

О. П. Остапенко, к. т. н.; І. О. Валігура; А. Д. Коваленко

ЕНЕРГОЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОНАСОСНИХ СТАНЦІЙ НА ПРИРОДНИХ І ПРОМИСЛОВИХ ДЖЕРЕЛАХ ТЕПЛОТИ ЗА УМОВИ ЗМІННИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

Проведено оцінку енергоекологічної ефективності теплонасосних станцій (ТНС) з різними видами приводу компресора та джерелами низькотемпературної теплоти з урахуванням змінних режимів роботи систем теплопостачання в широкому діапазоні зміни потужності теплонасосної установки (ТНУ). Представлені результати дозволяють оцінити енергетичну ефективність і зниження викидів CO₂ для ТНС з різними видами приводу компресора та джерелами низькотемпературної теплоти за умови змінних режимів роботи систем теплопостачання. Запропоновані результати досліджень дозволяють здійснити вибір режимів роботи ТНС та джерел низькотемпературної теплоти з метою досягнення заданих значень показників енергоекологічної ефективності роботи ТНС. Представлені рекомендації можуть бути використані для прогнозування раціональних режимів роботи ТНС різної потужності в системах теплопостачання.

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

Вступ

Зменшення енергоспоживання та використання нетрадиційних і відновлюваних енергоресурсів природного та промислового походження – це важливі умови досягнення енергетичної незалежності України. В Україні доцільно масштабно розвивати і впроваджувати сучасні технології використання поновлюваних і нетрадиційних джерел енергії, зокрема, упровадження теплонасосних установок. Відповідно до «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року», затвердженої розпорядженням Кабінету міністрів України №145-р від 15 березня 2006 р., розвиток системи теплопостачання планують здійснювати шляхом поступового нарощування виробництва теплоти на базі електричних теплогенераторів (переважно теплових насосів). До 2030 року обсяг виробництва теплової енергії електричними теплогенераторами (з використанням теплових насосів) збільшиться до 180 млн. Гкал порівняно з 1,7 млн. Гкал в 2005 р. Так «Енергетична стратегія...» визначила новий концептуальний підхід до теплопостачання житлово-комунального комплексу країни [1].

Застосування теплових насосів, крім енергетичних переваг, зумовлює зменшення забруднення навколишнього середовища (також і теплового) та зменшення шкідливих викидів в атмосферу. Залучення коштів від продажу квот на викиди CO₂, згідно з Кіотським протоколом, дозволить підвищити економічну ефективність упровадження ТНС та скоротити термін окупності останніх.

Більший енергоощадний ефект, ніж від ТНУ, слід очікувати від упровадження теплонасосних станцій, де тепловий насос поєднано з піковим джерелом теплоти. Для ефективної роботи теплонасосних станцій потрібно природне або промислове джерело низькотемпературної теплоти з досить високою температурою протягом року. Теплота, яку виробляють теплонасосні станції, може бути використана для опалення та гарячого водопостачання житлових, промислових і громадських споруд, а також для технологічних потреб [2 – 4].

Джерела низькотемпературної теплоти для теплонасосних станцій можна умовно

поділити на два види. Перший вид – це природні джерела теплоти: вода (поверхнева та глибинна, а також термальні води), повітря, ґрунт, сонячна радіація тощо. До другого виду належать промислові джерела теплоти – вторинні низькотемпературні енергоресурси: скидне повітря систем вентиляції; очищена вода станцій аерації; вода, яка потребує охолодження в системах технічного водопостачання промислових підприємств; скидна теплота систем охолодження машин (гідрогенераторів, трансформаторів тощо); також теплота, що відводиться в технологічному процесі для охолодження.

У роботі [5] окреслено перспективи застосування та оцінено енергетичну ефективність теплонасосних станцій в Україні з урахуванням наявних джерел низькотемпературної теплоти (повітря, морської води, річкової води, ґрунту, водосховищ, шахтних вод, термальних вод, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів), оцінено масштаби економії енергоресурсів та зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище від упровадження теплонасосних станцій в Україні. У цій роботі досліджено та проаналізовано 108 проектів теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах теплоти в Україні. У [5] визначено, що найбільшій економії палива досягають ТНС із використанням теплоти термальних та каналізаційних стічних вод (58,17% та 56,09% відповідно). Найменша економія палива властива ТНС із використанням теплоти повітря (20,41%). В Україні найбільш широко планують використовувати в ТНС теплоту каналізаційних стічних вод та річкової води, що дозволить зекономити відповідно 235,864 та 164,920 млн. м³ на рік природного газу. Упровадження ТНС на теплоті морської води забезпечить економію природного газу обсягом 96,350 млн. м³ на рік. Упровадження теплонасосних станцій в Україні з використанням наявних в регіонах джерел низькотемпературної теплоти дозволить зекономити 614,650 млн. м³ на рік природного газу та забезпечить зниження викидів CO₂ в кількості 732,263 тис. тонн в рік.

