ ТНС на стічних водах з приводом від ГПД залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Економія, %		
	Умовного палива	Робочого палива	Зниження викидів
0,158	6,71	5,85	1,01
0,187	8,73	7,61	1,48
0,217	10,99	9,59	1,95
0,246	13,55	11,82	2,43
0,315	15,38	13,41	2,02
0,344	17,64	15,39	2,49
0,374	20,20	17,62	2,96
0,472	25,56	22,30	3,03
0,502	28,12	24,53	3,50
0,629	38,00	33,16	4,04

В табл. 5 та 6 наведено економічні показники ефективності ТНС з електроприводом та приводом від ГПД для різних джерел низькотемпературної теплоти відповідно. Тут (див. табл. 5 та 6) показано значення економії коштів (у відсотках) на паливно-енергетичних

ресурсах (ПЕР) для ТНС залежно від частки навантаження ТНУ.

Таблиця 5

**Значення економії коштів на ПЕР для ТНС з електроприводом
залежно від частки навантаження ТНУ, %**

Частка навантаження ТНУ β	Джерело низькотемпературної теплоти							
	Повітря	Ґрунт	Ґрунтові води	Поверхневі води	Стічні води	Оборотна вода	Вторинні енергоресурси	Геотермальні води
0,158	3,058	2,562	3,881	4,169	4,041	6,358	12,731	9,049
0,187	4,055	3,559	5,700	5,972	5,993	9,297	13,858	13,180
0,217	5,052	4,556	7,519	7,774	7,945	12,237	18,094	17,310
0,246	6,048	5,553	9,338	9,576	9,897	15,176	22,331	21,441
0,315	6,116	5,124	7,761	8,043	8,083	12,715	19,242	18,098
0,344	7,113	6,121	9,580	9,845	10,035	15,655	23,479	22,229
0,374	8,110	7,118	11,399	11,647	11,986	18,594	27,715	26,359
0,472	9,174	7,687	11,642	11,917	12,124	19,073	28,863	27,147
0,502	10,171	8,683	13,461	13,719	14,076	22,012	33,100	31,278
0,629	12,232	10,249	15,522	15,790	16,165	25,431	38,485	36,196

Таблиця 6

**Значення економії коштів на ПЕР для ТНС з приводом від ГПД
залежно від частки навантаження ТНУ, %**

Частка навантаження ТНУ β	Джерело низькотемпературної теплоти							
	Повітря	Ґрунт	Ґрунтові води	Поверхневі води	Стічні води	Оборотна вода	Вторинні енергоресурси	Геотермальні води
0,158	2,241	3,011	3,343	3,663	3,721	5,29	8,557	9,777
0,187	4,177	5,358	5,980	6,299	6,409	8,62	13,341	14,394
0,217	6,556	8,078	8,957	9,277	9,425	11,72	18,158	19,069
0,246	9,450	11,242	12,327	12,646	12,833	16,04	23,026	23,827
0,315	6,483	7,936	8,560	9,154	9,263	12,21	18,384	16,444
0,344	8,863	10,657	11,537	12,131	12,279	15,30	23,201	21,119
0,374	11,756	13,820	14,907	15,501	15,687	19,63	28,069	25,878
0,472	11,840	14,416	14,723	15,533	15,681	19,27	28,307	25,638
0,502	14,733	17,579	18,092	18,903	19,089	23,60	33,175	30,397
0,629	18,740	21,133	22,219	23,148	23,335	28,17	38,378	35,273

Як видно з табл. 5 та 6, для всіх джерел теплоти, видів приводу та режимів роботи ТНС забезпечено економію коштів на паливно-енергетичних ресурсах. ТНС з приводом від ГПД для більшості режимів роботи ТНС забезпечує більшу економію коштів на ПЕР, ніж ТНС з електроприводом.

У табл. 7 та 8 показано значення економії коштів на ПЕР та викидах (у відсотках) для ТНС з електроприводом та приводом від ГПД на теплоті стічних вод відповідно. Як видно з табл. 7 та 8, для ТНС з приводом від ГПД економія коштів на паливі та викидах є більш істотною, ніж для ТНС з електроприводом.

