

В роботі розглянуто сучасну проблему альтернативного децентралізованого теплопостачання житлових будівель. Представлено варіанти теплопостачання при використанні в якості джерела тепла електроенергії. Проведено техніко-економічний аналіз різноманітних варіантів альтернативного теплопостачання. Розглянуто наслідки індивідуального переведу систем теплопостачання на використання електроенергії. Доведено доцільність використання теплових насосів у парі із акумуляторами тепла для потреб теплопостачання

Ключові слова: системи теплопостачання, теплові насоси, акумулятори тепла, техніко-економічний аналіз

В работе рассмотрена современная проблема альтернативного децентрализованного теплоснабжения жилых домов. Представлены варианты теплоснабжения при использовании в качестве источника тепла электроэнергии. Проведен технико-экономический анализ разнообразных вариантов альтернативного теплоснабжения. Рассмотрены последствия индивидуального перевода систем теплоснабжения на использование электроэнергии. Доказана целесообразность использования тепловых насосов в паре с аккумулятором тепла для нужд теплоснабжения

Ключевые слова: системы теплоснабжения, тепловые насосы, аккумуляторы тепла, технико-экономический анализ

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

О. А. Мазуренко

Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри*

E-mail: antmaz46@gmail.com

О. А. Климчук

Кандидат технічних наук, доцент, докторант*

E-mail: aklimchuk74@rambler.ru

О. М. Шраменко

Аспірант*

E-mail: alexandr.shramenko@gmail.com

О. А. Сичова

Кандидат технічних наук, старший викладач*

E-mail: starlen77@mail.ru

*Кафедра теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій

Одеський національний політехнічний університет
пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044

1. Вступ

В Україні існують певні ризики залишитись в зимовий період без необхідної кількості енергоносіїв на потреби енергетичного ринку. Одним із суттєвих споживачів енергоносіїв є житлово-комунальний сектор, який вживає більше 30 % газоподібного палива на потреби теплопостачання. При цьому в більшості великих міст доля газоподібного палива на потреби теплопостачання складає понад 80 %. Враховуючи Закон України про енергозбереження [1] і Програми кабінету міністрів [2] необхідно знаходити альтернативні джерела тепла для споживачів житлово-комунального сектору. В сільській місцевості як альтернатива може бути використано тверде паливо: вугілля, дрова, пеллети, різноманітні горючі відходи сільського господарства [3]. У великих містах із централізованим теплопостачанням можливо також розглянути питання про перехід від газоподібного палива на тверде, але це потребує значного часу та коштів. Також враховуючи геополітичні обставини на Україні вже існує певний дефіцит твердого викопного палива. Окрім цього в містах є досить великий сегмент

будівель, в яких застосовано децентралізовану систему теплопостачання – дахову котельню. В таких будівлях, а їх досить багато, фізично неможливо переходити на тверде паливо. Отже на передодні опалювального сезону країна опинилась вкрай важкій ситуації і терміново потрібно шукати альтернативу існуючим традиційним джерелам теплової енергії, особливо у великих містах.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

На сьогодні науковцями в галузі теплопостачання розробляються та досліджуються декілька напрямків вирішення поставленої проблеми:

- застосування електричного опалення із акумуляуванням тепла в нічний період;
- використання теплових насосів для теплопостачання будівель;
- встановлення модульних котелень на твердому паливі;
- використання енергоустановок на альтернативному паливі [4, 5];

– комбіноване використання геліосистем із тепловими насосами;

– інтегроване використання різномірних відновлювальних джерел [6, 7] з компенсуючими можливостями дефіциту одне одного і акумулюванням енергії [8] на базі теплових насосів;

– інтегроване використання різномірних відновлювальних джерел з компенсуючими можливостями дефіциту одне одного на базі теплових насосів і когенераційної установки малої потужності тощо [9].

Всі вказані напрямки дозволяють вирішити в певній мірі проблему альтернативного децентралізованого теплопостачання, але мають певні вади.