Упровадження 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. Це зумовлює актуальність досліджень енергоекологічної ефективності теплонасосних станцій.

Основна частина

За останні роки проведено низку досліджень ефективності ТНС у теплових схемах джерел енергопостачання [3, 5 – 12]. Оцінку ефективності ТНС здійснено за такими критеріями: коефіцієнт перетворення, економія робочого та умовного палива порівняно з наявною схемою, економічні показники.

У проаналізованих роботах автори не провели оцінку енергоекологічної ефективності ТНС з різними видами приводу зі змінними режимами роботи систем теплопостачання в широкому діапазоні зміни потужності ТНУ.

Метою дослідження є оцінка енергоекологічної ефективності ТНС з різними видами приводу компресора на різних джерелах низькотемпературної теплоти з урахуванням змінних режимів роботи систем теплопостачання в широкому діапазоні зміни потужності ТНУ; проведення оптимізаційних досліджень з метою визначення раціональних режимів роботи ТНС різної потужності в системах теплопостачання.

Дослідження проведено методом математичного моделювання роботи ТНС із використанням програми в середовищі Excel. Програму використовують для моделювання роботи теплонасосних станцій з різними видами приводу компресора для теплопостачання. Програма має блочну структуру та складається з таких розрахункових модулів: розрахунок теплової схеми заміщеної водогрійної котельні, розрахунок теплонасосної установки, розрахунок двигуна внутрішнього згорання та системи утилізації теплоти, розрахунок енергоекологічної ефективності теплонасосної станції. Передбачено модуль вибору джерела

низькотемпературної теплоти для ТНС та його температурного рівня залежно від режиму роботи ТНС.

Досліджено енергетичну ефективність теплонасосної станції з максимальною потужністю 10 МВт в опалювальний сезон (максимальна потужність ТНС у режимі роботи для гарячого водопостачання становила 2 МВт). Для порівняння розглядали показники роботи водогрійної котельні такої ж потужності. Досліджено ефективність ТНС з електроприводом та приводом компресора від газопоршневого двигуна (ГПД). Схеми зазначених ТНС наведено в роботі [3]. Потужність конденсатора теплового насосу змінювалася від 500 до 2000 кВт, відповідно до марок теплонасосного обладнання, які 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.

Енергетична ефективність роботи ТНС значною мірою визначається оптимальним розподілом навантаження між теплонасосною установкою та водогрійним котлом у складі ТНС. Розподіл навантаження між елементами ТНС характеризується часткою навантаження ТНУ у складі ТНС β , яка визначається як відношення потужності конденсатора ТНУ до потужності ТНС $\beta = Q_{тну} / Q_{тнс}$.

Потужність і температурні режими роботи теплонасосної станції в системі теплопостачання визначають за температурним графіком залежно від температури зовнішнього повітря та необхідної потужності споживачів.

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 .

Для випадків змінних режимів роботи та змінного теплового навантаження ТНС протягом року середньорічне значення частки навантаження ТНУ у складі ТНС можна визначити таким чином:

$$\beta_{сер.річне} = \frac{\sum_i \beta_i \cdot \tau_i}{\tau_{річне}}, \quad (1)$$

де β_i – частка навантаження ТНУ для i -го режиму роботи ТНС; τ_i – тривалість i -го режиму роботи ТНС; $\tau_{річне}$ – річна тривалість роботи ТНС.

Економія умовного палива від упровадження ТНС значною мірою визначається 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 палива ТНС для певного режиму роботи системи теплопостачання.

Для випадків змінних режимів роботи та змінного теплового навантаження ТНС протягом року середньорічне значення економії умовного палива ТНС можна визначити таким чином:

$$\Delta B_{сер.річне}^y = \frac{\sum_i \Delta B_i^y \cdot \tau_i}{\tau_{річне}}, \quad (2)$$

де ΔB_i^y – економія умовного палива від упровадження ТНС для i -го режиму роботи ТНС, %.

Середньорічне значення економії робочого палива ТНС можна визначити як:

$$\Delta B_{сер.річне}^p = \frac{\sum_i \Delta B_i^p \cdot \tau_i}{\tau_{річне}}, \quad (3)$$

де ΔB_i^p – економія робочого палива від упровадження ТНС для i -го режиму роботи ТНС, %.

Як вже зазначалось, крім енергетичних переваг, застосування теплових насосів зумовлює зменшення забруднення навколишнього середовища (також і теплового) та зменшення шкідливих викидів в атмосферу.

Оцінено зменшення викидів CO_2 (у відсотках) під час використання ТНС потужністю 10 МВт за змінних режимів роботи порівняно з роботою водогрійної котельні такої ж потужності на природному газі. Ураховувалися викиди CO_2 під час спалювання газу в котлах, а також викиди CO_2 під час виробництва електроенергії на електростанціях.

Значення річного зменшення викидів CO_2 ТНС можна визначити як:

$$\Delta \text{CO}_{2\text{річне}} = \frac{\sum_i \Delta \text{CO}_{2i} \cdot \tau_i}{\tau_{\text{річне}}}, \quad (4)$$

де ΔCO_{2i} – зменшення викидів CO_2 від упровадження ТНС для i -го режиму роботи ТНС порівняно з водогрійною котельнею такої ж потужності на природному газі, %.

Запропоновані критерії дозволяють оцінити енергетичну та екологічну ефективність роботи ТНС протягом року за різних режимів роботи.

У табл. 1 – 7 показані результати досліджень ефективності роботи ТНС на різних джерелах теплоти з різними видами приводу за умови змінних режимів роботи ТНС. У табл. 1 та 2 наведено показники ефективності ТНС на теплоті стічних вод з електроприводом та приводом від ГПД відповідно, за умови змінних режимів роботи. В табл. 1 та 2 позначено: ОП – опалювальний режим, МОП – міжопалювальний режим.

У табл. 1 та 2 зазначено потужності ТНУ, указано значення частки навантаження ТНУ. Значення економії умовного та робочого палива ТНС вказано для опалювального та міжопалювального режимів залежно від частки навантаження ТНУ. Тут показано також річне зменшення викидів CO_2 залежно від частки навантаження ТНУ. Аналогічні результати одержано для ТНС з іншими джерелами теплоти.

Таблиця 1

Показники ефективності ТНС на теплоті стічних вод з електроприводом за умови змінних режимів роботи

Потужність ТНУ, кВт		Економія умовного палива ТНС з електроприводом, %		Економія робочого палива ТНС з електроприводом, %		Зменшення викидів CO_2 ТНС з електроприводом, %	Частка теплової потужності ТНУ в ТНС		
ОП	МОП	ОП	МОП	ОП	МОП		ОП	МОП	Серед. за рік
500	500	-22,92	4,73	6,126	24,32	1,010	0,061	0,25	0,158
1000	500	-14,98	4,73	14,07	24,32	1,481	0,121	0,25	0,187
1500	500	-7,04	4,73	22,01	24,32	1,953	0,182	0,25	0,2165
2000	500	0,901	4,73	29,95	24,32	2,425	0,243	0,25	0,246
1000	1000	-14,98	9,46	14,07	48,64	2,019	0,121	0,5	0,315
1500	1000	-7,04	9,46	22,01	48,64	2,491	0,182	0,5	0,344
2000	1000	0,901	9,46	29,95	48,64	2,963	0,243	0,5	0,374
1500	1500	-7,04	14,19	22,01	72,95	3,029	0,182	0,75	0,472
2000	1500	0,901	14,19	29,95	72,95	3,501	0,243	0,75	0,502
2000	2000	0,901	18,92	29,95	97,27	4,038	0,243	1	0,629

Таблиця 2

**Показники ефективності ТНС на теплоті стічних вод з приводом від ГПД
за умови змінних режимів роботи**

Потужність ТНУ, кВт		Економія умовного палива ТНС з приводом від ГПД, %		Економія робочого палива ТНС з приводом від ГПД, %		Зменшення викидів CO ₂ ТНС з приводом від ГПД, %	Частка теплової потужності ТНУ в ТНС		
ОП	МОП	ОП	МОП	ОП	МОП		ОП	МОП	Серед. за рік
500	500	1,93	11,32	1,678	9,842	3,721	0,0609	0,25	0,158
1000	500	6,11	11,32	5,312	9,842	6,409	0,121	0,25	0,187
1500	500	10,8	11,32	9,39	9,842	9,425	0,182	0,25	0,2165
2000	500	16,1	11,32	13,998	9,842	12,833	0,243	0,25	0,246
1000	1000	6,11	24,35	5,312	21,171	9,263	0,121	0,5	0,315
1500	1000	10,8	24,35	9,39	21,171	12,279	0,182	0,5	0,344
2000	1000	16,1	24,35	13,998	21,171	15,687	0,243	0,5	0,374
1500	1500	10,8	39,88	9,39	34,673	15,681	0,182	0,75	0,472
2000	1500	16,1	39,88	13,998	34,673	19,089	0,243	0,75	0,502
2000	2000	16,1	59,26	13,998	51,523	23,334	0,243	1	0,629

Значення середньорічної економії умовного палива (у відсотках) для ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти та приводом від ГПД залежно від частки навантаження ТНУ показано в табл. 3. Як видно з табл. 3, для всіх джерел низькотемпературної теплоти та досліджуваних режимів роботи ТНС спостерігається економія умовного палива, значення якої зростають зі збільшення частки навантаження ТНУ β .

Таблиця 3

Значення середньорічної економії умовного палива ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти та приводом від ГПД залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Джерело низькотемпературної теплоти							
	Поверхневі води	Оборотна вода	Грунтові води	Геотермальні води	Повітря	Вторинні енергоресурси	Стічні води	Грунт
0,158	6,66	9,21	5,92	7,935	5,67	14,32	6,71	4,06
0,187	8,64	11,72	7,91	10,18	7,43	17,91	8,73	6,06
0,2165	10,88	14,4	10,14	12,64	9,47	21,53	10,99	7,84
0,246	13,41	17,29	12,67	15,35	11,86	25,18	13,55	10,02
0,315	15,3	20,07	13,91	17,685	13,43	29,66	15,38	11,43
0,344	17,53	22,85	16,14	20,19	15,48	33,27	17,64	13,22
0,374	20,06	25,64	18,67	22,85	17,86	36,93	20,2	15,39
0,472	25,45	31,99	23,57	28,72	22,9	45,16	25,56	20,14
0,502	27,98	34,88	26,09	31,43	25,28	48,82	28,12	22,32
0,629	37,87	45,52	35,07	41,695	34,89	60,93	38	31,16

У табл. 4 показано значення середньорічної економії умовного палива (у відсотках) для ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти та електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ.

Таблиця 4

Значення середньорічної економії умовного палива ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти та електроприводом залежно від частки навантаження ТНУ, %

Частка навантаження ТНУ β	Джерело низькотемпературної теплоти							
	Поверхневі води	Оборотна вода	Грунтові води	Геотермальні води	Повітря	Вторинні енергоресурси	Стічні води	Ґрунт
0,158	-8,69	-1,7	-9,8	6,98	-11,53	12,39	-8,39	-14,99
0,187	-4,84	2,15	-5,95	12,31	-7,68	16,52	-4,55	-11,15
0,2165	-0,99	6	-2,11	16,17	-3,83	20,09	-0,69	-7,29
0,246	2,86	9,85	1,74	20,02	0,016	23,93	3,15	-3,44
0,315	-2,42	7,53	-4,67	20,57	-6,38	27,54	-2,12	-10,94
0,344	1,43	11,38	-0,8	24,42	-2,53	31,4	1,72	-7,09
0,374	5,27	15,23	3,04	28,27	1,31	35,24	5,57	-3,24
0,472	3,95	16,76	0,49	32,68	-1,23	42,69	4,19	-6,89
0,502	7,7	20,61	4,34	36,53	2,62	46,54	8	-3,06
0,629	10,12	26	5,64	44,49	3,92	57,84	10,41	-2,84

Як видно з табл. 4, для ТНС з електроприводом для низки джерел теплоти спостерігається перевитрата умовного палива (повітря, ґрунту, ґрунтових вод, стічних вод, поверхневих вод). Для досліджуваних джерел низькотемпературної теплоти визначено раціональні режими роботи ТНС, за яких забезпечується економія умовного палива.

Для ТНС з приводом від ГПД для всіх досліджених режимів роботи забезпечуються більші значення економії умовного палива, ніж для ТНС з електроприводом.