Таблиця 7

Значення економії коштів на ПЕР та викидах (у відсотках) для ТНС з електроприводом на теплоті стічних вод, %

Частка навантаження ТНУ β	Економія, %		
	Коштів на викидах	Коштів на ПЕР	Загальна економія коштів
0,158	0,062	4,041	4,104
0,187	0,091	5,993	6,085
0,217	0,121	7,945	8,066
0,246	0,150	9,897	10,047
0,315	0,125	8,083	8,207
0,344	0,154	10,035	10,188
0,374	0,183	11,986	12,169
0,472	0,187	12,124	12,311
0,502	0,216	14,076	14,292
0,629	0,269	16,165	16,415

Таблиця 8

Значення економії коштів на ПЕР та викидах (у відсотках) для ТНС на теплоті стічних вод з приводом від ГПД, %

Частка навантаження ТНУ β	Економія, %		
	Коштів на викидах	Коштів на ПЕР	Загальна економія коштів
0,158	0,230	3,721	3,951
0,187	0,396	6,409	6,805
0,217	0,582	9,425	10,007
0,246	0,792	12,833	13,625
0,315	0,572	9,263	9,835
0,344	0,758	12,279	13,037
0,374	0,969	15,687	16,656
0,472	0,968	15,681	16,649
0,502	1,179	19,089	20,268
0,629	1,441	23,335	24,776

У табл. 9 приведено значення показників енергетичної, екологічної та економічної ефективності ТНС на теплоті стічних вод з електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ. Слід звернути увагу на те, що загальна економія коштів на ПЕР та скорочення викидів CO₂ забезпечуються для всіх режимів роботи ТНС, навіть для тих, де є перевитрата умовного палива.

Таблиця 9

Значення показників енергетичної, екологічної та економічної ефективності ТНС на теплоті стічних вод з електроприводом, %

Частка навантаження ТНУ β	Економія, %			
	Умовного палива	Робочого палива	Зниження викидів	Загальна економія коштів
0,158	-8,390	15,416	1,010	4,104
0,187	-4,550	19,266	1,481	6,085
0,217	-0,690	23,115	1,953	8,066
0,246	3,150	26,964	2,425	10,047
0,315	-2,120	31,713	2,019	8,207
0,344	1,720	35,562	2,491	10,188
0,374	5,570	39,411	2,963	12,169
0,472	4,190	48,008	3,029	12,311
0,502	8,000	51,857	3,501	14,292
0,629	10,410	64,306	4,038	16,415

У табл. 10 приведено значення показників енергетичної, екологічної та економічної ефективності ТНС на теплоті стічних вод з приводом від ГПД залежно від частки навантаження ТНУ. Тут (див. табл. 10) ми спостерігаємо позитивні значення всіх показників ефективності ТНС для всіх досліджених режимів роботи.

Таблиця 10

Значення показників енергетичної, екологічної та економічної ефективності ТНС на теплоті стічних вод з приводом від ГПД, %

Частка навантаження ТНУ β	Економія, %			
	Умовного палива	Робочого палива	Зниження викидів	Загальна економія коштів
0,158	6,71	5,85	1,01	3,95
0,187	8,73	7,61	1,48	6,80
0,2165	10,99	9,59	1,95	10,01
0,246	13,55	11,82	2,43	13,63
0,315	15,38	13,41	2,02	9,84
0,344	17,64	15,39	2,49	13,04
0,374	20,20	17,62	2,96	16,66
0,472	25,56	22,30	3,03	16,65
0,502	28,12	24,53	3,50	20,27
0,629	38,00	33,16	4,04	24,78

У табл. 11 та 12 приведено значення аналогічних показників енергетичної, екологічної та економічної ефективності ТНС на теплоті оборотної води з електроприводом та приводом від ГПД відповідно, залежно від частки навантаження ТНУ. Тут ми спостерігаємо аналогічний до попередніх (див. табл. 9 та 10) характер зміни показників ефективності ТНС.

Таблиця 11

Значення показників енергетичної, екологічної та економічної ефективності ТНС з електроприводом на теплоті оборотної води, %

Частка навантаження ТНУ β	Економія, %			
	Умовного палива	Робочого палива	Зниження викидів	Загальна економія коштів
0,158	-1,7	15,416	4,222	6,618
0,187	2,15	19,266	6,063	9,672
0,2165	6	23,115	7,905	12,725
0,246	9,85	26,964	9,746	15,778
0,315	7,53	31,713	8,443	13,237
0,344	11,38	35,562	10,285	16,290
0,374	15,23	39,411	12,126	19,343
0,472	16,76	48,008	12,665	19,855
0,502	20,61	51,857	14,507	22,908
0,629	26	64,306	16,887	26,473

Таблиця 12

Значення показників енергетичної, екологічної та економічної ефективності ТНС з приводом від ГПД на теплоті оборотної води, %

