

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

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СТОИМОСТИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Проанализирована экономическая эффективность теплонасосных станций (ТНС) с разными источниками низкотемпературной теплоты для промышленности и муниципальной теплоэнергетики при изменении стоимости топливно-энергетических ресурсов и переменных режимах работы. Представленные рекомендации могут быть использованы для прогнозирования условий эффективной интеграции ТНС в системы теплоснабжения предприятий промышленности и муниципальной теплоэнергетики.

Ключевые слова: экономическая эффективность, теплонасосная станция, теплонасосная установка, стоимость топливно-энергетических ресурсов.

Введение

Значительный потенциал возможной экономии топливно-энергетических ресурсов от применения тепловых насосов в Украине и экологические преимущества стимулируют внедрение теплонасосных станций (ТНС) в промышленность и муниципальную энергетику. Для экономически эффективной работы ТНС необходимо благоприятное соотношение цен на топливо и электроэнергию, что характерно лишь для тепловых насосов с электроприводом. Экономическая эффективность и окупаемость ТНС с приводом от газопоршневого двигателя (ГПД) не зависит от стоимости электроэнергии, а зависит лишь от стоимости топлива.

На энергетическом рынке Украины наблюдаем существенную разницу в стоимости природного газа для промышленных предприятий и предприятий муниципальной теплоэнергетики. Это предопределяет значительную разницу и в экономической эффективности от внедрения теплонасосных станций в промышленность и муниципальную теплоэнергетику и необходимость осуществления оценки экономической эффективности.

За последние годы проведен ряд исследований эффективности применения теплонасосных установок (ТНУ) в тепловых схемах источников энергоснабжения. В работе [1] авторами выполнены исследования по повышению энергоэффективности источников теплоснабжения путем использования ТНУ с учетом влияния схемных решений и режимов работы. Оценка эффективности ТНС проводили по таким критериям: экономия топлива по сравнению с существующей схемой, годовые расходы на топливо и электроэнергию, капиталовложения, себестоимость единицы теплоты, срок окупаемости, годовые приведенные затраты и прибыль.

В [2] определяли экономические показатели систем теплоснабжения с ТНУ в условиях экономики России. Расчеты проводили для разных соотношений цены на топливо (газ, уголь) и электроэнергию. В исследовании [2] предложены такие критерии оценки экономической эффективности: интегральный эффект (чистая прибыль), индекс доходности (прибыльности) и срок окупаемости капиталовложений. В [3] рассматривают схемы использования ТНУ на промышленных электростанциях. В исследовании [4] проанализирована эффективность ТНС с электроприводом и с приводом от газотурбинной установки и котлом-утилизатором.

Авторами [5] проведены сравнительные исследования трех систем энергоснабжения по

себестоимости теплоты (на базе газового котла, теплового насоса и когенерационной установки с тепловым насосом) при условии изменения стоимости электроэнергии и газа для разных групп потребителей. Учитывалась стоимость газа и электроэнергии только для социально-бюджетной и жилищно-коммунальной сферы. Предложенные результаты получены лишь для действующих цен на электроэнергию и не позволяют осуществить оценку эффективности применения ТНУ в случае изменения цены на топливно-энергетические ресурсы.

В работе [6] проведена оценка эффективности четырех источников теплоснабжения мощностью 3 МВт на базе электродвигателя, топливного котла (газ, жидкое топливо) и теплонасосной установки. В основу экономических моделей заложены средние показатели стоимости топливно-энергетических ресурсов в Украине. В работе [7] проведена оценка энергоэффективности теплонасосной установки малой мощности по сравнению с традиционными источниками теплоснабжения на базе электрического и газового котла.

В исследовании [8] проведена оценка 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 и простую окупаемость вариантов ТНС с разными источниками низкотемпературной теплоты и видами привода компрессора ТНУ. Проведена оценка экономической эффективности ТНС при действующих значениях стоимости энергоносителей и прогнозируемом повышении их стоимости в ближайшее время. В исследовании [8] не учтено влияние переменных режимов работы ТНС на показатели экономической эффективности.

