

О. П. Остапенко, к. т. н., доц.; О. В. Шевченко

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Проанализирована экономическая эффективность теплонасосных станций (ТНС) с различными источниками низкотемпературной теплоты для систем теплоснабжения с учетом повышения цен на энергоносители. Предложенные рекомендации могут быть использованы для прогнозирования условий эффективной интеграции ТНС в системы теплоснабжения.

Ключевые слова: экономическая эффективность, теплонасосная станция, теплонасосная установка, стоимость энергоносителей.

Введение

Дефицит топливно-энергетических ресурсов в Украине и экологические преимущества тепловых насосов стимулируют внедрение теплонасосных станций (ТНС) в промышленность и муниципальную энергетику. Для экономной работы ТНС необходимо благоприятное соотношение цен на топливо и электроэнергию, что справедливо только для тепловых насосов с электроприводом. Экономическая эффективность ТНС с приводом от двигателя внутреннего сгорания или от газотурбинной установки не зависит от стоимости электроэнергии, а зависит только от стоимости топлива. Однако такие установки требуют больших капиталовложений. На энергетическом рынке Украины сложилось благоприятное для внедрения тепловых насосов соотношение цен электроэнергии и топлива. При возрастании цены на природный газ свыше 330 – 340 \$ за тысячу кубометров большинство коммунальных водогрейных котельных становятся убыточными, что обуславливает необходимость повышения тарифов на тепловую энергию для потребителей. Выходом из этой ситуации является внедрение современных энергосберегающих технологий (в частности, сооружение теплонасосных станций на базе водогрейных котельных), что позволит сократить потребление природного газа и уменьшить стоимость тепловой энергии.

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 осуществлялась по таким критериям: экономия топлива по сравнению с существующей схемой, годовые затраты на топливо и электроэнергию, капиталовложения, себестоимость единицы теплоты, срок окупаемости, приведенные годовые затраты и прибыль.

В [2] определялись экономические показатели систем теплоснабжения с ТНУ в условиях экономики России. Расчеты проводились для различных соотношений цен на топливо (газ, уголь) и электроэнергию. В исследовании [2] предложены такие критерии оценки экономической эффективности, как: интегральный эффект (чистая прибыль), индекс доходности (прибыльности) и срок окупаемости капиталовложений. В [3] рассматриваются 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 различных групп потребителей. Учитывалась стоимость газа и электроэнергии только

для социально-бюджетной и жилищно-коммунальной сфер. Предложенные результаты получены только для имеющихся цен на электроэнергию, поэтому они не позволяют провести 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 положены 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. Учтено изменение стоимости топлива и электроэнергии для ограниченного числа вариантов.

В работах [1 – 7] авторами не осуществлена оценка экономической эффективности ТНС с различными видами привода для систем теплоснабжения в широком диапазоне изменения стоимости топлива и электроэнергии для одинаковых схем подключения ТНУ. Отсутствует анализ экономической эффективности ТНС с различными источниками низкотемпературной теплоты.

Целью исследования является оценка экономической эффективности теплонасосной станции мощностью 1 МВт для систем теплоснабжения с учетом комплексного влияния источников низкотемпературной теплоты, вида привода компрессора ТНУ и цен на энергоносители; проведение оптимизационных технико-экономических исследований с целью определения оптимальных экономических условий применения ТНС в системах теплоснабжения.

Основная часть

Экономическая эффективность внедрения ТНС определяется как разница эксплуатационных затрат замещаемой водогрейной котельной и ТНС. К эксплуатационным затратам во время работы водогрейной котельной или ТНС относятся: затраты на топливо, электроэнергию, воду, амортизацию оборудования и текущий ремонт, заработную плату и другие затраты. Наиболее весомой составляющей в структуре эксплуатационных затрат и себестоимости тепловой энергии являются затраты на топливо (для котельных и ТНС с приводом от газопоршневого двигателя) и электрическую энергию (для ТНС с электроприводом). Кроме того, значительное влияние на энергетическую эффективность ТНС оказывает температурный уровень выбранного источника низкотемпературной теплоты: чем выше температура низкотемпературного источника теплоты, тем меньше затрачивается энергии на привод компрессора ТНУ в составе ТНС при условии постоянной температуры в конденсаторе. Следовательно, с увеличением температуры низкотемпературного источника теплоты уменьшаются затраты на электроэнергию или топливо для привода компрессора ТНУ в составе ТНС. Таким образом, экономическая эффективность применения ТНС с определенным видом привода, согласно с [1], в значительной степени определяется именно соотношением стоимости топлива и электрической энергии.

С учетом выводов и рекомендаций [1 – 7], нами проведены исследования влияния стоимости топливно-энергетических ресурсов на экономическую эффективность теплонасосных станций в системах теплоснабжения.

Осуществлена 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. Исследовалась экономическая эффективность ТНС с такими источниками природной низкотемпературной теплоты и теплоты техногенного происхождения: морская вода, водохранилище, термальные воды,

воздух, речка, канализационные сточные воды, вторичные энергоресурсы (ВЭР) металлургических комбинатов, шахтные воды, грунтовые воды. Эти источники низкотемпературной теплоты являются довольно распространенными на территории Украины. Исследовалась экономическая эффективность ТНС с электрическим приводом компрессора ТНУ и приводом от газопоршневого двигателя. Схемы указанных ТНС приведены в работе [1]. Как сравнительный вариант был принят вариант работы водогрейной котельной такой же мощности.

Исследования экономической эффективности проводились по укрупненным показателям. Определялись экономическая эффективность и простая окупаемость вариантов ТНС с различными источниками низкотемпературной теплоты и видами привода компрессора ТНУ. Простая окупаемость вариантов ТНС определялась как отношение капиталовложений в ТНУ к экономической эффективности ТНС. В расчетах принимались удельные капиталовложения в ТНС, которые составляют 800 грн./кВт установленной мощности ТНУ [9]. Для различных источников теплоты в ТНС не учитывались затраты на сооружение систем отбора теплоты от низкотемпературного источника. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для осуществления предварительной оценки эффективности ТНС в определенных экономических условиях при изменении стоимости энергоносителей.

Учитывая современную сложную ситуацию в топливно-энергетическом комплексе страны и тенденцию к росту цен на топливно-энергетические ресурсы, исследования экономической эффективности ТНС проводились для современного уровня стоимости энергоносителей и прогнозируемого повышения их стоимости в ближайшее время. Диапазон изменения цен на энергоносители, для которых проводились исследования, показан в табл. 1.

Таблица 1

Изменение стоимости топливно-энергетических ресурсов

Значение стоимости энергоносителей (по состоянию на 01.03.11) [8]		Повышение стоимости энергоносителей				
		на 10 %	на 20 %	на 30 %	на 40 %	на 50 %
Цена электроэнергии, \$/(МВт·ч)	93,75	103,125	112,5	121,875	131,25	140,625
Цена электроэнергии, грн./(кВт·ч)	0,75	0,825	0,9	0,975	1,05	1,125
Цена природного газа, грн./тыс. м ³	2688	2956,8	3225,6	3494,4	3763,2	4032
Цена природного газа, \$/тыс. м ³	336	369,6	403,2	436,8	470,4	504

Поскольку экономическая эффективность ТНС с электроприводом в значительной степени зависит от стоимости газа и электроэнергии, нами проводилось исследование в случаях: 1) повышения стоимости природного газа; 2) повышения стоимости электроэнергии; 3) одновременного повышения стоимости природного газа и электроэнергии.

Результаты проведенных исследований экономической эффективности ТНС с

электроприводом в случае повышения стоимости электроэнергии для различных источников низкотемпературной теплоты показаны на рис. 1 – 2. Стоимость природного газа примем такой, как на современном уровне – 336 \$/тыс. м³.

Как видно на рис. 1 – 2, при современном уровне цен на энергоносители и прогнозируемом повышении стоимости электроэнергии на 10 – 50%, экономически эффективны ТНС с использованием теплоты шахтных и термальных вод, водохранилища, канализационных сточных вод и ВЭР металлургических комбинатов. Экономическая эффективность ТНС с электроприводом (рис. 1) при повышении стоимости электроэнергии уменьшается для указанных источников теплоты, что связано с увеличением расходов на электроэнергию для привода компрессора. Такие источники теплоты, как: морская вода, воздух, река и грунтовые воды для ТНС с электроприводом неприемлемы, поскольку работа таких станций будет убыточной (на рис. 1 – 2 не показаны). При условии повышения стоимости электроэнергии свыше 20%, нерентабельными становятся варианты ТНС с использованием теплоты водохранилища и ВЭР металлургических комбинатов. Простая окупаемость вариантов ТНС с электроприводом (рис. 2) значительно возрастает с увеличением стоимости электроэнергии, что приводит к снижению инвестиционной "привлекательности" этих вариантов.

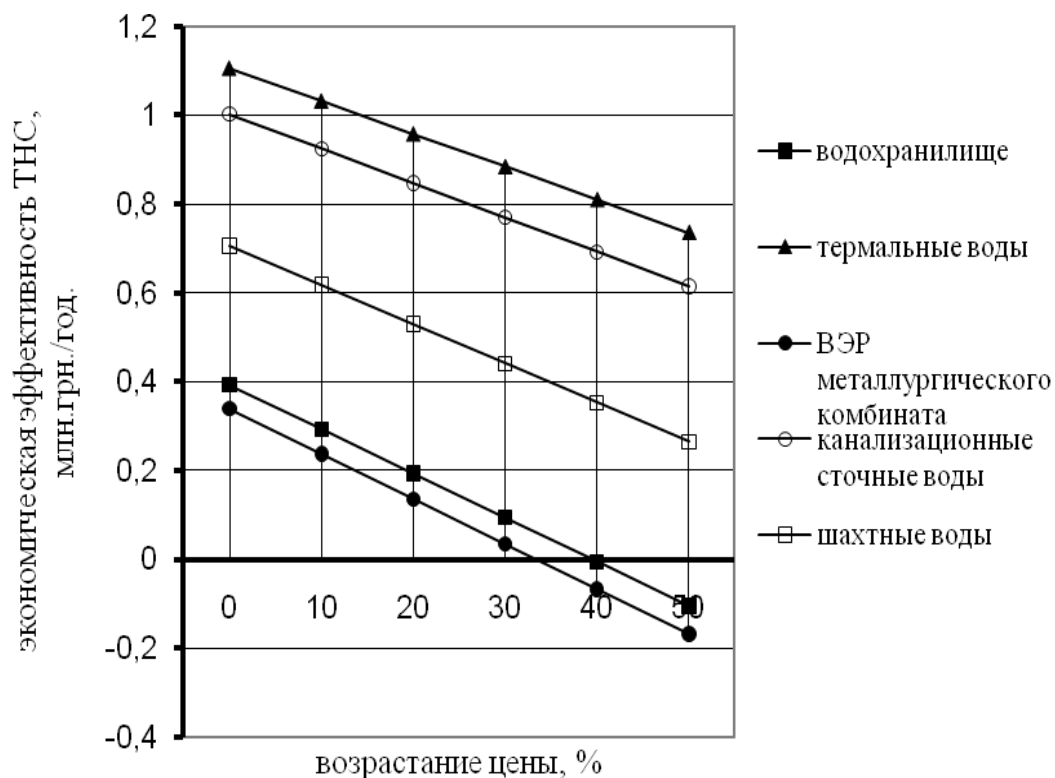


Рис. 1. Значения экономической эффективности ТНС с электроприводом в случае повышения стоимости электроэнергии для различных источников теплоты

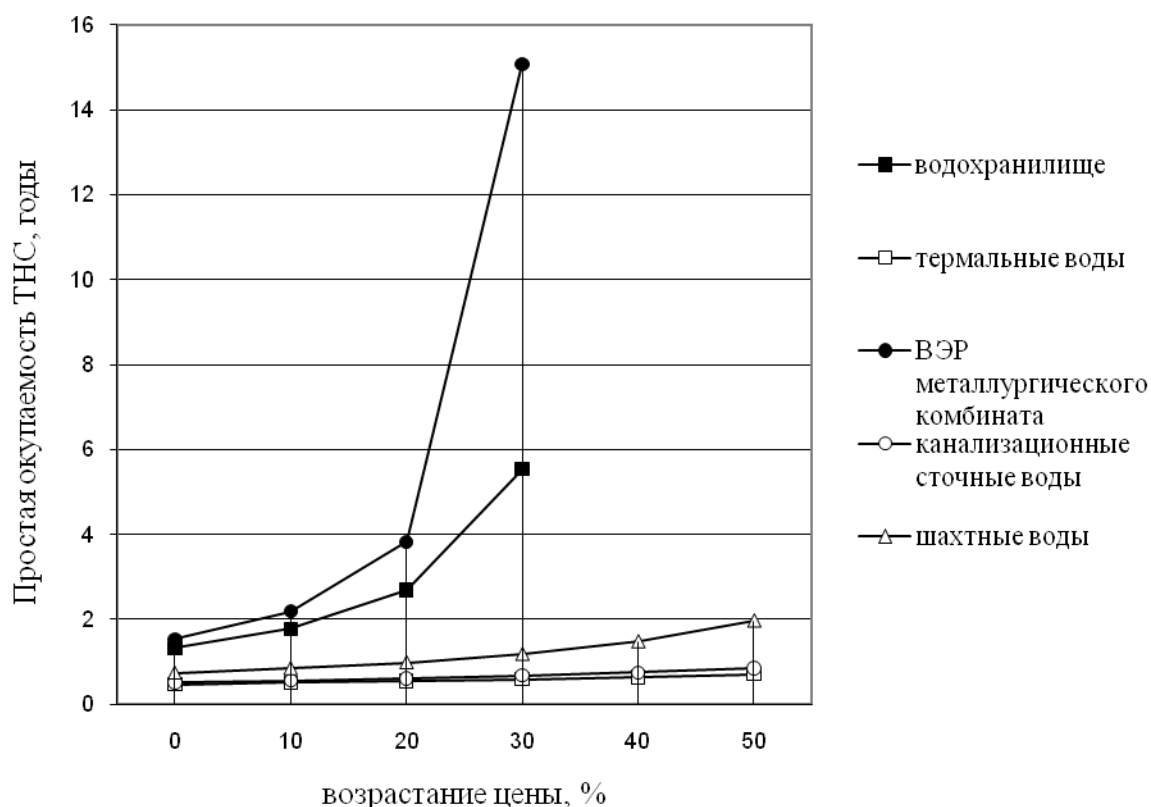


Рис. 2. Значения простой окупаемости ТНС с электроприводом в случае повышения стоимости электроэнергии для различных источников теплоты

Результаты исследований эффективности ТНС с электроприводом в случае повышения стоимости природного газа для различных источников низкотемпературной теплоты показаны на рис. 3 – 4. Стоимость электроэнергии в этом случае примем такой, как на современном уровне – 0,75 грн./(кВт·ч).

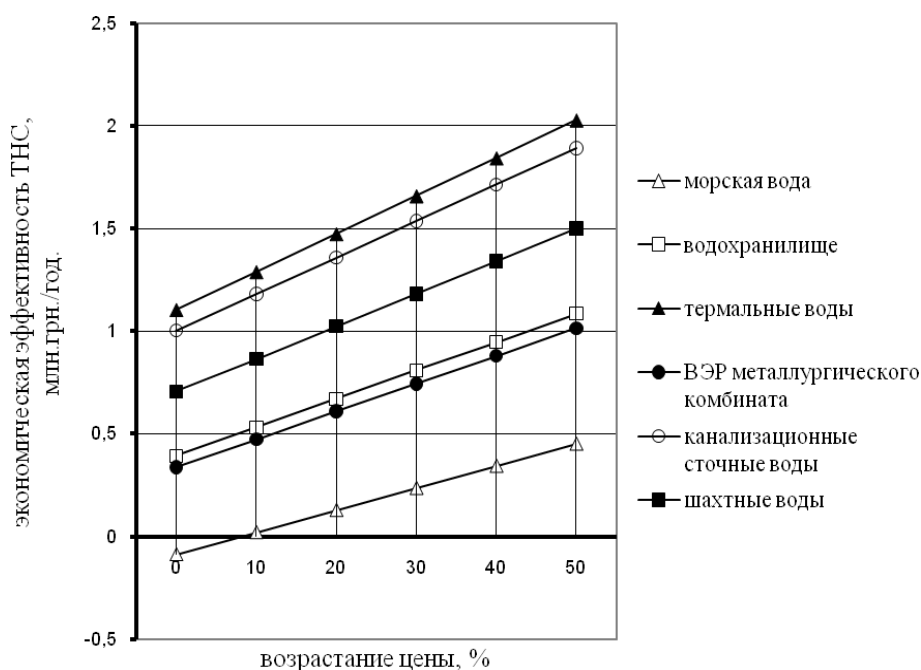


Рис. 3. Значения экономической эффективности ТНС с электроприводом в случае повышения стоимости природного газа для различных источников теплоты

Как видно на рис. 3, при современном уровне цен на энергоносители и прогнозируемом повышении стоимости природного газа на 10 – 50%, экономически эффективными являются ТНС с использованием теплоты шахтных и термальных вод, водохранилищ, канализационных сточных вод, ВЭР металлургических комбинатов и морской воды. Экономическая эффективность ТНС с электроприводом, в случае повышения стоимости природного газа, увеличивается для указанных источников теплоты, что связано со значительным уменьшением затрат на топливо за счет экономии природного газа. В этом варианте ТНС с использованием теплоты воздуха, речных и грунтовых вод являются убыточными.

Как видно на рис. 4, при условии повышения стоимости природного газа свыше 20%, рентабельным становится вариант ТНС с использованием теплоты морской воды. Простая окупаемость вариантов ТНС с электроприводом (рис. 4) уменьшается почти вдвое, при повышении стоимости топлива до 50%, что делает эти варианты инвестиционно выгодными.

Результаты исследований эффективности ТНС с электроприводом в случае одновременного повышения стоимости природного газа и электроэнергии для различных источников низкотемпературной теплоты показаны на рис. 5 – 6.

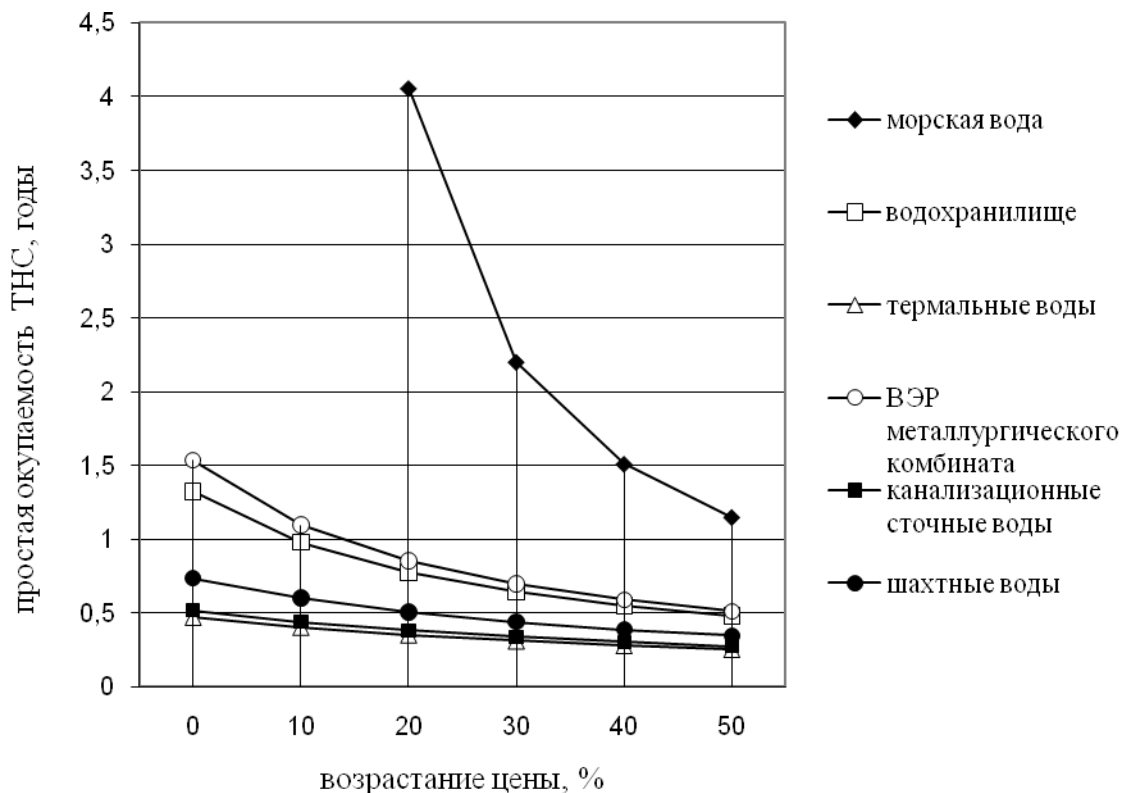


Рис. 4. Значения простой окупаемости ТНС с электроприводом в случае повышения стоимости природного газа для различных источников теплоты

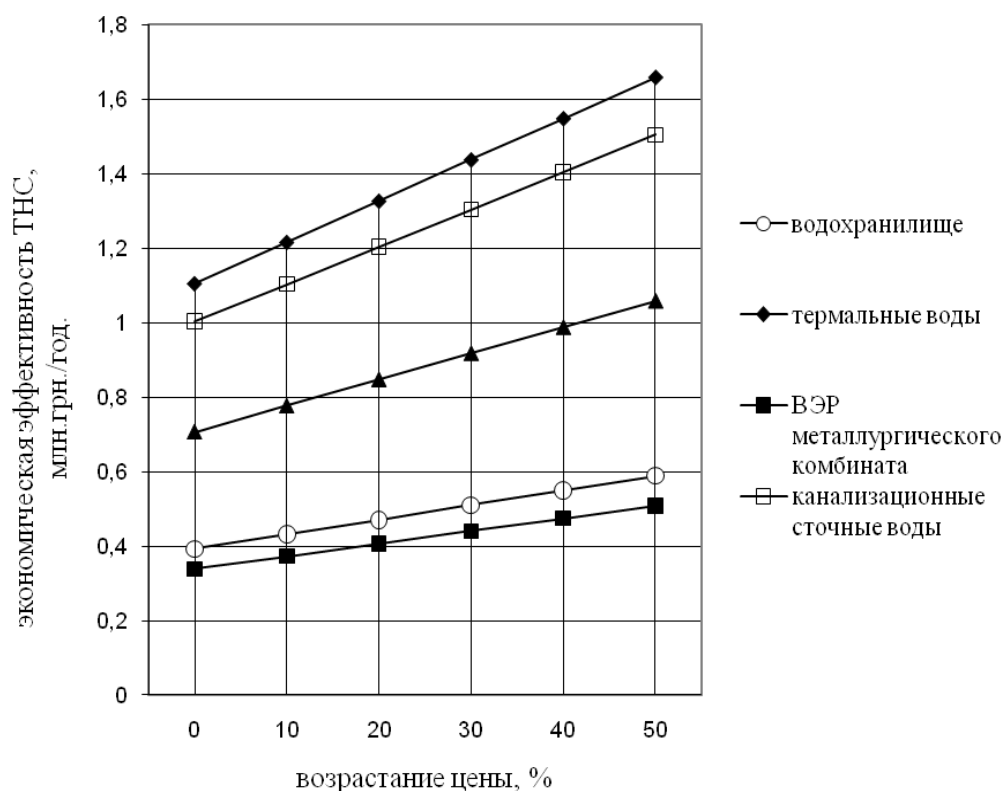


Рис. 5. Значения экономической эффективности ТНС с электроприводом в случае одновременного повышения стоимости природного газа и электроэнергии для различных источников теплоты

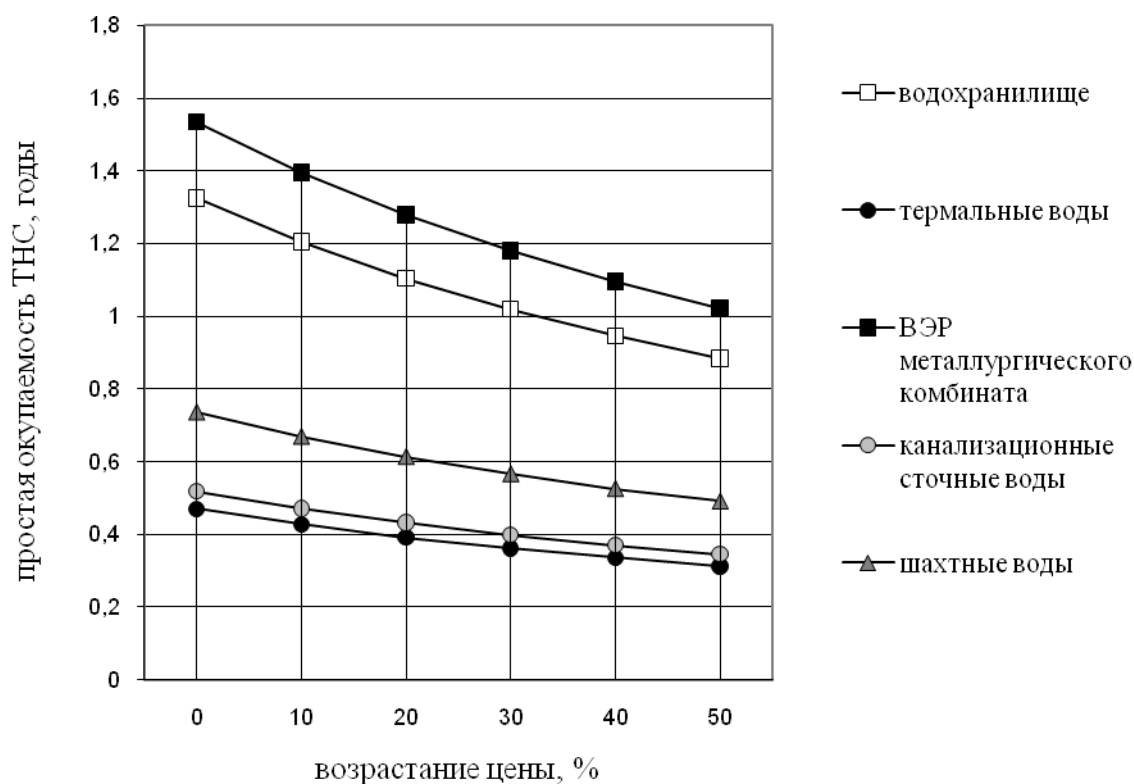


Рис. 6. Значения простой окупаемости ТНС с электроприводом в случае одновременного повышения стоимости природного газа и электроэнергии для различных источников теплоты

Как видно на рис. 5, при современном уровне цен на энергоносители и прогнозируемом

повышении стоимости электроэнергии и природного газа на 10 – 50%, экономически эффективны ТНС с использованием теплоты шахтных и термальных вод, водохранилища, канализационных сточных вод и ВЭР металлургических комбинатов. Экономическая эффективность ТНС с электроприводом, в случае увеличения стоимости энергоносителей, повышается для указанных источников теплоты, что связано со значительным уменьшением затрат на топливо за счет экономии природного газа. В этом случае также увеличиваются и затраты на электроэнергию, однако они влияют на экономическую эффективность ТНС в меньшей степени. Как и в предыдущих случаях, ряд вариантов ТНС являются убыточными. Это такие варианты, как ТНС с использованием теплоты реки, воздуха, грунтовых и морских вод.

Как видно на рис. 6, при условии повышения стоимости энергоносителей до 50%, простая окупаемость вариантов ТНС с электроприводом уменьшается почти в полтора раза, что положительно влияет на инвестиционные показатели этих вариантов ТНС.

Как уже отмечалось, экономическая эффективность ТНС с приводом от газопоршневого двигателя не зависит от стоимости электроэнергии, однако в значительной степени зависит от стоимости газа. Таким образом, нами проводилось исследование для случаев прогнозируемого повышения стоимости природного газа от 10 до 50%.

Результаты исследований эффективности ТНС с приводом от газопоршневого двигателя в случае повышения стоимости природного газа для различных источников низкотемпературной теплоты показаны на рис. 7 – 8. Стоимость электроэнергии в этом случае примем такой, как на современном уровне – 0,75 грн./(кВт·ч).

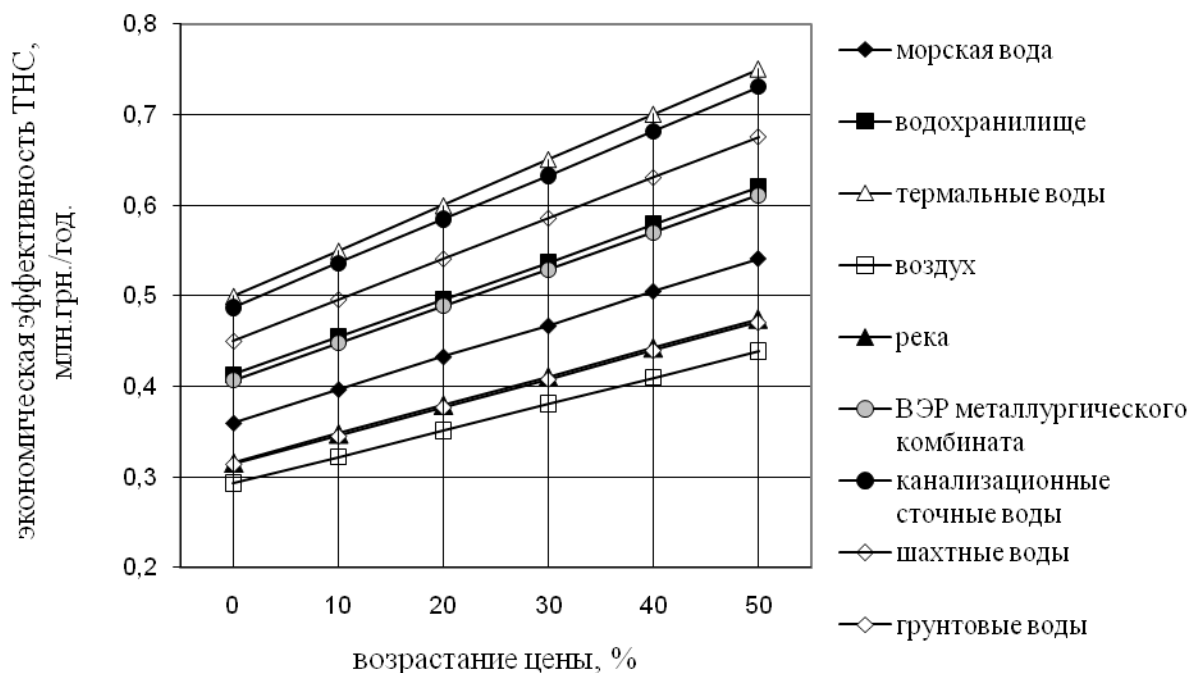


Рис. 7. Значения экономической эффективности ТНС с приводом от газопоршневого двигателя в случае повышения стоимости природного газа для различных источников теплоты

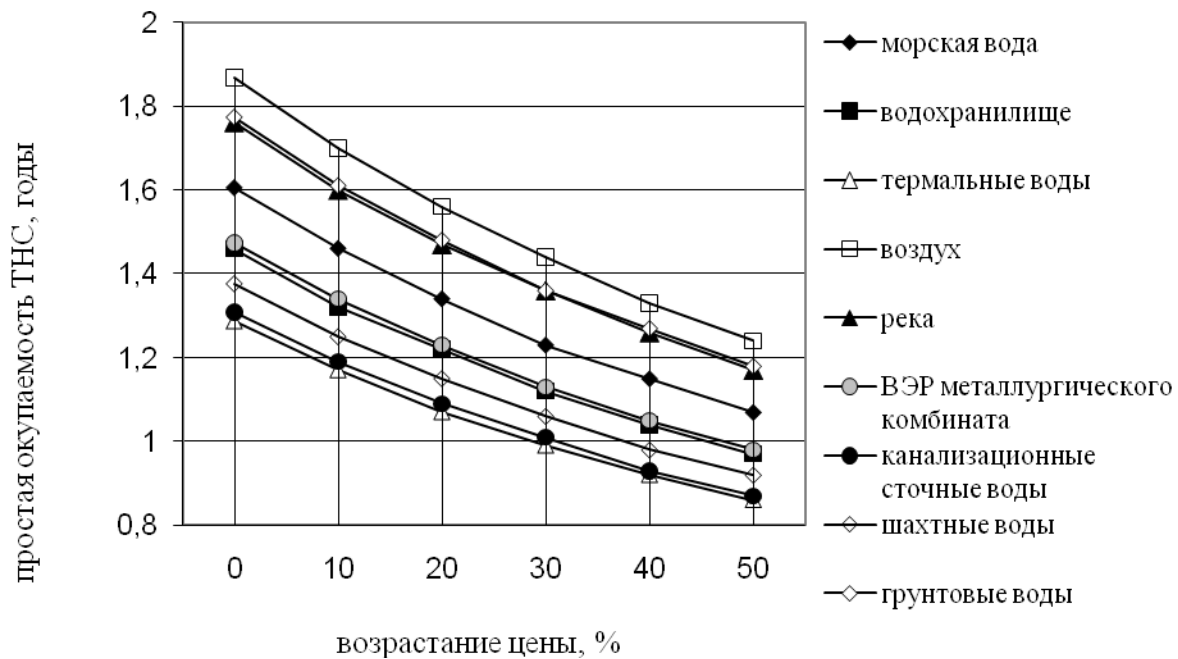


Рис. 8. Значения простой окупаемости ТНС с приводом от газопоршневого двигателя в случае повышения стоимости природного газа для различных источников низкотемпературной теплоты

Как видно на рис. 7, 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. Экономическая эффективность ТНС с приводом от газопоршневого двигателя при повышении стоимости газа увеличивается почти в полтора раза для всех источников теплоты, что связано со значительным уменьшением расходов на топливо за счет экономии природного газа.

Как видно на рис. 8, при условии повышения стоимости природного газа от 10 до 50 %, рентабельными являются все исследуемые варианты ТНС с приводом от газопоршневого двигателя. Простая окупаемость вариантов ТНС с приводом от газопоршневого двигателя (рис. 8) уменьшается почти в полтора раза, при повышении стоимости топлива до 50 %, что улучшает экономические показатели этих вариантов ТНС.

Выводы

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.

При современном уровне цен на энергоносители и прогнозируемом повышении стоимости природного газа на 10 – 50%, экономически эффективны все исследуемые варианты ТНС с приводом от газопоршневого двигателя. В этом случае простая окупаемость вариантов ТНС уменьшается почти в полтора раза.

Для ТНС с электроприводом:

- при современном уровне цен на энергоносители и прогнозируемом повышении стоимости электроэнергии на 10 – 50%, экономически эффективны 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 эффективны 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 эффективны 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.

Предложенные рекомендации могут быть использованы для прогнозирования условий эффективной интеграции ТНС в системы теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання / 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: дис. ... 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: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Осипов Айрат Линарович. – Казань, 2005. – 117 с.
4. Мариченко А. Ю. Оптимизация исследований комбинированных теплопроизводящих установок с тепловыми насосами: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Мариченко 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. Національна комісія регулювання електроенергетики України [Електронний ресурс] // Режим доступу: www.nerc.gov.ua.
9. 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.

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

Шевченко Ольга Валентиновна – студентка института строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Винницкий национальный технический университет.