

УДК 621.577

О. П. Остапенко, к. т. н., доц.; Е. В. Бакум; А. В. Ющишина**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СТАНЦИЙ
НА ПРИРОДНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ ТЕПЛОТЫ**

Оценена энергетическая, экологическая и экономическая эффективность теплонасосных станций (ТНС) с разными видами привода компрессора на природных и промышленных источниках низкотемпературной теплоты (поверхностные воды, вода системы оборотного водоснабжения, грунтовые воды, геотермальные воды, воздух, вторичные энергоресурсы, канализационные сточные воды и теплота грунта) с учетом переменных режимов работы систем теплоснабжения в широком диапазоне изменения мощности теплонасосной установки (ТНУ). Предложены методы комплексной оценки эффективности ТНС при переменных режимах работы по энергетическим, экологическим и экономическим показателям. Результаты исследований позволяют осуществить выбор режимов работы ТНС с целью достижения заданных значений показателей энергетической, экологической и экономической эффективности круглогодичной работы ТНС.

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

Введение

Внедрение теплонасосных технологий производства теплоты в Украине является одним из эффективных энергосберегающих мероприятий, которые обеспечивают экономию органического топлива и снижение загрязнения окружающей среды. 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) [1].

Наибольшего энергосберегающего эффекта достигают от внедрения теплонасосных станций, в которых тепловой насос объединяется с дополнительным пиковым источником теплоты. Одним из условий рационального применения теплонасосных станций является наличие природных или промышленных источников низкотемпературной теплоты с достаточно высокой температурой на протяжении года, которые не требуют значительных расходов на перекачивание и не приводят к коррозии оборудования. Теплота, которую производят теплонасосные станции, может быть использована для отопления и горячего водоснабжения жилищных, промышленных и общественных сооружений, а также для технологических нужд [2 – 3].

Дефицит топливно-энергетических ресурсов в Украине и экологические преимущества тепловых насосов стимулируют внедрение теплонасосных станций в промышленность и муниципальную энергетику. Сооружение на базе водогрейных котельных 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.

За последние годы проведен ряд исследований эффективности теплонасосных станций в тепловых схемах источников энергоснабжения [1, 3 – 13]. В частности, в работе [3] авторами выполнены исследования с целью повышения энергоэффективности источников

теплоснабжения путем использования ТНС с учетом влияния схемных решений и режимов работы. Схемы указанных ТНС приведены в работе [3].

В работе [4] исследовано и проанализировано 108 проектов теплонасосных станций для 21 области Украины с использованием теплоты воздуха, морской воды, речной воды, грунта, водохранилищ, шахтных вод, термальных вод, канализационных сточных вод и вторичных энергоресурсов (ВЭР) металлургических комбинатов. Определено, наибольшие масштабы использования в Украине ТНС на теплоте сточных вод, речной воды, теплоты грунта и грунтовых вод. Использование в ТНС теплоты морской воды, геотермальных вод, шахтных вод, ВЭР металлургических комбинатов возможно лишь в отдельных областях Украины, однако обосновывается значительными объемами экономии топлива. Максимальные значения экономии топлива обеспечивают 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 %).

Внедрение в Украине ТНС общей мощностью 909,48 МВт с использованием имеющихся в регионах источников низкотемпературной теплоты позволит сэкономить 614,650 млн. м³ в год природного газа. Это обеспечит снижение выбросов CO₂ в Украине в количестве 732,263 тыс. тонн в год, что позволит снизить техногенную нагрузку на окружающую среду (особенно в больших промышленных центрах) и повысить экономическую эффективность внедрения ТНС с привлечением средств от продажи квот на выбросы CO₂ в соответствии с Киотским протоколом.

В Украине наиболее широко планируют использовать 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 [4].

Наибольшие объемы экономии энергоресурсов в Украине от применения ТНС свойственны таким областям, как: Днепропетровская (19,36 %), Луганская (15,70 %) и Киевская (15,32 %). Это обусловлено значительными ресурсами природных и техногенных источников низкотемпературной теплоты в этих регионах. Существенной экономии энергоресурсов от применения ТНС (11,19 %) можно достичь в АР Крым за счет использования значительных ресурсов природной низкотемпературной теплоты в регионе. Очень незначительные объемы экономии энергоресурсов от применения ТНС в западных областях Украины, что обусловлено отсутствием в этих регионах техногенных источников низкотемпературной теплоты. Однако ТНС на природных источниках теплоты могут стать основой теплоснабжения этих регионов, поскольку предусматривают уменьшение загрязнения окружающей среды и сокращение вредных выбросов в атмосферу [4].

Проведен ряд исследований [7 – 13] по определению экономической эффективности применения теплонасосных установок в тепловых схемах источников энергоснабжения.

В исследовании [11] проводили оценку экономической эффективности ТНС мощностью 1 МВт для систем теплоснабжения с учетом комплексного влияния источников низкотемпературной теплоты, вида привода компрессора ТНУ и цен на энергоносители. Исследовали экономическую эффективность ТНС с такими источниками природной низкотемпературной теплоты и теплоты промышленного происхождения, как: морская вода, водохранилище, термальные воды, воздух, река, канализационные сточные воды, вторичные энергоресурсы металлургических комбинатов, шахтные воды, грунтовые воды. Эти источники низкотемпературной теплоты довольно распространены на территории Украины. В [11] исследовали экономическую эффективность ТНС с электрическим приводом компрессора ТНУ и приводом от газопоршневого двигателя (ГПД). Схемы указанных ТНС приведены в работе [3].

В [11] определено, что при современном уровне цен на энергоносители и

прогнозируемом повышении стоимости природного газа на 10 – 50 % экономически эффективными являются все исследуемые варианты ТНС с приводом от газопоршневого двигателя.

Согласно [11], для ТНС с электроприводом определено, что:

– при современном уровне цен на энергоносители и прогнозируемом повышении стоимости электроэнергии на 10 – 50 % экономически эффективными являются варианты использования теплоты шахтных и термальных вод, водохранилища, канализационных сточных вод и ВЭР металлургических комбинатов. При условии повышения стоимости электроэнергии свыше 20 % нерентабельными становятся варианты ТНС с использованием теплоты водохранилища и ВЭР металлургических комбинатов;

– при современном уровне цен на энергоносители и прогнозируемом повышении стоимости природного газа на 10 – 50 % экономически эффективными являются варианты использования теплоты шахтных и термальных вод, водохранилища, канализационных сточных вод, ВЭР металлургических комбинатов и морской воды. Простая окупаемость вариантов ТНС в этом случае уменьшается почти вдвое;

– при современном уровне цен на энергоносители и в случае одновременного повышения стоимости электроэнергии и природного газа на 10 – 50 % экономически эффективными являются варианты использования теплоты шахтных и термальных вод, водохранилища, канализационных сточных вод и ВЭР металлургических комбинатов. В этом случае простая окупаемость вариантов ТНС уменьшается почти в полтора раза.

Представленные результаты исследований [3, 4, 11] определяют энергетические и экономические предпосылки эффективной интеграции ТНС в системы теплоснабжения промышленных предприятий и предприятий муниципальной энергетики в Украине.

Основная часть

В проанализированных работах [1 – 13] авторами не проведена оценка энергетической, экологической и экономической эффективности теплонасосных станций в Украине с разными видами привода при переменных режимах работы для природных и промышленных источников низкотемпературной теплоты.

Целью данного исследования является определение энергетических, экологических и экономических преимуществ применения в Украине теплонасосных станций с разными видами привода при переменных режимах работы с учетом имеющихся источников природной и промышленной низкотемпературной теплоты; анализ энергетической, экологической и экономической эффективности ТНС при переменных режимах работы для разных источников низкотемпературной теплоты и видов привода компрессора ТНУ.

Исследование проводили методом математического моделирования работы ТНС с использованием программы в среде Excel. Исследовали энергетическую, экологическую и экономическую эффективность теплонасосной станции с максимальной мощностью 10 МВт в отопительный сезон (максимальная мощность ТНС в режиме работы для горячего снабжения составляла 2 МВт). В качестве сравнительного варианта принимался вариант работы водогрейной котельной такой же мощности. Исследовали эффективность ТНС с электроприводом и приводом компрессора от ГПД. Мощность конденсатора теплового насоса изменялась от 500 до 2000 кВт в соответствии с марками 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. Характеристика источников низкотемпературной теплоты приведена в табл. 1. Исследование проведено для температурных графиков работы тепловой сети 150/70, 130/70, 95/70.

Эффективность работы ТНС в значительной степени определяют оптимальным

распределением нагрузки между теплонасосной установкой и водогрейным котлом в составе ТНС. Это распределение характеризуется долей нагрузки ТНУ в составе ТНС β , которая определяется как отношение мощности конденсатора ТНУ к мощности ТНС $\beta = \frac{Q_{тну}}{Q_{тнс}}$.

Таблица 1

Характеристика источников низкотемпературной теплоты [14]

Источник низкотемпературной теплоты	Температурный уровень источника, °С
Воздух	-5...+15
Грунт	5...10
Грунтовые воды	8...15
Поверхностные воды	4...17
Канализационные сточные воды	10...17
Оборотная вода	25...40
Геотермальные воды	40...65
Вторичные энергоресурсы	40...70

В табл. 2 указан диапазон исследуемых значений мощности ТНУ для отопительного (ОП) и межотопительного (МОП) режимов, а также значения доли нагрузки ТНУ для отопительного, межотопительного режимов и среднегодовое значение.

Таблица 2

Значения мощности тепловых насосов и доли тепловой мощности ТНУ в ТНС

Мощность ТНУ, кВт		Доля тепловой мощности ТНУ в ТНС		
ОП	МОП	ОП	МОП	Среднее за год
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

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 нагрузки ТНУ β .

Однако, анализируя эффективность вариантов ТНС и режимов ее работы, нельзя ограничиваться только энергетическими показателями эффективности. Применение тепловых насосов предусматривает уменьшение загрязнения окружающей среды и

сокращение 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. В исследовании учтено, что дополнительные средства от продажи квот на выбросы CO₂ составляют 20 \$/т выбросов.

В табл. 3 и 4 приведены энергетические и экологические показатели эффективности ТНС на теплоте сточных вод с электроприводом и приводом от ГПД для переменных режимов работы ТНС соответственно. Здесь показаны значения экономии условного и рабочего топлива, а также снижение выбросов CO₂ в зависимости от доли нагрузки ТНУ. Аналогичные результаты получены для ТНС с другими источниками теплоты.

Таблица 3

Значения экономии условного, рабочего топлива, снижения выбросов CO₂ ТНС на сточных водах с электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

Доля нагрузки ТНУ β	Экономия, %		
	Условного топлива	Рабочего топлива	Снижение выбросов
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

Таблица 4

Значения экономии условного, рабочего топлива, снижения выбросов CO₂ ТНС на сточных водах с приводом от ГПД в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

Доля нагрузки ТНУ β	Экономия, %		
	Условного топлива	Рабочего топлива	Снижение выбросов
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

Как видно из табл. 3, снижение выбросов CO_2 наблюдаем для всех режимов работы ТНС, несмотря на то, что экономии рабочего и условного топлива для таких режимов принимают противоречивые значения. Для ТНС на сточных водах с приводом от ГПД (табл. 4) для всех режимов работы фиксируем экономию рабочего и условного топлива и уменьшение вредных выбросов.

Предварительный анализ показывает, что эффективность теплонасосных станций следует оценивать комплексно, с использованием энергетических, экологических и экономических критериев, так как использование только энергетических или одновременно энергетических и экологических критериев однозначно не определяет эффективность ТНС.

В табл. 5 и 6 приведены экономические показатели эффективности ТНС с электроприводом и приводом от ГПД для разных источников низкотемпературной теплоты соответственно. Здесь (см. табл. 5 и 6) показаны значения экономии средств (в процентах) на топливно-энергетических ресурсах (ТЭР) для ТНС в зависимости от доли нагрузки ТНУ.

Таблица 5

**Значения экономии средств на ТЭР для ТНС с электроприводом
в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %**

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

Как видно из табл. 5 и 6, для всех источников теплоты, видов привода и режимов работы ТНС обеспечена экономия средств на топливно-энергетических ресурсах. ТНС с приводом от ГПД для большинства режимов работы ТНС обеспечивает большую экономию средств на ТЭР, чем ТНС с электроприводом.

Таблица 6

**Значения экономии средств на ТЭР для ТНС с приводом от ГПД
в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %**

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

В табл. 7 и 8 показаны значения экономии средств на ТЭР и выбросах (в процентах) для ТНС с электроприводом и приводом от ГПД на теплоте сточных вод соответственно. Как видно из табл. 7 и 8, для ТНС с приводом от ГПД экономия средств на топливе и выбросах более существенна, чем для ТНС с электроприводом.

Таблица 7

**Значения экономии средств на ТЭР и выбросах
(в процентах) для ТНС с электроприводом
на теплоте сточных вод, %**

Доля нагрузки ТНУ β	Экономия, %		
	Средств на выбросах	Средств на ТЭР	Общая экономия средств
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

Таблица 8

**Значения экономии средств на ТЭР и выбросах
(в процентах) для ТНС на теплоте сточных вод
с приводом от ГПД, %**

Доля нагрузки ТНУ β	Экономия, %		
	Средств на выбросах	Средств на ТЭР	Общая экономия средств
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

В табл. 9 приведены значения показателей энергетической, экологической и экономической эффективности ТНС на теплоте сточных вод с электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ. Следует обратить внимание на то, что общая экономия средств на ТЭР и сокращение выбросов CO₂ обеспечиваются для всех режимов работы ТНС, даже для тех, где наблюдается перерасход условного топлива.

Таблица 9

**Значения показателей энергетической, экологической и экономической
эффективности ТНС на теплоте сточных вод с электроприводом, %**

Доля нагрузки ТНУ β	Экономия, %			
	Условного топлива	Рабочего топлива	Снижение выбросов	Общая экономия средств
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

В табл. 10 приведены значения показателей энергетической, экологической и экономической эффективности ТНС на теплоте сточных вод с приводом от ГПД в зависимости от доли нагрузки ТНУ. Здесь (см. табл. 10) мы наблюдаем положительные

значения всех показателей эффективности ТНС для всех исследованных режимов работы.

Таблица 10

Значения показателей энергетической, экологической и экономической эффективности ТНС на теплоте сточных вод с приводом от ГПД, %

Доля нагрузки ТНУ β	Экономия, %			
	Условного топлива	Рабочего топлива	Снижение выбросов	Общая экономия средств
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

В табл. 11 и 12 приведены значения аналогичных показателей энергетической, экологической и экономической эффективности ТНС на теплоте оборотной воды с электроприводом и приводом от ГПД соответственно, в зависимости от доли нагрузки ТНУ. Здесь мы наблюдаем аналогичный предыдущим (см. табл. 9 и 10) характер изменения показателей эффективности ТНС.

Таблица 11

Значения показателей энергетической, экологической и экономической эффективности ТНС с электроприводом на теплоте оборотной воды, %

Доля нагрузки ТНУ β	Экономия, %			
	Условного топлива	Рабочего топлива	Снижение выбросов	Общая экономия средств
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

Таблица 12

Значения показателей энергетической, экологической и экономической эффективности ТНС с приводом от ГПД на теплоте оборотной воды, %

Доля нагрузки ТНУ β	Экономия, %			
	Условного топлива	Рабочего топлива	Снижение выбросов	Общая экономия средств
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 всех исследуемых природных и промышленных источников теплоты для ТНС определены значения показателей энергетической, экологической и экономической эффективности ТНС (как в табл. 9 – 12) при переменных режимах работы и с разными видами привода компрессора ТНУ.

Предложенный в табл. 9 – 12 комплекс показателей эффективности ТНС позволяет оценить энергетическую, экологическую и экономическую эффективность ТНС при переменных режимах работы и сделать окончательный вывод относительно эффективности исследуемого варианта ТНС и режимов ее работы.

Выводы

Проанализированы энергетические и экономические предпосылки эффективной интеграции теплонасосных станций в системы теплоснабжения промышленных предприятий и предприятий муниципальной энергетики в Украине.

Оценена энергетическая, экологическая и экономическая эффективность ТНС с разными видами привода компрессора на природных и промышленных источниках низкотемпературной теплоты (поверхностные воды, вода системы оборотного водоснабжения, грунтовые воды, геотермальные воды, воздух, вторичные энергоресурсы, канализационные сточные воды и теплота грунта) с учетом переменных режимов работы систем теплоснабжения в широком диапазоне изменения мощности ТНУ.

Для всех исследуемых природных и промышленных источников теплоты для ТНС определены значения показателей энергетической, экологической и экономической эффективности ТНС при переменных режимах работы и с разными видами привода компрессора ТНУ.

Определено, что эффективность теплонасосных станций следует оценивать комплексно, с использованием энергетических, экологических и экономических критериев. Использование только энергетических или одновременно энергетических и экологических критериев

однозначно не определяет эффективность ТНС.

Предложенный комплекс показателей эффективности ТНС позволяет оценить энергетическую, экологическую и экономическую эффективность ТНС при переменных режимах работы и сделать окончательный вывод относительно эффективности исследуемого варианта ТНС и режимов ее работы.

Результаты исследований позволяют осуществить выбор режимов работы ТНС с целью достижения заданных значений показателей энергетической, экологической и экономической эффективности работы ТНС на протяжении года.

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. 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 теплонапосною 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.nbu.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. Беляева, 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 Павловна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики.

Бакум Елена Викторовна – студентка института строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Ющишина Алла Владимировна – студентка института строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Винницкий национальный технический университет.