У табл. 5 показано значення середньорічної економії робочого палива (у відсотках) для ТНС з електроприводом та приводом від ГПД залежно від частки навантаження ТНУ для різних джерел низькотемпературної теплоти.

Таблиця 5

Значення середньорічної економії робочого палива ТНС з електроприводом та приводом від ГПД залежно від частки навантаження ТНУ для різних джерел низькотемпературної теплоти, %

Частка навантаження ТНУ β	Привод ТНУ від ГПД								Електропривод ТНУ
	Джерело низькотемпературної теплоти								
	Ґрунт	Повітря	Ґрунтові води	Поверхневі води	Стічні води	Оборотна вода	Геотермальні води	Вторинні енергоресурси	Усі джерела низькотемпературної теплоти
0,158	4,01	4,95	5,16	5,81	5,85	8,03	15,19	12,49	15,42
0,187	5,28	6,49	6,89	7,54	7,61	10,22	18,22	15,63	19,27
0,2165	6,84	8,27	8,84	9,49	9,59	12,25	21,28	18,78	23,12
0,246	8,73	10,34	11,05	11,70	11,82	15,08	24,40	21,97	26,96
0,315	9,97	11,73	12,13	13,34	13,41	17,50	22,38	25,87	31,71
0,344	11,53	13,51	14,09	15,29	15,39	19,53	25,44	29,03	35,56
0,374	13,42	15,58	16,29	17,50	17,62	22,37	28,56	32,22	39,41
0,472	17,56	21,15	20,56	22,20	22,30	27,60	34,63	39,40	48,01
0,502	19,47	23,22	22,76	24,41	24,53	30,44	37,74	42,59	51,86
0,629	27,61	30,44	31,15	33,04	33,16	39,71	47,65	53,16	64,31

Як видно з табл. 5, у цьому випадку для ТНС на всіх джерелах теплоти та видах приводу спостерігаємо економію робочого палива. Для ТНС з електроприводом економія робочого палива вища, ніж для ТНС з приводом від ГПД.

У табл. 6 показано значення річного зменшення викидів CO_2 (у відсотках) для ТНС з електроприводом. Як видно з табл. 6, для ТНС з використанням теплоти ґрунту та повітря спостерігається зростання викидів CO_2 .

У табл. 7 показано значення річного зменшення викидів CO_2 (у відсотках) для ТНС з приводом від ГПД. Для всіх досліджених режимів роботи ТНС з приводом від ГПД спостерігається зменшення викидів CO_2 .

Таблиця 6

Значення річного зменшення викидів CO₂ ТНС з електроприводом, %

Частка навантаження ТНУ β	Джерело низькотемпературної теплоти							
	Повітря	Ґрунт	Ґрунтові води	Поверхневі води	Стічні води	Оборотна вода	Вторинні енергоресурси	Геотермальні води
0,158	-0,35	-1,04	0,79	1,09	1,01	4,22	11,86	7,95
0,187	-1,21	-1,89	1,07	1,36	1,48	6,06	12,39	11,45
0,2165	-2,06	-2,75	1,36	1,63	1,95	7,90	16,03	14,94
0,246	-2,91	-3,60	1,65	1,90	2,43	9,75	19,67	18,43
0,315	-0,71	-2,08	1,57	1,88	2,02	8,44	17,50	15,91
0,344	-1,56	-2,94	1,86	2,15	2,49	10,29	21,14	19,40
0,374	-2,41	-3,79	2,15	2,42	2,96	12,13	24,78	22,89
0,472	-1,06	-3,13	2,36	2,67	3,03	12,67	26,24	23,86
0,502	-1,92	-3,98	2,65	2,94	3,50	14,51	29,88	27,36
0,629	-1,42	-4,17	3,15	3,46	4,04	16,89	34,99	31,82

Таблиця 7

Значення річного зменшення викидів CO₂ для ТНС з приводом від ГПД, %

Частка навантаження ТНУ β	Джерело низькотемпературної теплоти							
	Повітря	Ґрунт	Ґрунтові води	Поверхневі води	Стічні води	Оборотна вода	Вторинні енергоресурси	Геотермальні води
0,158	3,01	2,24	3,34	3,66	3,72	5,29	8,56	9,78
0,187	5,36	4,18	5,98	6,30	6,41	8,62	13,34	14,39
0,2165	8,08	6,56	8,96	9,28	9,43	11,72	18,16	19,07
0,246	11,24	9,45	12,33	12,65	12,83	16,05	23,03	23,83
0,315	7,94	6,48	8,56	9,15	9,26	12,21	18,38	16,44
0,344	10,66	8,86	11,54	12,13	12,28	15,30	23,20	21,12
0,374	13,82	11,76	14,91	15,50	15,69	19,63	28,07	25,88
0,472	14,42	11,84	14,72	15,53	15,68	19,28	28,31	25,64
0,502	17,58	14,73	18,09	18,90	19,09	23,60	33,18	30,40
0,629	21,13	18,74	22,22	23,15	23,34	28,17	38,38	35,27

Слід зазначити, що для ТНС з приводом від ГПД для всіх досліджених режимів роботи зафіксовані кращі енергоекологічні показники, ніж для ТНС з електроприводом.

Висновки

Оцінено енергоекологічну ефективність ТНС з різними видами приводу компресора та джерелами низькотемпературної теплоти (повітря, морської води, річкової води, ґрунту, водосховищ, шахтних вод, термальних вод, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів) з урахуванням змінних режимів роботи систем теплопостачання в широкому діапазоні зміни потужності ТНУ.

Для всіх джерел низькотемпературної теплоти та досліджуваних режимів роботи ТНС з приводом від ГПД спостерігається економія умовного палива, значення якої зростають зі збільшення частки навантаження ТНУ. Для ТНС з електроприводом для низки джерел теплоти (повітря, ґрунту, ґрунтових вод, стічних вод, поверхневих вод) спостерігається перевитрата умовного палива для низки режимів роботи ТНС. Для досліджуваних джерел низькотемпературної теплоти визначено раціональні режими роботи ТНС, за яких забезпечено економію умовного палива. Для ТНС з приводом від ГПД для всіх досліджених режимів роботи забезпечено більші значення економії умовного палива, ніж для ТНС з електроприводом.

За різних режимів роботи ТНС на всіх досліджених джерелах теплоти та видах приводу спостерігаємо економію робочого палива. Для ТНС з електроприводом економія робочого палива вища, ніж для ТНС з приводом від ГПД.

Для ТНС з електроприводом забезпечено зменшення викидів CO_2 на всіх досліджених джерелах теплоти, крім використання теплоти ґрунту та повітря, для яких спостерігаємо зростання викидів CO_2 . Для всіх досліджених режимів роботи ТНС з приводом від ГПД спостерігаємо зменшення викидів CO_2 .

Для ТНС з приводом від ГПД для всіх досліджених режимів роботи забезпечено кращі енергоекологічні показники, ніж для ТНС з електроприводом.

Представлені результати дозволяють оцінити енергетичну ефективність і зниження викидів CO_2 для ТНС з різними видами приводу компресора та джерелами низькотемпературної теплоти за умови змінних режимів роботи систем теплопостачання. Запропоновані результати досліджень дозволяють здійснити вибір режимів роботи ТНС та джерел низькотемпературної теплоти з метою досягнення заданих значень показників енергоекологічної ефективності роботи ТНС.

Представлені рекомендації можуть бути використані для прогнозування раціональних режимів роботи ТНС різної потужності в системах теплопостачання.

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. Калнинь И. М. Техника низких температур на службе энергетики / И. М. Калнинь // Холодильное дело. – 1996. – № 1. – С. 26 – 29.
5. 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.
6. 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.
7. 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. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – № 3. – С. 136 – 141.
8. Новиков Д. В. Выбор рациональных схем и параметров систем теплоснабжения с теплонасосными установками: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Новиков Дмитрий Викторович. – Саратов, 2007. – 128 с.
9. Осипов А. Л. Исследование и разработка схем теплоснабжения для использования низкопотенциального

тепла на основе применения теплонасосных установок: дис. ... канд. техн. наук 05.14.01 / Осипов Айрат Линарович. – Казань, 2005. – 117 с.

10. 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.

11. Долинский А. А. Тепловые насосы в системе теплоснабжения зданий / А. А. Долинский, Б. Х. Драганов // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 6. – С. 71 – 83.

12. Економічна ефективність теплонасосних станцій для систем теплопостачання [Електронний ресурс] / Остапенко О. П., Шевченко О. В. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – №4. – 2011. Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011_4/2011-4.files/uk/11opohss_ua.pdf.

Остапенко Ольга Павлівна – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики.

Валігура Ірина Олександрівна – студентка інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Коваленко Анастасія Дмитрівна – студентка інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет.