

УДК 621.577

О. П. Остапенко, к. т. н., доц.; И. А. Валигура; А. Д. Коваленко**ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СТАНЦИЙ НА ПРИРОДНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ ТЕПЛОТЫ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ**

Проведена оценка энергоэкологической эффективности теплонасосных станций (ТНС) с разными видами привода компрессора и источниками низкотемпературной теплоты с учетом переменных режимов работы систем теплоснабжения в широком диапазоне изменения мощности теплонасосной установки (ТНУ). Представленные результаты позволяют оценить энергетическую эффективность и снижение выбросов CO₂ для ТНС с разными видами привода компрессора и источниками низкотемпературной теплоты с учетом переменных режимов работы систем теплоснабжения. Предложенные результаты исследований позволяют осуществить выбор режимов работы ТНС и источников низкотемпературной теплоты с целью достижения заданных значений показателей энергоэкологической эффективности работы ТНС. Представленные рекомендации могут быть использованы для прогнозирования рациональных режимов работы ТНС разной мощности в системах теплоснабжения.

Ключевые слова: *теплонасосная станция, низкотемпературный источник теплоты, энергоэкологическая эффективность, расход топлива, экономия условного топлива, экономия рабочего топлива, снижение выбросов углекислого газа.*

Введение

Уменьшение энергопотребления, а также использование нетрадиционных и возобновляемых энергоресурсов природного и промышленного происхождения – это важные условия достижения энергетической независимости Украины. В Украине целесообразно масштабно развивать и внедрять современные технологии использования возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, в частности, внедрение теплонасосных установок. В соответствии с "Энергетической стратегией Украины на период до 2030 года", утвержденной распоряжением Кабинета министров Украины №145-р от 15 марта в 2006 г., развитие системы теплоснабжения планируют осуществлять путем постепенного наращивания производства теплоты на базе электрических теплогенераторов (преимущественно тепловых насосов). До 2030 года объем производства тепловой энергии электрическими теплогенераторами (с использованием тепловых насосов) увеличится до 180 млн. Гкал по сравнению с 1,7 млн. Гкал в 2005 г. Так "Энергетическая стратегия" определила новый концептуальный подход к теплоснабжению жилищно-коммунального комплекса страны [1].

Применение тепловых насосов, кроме энергетических преимуществ, обуславливает уменьшение загрязнения окружающей среды (в том числе и теплового) и уменьшение вредных выбросов в атмосферу. Привлечение средств от продажи квот на выбросы CO₂, в соответствии с Киотским протоколом, позволит повысить экономическую эффективность внедрения ТНС и сократить срок окупаемости последних.

Большой энергосберегающий эффект, чем от ТНУ, следует ожидать от внедрения теплонасосных станций, где тепловой насос объединён с пиковым источником теплоты. Для эффективной работы теплонасосных станций необходим природный или промышленный источник низкотемпературной теплоты с довольно высокой температурой на протяжении года. Теплота, производимая теплонасосными станциями, может быть использована для отопления и горячего водоснабжения жилищных, промышленных и общественных сооружений, а также для технологических потребностей [2 – 4].

Источники низкотемпературной теплоты для теплонасосных станций можно условно разделить на два вида. Первый вид – это природные источники теплоты: вода (поверхностная и глубинная, а также термальные воды), воздух, грунт, солнечная радиация и т. п. Ко второму виду относят промышленные источники теплоты – вторичные низкотемпературные энергоресурсы: сбросный воздух систем вентиляции, очищенная вода станций аэрации; вода в системах технического водоснабжения промышленных предприятий, которую необходимо охлаждать; сбросная теплота систем охлаждения машин (гидрогенераторов, трансформаторов и т. п.); также теплота, которая отводится в технологическом процессе для охлаждения.

В работе [5] намечены перспективы применения и оценена энергетическая эффективность теплонасосных станций в Украине с учетом имеющихся источников низкотемпературной теплоты (воздуха, морской воды, речной воды, грунта, водохранилищ, шахтных вод, термальных вод, канализационных сточных вод и вторичных энергоресурсов (ВЭР) металлургических комбинатов), оценены масштабы экономии энергоресурсов и уменьшения техногенной нагрузки на окружающую среду вследствие внедрения теплонасосных станций в Украине. В этой работе исследованы и проанализированы 108 проектов теплонасосных станций на природных и промышленных источниках теплоты в Украине. В [5] определено, что наибольшей экономии топлива достигают ТНС с использованием теплоты термальных и канализационных сточных вод (58,17% и 56,09% соответственно). Наименьшая экономия топлива свойственна ТНС с использованием теплоты воздуха (20,41%). В Украине наиболее широко планируют использовать в ТНС теплоту канализационных сточных вод и речной воды, что позволит сэкономить соответственно 235,864 и 164,920 млн. м³ в год природного газа. Внедрение ТНС на теплоте морской воды обеспечит экономию природного газа в количестве 96,350 млн. м³ в год. Внедрение теплонасосных станций в Украине с использованием имеющихся в регионах источников низкотемпературной теплоты позволит сэкономить 614,650 млн. м³ в год природного газа и обеспечит снижение выбросов CO₂ в количестве 732,263 тыс. тонн в год.

Внедрение теплонасосных станций с природными или промышленными источниками низкотемпературной теплоты позволит сократить потребление природного газа, уменьшить стоимость тепловой энергии и снизить техногенную нагрузку на окружающую среду. Это обуславливает актуальность исследований энергоэкологической эффективности теплонасосных станций.

Основная часть

За последние годы проведен ряд исследований эффективности ТНС в тепловых схемах источников энергоснабжения [3, 5 – 12]. Оценка эффективности ТНС осуществлялась по таким критериям: коэффициент преобразования, экономия рабочего и условного топлива по сравнению с существующей схемой, экономические показатели.

В проанализированных работах авторами не проведена оценка энергоэкологической эффективности ТНС с разными видами привода для переменных режимов работы систем теплоснабжения в широком диапазоне изменения мощности ТНУ.

Целью исследования является оценка энергоэкологической эффективности ТНС с разными видами привода компрессора на разных источниках низкотемпературной теплоты с учетом переменных режимов работы систем теплоснабжения в широком диапазоне изменения мощности ТНУ; проведение оптимизационных исследований с целью определения рациональных режимов работы ТНС разной мощности в системах теплоснабжения.

Исследование проводилось методом математического моделирования работы ТНС с использованием программы в среде Excel. Программу используют для моделирования работы теплонасосных станций с разными видами привода компрессора для

теплоснабжения. Программа имеет блочную структуру и состоит из таких расчетных модулей: расчет тепловой схемы замещаемой водогрейной котельной, расчет теплонасосной установки, расчет двигателя внутреннего сгорания и системы утилизации теплоты, расчет энергоэкологической эффективности теплонасосной станции. Предусмотрен модуль выбора источника низкотемпературной теплоты для ТНС и его температурного уровня в зависимости от режима работы ТНС.

Исследовалась энергетическая эффективность теплонасосной станции с максимальной мощностью 10 МВт в отопительный сезон (максимальная мощность ТНС в режиме работы для горячего водоснабжения составляла 2 МВт). Для сравнения рассматривали показатели работы водогрейной котельной такой же мощности. Исследовалась эффективность ТНС с электроприводом и приводом компрессора от газопоршневого двигателя (ГПД). Схемы указанных ТНС приведены в работе [3]. Мощность конденсатора теплового насоса изменялась от 500 до 2000 кВт, соответственно маркам теплонасосного оборудования, которое выпускает промышленность. Источниками низкотемпературной теплоты для ТНС были поверхностные воды, вода системы оборотного водоснабжения, грунтовые воды, геотермальные воды, воздух, вторичные энергоресурсы, канализационные сточные воды и теплота грунта.

Энергетическая эффективность работы ТНС в значительной степени определяется оптимальным распределением нагрузки между теплонасосной установкой и водогрейным котлом в составе ТНС. Распределение нагрузки между элементами ТНС характеризуется долей нагрузки ТНУ в составе ТНС β , которая определяется как отношение мощности конденсатора ТНУ к мощности ТНС $\beta = Q_{\text{тну}} / Q_{\text{тнс}}$.

Мощность и температурные режимы работы теплонасосной станции в системе теплоснабжения определяются по температурному графику в зависимости от температуры наружного воздуха и необходимой мощности потребителей.

На основе анализа результатов проведенных исследований определены оптимальные значения показателя β для ТНС на разных источниках теплоты с разными видами привода компрессора ТНУ при переменных режимах работы тепловой сети. Каждому из этих режимов соответствует определенное значение тепловых мощностей ТНС, ТНУ и доли тепловой нагрузки ТНУ β .

Для случаев переменных режимов работы и переменной тепловой нагрузки ТНС на протяжении года, среднегодовое значение доли нагрузки ТНУ в составе ТНС можно определить таким образом:

$$\beta_{\text{ср. год.}} = \frac{\sum_i \beta_i \cdot \tau_i}{\tau_{\text{год.}}}, \quad (1)$$

где β_i – доля нагрузки ТНУ для i -го режима работы ТНС; τ_i – продолжительность i -го режима работы ТНС; $\tau_{\text{год.}}$ – годовая продолжительность работы ТНС.

Экономия условного топлива от внедрения ТНС в значительной степени определяется оптимально подобранными режимами работы ТНС, рациональным распределением нагрузки между водогрейным котлом и ТНУ, следовательно, оптимальным значением доли нагрузки ТНУ в составе ТНС β . На основе определенных значений доли нагрузки ТНУ β оценивается экономия условного топлива ТНС для определенного режима работы системы теплоснабжения.

Для случаев переменных режимов работы и переменной тепловой нагрузки ТНС на протяжении года среднегодовое значение экономии условного топлива ТНС можно определить таким образом:

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

где ΔB_i^y – экономия условного топлива от внедрения ТНС для i -го режима работы ТНС, %.

Среднегодовое значение экономии рабочего топлива ТНС можно определить как:

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

где ΔB_i^p – экономия рабочего топлива от внедрения ТНС для i -го режима работы ТНС, %.

Как уже отмечалось, кроме энергетических преимуществ, применение тепловых насосов обуславливает уменьшение загрязнения окружающей среды (в том числе и теплового) и уменьшение вредных выбросов в атмосферу.

Оценено уменьшение выбросов CO_2 (в процентах) при использовании ТНС мощностью 10 МВт при переменных режимах работы по сравнению с работой водогрейной котельной такой же мощности на природном газе. Учитывались выбросы CO_2 при сжигании газа в котлах, а также выбросы CO_2 при производстве электроэнергии на электростанциях.

Значение годового уменьшения выбросов CO_2 ТНС можно определить как:

$$\Delta CO_{2 год.} = \frac{\sum_i \Delta CO_{2i} \cdot \tau_i}{\tau_{год.}}, \quad (4)$$

где ΔCO_{2i} – уменьшение выбросов CO_2 от внедрения ТНС для i -го режима работы ТНС по сравнению с водогрейной котельной такой же мощности на природном газе, %.

Предложенные критерии позволяют оценить энергетическую и экологическую эффективность работы ТНС на протяжении года при разных режимах работы.

В табл. 1 – 7 показаны результаты исследований эффективности работы ТНС на разных источниках теплоты с разными видами привода с учетом переменных режимов работы ТНС. В табл. 1 и 2 приведены показатели эффективности ТНС на теплоте сточных вод с электроприводом и приводом от ГПД соответственно, при условии переменных режимов работы. В табл. 1 и 2 обозначено: ОП – отопительный режим, МОП – межотопительный режим.

В табл. 1 и 2 указаны мощности ТНУ, значения доли нагрузки ТНУ. Значения экономии условного и рабочего топлива ТНС указаны для отопительного и межотопительного режимов, в зависимости от доли нагрузки ТНУ. Показано также годовое уменьшение выбросов CO_2 в зависимости от доли нагрузки ТНУ. Аналогичные результаты получены для ТНС с другими источниками теплоты.

Таблица 1

**Показатели эффективности ТНС на теплоте сточных вод с электроприводом
для переменных режимов работы**

Мощность ТНУ, кВт		Экономия условного топлива ТНС с электроприводом, %		Экономия рабочего топлива ТНС с электроприводом, %		Снижение выбросов CO ₂ ТНС с электроприводом, %	Доля тепловой мощности ТНУ в ТНС		
ОП	МОП	ОП	МОП	ОП	МОП		ОП	МОП	Сред. за год
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

Таблица 2

**Показатели эффективности ТНС на теплоте сточных вод с приводом от ГПД
для переменных режимов работы**

Мощность ТНУ, кВт		Экономия условного топлива ТНС с приводом от ГПД, %		Экономия рабочего топлива ТНС с приводом от ГПД, %		Снижение выбросов CO ₂ ТНС с приводом от ГПД, %	Доля тепловой мощности ТНУ в ТНС		
ОП	МОП	ОП	МОП	ОП	МОП		ОП	МОП	Сред. за год
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

Значения среднегодовой экономии условного топлива (в процентах) для ТНС с разными источниками низкотемпературной теплоты и приводом от ГПД в зависимости от доли нагрузки ТНУ показаны в табл. 3. Как видно из табл. 3, для всех источников

низкотемпературной теплоты и исследуемых режимов работы ТНС наблюдается экономия условного топлива, значения которой возрастают с увеличением доли нагрузки ТНУ β .

Таблица 3

Значения среднегодовой экономии условного топлива ТНС с разными источниками низкотемпературной теплоты и приводом от ГПД в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

Доля нагрузки ТНУ β	Источник низкотемпературной теплоты							
	Поверхностные воды	Оборотная вода	Грунтовые воды	Геотермальные воды	Воздух	Вторичные энергоресурсы	Сточные воды	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

В табл. 4 показаны значения среднегодовой экономии условного топлива (в процентах) для ТНС с разными источниками низкотемпературной теплоты и электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ.

Таблица 4

Значения среднегодовой экономии условного топлива ТНС с разными источниками низкотемпературной теплоты и электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

Доля нагрузки ТНУ β	Источник низкотемпературной теплоты							
	Поверхностные воды	Оборотная вода	Грунтовые воды	Геотермальные воды	Воздух	Вторичные энергоресурсы	Сточные воды	Грунт
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

Как видно из табл. 4, для ТНС с электроприводом для ряда источников теплоты (воздуха, грунта, грунтовых вод, сточных вод, поверхностных вод) наблюдается перерасход условного топлива. Для исследуемых источников низкотемпературной теплоты определены рациональные режимы работы ТНС, при которых обеспечивается экономия условного топлива.

Для ТНС с приводом от ГПД для всех исследованных режимов работы обеспечиваются большие значения экономии условного топлива, чем для ТНС с электроприводом.

В табл. 5 показаны значения среднегодовой экономии рабочего топлива (в процентах) для ТНС с электроприводом и приводом от ГПД, в зависимости от доли нагрузки ТНУ для разных источников низкотемпературной теплоты.

Таблица 5

Значения среднегодовой экономии рабочего топлива ТНС с электроприводом и приводом от ГПД в зависимости от доли нагрузки ТНУ для разных источников низкотемпературной теплоты, %

Доля нагрузки ТНУ β	Привод ТНУ от ГПД								Электропривод ТНУ
	Источник низкотемпературной теплоты								
	Грунт	Воздух	Грунтовые воды	Поверхностные воды	Сточные воды	Оборотная вода	Геотермальные воды	Вторичные энергоресурсы	Все источники низкотемпературной теплоты
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

Как видно из табл. 5, в этом случае для ТНС на всех источниках теплоты и видах привода наблюдается экономия рабочего топлива. Для ТНС с электроприводом экономия рабочего топлива принимает большие значения, чем для ТНС с приводом от ГПД.

В табл. 6 показаны значения годового уменьшения выбросов CO_2 (в процентах) для ТНС с электроприводом. Как видно из табл. 6, для ТНС с использованием теплоты грунта и воздуха наблюдается увеличение выбросов CO_2 .

В табл. 7 показаны значения годового уменьшения выбросов CO_2 (в процентах) для ТНС с приводом от ГПД. Для всех исследованных режимов работы ТНС с приводом от ГПД наблюдается снижение выбросов CO_2 .

Таблица 6

Значения годового снижения выбросов CO₂ ТНС с электроприводом, %

Доля нагрузки ТНУ β	Источник низкотемпературной теплоты							
	Воздух	Грунт	Грунтовые воды	Поверхностные воды	Сточные воды	Оборотная вода	Вторичные энергоресурсы	Геотермальные воды
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

Таблица 7

Значения годового снижения выбросов CO₂ для ТНС с приводом от ГПД, %

Доля нагрузки ТНУ β	Источник низкотемпературной теплоты							
	Воздух	Грунт	Грунтовые воды	Поверхностные воды	Сточные воды	Оборотная вода	Вторичные энергоресурсы	Геотермальные воды
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

Следует отметить, что для ТНС с приводом от ГПД для всех исследованных режимов работы зафиксированы лучшие энергоэкологические показатели, чем для ТНС с электроприводом.

Выводы

Оценена энергоэкологическая эффективность ТНС с разными видами привода компрессора и источниками низкотемпературной теплоты (воздуха, морской воды, речной воды, грунта, водохранилищ, шахтных вод, термальных вод, канализационных сточных вод и ВЭР металлургических комбинатов) с учетом переменных режимов работы систем теплоснабжения в широком диапазоне изменения мощности ТНУ.

Для всех источников низкотемпературной теплоты и исследуемых режимов работы ТНС с приводом от ГПД наблюдается экономия условного топлива, значения которой возрастают с увеличением доли нагрузки ТНУ. Для ТНС с электроприводом для ряда источников теплоты (воздуха, грунта, грунтовых вод, сточных вод, поверхностных вод) наблюдается перерасход условного топлива для ряда режимов работы ТНС. Для исследуемых источников низкотемпературной теплоты определены рациональные режимы работы ТНС, при которых обеспечена экономия условного топлива. Для ТНС с приводом от ГПД для всех исследованных режимов работы обеспечены большие значения экономии условного топлива, чем для ТНС с электроприводом.

При разных режимах работы ТНС на всех исследованных источниках теплоты и видах привода наблюдается экономия рабочего топлива. Для ТНС с электроприводом экономия рабочего топлива принимает большие значения, чем для ТНС с приводом от ГПД.

Для ТНС с электроприводом обеспечивается уменьшение выбросов CO_2 на всех исследованных источниках теплоты, кроме использования теплоты грунта и воздуха, для которых наблюдается увеличение выбросов CO_2 . Для всех исследованных режимов работы ТНС с приводом от ГПД наблюдается уменьшения выбросов CO_2 .

Для ТНС с приводом от ГПД для всех исследованных режимов работы зафиксированы лучшие энергоэкологические показатели, чем для ТНС с электроприводом.

Представленные результаты позволяют оценить энергетическую эффективность и снижение выбросов CO_2 для ТНС с разными видами привода компрессора и источниками низкотемпературной теплоты для переменных режимов работы систем теплоснабжения. Предложенные результаты исследований позволяют осуществить выбор режимов работы ТНС и источников низкотемпературной теплоты с целью достижения заданных значений показателей энергоэкологической эффективности работы ТНС.

Представленные рекомендации могут быть использованы для прогнозирования рациональных режимов работы ТНС разной мощности в системах теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 Павловна – к. т. н., доцент кафедры теплоэнергетики.

Валигура Ирина Александровна – студентка института строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Коваленко Анастасия Дмитриевна – студентка института строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Винницкий национальный технический университет.