В публикациях [1, 8, 9] определены энергетические и экономические предпосылки эффективной интеграции ТНС в системы теплоснабжения промышленных предприятий и предприятий муниципальной энергетики в Украине.

В работе [10] оценена энергетическая, экологическая и экономическая эффективность ТНС с разными видами привода компрессора на природных и промышленных источниках низкотемпературной теплоты с учетом переменных режимов работы систем теплоснабжения в широком диапазоне изменения мощности ТНУ. В исследовании [10] не учтено влияние изменения стоимости топливно-энергетических ресурсов на показатели экономической эффективности ТНС.

В работах [1 – 10] авторами не проведена оценка экономической эффективности ТНС с разными видами привода в системах теплоснабжения промышленных предприятий и предприятий муниципальной теплоэнергетики в условиях изменения стоимости топлива и электроэнергии для переменных режимов работы ТНС.

Целью исследования является оценка экономической эффективности теплонасосных станций в Украине при изменении стоимости топливно-энергетических ресурсов и переменных режимах работы ТНС; анализ экономической эффективности ТНС в промышленности и муниципальной теплоэнергетике; проведение оптимизационных технико-экономических исследований с целью определения оптимальных экономических условий применения ТНС в системах теплоснабжения промышленных предприятий и предприятий муниципальной теплоэнергетики.

Основная часть

Исследование проводили методом математического моделирования работы ТНС с использованием программы в среде Excel. Исследовали экономическую эффективность ТНС с максимальной мощностью 10 МВт в отопительный сезон, максимальная мощность ТНС в режиме работы для горячего водоснабжения составляла 2 МВт. Как сравнительный вариант рассматривали вариант работы водогрейной котельной такой же мощности. Исследовали экономическую эффективность ТНС с электроприводом и приводом компрессора от ГПД.

Схемы указанных ТНС приведены в работе [1].

Источниками низкотемпературной теплоты для ТНС были: поверхностные воды, вода системы оборотного водоснабжения, грунтовые воды, геотермальные воды, воздух, вторичные энергоресурсы (ВЭР), канализационные сточные воды и теплота грунта. Характеристика источников низкотемпературной теплоты приведена в работе [10].

Энергетическую и экономическую эффективность 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 $\beta = \frac{Q_{тну}}{Q_{тнс}}$.

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 . Результаты исследований энергетической эффективности ТНС при переменных режимах работы приведены в работе [11].

Экономия условного и рабочего топлива от внедрения ТНС в значительной степени определяют 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 оценивают экономию условного и рабочего топлива ТНС для определенного режима работы системы теплоснабжения.

Экономическую эффективность от внедрения ТНС определяют как разницу эксплуатационных затрат замещаемой водогрейной котельной и ТНС. К эксплуатационным затратам при работе водогрейной котельной или ТНС относят: расходы на топливо, электроэнергию, воду, амортизацию оборудования и текущий ремонт, заработную плату и другие расходы. Наиболее весомой составляющей в структуре эксплуатационных затрат и себестоимости тепловой энергии являются расходы на топливо (для котельных и ТНС с приводом от газопоршневого двигателя) и электрическую энергию (для ТНС с электроприводом). Кроме того, значительное влияние на энергетическую и, как следствие, экономическую эффективность ТНС оказывают режимы работы ТНС и температурный уровень избранного источника низкотемпературной теплоты.

Для случаев переменных режимов работы и переменной тепловой нагрузки ТНС на протяжении года среднегодовое значение относительной экономической эффективности ТНС (в процентах) может быть определено таким образом:

$$\Delta E_{ср.год.} = \frac{\sum_i \Delta E_i \cdot \tau_i}{\tau_{год.}}, \quad (1)$$

где ΔE_i – относительная экономическая эффективность ТНС для i -го режима работы ТНС, %; τ_i – продолжительность i -го режима работы ТНС, час./год; $\tau_{год.}$ – годовая продолжительность работы ТНС, час./год.

Относительная экономическая эффективность ТНС (в процентах) для i -го режима работы может быть определена так:

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

где $(E_{\text{кот}})_i$ – эксплуатационные затраты для i -го режима работы замещаемой котельной, грн./год; $(E_{\text{тнс}})_i$ – эксплуатационные затраты для i -го режима работы ТНС, грн./год.

Исследования экономической эффективности проводили по укрупненным показателям. Для разных источников теплоты в ТНС не учитывали расходы на сооружение систем отбора теплоты от низкотемпературного источника.

Применение тепловых насосов приводит к уменьшению загрязнения окружающей среды и сокращению вредных выбросов в атмосферу. Привлечение средств от продажи квот на выбросы CO_2 , согласно 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 CO_2 составляют 20 \$/т выбросов.

Учитывая современную сложную ситуацию в топливно-энергетическом комплексе страны и тенденцию к росту цен на топливно-энергетические ресурсы, исследования экономической эффективности ТНС проводили для текущих значений стоимости энергоресурсов в промышленности и муниципальной теплоэнергетике и с учётом прогнозируемого повышения стоимости природного газа для промышленных предприятий в ближайший период. Значения стоимости топливно-энергетических ресурсов, для которых проводили исследование, показаны в табл. 1.

Таблица 1

Стоимость топливно-энергетических ресурсов

Значения стоимости топливно-энергетических ресурсов	Сфера внедрения ТНС		
	Муниципальная теплоэнергетика (цены по состоянию на 01.03.2014) [12]	Промышленность (цены по состоянию на 01.03.2014) [12]	Промышленность (цены по состоянию на 01.12.2013) [12], (прогноз на 2014 г.)
Цена на электроэнергию, грн./кВт·час	1,239	1,239	1,239
Цена на природный газ, грн./тыс. м ³	2296,32	4201,512	4876,08

В табл. 1 приведены значения стоимости топливно-энергетических ресурсов в промышленности и муниципальной теплоэнергетике по состоянию на 01.03.2014. Здесь для сравнения указана стоимость природного газа для промышленных предприятий по состоянию на 01.12.2013, поскольку, по прогнозным оценкам, во втором квартале 2014 года возможно установление новой цены на природный газ на уровне цены 2013 года.

Нами проведена оценка относительной экономической эффективности ТНС с разными видами привода и источниками низкотемпературной теплоты при изменении стоимости топливно-энергетических ресурсов и переменных режимах работы ТНС.

В табл. 2 показаны значения относительной экономической эффективности для ТНС с электроприводом на теплоте сточных вод в зависимости от доли нагрузки ТНУ для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Из табл. 2 видно, что при цене природного газа 2296,3 грн./тыс. м³ для предприятий муниципальной теплоэнергетики такой вариант ТНС является убыточным, на что указывают отрицательные значения относительной экономической эффективности. При цене природного газа в

промышленности от 4201,512 до 4876,08 грн./тыс. м³ (по прогнозным оценкам) будет обеспечена относительная экономическая эффективность такого варианта ТНС.

В табл. 3 показаны значения относительной экономической эффективности для ТНС с электроприводом на теплоте оборотной воды в зависимости от доли нагрузки ТНУ для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Здесь мы фиксируем характер изменения показателей относительной экономической эффективности ТНС, аналогичный предыдущим результатам, показанным в табл. 2. Для этого варианта ТНС существенные значения относительной экономической эффективности будут обеспечены при цене природного газа от 4201,512 грн./тыс. м³ и выше. Следовательно, этот вариант ТНС будет экономически эффективным только в промышленности.

Таблица 2

Значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте сточных вод с электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

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

В табл. 4 показаны значения относительной экономической эффективности для ТНС с электроприводом на теплоте грунта в зависимости от доли нагрузки ТНУ для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Из табл. 4 видно, что при цене природного газа 2296,3 грн./тыс. м³ для предприятий муниципальной теплоэнергетики такой вариант ТНС является убыточным, на что указывают отрицательные значения относительной экономической эффективности. При цене природного газа в промышленности от 4201,512 до 4876,08 грн./тыс. м³ (по прогнозным оценкам) будет обеспечена незначительная относительная экономическая эффективность такого варианта ТНС, которая может увеличиться в случае дальнейшего возрастания стоимости природного газа.

Таблица 3

**Значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте оборотной воды
с электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %**

Доля нагрузки ТНУ β	Относительная экономическая эффективность ТНС ΔE_i , %		
	Муниципальная теплоэнергетика	Промышленность	Промышленность (прогноз)
0,158	0,119	5,452	6,341
0,187	-0,190	7,903	9,253
0,217	-0,499	10,355	12,165
0,246	-0,808	12,806	15,076
0,315	0,237	10,904	12,683
0,344	-0,071	13,355	15,594
0,374	-0,380	15,807	18,506
0,472	0,356	16,356	19,024
0,502	0,047	18,807	21,936
0,629	0,475	21,808	25,365

Таблица 4

**Значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте грунта
с электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %**

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

В табл. 5 показаны значения относительной экономической эффективности для ТНС с электроприводом на теплоте воздуха в зависимости от доли нагрузки ТНУ для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Здесь мы фиксируем характер изменения показателей относительной экономической эффективности ТНС, аналогичный предыдущим результатам, показанным в табл. 4. Для этого варианта ТНС существенные значения относительной экономической эффективности ТНС будут

обеспечены при цене природного газа свыше 4876,08 грн./тыс. м³. Такой вариант ТНС будет экономически эффективным только в промышленности при условии дальнейшего увеличения стоимости топлива. В этом случае целесообразнее выбрать другой вариант ТНС (с другим источником низкотемпературной теплоты и другим видом привода), который будет обеспечивать высокую экономическую эффективность.

Таблица 5

Значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте воздуха с электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

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

В табл. 6 показаны значения относительной экономической эффективности для ТНС с электроприводом на теплоте поверхностной воды в зависимости от доли нагрузки ТНУ для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Для этого варианта ТНС обеспечиваются аналогичные предыдущим результатам характер изменения показателей относительной экономической эффективности ТНС (см. табл. 5). Однако относительная экономическая эффективность такого варианта ТНС при высокой цене природного газа в промышленности (от 4876,08 грн./тыс. м³) является более существенной, чем в предыдущем варианте. Указанный вариант ТНС будет экономически эффективным только в промышленности при условии стоимости природного газа от 4876,08 грн./тыс. м³.

В табл. 7 показаны значения относительной экономической эффективности для ТНС с электроприводом на теплоте грунтовых вод в зависимости от доли нагрузки ТНУ для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Здесь мы фиксируем характер изменения показателей относительной экономической эффективности ТНС, аналогичный предыдущим результатам, показанным в табл. 6. Как и в предыдущем случае, этот вариант ТНС будет экономически эффективным только в промышленности при условии стоимости природного газа от 4876,08 грн./тыс. м³.

Таблица 6

Значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте поверхностной воды с электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

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

Таблица 7

Значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте грунтовых вод с электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

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

В табл. 8 показаны значения относительной экономической эффективности для ТНС с электроприводом на теплоте геотермальных вод в зависимости от доли нагрузки ТНУ для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Для этого варианта ТНС существенные значения относительной экономической эффективности обеспечены во всем диапазоне изменения стоимости природного газа. Следовательно, такой вариант ТНС будет экономически эффективным в муниципальной теплоэнергетике и в промышленности.

Таблица 8

Значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте геотермальных вод с электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

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

В табл. 9 показаны значения относительной экономической эффективности для ТНС с электроприводом на теплоте ВЭР в зависимости от доли нагрузки ТНУ для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Здесь мы фиксируем высокие значения относительной экономической эффективности ТНС во всем диапазоне изменения стоимости природного газа в промышленности и муниципальной теплоэнергетике при переменных режимах работы.

В табл. 10 приведены значения относительной экономической эффективности для ТНС с приводом от ГПД на теплоте сточной воды в зависимости от доли нагрузки ТНУ для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Как видно из табл. 10, для разных значений стоимости природного газа обеспечивается существенная относительная экономическая эффективность этого варианта ТНС. Следует отметить, что относительная экономическая эффективность вариантов ТНС с приводом от ГПД мало изменяется в зависимости от стоимости топлива.

Таблица 9

Значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте ВЭР с электроприводом в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

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

Таблица 10

Значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте сточной воды с приводом от ГПД в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

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

В табл. 11 показаны значения относительной экономической эффективности для ТНС с приводом от ГПД на теплоте оборотной воды в зависимости от доли нагрузки ТНУ для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Здесь мы фиксируем высокие значения относительной экономической эффективности ТНС во всем диапазоне изменения стоимости природного газа в промышленности и муниципальной теплоэнергетике при переменных режимах работы.

Таблица 11

Значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте оборотной воды с приводом от ГПД в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

Доля нагрузки ТНУ β	Относительная экономическая эффективность ТНС ΔE_t , %		
	Муниципальная теплоэнергетика	Промышленность	Промышленность (прогноз)
0,158	5,953	5,651	5,600
0,187	9,711	9,218	9,136
0,217	13,194	12,524	12,412
0,246	18,067	17,150	16,997
0,315	13,749	13,051	12,935
0,344	17,232	16,357	16,211
0,374	22,105	20,983	20,796
0,472	21,704	20,602	20,419
0,502	26,577	25,228	25,003
0,629	31,715	30,106	29,837

В табл. 12 приведены значения относительной экономической эффективности для ТНС с приводом от ГПД на теплоте грунта в зависимости от доли нагрузки ТНУ для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Для этого варианта обеспечиваются более низкие, чем для двух предыдущих вариантов ТНС с приводом от ГПД (см. табл. 10 и 11), значения относительной экономической эффективности ТНС во всем диапазоне изменения стоимости природного газа в промышленности и муниципальной теплоэнергетике.

Таблица 12

Значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте грунта с приводом от ГПД в зависимости от доли нагрузки ТНУ, %

Доля нагрузки ТНУ β	Относительная экономическая эффективность ТНС ΔE_t , %		
	Муниципальная теплоэнергетика	Промышленность	Промышленность (прогноз)
0,158	2,524	2,396	2,374
0,187	4,703	4,464	4,425
0,217	7,382	7,008	6,945
0,246	10,641	10,101	10,011
0,315	7,301	6,930	6,868
0,344	9,980	9,473	9,389
0,374	13,238	12,566	12,454
0,472	13,332	12,655	12,543
0,502	16,591	15,748	15,608
0,629	21,102	20,031	19,852

Для вариантов ТНС с приводом от ГПД для остальных источников теплоты получены

аналогичные значения относительной экономической эффективности для условий переменных режимов работы и стоимости топливно-энергетических ресурсов. Следует отметить, что относительная экономическая эффективность обеспечивается для всех вариантов ТНС с приводом от ГПД во всем диапазоне изменения стоимости природного газа и режимов работы и мало изменяется в зависимости от стоимости топлива.

Выводы

Проведена оценка относительной экономической эффективности ТНС с разными видами привода компрессора и источниками низкотемпературной теплоты для промышленности и муниципальной теплоэнергетики для условий изменения стоимости топливно-энергетических ресурсов и переменных режимов работы.

Высокие значения относительной экономической эффективности ТНС с приводом от ГПД обеспечиваются для всех источников низкотемпературной теплоты при переменных режимах работы, во всем диапазоне изменения стоимости природного газа в промышленности и муниципальной теплоэнергетике и мало изменяются в зависимости от стоимости топлива.

Для ТНС с электроприводом при переменных режимах работы:

- относительная экономическая эффективность ТНС на теплоте сточных вод и оборотной воды обеспечивается для цены природного газа (в промышленности) от 4201,512 до 4876,08 грн./тыс. м³ (по прогнозным оценкам). Для цены природного газа 2296,3 грн./тыс. м³ (для предприятий муниципальной теплоэнергетики) такие варианты ТНС являются убыточными, на что указывают отрицательные значения относительной экономической эффективности. ТНС на теплоте оборотной воды обеспечивает более высокие значения относительной экономической эффективности, чем на теплоте сточных вод;

- существенные значения относительной экономической эффективности ТНС на теплоте воздуха будут обеспечиваться при цене природного газа свыше 4876,08 3 грн./тыс. м³. Такой вариант ТНС следует признать малоэффективным и нецелесообразным;

- ТНС на теплоте поверхностной воды, грунта и грунтовых вод будут экономически эффективными только в промышленности при условии стоимости природного газа от 4876,08 грн./тыс. м³ и выше. Для предприятий муниципальной теплоэнергетики при условии стоимости природного газа 2296,3 грн./тыс. м³ эти варианты ТНС будут убыточными, на что указывают отрицательные значения относительной экономической эффективности;

- высокие значения относительной экономической эффективности ТНС во всем диапазоне изменения стоимости природного газа в промышленности и муниципальной теплоэнергетике при переменных режимах работы фиксируют для ТНС на теплоте геотермальных вод и ВЭР.

Результаты исследований позволяют оценить экономическую эффективность ТНС при изменении стоимости топливно-энергетических ресурсов в промышленности и муниципальной теплоэнергетике, при переменных режимах работы, видов привода и источников низкотемпературной теплоты.

Представленные рекомендации могут быть использованы для прогнозирования условий эффективной интеграции ТНС в системы теплоснабжения предприятий промышленности и муниципальной теплоэнергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 176 с.
2. Новиков Д. В. Выбор рациональных схем и параметров систем теплоснабжения с теплонасосными установками: дисс. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Новиков Дмитрий Викторович. – Саратов, 2007. – 128 с.
3. Осипов А. Л. Исследование и разработка схем теплоснабжения для использования низкопотенциального тепла на основе применения теплонасосных установок: дисс. ... канд. техн. наук : 05.14.04 / Осипов Айрат

Линарович. – Казань, 2005. – 117 с.

4. Маринченко А. Ю. Оптимизация исследований комбинированных теплопроизводящих установок с тепловыми насосами: дисс. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Маринченко Андрей Юрьевич. – Иркутск, 2004. – 120 с.

5. Беляева Т. Г. Оценка экономической целесообразности использования тепловых насосов в коммунальной теплоэнергетике Украины / Т. Г. Беляева, А. А. Рутенко, М. В. Ткаченко, О. Б. Басок // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 5. – С. 81 – 87.

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

7. Басок Б. И. Анализ экономической эффективности при реализации теплонасосных систем для теплоснабжения / Б. И. Басок, Т. Г. Беляева, А. А. Рутенко, А. А. Лунина // Промышленная теплотехника. – 2008. –

Т. 30, № 4. – С. 56 – 63.

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

9. Остапенко О. П. Перспективи застосування теплонасосних станцій в Україні / О. П. Остапенко, О. В. Шевченко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2011. – № 2. – С. 132 – 139.

10. Енергетичний, екологічний та економічний аспекти ефективності теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, О. В. Бакум, А. В. Ющишина // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 3. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/article/viewFile/3040/4626>.

11. Енергетична ефективність теплонасосних станцій з різними джерелами теплоти за умови змінних режимів роботи [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, О. В. Шевченко, О. В. Бакум // Наукові праці ВНТУ. – 2013. – № 4. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3448/5066>.

12. Національна комісія регулювання електроенергетики України [Електронний ресурс] // Режим доступу: www.nerc.gov.ua.

Остапенко Ольга Павловна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики.

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

Винницкий национальный технический университет.