Використання нічного тарифу на електроенергію для акумулювання тепла в цей період на потреби опалення може бути доцільним для будівель із дво-періодним режимом опалення. Такий режим зазвичай застосовується в будівлях громадського призначення:

- навчальні заклади [10];
- заклади культурного дозвілля;
- адміністративні будівлі;
- студентські гуртожитки тощо.

В таких будівлях температура в неробочий час може бути знижена до 5–10 °С, що приводить до значного зменшення навантаження на системи опалення [11, 12]. В нічні години без суттєвого збільшення максимуму навантаження на електричні мережі може бути виконано зарядження теплового акумулятору за рахунок електроенергії. В робочий період відбувається розрядження акумулятору тепла на потреби опалення.

В житлових будівлях температура в приміщеннях в нічний період не може бути знижена, що означає – для нагріву акумулятору тепла потрібно суттєва збільшення максимуму електричного навантаження будівлі.

Використання теплових насосів для систем опалення значно зменшує споживання електроенергії, однак слід зауважити, що у більшості сучасних теплових насосів максимальна температура теплоносія у систему опалення не перевищує 60 °С, в той час як опалювальні прилади будівлі розраховані на температуру 80 °С [13, 14]. При низьких температурах зовнішнього повітря це приведе до зниження температур у приміщенні. Також треба пам'ятати, що зниження температури зовнішнього повітря для більшості теплових насосів приводить до зменшення потужності, та (або) зменшення температури теплоносія.

Встановлення модульних теплових котелень на твердому паливі може вирішити проблему теплопостачання житлового масиву, але є дві вади:

- на сьогоднішня вже відчувається дефіцит якісного твердого палива;
- встановлення котельні на твердому паливі у житловому масиві може привести до погіршення екологічного стану.

Використання геліосистем для потреб теплопостачання здатне зменшити споживання енергоресурсів, але його питома частка у багатопверхівках у зимовий період досить незначна (зазвичай не більше 10 %).

Наша країна має великі потужності з генерації електроенергії на АЕС. Більш того, є велика проблема заповнення нічних провалів їх електричних навантажень. Тому найбільш реальною альтернативою природному газу на потреби теплопостачання в наших умовах може стати електроенергія, але необхідно про-

вести аналіз існуючих варіантів альтернативних систем теплопостачання та виявити найбільш доцільні технічні рішення.

3. Ціль та задачі дослідження

Для вирішення поставлених проблем необхідно розглянути типові рішення використання електроенергії для потреб теплопостачання, та запропонувати найбільш ефективний варіант.

Метою дослідження є проведення аналізу можливих схем теплопостачання будівель із використанням в якості джерела електроенергії, та запропонування необхідних доцільних схем теплопостачання житлових будинків із використанням електроенергії.

Для досягнення поставленої мети потрібно провести:

- огляд існуючих систем опалення із використанням електроенергії;
- для типової багатопверхівки економічний розрахунок переведення систем опалення на електроенергію для різних технічних рішень.

Таким чином, розглянемо наступні можливі варіанти переходу систем теплопостачання на електроенергію як джерело тепла.

4. Матеріали та методи дослідження альтернативних варіантів систем децентралізованого теплопостачання

Дослідження проводили на основі доступних літературних джерел та зібраних експлуатаційних даних різних систем теплопостачання із використанням електроенергії.

4.1. Самостійні варіанти переведення теплопостачання на електричну енергію.

1. Найпростіший з точки зору реалізації, є «Бюджетний самостійний варіант». В цьому випадку мешканці будівель самостійно будуть встановлювати електричні опалювальні прилади та електричні водонагрівачі акумулятори. Перевагою даного варіанту є доступність – такі прилади коштують не дуже багато, тобто є певна реальність його реалізації. До недоліків слід віднести – не розраховані систему енергозабезпечення на нові потужності системи електропостачання, внаслідок чого можуть бути ушкодження на електромережах (починаючи від розетки у квартирі закінчуючи кабелем та трансформатором що забезпечують будинок). При цьому у будівлі не буде ні тепла, а ні світла, а ні води.

2. «Бюджетний самостійний модернізований варіант». Для зменшення навантаження на електричні мережі проведення попередня термомодернізацію приміщень (поки розглядаємо самостійні варіанти). В такому разі до переваг попереднього варіанту додається зменшення навантаження на електричну мережу даної квартири. Однак залишаються загальні недоліки попереднього варіанту, тобто інші мешканці можуть не робити термомодернізацію своїх квартир і внаслідок чого може бути перевантаження електричних мереж.

3. «Бізнес самостійний варіант». При цьому варіанті мешканець квартири встановлює замість електричних конвекторів кондиціонери із функцією

теплого насосу, які здатні працювати до «-20 °С». При такому варіанті мешканець квартири ще зменшує потреби електроенергії на опалення. При цьому варіанті в більшості випадків є достатня електрична мережа квартири, але цей варіант значно дорожчий ніж перший та знову залежить від активності мешканців інших будівель.

4. 2. Суспільні варіанти переведення теплопостачання на електричну енергію

Далі розглянемо варіанти переходу на електричне теплопостачання сумісними зусиллями всіх мешканців будівлі.

Першим кроком мешканців повинно стати термомодернізація будівлі:

- теплова ізоляція стін;
- заміна скло-пакетів;
- встановлення місцевих припливно-витяжних агрегатів із рекуперацією тепла.

Останній пункт може здатись несуттєвим та затратним, але варто пам'ятати, що до 30 % це втрати тепла із інфільтрацією (вентиляцією) приміщень.

Після термомодернізації будівлі є декілька варіантів централізованого теплопостачання.

4. «Бюджетний централізований». При цьому варіанті у тепловому пункті встановлюються електричні котли з потужністю необхідною для забезпечення потреб теплопостачання будівлі. Перевага цього варіанту – низька вартість обладнання, простота установки та обслуговування. Недоліки варіанту – як правило недостатня вхідна потужність електромереж, внаслідок чого необхідно буде додатково прокласти кабель до більш потужного трансформатору. Також слід відмітити високу собівартість опалення.

5. «Бюджетний централізований модернізований». При цьому варіанті теплопостачання здійснюється з використанням акумуляючої ємності. Підігрів теплоносія в такій ємності здійснюється завдяки електричному котлу в нічний час та у день в період низької завантаженості електроенергії. Перевагами такого варіанту можуть бути низька пікова потужність електроенергії та знижена собівартість теплової енергії завдяки використанню двоштарифної системи обліку електроенергії. Недоліки – ще зберігається висока ймовірність додаткових витрат по посиленню електромережі.

6. «Бізнес централізований варіант». Зменшення максимального навантаження на електромережу можна досягти використанням тепловий насос. Перевага представленого варіанту полягає в зменшенні пікового навантаження на електромережі та в зниженні собівартості виробленого тепла. Недолік такого рішення – високі капітальні витрати та ймовірність необхідності посилення зовнішньої електромережі.

7. «Бізнес централізований модернізований варіант». При цьому варіанті можливо звести до мінімуму ймовірність необхідності посилення елементів зовнішньої електромережі. В такому варіанті поряд із тепловим насосом застосовується бак-акумулятор, який використовується у години зменшення електроспоживання будинком (наприклад у нічні години та у денні робочі години). Основною перева-

гою такого рішення є суттєве зменшення собівартості виробленого тепла та висока ймовірність відмови від посилення зовнішніх елементів електромереж. Недоліком такої системи є досить значні капіталовкладення.

5. Результати досліджень ефективності застосування різних альтернативних систем теплопостачання

Для проведення порівняльного техніко-економічного аналізу приведених варіантів альтернативного теплопостачання було обрано житлову будівлю, що розташована в м. Одеса. Результати розрахунків представлені в табл. 1.

Основні показники будівлі:

- кількість поверхів – 9;
- загальна площа – 3300 м²;
- матеріал стін – цегла ефективна;
- товщина стін – 640 мм;
- кількість мешканців – 120 чол;
- максимальна електрична потужність на побутові потреби – 100 кВт.

В наведеній таблиці не вказана вартість модернізації зовнішньої системи електропостачання будівлі. Вартість такої модернізації в залежності від умов може становити від сотен тис грн. до кількох мільйонів грн. Варто зазначити, що в більшості варіантів така модернізація може бути технічно неможливою. Якщо додати витрати на модернізацію системи електропостачання будівлі то значно зменшиться термін окупності енергозберігаючих систем теплопостачання.

Вартість термомодернізації будівлі за укрупненими показниками склала 716 тис. грн.

Використання електроенергії на потреби опалення значно збільшує загальне споживання електроенергії будівлі (рис. 1). Для суттєвого зменшення пікового навантаження електроенергії доцільно використовувати акумуляування теплової енергії (рис. 2, 3) впродовж періоду низького електричного навантаження та витратити акумуляоване тепло в години максимального електричного навантаження.

Використання акумулятора тепла разом із електродотами при застосуванні централізованого теплопостачання (рис. 2) дозволяє зменшити величину пікового навантаження та вирівняти добове споживання електроенергії.

Однак цей варіант змушує модернізувати систему зовнішнього електропостачання, що в багатьох випадках є досить проблематичним.

Можливість обійтись без модернізації зовнішніх теплових мереж може дати система теплопостачання із використанням теплового насосу та бака-акумулятора. При цьому необхідно провести термомодернізацію будівлі, виходячи насамперед із наявних потужностей електроенергії. Ця обставина може вказати на «глибину» термомодернізації, та визначити основні капіталовкладення.

В якості акумулятора тепла при використанні більшості теплових насосів (одноступінчасті) можна використовувати воду, однак невеликий перепад температур 40–60 °С викликає досить великі об'єми акумуляючого матеріалу. Так для акумуляування 1 кВт·год теплової енергії потрібно 43 л. води.

Таблица 1

Основні техніко-економічні показники модернізації системи тепlopостачання

№	Найменування варіанту	Теплова потужність, кВт	Електрична потужність	Капіталовкладення, тис. грн	Собівартість тепла грн/кВт год	Витрата енергії за рік, кВт·год.	Вартість енергії за рік, грн.	Термін окупності, рік
1	бюджетний самостійний варіант	264*	277	118	0,24	668145	160 354	---
2	бюджетний самостійний модернізований варіант	131**	137	829	0,24	404802	97 152	11
3	бізнес самостійний варіант	131	93****	1567	0,08-0,24	303162	72 759	16
4	Бюджетний централізоване варіант	131	137	784	0,24	404802	97 152	11
5	Бюджетний централізоване модернізовано варіант	131	137	1016	0,24	404802	97 152	14
6	Бізнес централізоване варіант	131	66*****	1 076	0,08-0,12	134934	32 384	8
7	Бізнес модернізовано централізоване варіант	131*	66	1 576	0,08-0,12	134934	32 384	11

Позначення в табл. 1:

* – враховується теплова потужність на системи опалення 210 кВт та встановлення квартирних електро-бойлерів із врахуванням коефіцієнтів одночасності – 54 кВт.

** – враховується теплова потужність на системи опалення 77 кВт та встановлення квартирних електро-бойлерів із врахуванням коефіцієнтів одночасності – 54 кВт.

*** – враховується потужність на системи опалення 210 кВт із коефіцієнтом трансформації 2 та встановлення квартирних електро-бойлерів із врахуванням коефіцієнтів одночасності – 54 кВт.

**** – враховується потужність на системи опалення 77 кВт із коефіцієнтом трансформації 2 та встановлення квартирних електро-бойлерів із врахуванням коефіцієнтів одночасності – 54 кВт.

***** – враховується потужність на системи опалення 77 кВт та приготування гарячої в центральному бойлері із коефіцієнтом трансформації 2.

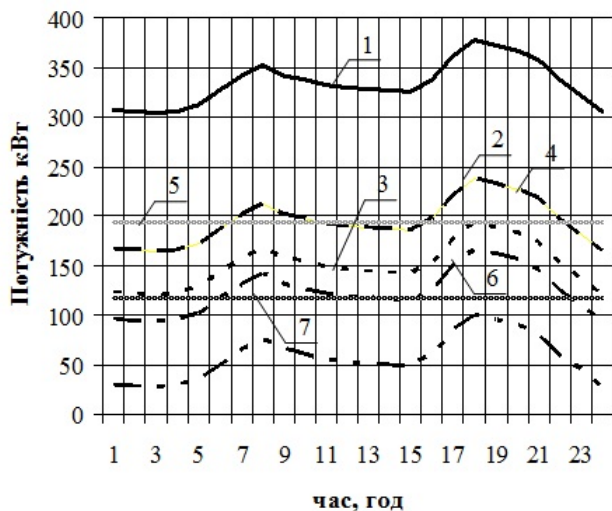


Рис. 1. Графічні залежності добового споживання електроенергії житловою будівлею взимку при різних варіантах тепlopостачання: 1 – бюджетний самостійний варіант; 2 – бюджетний самостійний модернізований варіант; 3 – бізнес самостійний варіант; 4 – бюджетний централізований варіант; 5 – бюджетний централізований модернізований варіант; 6 – бізнес централізований варіант; 7 – бізнес модернізований централізований варіант; нижня лінія – графік добового споживання будівлі електроенергії на побутові потреби

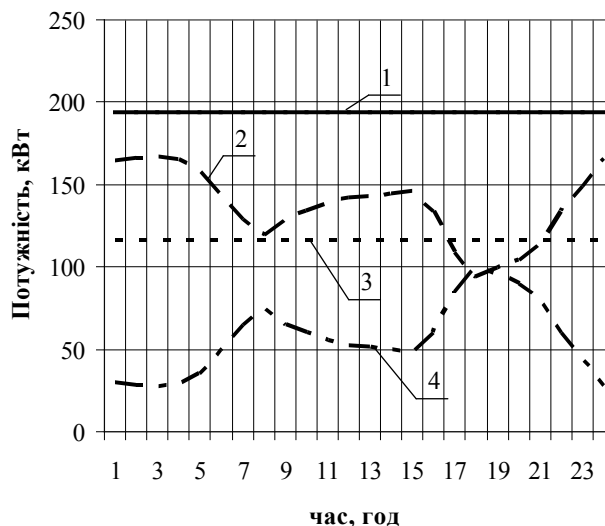


Рис. 2. Графіки залежності споживання електроенергії будівлі при бюджетному централізованому модернізованому варіанті: 1 – загальне енергоспоживання; 2 – енергоспоживання на систему тепlopостачання; 3 – розрахункове навантаження на потреби опалення; 4 – енергоспоживання на побутові потреби

Певний інтерес при цьому викликають акумулятори тепла на основі фазового перетворення, які здатні

суттєво зменшити об'єми теплових акумуляторів (що найменш у два рази). В якості акумулюючих матеріалів може бути використано різні речовини, що мають температуру плавлення у межах 50 °С, наприклад парафіни.

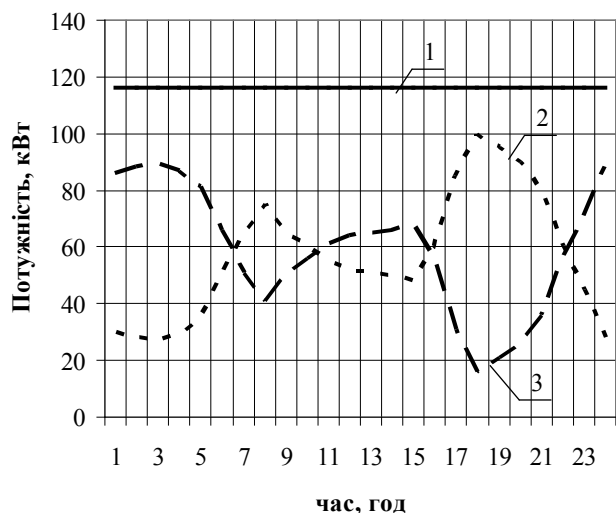


Рис. 3. Графіки залежності споживання електроенергії будівлі при бізнес модернізованому централізованому варіанті: 1 – загальне енергоспоживання; 2 – споживання електроенергії впродовж доби на побутові потреби; 3 – споживання електроенергії впродовж доби на системи тепlopостачання

Як видно із результатів дослідження, при використанні для потреб тепlopостачання теплого насоса та акумулятора тепла електроспоживання будівлі впродовж доби не змінюється, а максимум споживання електроенергії несуттєво збільшено (на 16 %) від пікового споживання електроенергії на побутові потреби.

7. Висновки

За результатами проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

- індивідуальне переведення системи тепlopостачання на використання електроенергії мешканцями будівлі приводить до значного збільшення електричного навантаження на будівлю, що без модернізації системи електropостачання приведе до аварійного відключення будівлі від електричних мереж;
- переведення системи тепlopостачання на електроенергію в якості джерела тепла без термомодернізації будівлі не може дати суттєвих практичних результатів;
- використання теплових насосів для централізованого тепlopостачання при переведенні на електроенергію значно зменшує навантаження на електромережі;
- використання акумуляторів тепла сумісно із альтернативними джерелами енергії та термомодернізацією будівлі здатне суттєво зменшити пікові навантаження на системи електropостачання та дає можливість відмовитись від модернізації зовнішніх електромереж.

Література

1. Закон України про енергозбереження: №74/94 від 1.07.1994 р. [Текст] / Закони України. – Київ, 1997. – Т. 7. – С. 281–291.
2. Про стимулювання споживачів природного газу і теплової енергії до переходу на електричне опалення та гаряче водопостачання [Текст] / Постанова кабінету міністрів від 9.07.2014.
3. Денисова, А. Є. Оцінка ефективності біогазових електростанцій [Текст] / А. Є. Денисова, Нго Мінх Хієу // Збірник наукових праць національного університету кораблебудування ім. НУК ім. адм. Макарова. – 2014. – № 5-6. – С. 118–122.
4. Мазуренко, А. С. Економічна ефективність парогазових установок на біопаливі [Текст] / А. С. Мазуренко, А. Є. Денисова, Нго Мінх Хієу / Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – № 1 (32). – С. 15–19.
5. Мазуренко, А. С. Энергетические характеристики биогазовых энергоустановок [Текст] / А. С. Мазуренко, А. Е. Денисова, А. А. Климчук, Нго Мінх Хієу, П. А. Котов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Вып. 1. – Т. 1, № 8 (67). – С. 7–12.
6. Денисова, А. Е. Особенности работы теплового насоса в комплексной альтернативной системе теплоснабжения [Текст] / А. Е. Денисова // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 1. – С. 6–8.
7. Денисова, А. Е. Модель комплексной альтернативной системы теплоснабжения [Текст] / А. Е. Денисова, А. С. Мазуренко, Ю. К. Тодорцев // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 5. – С. 8–12.
8. Денисова, А. Е. Аккумуляция энергии в геосистемах теплоснабжения [Текст] / А. Е. Денисова // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 2. – С. 9–14.
9. Баласанян, Г. А. Оценка эффективности интегрированных когенерационных систем [Текст] / Г. А. Баласанян // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2006. – № 3. – С. 9–12.
10. Климчук, О. А. Установка комбінованої системи альтернативного тепlopостачання навчального корпусу ОНПУ [Текст] / О. А. Климчук, Нго Мінх Хієу, А. С. Мазуренко, А. Є. Денисова // Матеріали IV міжнародної конференції магістрів, аспірантів та науковців. – 2013. – Т. 2. – С. 92–94.
11. Мишин, М. А. Тепловой режим жилых зданий [Текст] / М. А. Мишин // Ползуновский вестник. – 2011. – № 1. – С. 104–115.
12. Алимгазин, А. Ш. Пути повышения энергетической эффективности теплонасосных технологий в РК [Текст] / А. Ш. Алимгазин, Ю. М. Петин, А. П. Кислов // Вестник ПГУ им. С. Торайгырова, серия «Енергетика». – 2010. – № 2. – С. 25–39.
13. Щегольков, А. В. Проблемы потребления и экономии тепловой энергии в жилом фонде [Текст] / А. В. Щегольков, М. А. Мишин // Ползуновский вестник. – 2011. – № 1. – С. 257–265.
14. Давыдов, В. О. Компьютерное моделирование тепловых режимов жилых зданий [Текст] / В. О. Давыдов, О. Б. Максимова // Труды Одесского политехнического университета. – 2009. – № 1. – С. 67–72.