

УДК 621.643

DOI: 10.15587/2313-8416.2018.143416

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТИПОВОЇ РАДІАТОРНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЛІ НА БАЗІ АВТОНОМНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ ТИПУ «ПОВІТРЯ-ВОДА»

© Б. І. Басок, О. М. Недбайло, О. В. Тугова, М. В. Ткаченко, І. К. Божко

Представлено опис технічного рішення та апробація експериментальної установки на основі технології з використанням парокompресійного теплового насосу типу «повітря-вода» для комплексної модернізації типової радіаторної системи теплопостачання будівлі соціально-адміністративного призначення. Проаналізована доцільність використання теплового насоса в опалювальний період при різних схемах підключення та розраховані відповідні коефіцієнти перетворення енергії теплового насоса

Ключові слова: тепловий насос, енергозбереження, система опалення, коефіцієнт перетворення енергії теплового насоса

1. Вступ

Теплопостачання та кондиціонування приміщень будинків і споруд різного призначення на основі технологій із використанням ТН є найбільш поширеним у світовій відновлювальній енергетиці [1, 2]. Такі системи характеризуються високою енергетичною [3, 4] та економічною ефективністю [5], автономністю від теплопостачальних мереж [6], а також екологічною безпекою технології та обладнання, що використовуються [7].

2. Літературний огляд

Значна кількість країн Європейського Союзу вже відмовились від централізованого теплопостачання в комунальній енергетиці, тільки за останній 2017 рік їх теплонасосний ринок виріс на 12 % або на майже на 1 мільйон одиниць, а сумарно по всім країнам ЄС встановлено вже більше 10 мільйонів теплових насосів. Це 333 ГВт потужності, 165 ТВт·год. виробленої корисної теплової енергії, 27.1 Мт збережених викидів CO₂ та 135 ТВт·год. зекономленої кінцевої енергії [8].

Оновленою енергетичною стратегією України на період до 2035 року передбачено стале розширення використання всіх видів відновлюваної енергетики, переведення споживачів тепла на автономне та/або індивідуальне опалення, де це є економічно доцільним. Прогнозується зростання частки відновлюваної енергетики до рівня 25 % від загального первинного постачання енергії до 2035 року [9]. При реалізації такої стратегії в теплопостачанні велику роль може відіграти здійснення відповідного розвитку ефективно діючих теплонасосних систем.

В Інституті технічної теплофізики НАНУ впроваджено ряд проектів, що мають за мету скорочення споживання теплової енергії на потреби опалення адміністративних будівель. Серед таких проектів – розробка та встановлення індивідуального теплового пункту (ІТП) оригінальної конструкції [10], модернізація частини системи опалення корпусу № 1 з встановленням теплового насосу типу «повітря-вода» [11] та ін.

Проект відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки України, що визначені Законом України № 2519-VI від 9.09.2010 р [12]. Ре-

зультати виконання проекту можуть бути використані для впровадження індивідуальних теплових пунктів різної потужності для:

- організації автоматичного регулювання теплопостачання будівлі за наперед заданим алгоритмом;
- енергоефективного розподілу і споживання теплоти;
- зменшення енергоспоживання і поліпшення екологічного стану навколишнього середовища;
- підтримання у будинках комфортних умов проживання;
- автономного вироблення теплової енергії незалежно від теплових розподільних мереж, у тому числі в умовах пільгового нічного електропостачання, з використанням низькопотенційної теплоти атмосферного повітря.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – впровадження та проведення комплексних експериментальних випробувань нової енергоощадної технології модернізації типової системи теплопостачання будівлі на базі автономного використання теплового насосу типу «повітря-вода», що передбачає заміщення (повністю або частково) системи централізованого теплозабезпечення будівлі системою автономного теплопостачання з використанням низькопотенційної теплоти повітря.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Будівництво експериментальної установки [13];
2. Експериментальні дослідження протягом опалювального періоду 2016–2017 рр. при використанні різних режимів роботи системи теплопостачання. Визначення і фіксування в автоматичному режимі в реальному часі всіх основних параметрів теплопостачання;
3. Доцільність проведеної модернізації системи опалення.

4. Опис та принципова схема експериментальної установки. Комплексні експериментальні випробування установки

Модернізація системи опалення адміністративного корпусу № 1 ІТТФ НАН України здійснена

шляхом відключення частини системи опалення будівлі за допомогою запірної арматури від системи централізованого теплопостачання і встановлення ТН IVT Optima 1700 типу «повітря-рідина» максимальною тепловою потужністю 16 кВт для покриття теплових втрат частини будівлі.

Модернізована система може працювати як від індивідуального теплового пункту, використовуючи теплоносій від районної котельні або ТЕЦ, так і від ТН, використовуючи електроенергію з місце-

вої мережі для приводу компресора та відновлювальну теплоту повітря [13]. На рис. 1 представлена принципова гідравлічна схема модернізації існуючої централізованої системи опалення триповерхової адміністративної будівлі корпусу № 1 ІТТФ НАН України з використанням ТН «повітря-вода» максимальною потужністю 16 кВт [13]. Труба обв'язка з приладами вимірювання, контролю та автоматики розміщена у виставковій залі інституту.

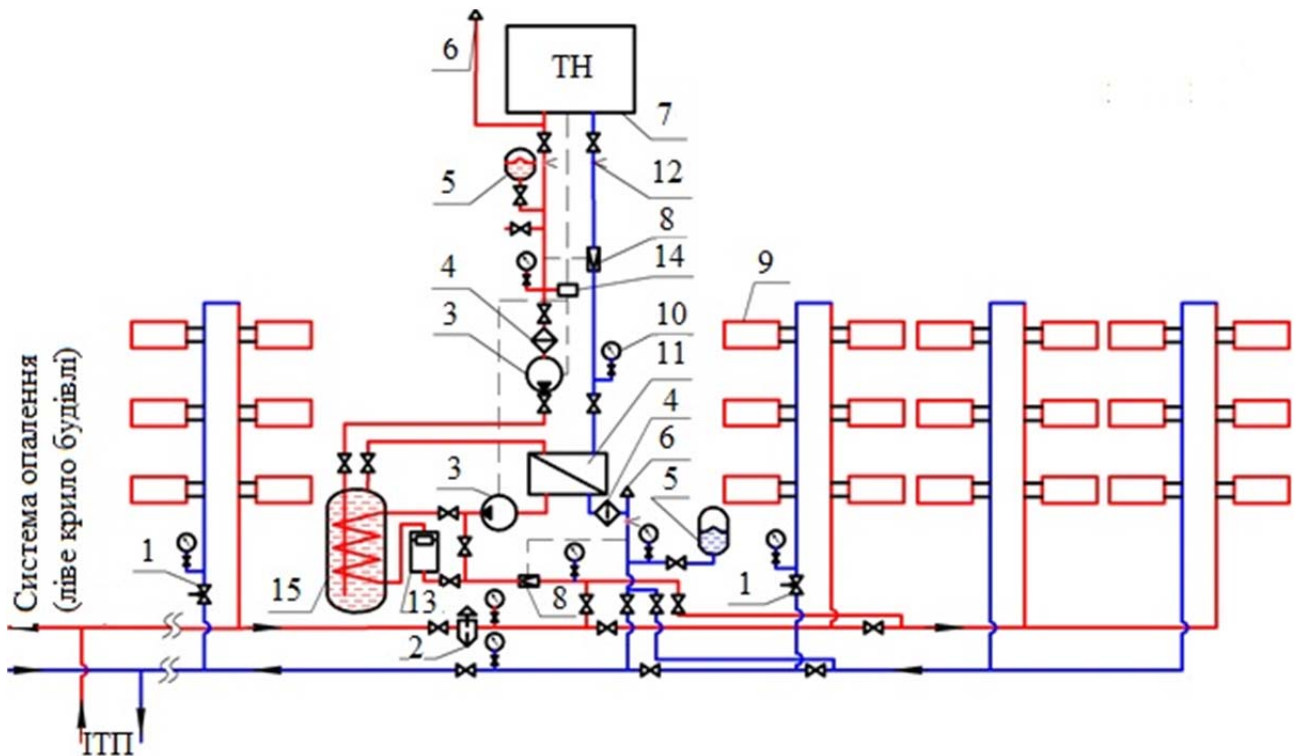


Рис. 1. Принципова гідравлічна схема системи теплопостачання на основі теплового насоса «повітря-рідина»: 1 – клапани балансувальні; 2 – барботажний сепаратор; 3 – насоси циркуляційні; 4 – фільтри сітчасті; 5 – баки розширювальні мембранні; 6 – повітряспускники; 7 – тепловий насос «повітря-рідина» (ТН); 8 – лічильник теплоти; 9 – радіатор системи опалення; 10 – манометр; 11 – пластинчатий теплообмінник; 12 – датчики температури; 13 – електричний котел; 14 – датчик тиску, 15 – бак-акумулятор; ІТП – індивідуальний тепловий пункт

Експериментальні дослідження, які проводились протягом опалювального періоду 2016–2017 рр. при використанні різних режимів роботи системи теплопостачання частини адміністративної будівлі з використанням ТН «повітря-вода» в різних режимах експлуатації наведені у статті [14]. Тривалість дослідження одного з режимів становила в середньому 15 діб.

За допомогою вимірювального комплексу визначалися і фіксувалися в автоматичному режимі в реальному часі з інтервалами від однієї до двадцяти хвилин всі основні параметри теплопостачання:

- температура теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах системи централізованого теплопостачання корпусу № 1 ІТТФ;

- температура теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах контуру ТН;

- температура теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах системи опалення;

- температура повітря в контрольному приміщенні та навколишнього середовища;

- витрати теплоносія в кожному з контурів.

Регулювання параметрів роботи ТН здійснювалось за допомогою датчиків температури теплоносія в зворотному трубопроводі контуру ТН та зовнішнього повітря. Для детального аналізу обирались часові проміжки роботи системи теплопостачання, при яких температура навколишнього повітря мало змінювалась і процес теплообміну через огорожувальні конструкції будівлі був квазістаціонарним [14].

На рис. 2 приведені експериментальні дані, що були отримані 24.01.2017 р. з 05-00 до 11-00. Система теплопостачання на основі ТН працювала у режимі опалення 4-х стояків корпусу № 1, піковий електричний котел був вимкнений.

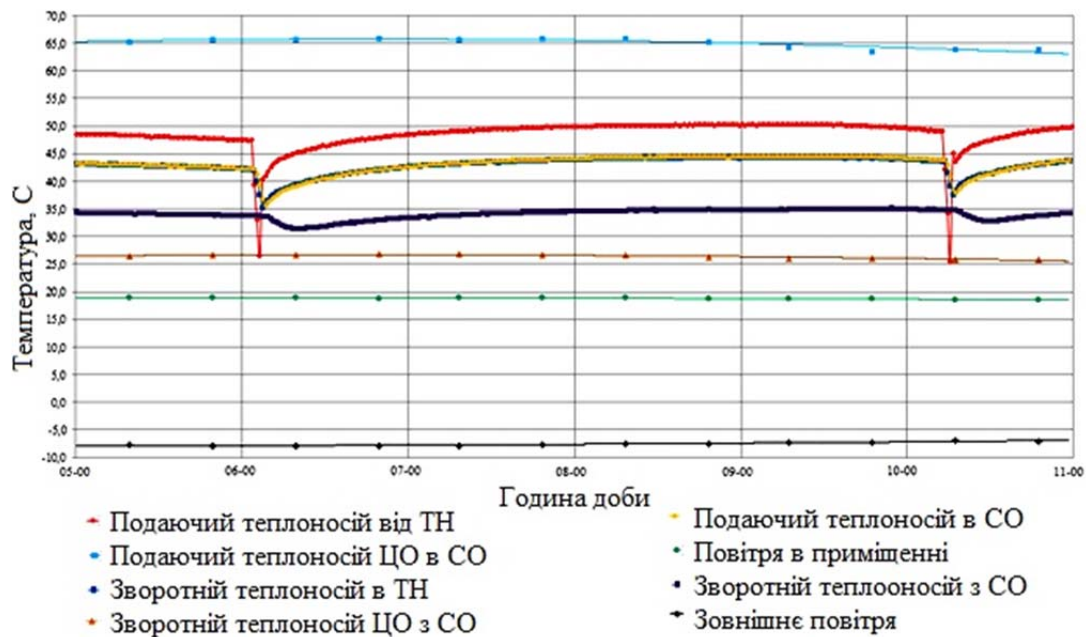


Рис. 2. Залежності значень температури внутрішнього повітря та теплоносіїв у контурах системи теплопостачання частини адміністративної будівлі 24.01.2017 р.

Витрати теплоносіїв склали:

- в системі централізованого теплопостачання $G1=1,1-1,3 \text{ м}^3/\text{год.}$;
- в контурі теплового насоса $G_{ТН}=1,2 \text{ м}^3/\text{год.}$;
- в системі опалення $G_{СО}=1,4 \text{ м}^3/\text{год.}$

Як видно з рис. 2, ТН працює з інтервалом ввімкнення/вимкнення близько 4 год., що вказує на його покриття номінального теплового навантаження на систему теплопостачання. Температура теплоносія, що подається в систему опалення в середньому на $0,5^\circ\text{C}$ нижча, ніж температура зворотного теплоносія контуру ТН. Це вказує на недостатність наявної поверхні теплообміну поміж контурами. Температура

зовнішнього повітря коливалась від $-7,7^\circ\text{C}$ до $-7,1^\circ\text{C}$. Температура внутрішнього повітря коливалась в межах $19,0\pm 0,5^\circ\text{C}$.

На основі отриманих експериментальних даних був розрахований коефіцієнт перетворення енергії ТН для вищевказаного режиму роботи системи теплопостачання, який склав $\text{COP}_1=1,6$.

На рис. 3 приведені експериментальні дані, що були отримані 25.02.2017 р. з 17:00 до 23:00. Система теплопостачання на основі ТН працювала у режимі опалення 4-х стояків корпусу № 1, піковий електричний котел догрівав теплоносій контуру системи опалення корпусу.

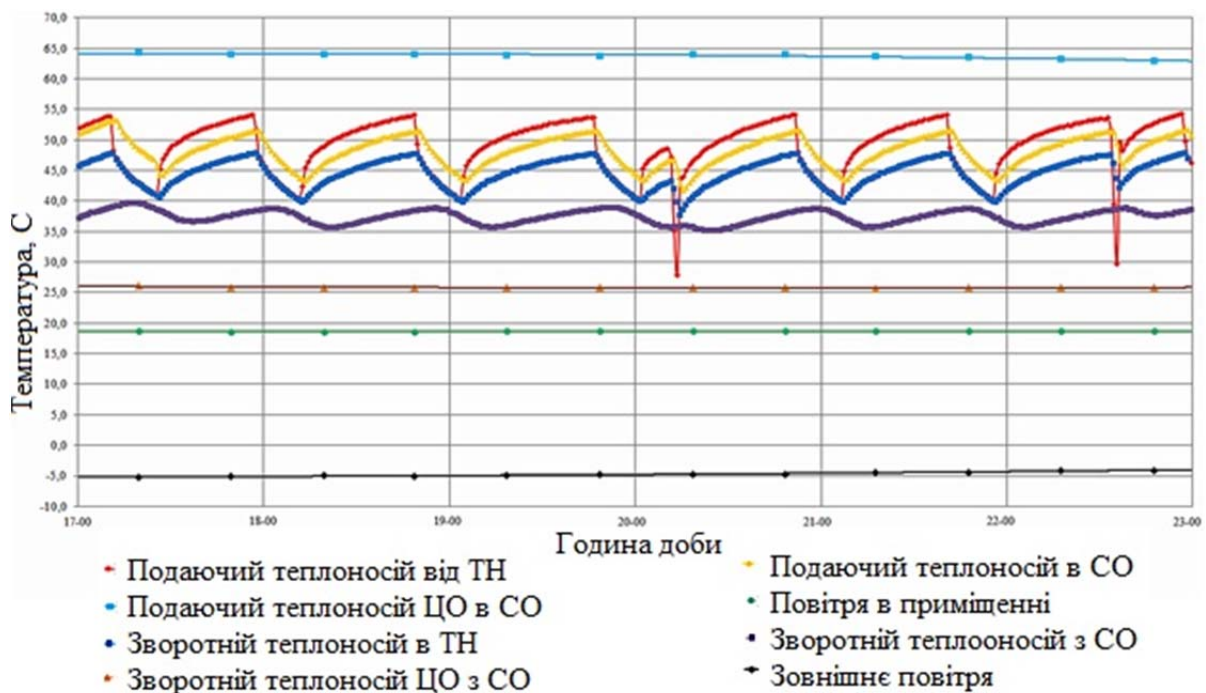


Рис. 3. Залежності значень температури внутрішнього повітря та теплоносіїв у контурах системи теплопостачання частини адміністративної будівлі 25.02.2017 р.

Витрати теплоносіїв склали:

- в системі централізованого теплопостачання $G_1=1,2-1,3 \text{ м}^3/\text{год.}$;
- в контурі теплового насоса $G_{ТН}=0,95 \text{ м}^3/\text{год.}$;
- в системі опалення $G_{СО}=1,75 \text{ м}^3/\text{год.}$

Інтервал роботи ТН в такому режимі зменшився, і період ввімкнення/вимкнення склав 1,5 год.

В цьому режимі роботи температура теплоносія, що подається в систему опалення, в середньому, на $3,0-3,5^\circ\text{C}$ вища, ніж температура зворотного теплоносія контуру ТН за рахунок роботи електричного котла.

Температура зовнішнього повітря коливалась від $-5,3^\circ\text{C}$ до $-4,1^\circ\text{C}$.

Температура внутрішнього повітря мала значення $19,5^\circ\text{C}$.

О 20-15 та 22-40 спостерігається різке зниження температури подавального теплоносія контуру ТН, що пояснюється обмерзанням зовнішньої поверхні випарника ТН із наступним реверсивним автоматичним розморожуванням.

На основі отриманих експериментальних даних був розрахований коефіцієнт перетворення енергії ТН для вищевказаного режиму роботи системи теплопостачання, який склав $\text{COP}_2=1,62$. Незначне зростання коефіцієнта COP_2 пояснюється збільшенням температури зовнішнього повітря.

На рис. 4 приведені експериментальні дані, що були отримані 04.03.2017 р. з 12-00 до 18-00. Система теплопостачання на основі ТН працювала у режимі опалення 6-ти стояків корпусу №1, піковий електричний котел був вимкнений.

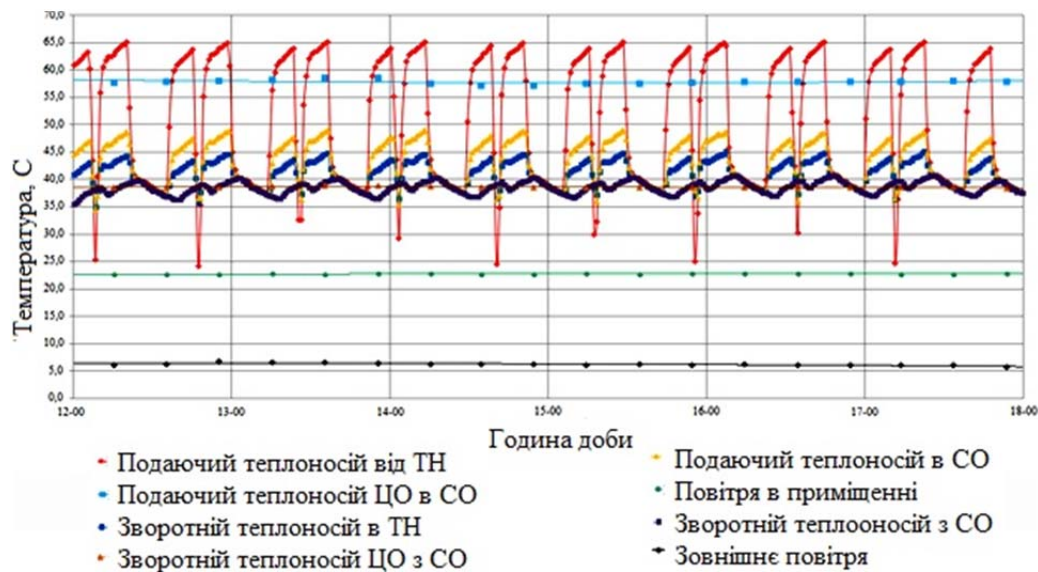


Рис. 4. Залежності значень температури внутрішнього повітря та теплоносіїв у контурах системи теплопостачання частини адміністративної будівлі 04.03.2017 р.

Витрати теплоносіїв склали:

- в системі централізованого теплопостачання $G_1=0,9-1,2 \text{ м}^3/\text{год.}$;
- в контурі теплового насоса $G_{ТН}=0,75 \text{ м}^3/\text{год.}$;
- в системі опалення $G_{СО}=2,1 \text{ м}^3/\text{год.}$

Інтервал роботи ТН в такому режимі зменшився і період ввімкнення/вимкнення склав 45 хв.

В цьому режимі роботи, температура теплоносія, що подається в систему опалення, в середньому, на $5,0^\circ\text{C}$ вища, ніж температура зворотного теплоносія контуру ТН за рахунок зменшення теплових втрат будівлі та збільшення витрати теплоносія в системі опалення. Температура зовнішнього повітря коливалась від $6,1^\circ\text{C}$ до $6,5^\circ\text{C}$. Температура внутрішнього повітря підвищилась до $22,8^\circ\text{C}$.

В такому режимі роботи обмерзання поверхні випарника відбувається майже в кожному циклі роботи ТН, що негативно впливає на його ресурс роботи, і зменшує показник надійності всієї системи теплопостачання. На основі отриманих експериментальних даних був розрахований коефіцієнт перетворення енергії ТН для вищевказаного режиму роботи системи теплопостачання, який склав $\text{COP}_3=1,94$.

4.1. Визначення похибок вимірювання величин

Під час проведення всіх експериментів використовувалися такі вимірювальні пристрої та датчики:

- теплотічильника MULTICAL 601 з підбраною парою термоперетворювачів опору різниці температур типу TS (Pt100);
- термоперетворювачі опору типу ТСП;
- термоперетворювачі опору типу ТСМ.

Для визначення абсолютної похибки вимірювання були зафіксовані три значення одного із параметрів при однакових умовах.

В табл. 1 представлена вибірка з експериментальної бази вимірних значень основних параметрів теплопостачання. Для кожного з них вказано мінімальне і максимальне значення взяті за опалювальний період при повноцінній роботі системи теплопостачання.

Значення середньгеометричних відносних похибок діапазону вимірювальних величин приведено в табл. 2. Де $\delta_{\text{поч.}}$, $\delta_{\text{кінц.}}$, $\delta_{\text{діап.}}$ — відносна похибка початкового та кінцевого значення діапазону вимірювальних величин, середньгеометрична відносна похибка в діапазоні вимірювання.

Таблиця 1

Виміряні значення величин				
№ п/п	Вимірювальний пристрій	Виміряна величина	Мін. значення	Макс. значення
1.	Термоперетворювач опору типу ТСП	Температура подавального теплоносія централізованого теплопостачання, °С	57,1	65,9
2.	Термоперетворювач опору типу ТСП	Температура зворотного теплоносія централізованого теплопостачання, °С	25,6	38,9
3.	Термоперетворювач TS (Pt100)	Температура подавального теплоносія контуру теплового насоса, °С	25,5	65,3
4.	Термоперетворювач TS (Pt100)	Температура зворотного теплоносія контуру теплового насоса, °С	22,8	47,8
5.	Термоперетворювач TS (Pt100)	Температура подавального теплоносія в систему опалення, °С	22,8	53,4
6.	Термоперетворювач TS (Pt100)	Температура зворотного теплоносія з системи опалення, °С	22,8	42,6
7.	Термоперетворювач опору типу ТСМ	Температура повітря в приміщенні, °С	18,5	22,9
8.	Термоперетворювач опору типу ТСМ	Температура зовнішнього повітря, °С	-7,9	6,7

Таблиця 2

Середньгеометрична відносна похибка в діапазоні вимірюваних величин

№ п/п	Вимірювальні величини	δпоч., %	δкінц., %	δдіап., %
1.	Температура подавального теплоносія централізованого теплопостачання, що вимірювалась ТСНР-0490, °С	0,4	0,3	0,5
2.	Температура зворотного теплоносія централізованого теплопостачання, що вимірювалась ТСНР-0490, °С	0,8	0,5	0,9
3.	Температура подавального теплоносія контуру теплового насоса, що вимірювалась ТСП, °С	0,4	0,2	0,4
4.	Температура зворотного теплоносія контуру теплового насоса, що вимірювалась ТСП, °С	0,4	0,2	0,4
5.	Температура подавального теплоносія в систему опалення, що вимірювалась ТСП, °С	0,4	0,2	0,4
6.	Температура зворотного теплоносія з системи опалення, що вимірювалась ТСП, °С	0,4	0,2	0,4
7.	Температура повітря в приміщенні, що вимірювалась ТСМ, °С	1,1	0,9	1,4
8.	Температура зовнішнього повітря, що вимірювалась ТСМ, °С	2,5	3,0	3,9

Отже, відносна похибка в діапазоні вимірюваних величин не перевищує 3,9 %.

Розрахунковий економічний ефект від встановлення теплового насоса потужністю 16 кВт в будівлі з максимальними тепловтратами 208 кВт наведено у статті [14].

За опалювальний період середня економія теплової енергії при встановленні теплового насоса потужністю 16 кВт, в адміністративній будівлі, становить близько 15 %.

5. Результати дослідження

У статті розглянуто експериментальні дослідження протягом опалювального періоду 2016–2017 рр. при використанні різних режимів роботи системи теплопостачання.

При роботі системи теплопостачання на основі ТН у режимі опалення 4-х стояків корпусу № 1, коли піковий електричний котел був вимкнений, розрахований коефіцієнт перетворення енергії ТН склав $COP_1=1,6$.

При роботі системи теплопостачання на основі ТН у режимі опалення 4-х стояків корпусу № 1, коли піковий електричний котел догрівав теплоносій контуру системи опалення корпусу, розрахований коефіцієнт перетворення енергії ТН склав $COP_2=1,62$. Незначне зростання коефіцієнта COP_2 пояснюється збільшенням температури зовнішнього повітря.

При роботі система теплопостачання на основі ТН у режимі опалення 6-ти стояків корпусу № 1, коли піковий електричний котел був вимкнений, розрахований коефіцієнт перетворення енергії ТН склав $COP_3=1,94$.

6. Висновки

1. Комплексна модернізація системи теплопостачання адміністративного корпусу, створення експериментальної установки теплопостачання на базі існуючої системи опалення корпусу розроблена для апробації та подальшого вивчення енергоощадних технологій з використанням альтернативних джерел енергії та різних технологічних схемах в системі опа-

лення будівель та споруд, проведення комплексних експериментальних випробувань установки, відпрацювання оптимальних режимів та видачі рекомендацій щодо подальшої експлуатації.

2. Проведена експериментальна апробація нової енергоощадної технології автономного теплопостачання будівлі соціально-адміністративного призначення з використанням відновлювальних альтернативних джерел енергії, а саме, низькопотенційної теплоти атмосферного повітря, при використанні різних режимів роботи системи теплопостачання та

приведено розраховані коефіцієнти перетворення енергії ТН. Відносна похибка в діапазоні вимірюваних величин не перевищує 3,9 %.

3. Приведені розрахунки доводять, що встановлення теплового насосу в існуючу систему опалення будівлі може бути доцільно, але треба детальніше дослідити особливості експлуатації експериментальної установки протягом більш довгого періоду часу.

Література

1. О рациональном использовании теплонасосных технологий в экономике Украины / Мацевитый Ю. М. и др. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2007. № 3. С. 23–29.
2. Стефанюк В. В. Интеллектуальная система поддержки функционирования теплонасосного энергоснабжения // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. Т. 3, № 10 (45). С. 33–35. URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2901>
3. Безродный М. К., Притула Н. А. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія. Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2016. 272 с.
4. Галан М. А. Тепловой насос – энергетически эффективная составляющая систем кондиционирования воздуха // Тепловые насосы. 2011. № 2. С. 25–30.
5. Анализ экономической эффективности при реализации теплонасосных систем для теплоснабжения / Басок Б. И. и др. // Промышленная теплотехника. 2008. Т. 30, № 4. С. 56–63.
6. A Model for Simulating the Performance of a Pavement Heating System as a Supplemental Heat Rejecter With Closed-Loop Ground-Source Heat Pump Systems / Chiasson A. D. et. al. // Journal of Solar Energy Engineering. 2000. Vol. 122, Issue 4. P. 183. doi: <http://doi.org/10.1115/1.1330725>
7. Опыт применения тепловых насосов для теплоснабжения в южных районах Украины / Хворов М. М. и др. // Відновлювана енергетика. 2006. № 1. С. 20–25.
8. EHPA Market and Statistics Report. 2017. URL: <https://www.ehpa.org/about/news/article/european-heat-pump-market-and-statistics-report-2017-is-available-now/>
9. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 605-р. 18.08.2017. База даних «Законодавство України». URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/497-2018-%D1%80#n15> (Дата звернення: 03.09.2018)
10. Лисенко О. М. Оцінка окремих режимів експлуатації індивідуального теплового пункту // Промислова теплотехніка. 2012. Т. 34, № 7. С. 95–99.
11. Комплексна модернізація типової системи теплопостачання будівлі на основі використання теплового насосу типу «повітря-вода» / Басок Б. І. та ін. // Промислова теплотехніка. 2009. Т. 31, № 7. С. 19–21.
12. Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки: Закон України № 2519-VI. 9.09.2010. База даних «Законодавство України». URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2623-14> (Дата звернення: 03.09.2018)
13. Недбайло О. М. Використання теплового насосу типу «повітря-рідина» в існуючій централізованій системі опалення // Компрессорное и энергетическое машиностроение. 2010. № 2 (20). С. 32–36.
14. Модернізація системи опалення будівлі з використанням теплового насоса типу «повітря-рідина» / Басок Б. І. та ін. // Промислова теплотехніка. 2015. Т. 37, № 5. С. 68–74.

Дата надходження рукопису 19.07.2018

Басок Борис Іванович, доктор технічних наук, професор, завідувач відділом, Відділ теплофізичних основ енергоощадних технологій, Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, вул. Желябова, 2а, м. Київ, Україна, 03057. E-mail: basok@itf.kiev.ua

Ткаченко Мирослав Володимирович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Відділ теплофізичних основ енергоощадних технологій, Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, вул. Желябова, 2а, м. Київ, Україна, 03057. E-mail: tkamyr@gmail.com

Недбайло Олександр Миколайович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Відділ теплофізичних основ енергоощадних технологій, Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, вул. Желябова, 2а, м. Київ, Україна, 03057. E-mail: nan_sashulya@ukr.net

Тугова Олена Валеріївна, відділ теплофізичних основ енергоощадних технологій, Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, вул. Желябова, 2а, м. Київ, Україна, 03057. E-mail: riasnovaelen@gmail.com

Божко Ігор Костянтинович, кандидат технічних наук, науковий співробітник, Відділ теплофізичних основ енергоощадних технологій, Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, вул. Желябова, 2а, м. Київ, Україна, 03057. E-mail: bozhkoik@gmail.com