Частка навантаження ТНУ β	Економія, %			
	Умовного палива	Робочого палива	Зниження викидів	Загальна економія коштів
0,158	9,21	8,03	5,29	5,61
0,187	11,72	10,22	8,62	9,16
0,2165	14,40	12,25	11,72	12,44
0,246	17,29	15,08	16,04	17,04
0,315	20,07	17,50	12,21	12,96
0,344	22,85	19,53	15,30	16,25
0,374	25,64	22,37	19,63	20,84
0,472	31,99	27,60	19,27	20,46
0,502	34,88	30,44	23,60	25,06
0,629	45,52	39,71	28,17	29,90

Для всіх досліджуваних природних та промислових джерел теплоти для ТНС визначені значення показників енергетичної, екологічної та економічної ефективності ТНС (як у табл. 9 – 12) за змінних режимів роботи та з різними видами привода компресора ТНУ.

Запропонований у табл. 9 – 12 комплекс показників ефективності ТНС дозволяє оцінити енергетичну, екологічну та економічну ефективність ТНС за змінних режимів роботи та зробити остаточний висновок щодо ефективності досліджуваного варіанту ТНС та режимів її роботи.

Висновки

Проаналізовано енергетичні та економічні передумови ефективної інтеграції теплонасосних станцій у системи теплопостачання промислових підприємств та підприємств муніципальної енергетики в Україні.

Оцінено енергетичну, екологічну та економічну ефективність ТНС з різними видами приводу компресора на природних і промислових джерелах низькотемпературної теплоти (поверхневі води, вода системи оборотного водопостачання, ґрунтові води, геотермальні води, повітря, вторинні енергоресурси, каналізаційні стічні води та теплота ґрунту) з урахуванням змінних режимів роботи систем теплопостачання в широкому діапазоні зміни потужності ТНУ.

Для всіх досліджуваних природних та промислових джерел теплоти для ТНС визначено значення показників енергетичної, екологічної та економічної ефективності ТНС за змінних режимів роботи та з різними видами приводу компресора ТНУ.

Визначено, що ефективність теплонасосних станцій необхідно оцінювати комплексно, з використанням енергетичних, екологічних та економічних критеріїв. Використання лише енергетичних або одночасно енергетичних та екологічних критеріїв однозначно не визначає ефективність ТНС.

Запропонований комплекс показників ефективності ТНС дозволяє оцінити енергетичну, екологічну та економічну ефективність ТНС за змінних режимів роботи та зробити остаточний висновок щодо ефективності досліджуваного варіанту ТНС та режимів її роботи.

Результати досліджень дозволяють здійснити вибір режимів роботи ТНС з метою досягнення заданих значень показників енергетичної, екологічної та економічної ефективності роботи ТНС протягом року.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Долинский А. А. Тепловые насосы в теплоснабжении / А. А. Долинский, Е. Т. Базеев, А. И. Чайка // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 2. – С. 99 – 105.
2. Янговский Е. И. Парокомпрессионные теплонасосные установки / Е. И. Янговский, Ю. В. Пустовалов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 144 с.
3. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 176 с.
4. 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. – 2011. – № 2. – С. 132 – 139.
5. Ткаченко С. Й. Комплексні методи оцінки енергоефективності теплонасосних станцій в системах теплопостачання / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко // Вісник ВПШ. – 2007. – № 4. – С. 83 – 85.
6. Ткаченко С. Й. Узагальнена теплотехнологічна система з теплонасосною установкою / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: науково-технічний збірник. – 2006. – № 3. – С. 136 – 141.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Долинский А. А. Тепловые насосы в системе теплоснабжения зданий / А. А. Долинский, Б. Х. Драганов // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 6. – С. 71 – 83.
11. Економічна ефективність теплонасосних станцій для систем теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, О. В. Шевченко // Наукові праці ВНТУ. – № 4. – 2011. – Режим доступу до журн.: http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2011_4/2011-4.files/uk/11opohss_ua.pdf.
12. 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.

13. Басок Б. И. Анализ экономической эффективности при реализации теплонасосных систем для теплоснабжения / Б. И. Басок, Т. Г. Беяева, А. А. Рутенко, А. А. Лунина // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 4. – С. 56 – 63.

14. Калнинь И. М. Техника низких температур на службе энергетики / И. М. Калнинь // Холодильное дело. – 1996. – № 1. – С. 26 – 29.

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

Бакум Олена Вікторівна – студентка інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Ющишина Алла Володимирівна – студентка інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет.