

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

## ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОНАСОСНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

*Проаналізовано економічну ефективність теплонасосних станцій (ТНС) з різними джерелами низькотемпературної теплоти для систем теплопостачання з урахуванням підвищення цін на енергоносії. Запропоновані рекомендації можуть бути використані для прогнозування умов ефективної інтеграції ТНС у системи теплопостачання.*

**Ключові слова:** економічна ефективність, теплонасосна станція, теплонасосна установка, вартість енергоносіїв.

### Вступ

Дефіцит паливно-енергетичних ресурсів в Україні та екологічні переваги теплових насосів стимулюють упровадження теплонасосних станцій (ТНС) у промисловість і муніципальну енергетику. Для економічної роботи ТНС необхідним є прийнятне співвідношення цін на паливо та електроенергію, що справедливо лише для теплових насосів з електроприводом. Економічна ефективність ТНС з приводом від двигуна внутрішнього згорання або від газотурбінної установки не залежить від вартості електроенергії, а залежить лише від вартості палива. Проте такі установки потребують більших капіталовкладень. На енергетичному ринку України склалося співвідношення цін електроенергії та палива, сприятливе для впровадження теплових насосів. За умови зростання ціни на природний газ понад 330 – 340 \$ за тисячу кубометрів більшість комунальних водогрійних котелень стають збитковими, що зумовлює необхідність зростання тарифів на теплову енергію для споживачів. Виходом із цієї ситуації є впровадження сучасних енергозберігаючих технологій (зокрема, спорудження теплонасосних станцій на базі водогрійних котелень), що дозволить скоротити споживання природного газу та зменшити вартість теплової енергії.

За останні роки проведено ряд досліджень ефективності застосування теплонасосних установок (ТНУ) у теплових схемах джерел енергопостачання. У роботі [1] авторами виконано дослідження з підвищення енергоефективності джерел теплопостачання шляхом використання ТНУ з урахуванням впливу схемних рішень та режимів роботи. Оцінку ефективності ТНС здійснено за такими критеріями: економія палива порівняно з наявною схемою, річні витрати на паливо та електроенергію, капіталовкладення, собівартість одиниці теплоти, термін окупності, приведені річні витрати та прибуток.

У [2] визначено економічні показники систем теплопостачання з ТНУ в умовах економіки Росії. Розрахунки проведено для різних співвідношень ціни на паливо (газ, вугілля) та електроенергію. У дослідженні [2] запропоновано такі критерії оцінки економічної ефективності, як: інтегральний ефект (чистий прибуток), індекс прибутковості і термін окупності капіталовкладень. У [3] розглянуто схеми використання ТНУ на промислових електростанціях. У дослідженні [4] проаналізовано ефективність ТНС з електроприводом та з приводом від газотурбінної установки й котлом-утилізатором.

Авторами [5] проведено порівняльні дослідження трьох систем енергопостачання за собівартістю теплоти (на базі газового котла, теплового насоса та когенераційної установки з тепловим насосом) за умови зміни вартості електроенергії та газу для різних груп споживачів. Ураховано вартість газу й електроенергії лише для соціально-бюджетної та житлово-комунальної сфер. Запропоновані результати одержано лише для наявних цін на електроенергію, тому вони не дозволяють здійснити оцінку ефективності застосування ТНУ

у разі зміни ціни на паливно-енергетичні ресурси.

У роботі [6] проведено оцінку ефективності чотирьох джерел теплопостачання потужністю 3 МВт на базі електрокотла, паливного котла (газ, рідке паливо) та теплонасосної установки. В основу економічних моделей покладено середні показники вартості паливно-енергетичних ресурсів в Україні. У роботі [7] проведено оцінку енергоефективності теплонасосної установки малої потужності в порівнянні з традиційними джерелами теплопостачання на базі електричного та газового котла. Урахована зміна вартості палива та електроенергії для обмеженої кількості варіантів.

У роботах [1 – 7] авторами не здійснено оцінку економічної ефективності ТНС з різними видами привода для систем теплопостачання в широкому діапазоні зміни вартості палива та електроенергії за умови однакових схем підключення ТНУ. Відсутній аналіз економічної ефективності ТНС з різними джерелами низькотемпературної теплоти.

**Метою дослідження** є оцінка економічної ефективності теплонасосної станції потужністю 1 МВт для систем теплопостачання з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду привода компресора ТНУ та цін на енергоносії; проведення оптимізаційних техніко-економічних досліджень з метою визначення оптимальних економічних умов застосування ТНС у системах теплопостачання.

### Основна частина

Економічна ефективність від упрощення ТНС визначається як різниця експлуатаційних витрат заміщеної водогрійної котельні та ТНС. До експлуатаційних витрат під час роботи водогрійної котельні або ТНС належать: витрати на паливо, електроенергію, воду, амортизацію обладнання та поточний ремонт, заробітну плату та інші витрати. Найвагомим складником у структурі експлуатаційних витрат та собівартості теплової енергії є витрати на паливо (для котельних та ТНС з приводом від газопоршневого двигуна) та електричну енергію (для ТНС з електроприводом). Крім того, значний вплив на енергетичну ефективність ТНС має температурний рівень обраного джерела низькотемпературної теплоти: чим вища температура низькотемпературного джерела теплоти, тим менше витрачається енергії на привод компресора ТНУ у складі ТНС за умови сталої температури в конденсаторі. Отже, зі збільшенням температури низькотемпературного джерела теплоти зменшуються витрати на електроенергію або паливо для привода компресора ТНУ у складі ТНС. Таким чином, економічна ефективність застосування ТНС з певним видом привода, згідно з [1], значною мірою визначається саме співвідношенням вартості палива та електричної енергії.

З урахуванням висновків та рекомендацій [1 – 7], нами проведено дослідження впливу вартості паливно-енергетичних ресурсів на економічну ефективність теплонасосних станцій у системах теплопостачання.

Здійснено оцінку економічної ефективності ТНС потужністю 1 МВт для систем теплопостачання з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду привода компресора ТНУ та цін на енергоносії. Досліджено економічну ефективність ТНС з такими джерелами природної низькотемпературної теплоти та теплоти техногенного походження: морська вода, водосховище, термальні води, повітря, річка, каналізаційні стічні води, вторинні енергоресурси (ВЕР) металургійних комбінатів, шахтні води, ґрунтові води. Ці джерела низькотемпературної теплоти є досить поширеними на території України. Досліджено економічну ефективність ТНС з електричним приводом компресора ТНУ та приводом від газопоршневого двигуна. Схеми зазначених ТНС наведено в роботі [1]. За порівняльний варіант узято варіант роботи водогрійної котельні такої самої потужності.

Дослідження економічної ефективності проведено за укрупненими показниками. Визначено економічну ефективність і просту окупність варіантів ТНС з різними джерелами

низькотемпературної теплоти та видами приводу компресора ТНУ. Просту окупність варіантів ТНС визначено як відношення капіталовкладень у ТНУ до економічної ефективності ТНС. У розрахунках приймалися питомі капіталовкладення в ТНС, які становлять 800 грн./кВт установленої потужності ТНУ [9]. Для різних джерел теплоти в ТНС не враховувались витрати на спорудження систем відбору теплоти від низькотемпературного джерела. Результати проведених досліджень можуть бути використані для здійснення попередньої оцінки ефективності ТНС у певних економічних умовах за зміни вартості енергоносіїв.

Враховуючи сучасну складну ситуацію в паливно-енергетичному комплексі країни та тенденції до зростання цін на паливно-енергетичні ресурси, дослідження економічної ефективності ТНС проводились для сучасних значень вартості енергоносіїв та прогнозованого підвищення їхньої вартості найближчим часом. Діапазон зміни цін на енергоносії, для яких проводилось дослідження, показано в табл. 1.

Таблиця 1

## Зміна вартості паливно-енергетичних ресурсів

Значення вартості енергоносіїв (станом на 01.03.2011) [8]		Зростання вартості енергоносіїв				
		на 10 %	на 20 %	на 30 %	на 40 %	на 50 %
Ціна на електроенергію, \$/(МВт·год)	93,75	103,125	112,5	121,875	131,25	140,625
Ціна на електроенергію, грн./(кВт·год)	0,75	0,825	0,9	0,975	1,05	1,125
Ціна на природний газ, грн./тис. м <sup>3</sup>	2688	2956,8	3225,6	3494,4	3763,2	4032
Ціна на природний газ, \$/тис. м <sup>3</sup>	336	369,6	403,2	436,8	470,4	504

Оскільки економічна ефективність ТНС з електроприводом значною мірою залежить від вартості природного газу та електроенергії, нами проведено дослідження у випадках: 1) підвищення вартості природного газу; 2) підвищення вартості електроенергії; 3) одночасного підвищення вартості природного газу та електроенергії.

Результати проведених досліджень економічної ефективності ТНС з електроприводом у випадку зростання вартості електроенергії для різних джерел низькотемпературної теплоти показано на рис. 1 – 2. Вартість природного приймаємо такою, як на сучасному рівні – 336 \$/тис.м<sup>3</sup>.

Як видно з рис. 1 – 2, за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості електроенергії на 10 – 50 %, економічно ефективними є ТНС із використанням теплоти шахтних і термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. Економічна ефективність ТНС з електроприводом (рис. 1) у разі зростання вартості електроенергії зменшується для зазначених джерел теплоти, що пов'язано із зростанням витрат на електроенергію для привода компресора. Такі джерела теплоти, як: морська вода, повітря, річка та ґрунтові води для ТНС з електроприводом є неприйнятними, оскільки робота таких станцій буде збитковою (на рис. 1 – 2 не показані). За умови підвищення вартості електроенергії понад 20 %, нерентабельними стають варіанти ТНС із

використанням теплоти водосховища та ВЕР металургійних комбінатів. Проста окупність варіантів ТНС з електроприводом (рис. 2) значно зростає зі збільшенням вартості електроенергії, що зумовлює зниження інвестиційної "привабливості" цих варіантів.

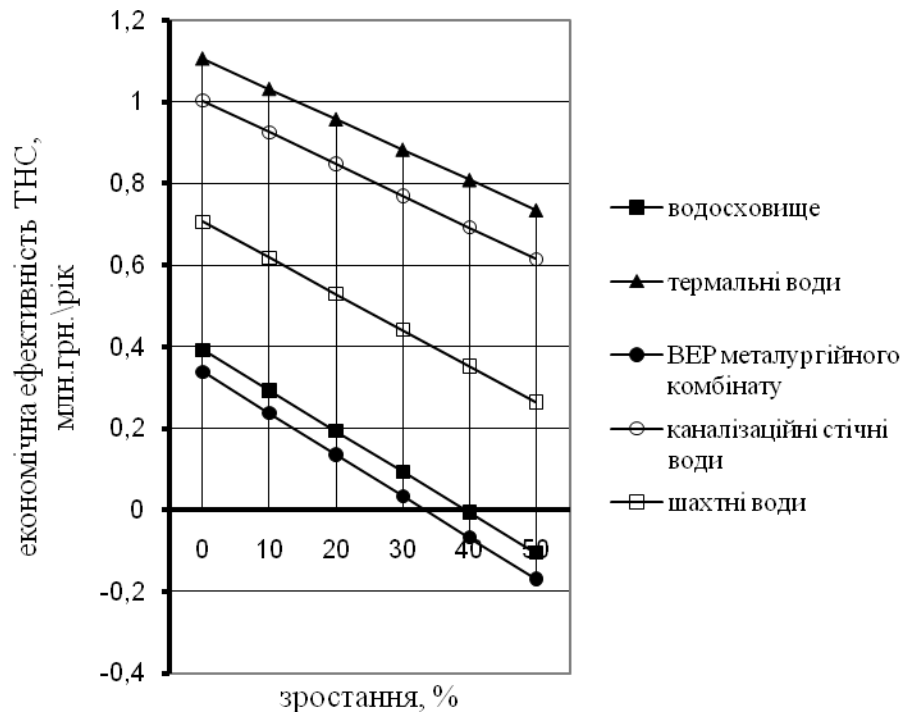


Рис. 1. Значення економічної ефективності ТНС з електроприводом у випадку зростання вартості електроенергії для різних джерел теплоти

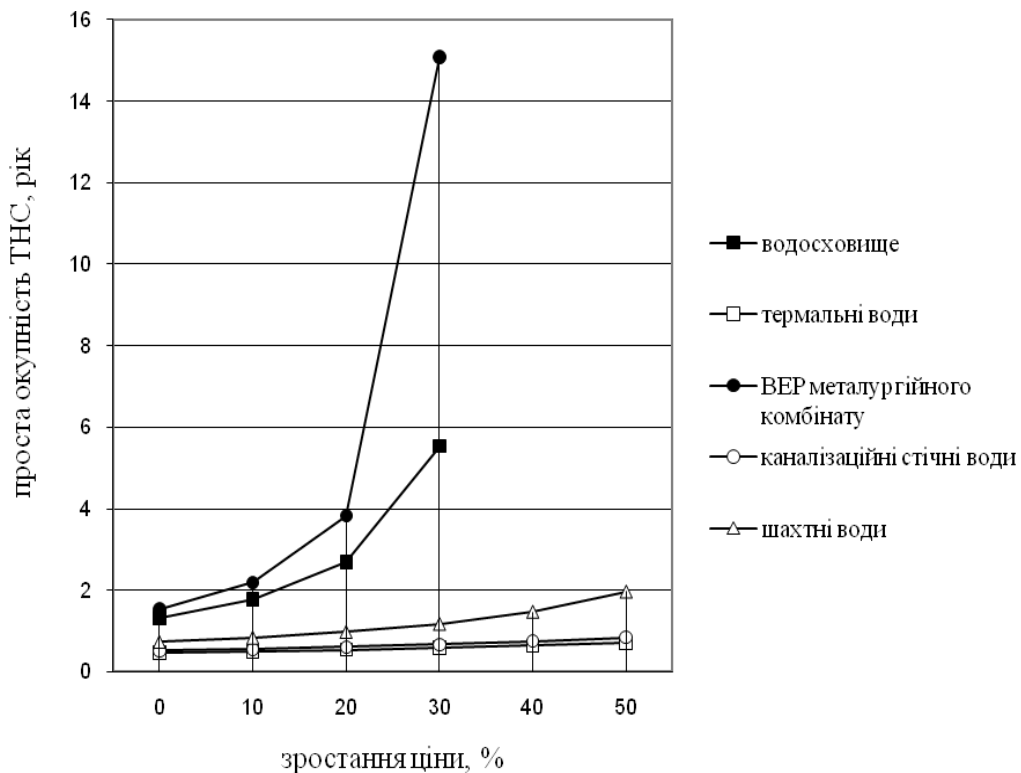


Рис. 2. Значення простої окупності ТНС з електроприводом у випадку зростання вартості електроенергії для різних джерел теплоти

Результати досліджень економічної ефективності ТНС з електроприводом у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел низькотемпературної теплоти показано на рис. 3 – 4. Вартість електроенергії в цьому випадку приймемо такою, як на сучасному рівні – 0,75 грн./(кВт·год).

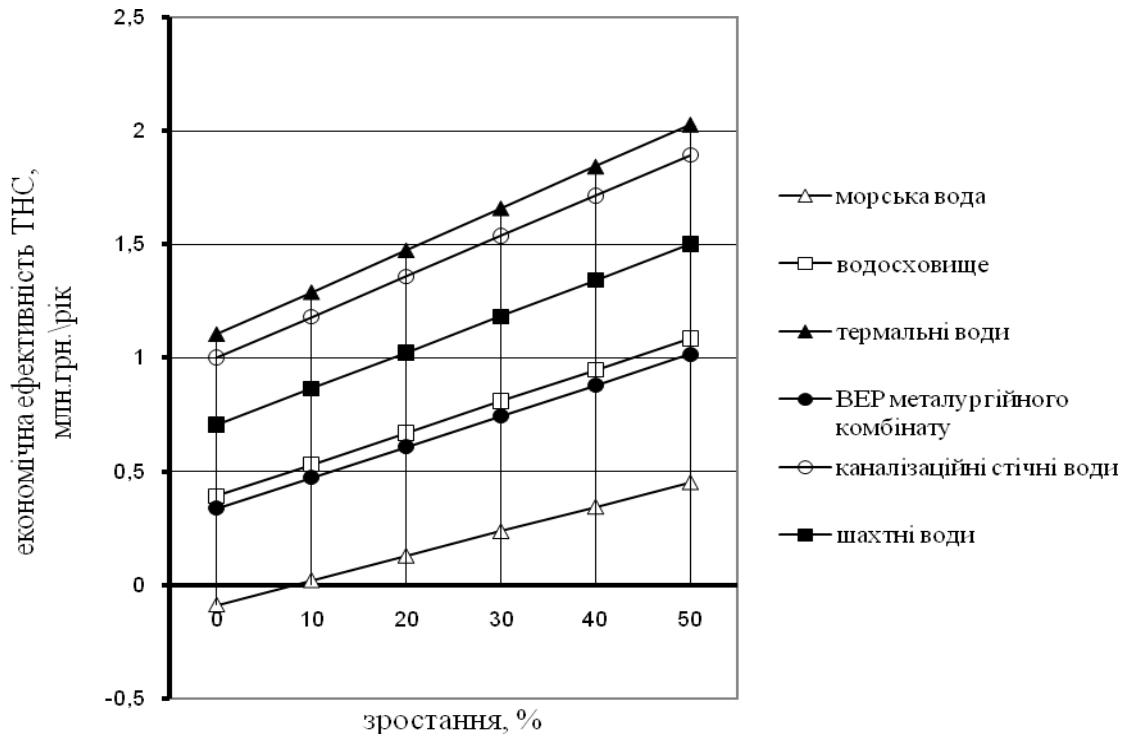


Рис. 3. Значення економічної ефективності ТНС з електроприводом у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел теплоти

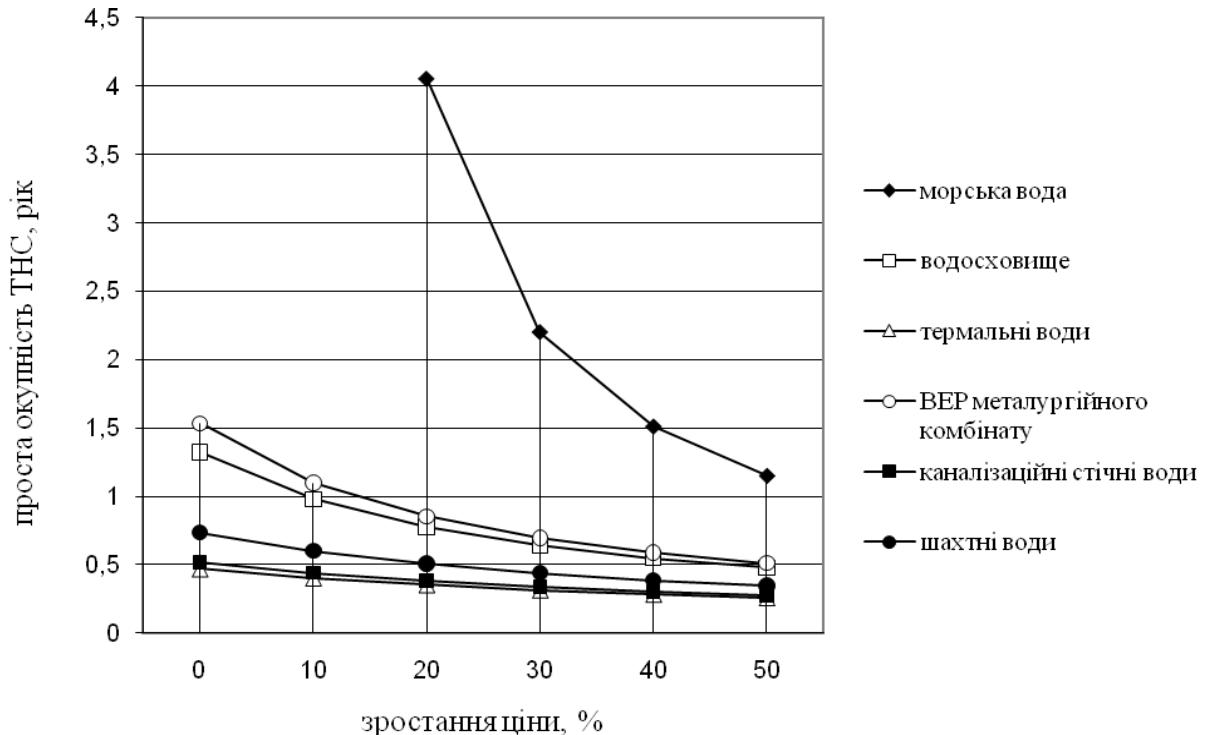


Рис. 4. Значення простої окупності ТНС з електроприводом у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел теплоти

Як видно з рис. 3, за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного газу на 10 – 50 %, економічно ефективними є ТНС із використанням теплоти шахтних і термальних вод, водосховищ, каналізаційних стічних вод, ВЕР металургійних комбінатів та морської води. Економічна ефективність ТНС з електроприводом у разі зростання вартості природного газу збільшується для вказаних джерел теплоти, що пов'язано із значним зменшенням витрат на паливо завдяки економії природного газу. У цьому варіанті ТНС із використанням теплоти повітря, річки та ґрунтових вод є збитковими.

Як видно з рис. 4, за умови підвищення вартості природного газу понад 20 %, рентабельним стає варіант ТНС із використання теплоти морської води. Проста окупність варіантів ТНС з електроприводом (рис. 4) зменшується майже вдвічі, за умови зростання вартості палива до 50 %, що робить ці варіанти інвестиційно вигідними.

Результати досліджень економічної ефективності ТНС з електроприводом у випадку одночасного зростання вартості природного газу та електроенергії для різних джерел низькотемпературної теплоти показано на рис. 5 – 6.

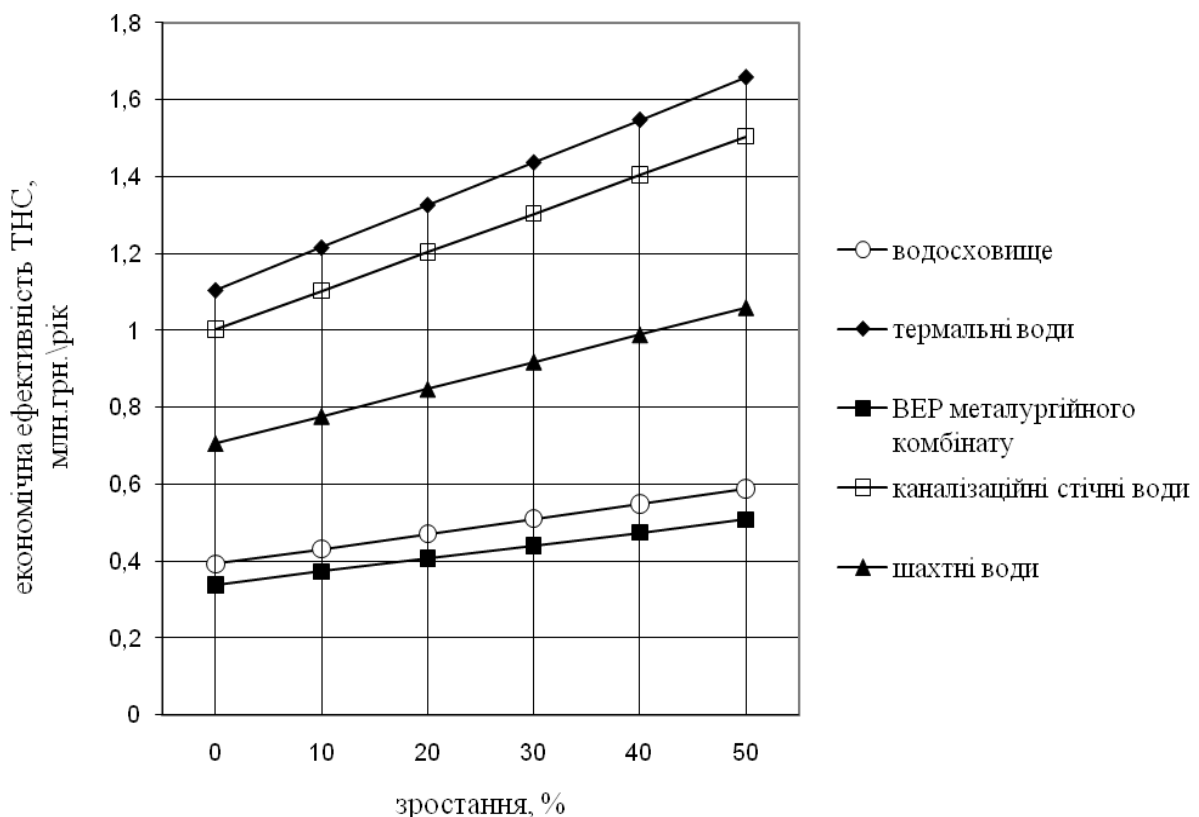


Рис. 5. Значення економічної ефективності ТНС з електроприводом у випадку одночасного зростання вартості природного газу та електроенергії для різних джерел теплоти

Як видно з рис. 5, за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості електроенергії та природного газу на 10 – 50 %, економічно ефективними є ТНС із використанням теплоти шахтних і термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. Економічна ефективність ТНС з електроприводом у разі збільшення вартості енергоносіїв зростає для вказаних джерел теплоти, що пов'язано із значним зменшенням витрат на паливо завдяки економії природного газу. У цьому випадку витрати на електроенергію теж зростають, проте вони впливають на економічну ефективність ТНС меншою мірою. Як і в попередніх випадках, ряд варіантів ТНС є

збитковими. Це такі варіанти, як ТНС із використанням теплоти повітря, річки, ґрунтових і морських вод.

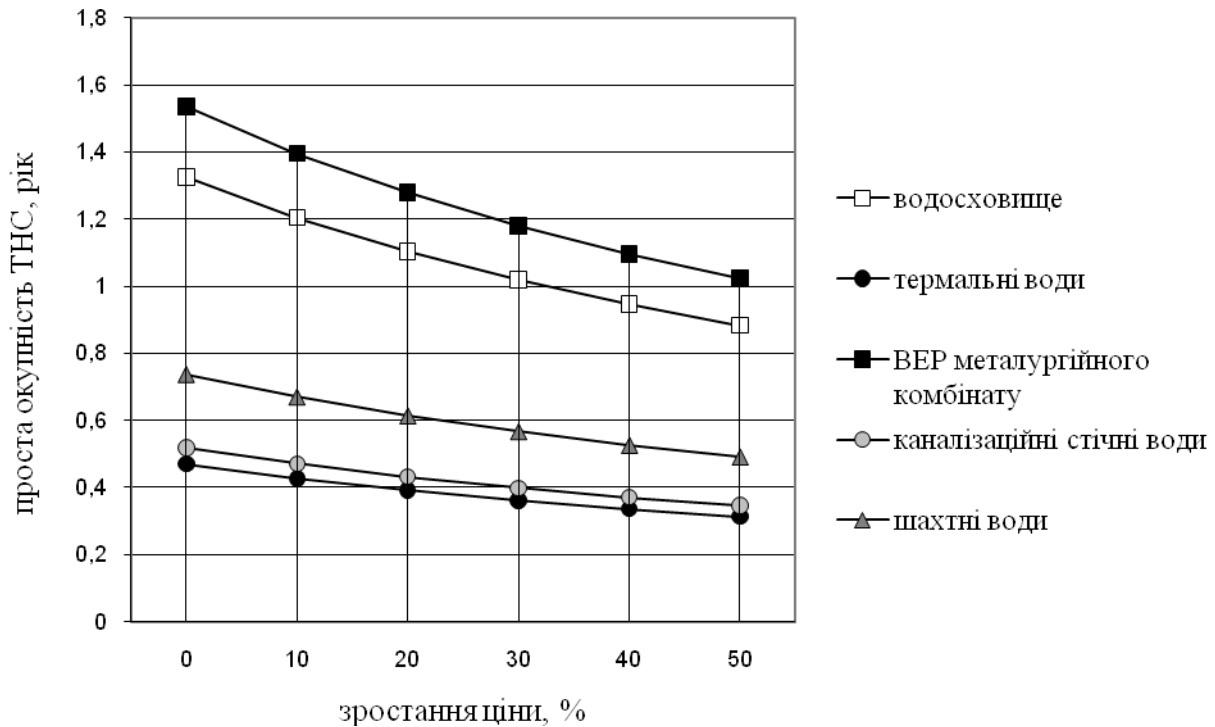


Рис. 6. Значення простої окупності ТНС з електроприводом у випадку одночасного зростання вартості природного газу та електроенергії для різних джерел теплоти

Як видно з рис. 6, за умови підвищення вартості енергоносіїв до 50 %, проста окупність варіантів ТНС з електроприводом зменшується майже в півтора рази, що позитивно впливає на інвестиційні показники цих варіантів ТНС.

Як вже зазначалось, економічна ефективність ТНС з приводом від газопоршневого двигуна не залежить від вартості електроенергії, проте значною мірою залежить від вартості природного газу. Отже, нами проведено дослідження для випадків прогнозованого підвищення вартості природного газу від 10 до 50 %.

Результати досліджень економічної ефективності ТНС з приводом від газопоршневого двигуна у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел низькотемпературної теплоти показано на рис. 7 – 8. Вартість електроенергії в цьому випадку прийемо такою, як на сучасному рівні – 0,75 грн./кВт·год.

Як видно з рис. 7, за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного газу на 10 – 50 %, економічно ефективними є всі досліджувані варіанти ТНС з приводом від газопоршневого двигуна. Економічна ефективність ТНС з приводом від газопоршневого двигуна в разі зростання вартості природного газу збільшується майже в півтора рази для всіх джерел теплоти, що пов'язано із значним зменшенням витрат на паливо завдяки економії природного газу.

Як видно з рис. 8, за умови підвищення вартості природного газу від 10 до 50 %, рентабельним є всі досліджувані варіанти ТНС з приводом від газопоршневого двигуна. Проста окупність варіантів ТНС з приводом від газопоршневого двигуна (рис. 8) зменшується майже в півтора рази, за умови зростання вартості палива до 50 %, що покращує економічні показники цих варіантів ТНС.

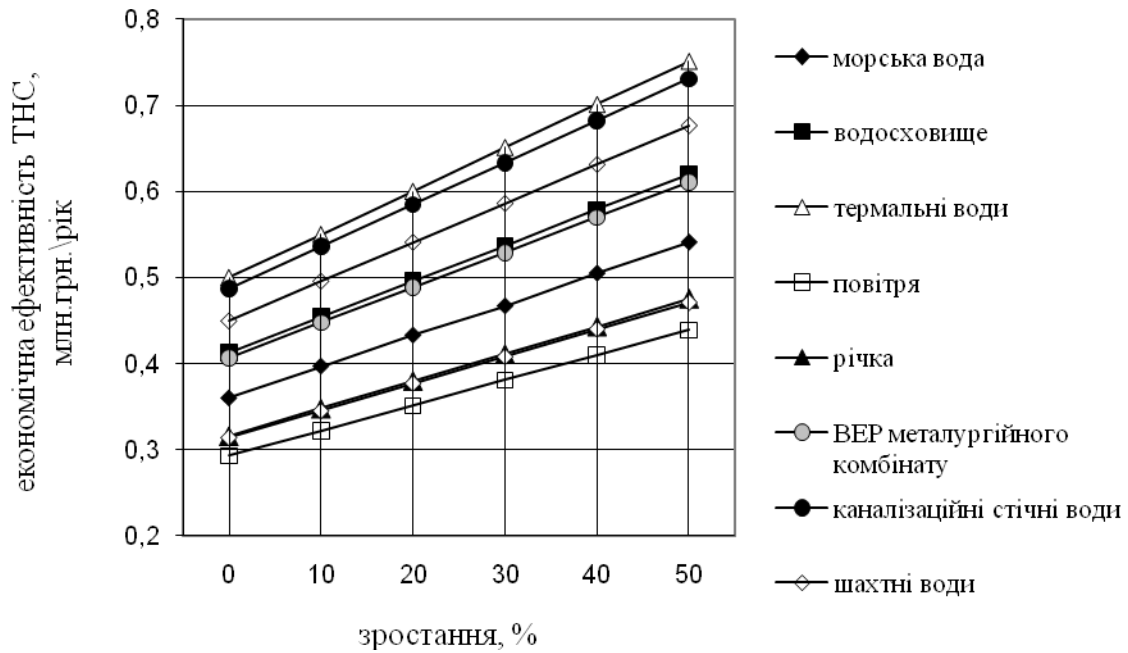


Рис. 7. Значення економічної ефективності ТНС із приводом від газопоршневого двигуна у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел теплоти

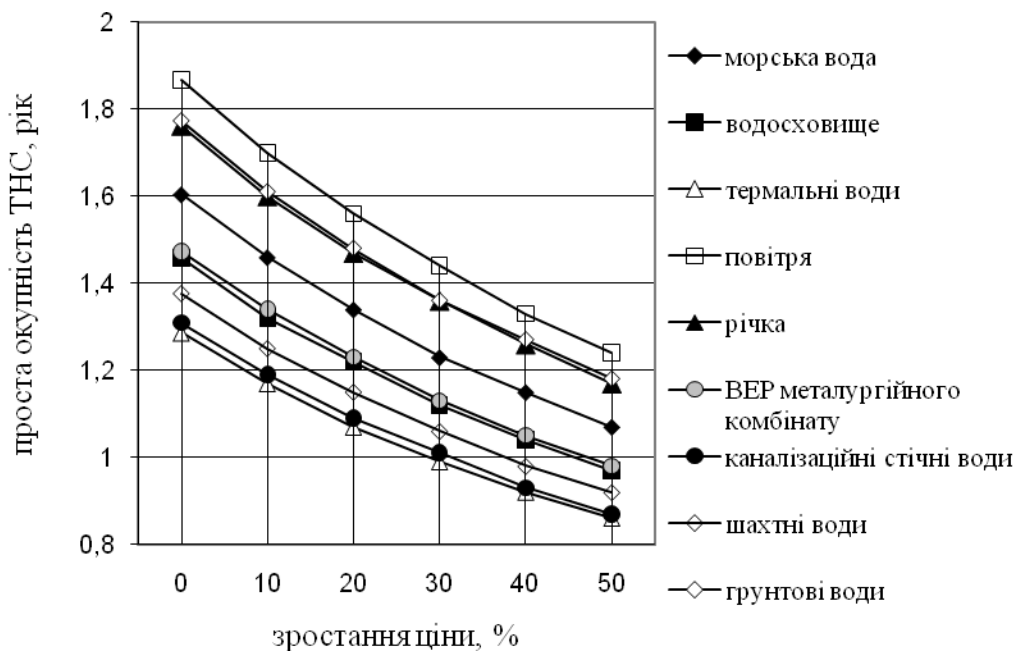


Рис. 8. Значення простої окупності ТНС з приводом від газопоршневого двигуна у випадку зростання вартості природного газу для різних джерел низькотемпературної теплоти

### Висновки

Здійснено оцінку економічної ефективності ТНС потужністю 1 МВт для систем теплопостачання з урахуванням комплексного впливу джерел низькотемпературної теплоти, виду приводу компресора ТНУ та цін на енергоносії.

За сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного



газу на 10 – 50 %, економічно ефективними є всі досліджувані варіанти ТНС з приводом від газопоршневого двигуна. У цьому випадку проста окупність варіантів ТНС зменшується майже в півтора рази.

Для ТНС з електроприводом:

– за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості електроенергії на 10 – 50 %, економічно ефективними є варіанти використання теплоти шахтних і термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. За умови підвищення вартості електроенергії понад 20 %, нерентабельними стають варіанти ТНС із використання теплоти водосховища та ВЕР металургійних комбінатів;

– за сучасного рівня цін на енергоносії та прогнозованого підвищення вартості природного газу на 10 – 50 %, економічно ефективними є варіанти використання теплоти шахтних і термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод, ВЕР металургійних комбінатів та морської води. Проста окупність варіантів ТНС у цьому випадку зменшується майже вдвічі;

– за сучасного рівня цін на енергоносії та у випадку одночасного підвищення вартості електроенергії та природного газу на 10 – 50 %, економічно ефективними є варіанти використання теплоти шахтних та термальних вод, водосховища, каналізаційних стічних вод та ВЕР металургійних комбінатів. У цьому випадку проста окупність варіантів ТНС зменшується майже в півтора рази.

Представлені рекомендації можуть бути використані для прогнозування умов ефективної інтеграції ТНС в системи теплопостачання.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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](http://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 Павлівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики.

**Шевченко Ольга Валентинівна** – студентка інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет.