

АНАЛІЗ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОТИ ҐРУНТУ, СТІЧНИХ ВОД ТА ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ВИКИДІВ В СИСТЕМІ ОПАЛЕННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ НА БАЗІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Анотація

В даному дослідженні проводиться термодинамічний аналіз теплонасосної системи опалення та вентиляції з використанням теплоти ґрунту, стічних вод та вентиляційних викидів. Побудовано математичну модель балансових рівнянь (матеріальні та теплові баланси), з неї визначено основні величини, що впливають на роботу схеми. Для розв'язання задачі використано чисельний метод розрахунку. Результати розв'язку представлено у вигляді графічних залежностей визначальних величин від параметрів роботи системи. Визначено позитивний ефект від використання додаткових низькотемпературних джерел енергії. Зроблено висновки про можливе зниження капітальних і експлуатаційних витрат на опалення і вентиляцію за рахунок запропонованого рішення.

Ключові слова: тепловий насос, термодинамічний аналіз, стічні води, теплота ґрунту, вентиляційні викиди, вертикальний ґрунтовий теплообмінник, рекуператор, енергоефективність.

Abstract

This study performs a thermodynamic analysis of the heat pump heating and ventilation system using heat of soil, wastewater and ventilation emissions. The mathematical model of balance equations (material and thermal balances) is constructed, from it the basic values influencing work of the scheme are defined. The numerical calculation method is used to solve the task. The results of the solution are presented in the form of graphical dependences of the determinants on the parameters of the system. The positive effect from the use of additional low-temperature energy sources is determined. Conclusions are made about the possible reduction of capital and operating costs for heating and ventilation due to the proposed solution.

Keywords: heat pump, thermodynamic analysis, wastewater, soil heat, ventilation emissions, vertical ground heat exchanger, recuperator, energy efficiency.

Вступ

В даний час споживання енергії в будівельному секторі становить приблизно 40% від загального світового споживання енергії [1]. Ця енергія, в основному, поставляється за рахунок викопних енергоресурсів (вугілля, газ, нафта), які викликають близько 36% викидів парникових газів в світі [2]. Згідно з дослідженням Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), споживання енергії в комунальному секторі складає 41% від загального споживання енергії в країнах Європи [3]. Тому на даний момент питання енергоефективності та ресурсозбереження постає особливо гостро.

Для вирішення цих проблем необхідно зменшувати споживання енергії в комунальному секторі. Цього можна досягти за рахунок енергозберігаючих рішень в будівництві (мінімізація теплових втрат, рекуперація) і за рахунок впровадження альтернативних високоефективних джерел енергії, одним з яких є тепловий насос [4].

Теплонасосні технології заслуговують на особливу увагу на світовому енергетичному ринку. Коефіцієнт перетворення таких пристроїв коливається в межах 3-8 одиниць, в залежності від джерела теплоти нижнього контуру. Найбільш ефективними з цієї точки зору є ґрунтові теплові насоси, що використовують енергію, акумульовану в ґрунті, для забезпечення потреб теплопостачання будівлі. Головною їх перевагою є майже постійна температура низько потенційного джерела теплоти, яка забезпечує стабільний режим роботи системи. Коефіцієнт перетворення ґрунтових теплових насосів, в порівнянні з повітряними, цілий рік є високим і стабільним, тому дозволяє досягти суттєвої економії енергії при довгостроковій експлуатації, але вимагає істотних капітальних вкладень при спорудженні (ґрунтовий теплообмінник, буріння свердловини, монтажні роботи). У зв'язку з цим, набувають

актуальності дослідження, що мають на меті підвищення енергетичної та загальної ефективності систем теплопостачання з використанням ґрунтових теплонасосних установок (ТНУ).

Результати дослідження

Розроблену схему опалення і вентиляції на основі ґрунтового теплового насоса з додатковим використанням теплоти умовно-чистих стічних вод і вентиляційних викидів будинку показано на рис. 1.

Головною особливістю даного рішення є комбінація ґрунтового ТН з додатковими низькопотенційними джерелами енергії, такими як теплота вентиляційних викидів $Q_{\text{вент}}$ і стічних вод $Q_{\text{ст}}$. Згідно зі схемою, в нижньому (ґрунтовому) контурі теплового насоса встановлюється теплообмінник стічних вод (тости), за рахунок якого розчин гліколю, який відібрав теплоту $Q_{\text{ГТО}}$ від ґрунту, підігрівається від температури $t_{\text{ГТО}}^{\text{ВВІХ}}$ до t_1 , тим самим утилізуючи скидну теплоту стоків. З іншого боку, в вихідну схему встановлюється теплообмінник-рекуператор (Р), за допомогою якого свіжий припливне повітря в системі механічної вентиляції підігрівається від температури t_0 до t_n , за рахунок теплоти відпрацьованого витяжного повітря, що охолоджується від t_n до $t_{\text{ох}}$. Далі, потік припливного повітря проходить через підігрівач (П), де нагрівається до заданої температури t_n в приміщенні.

В даній схемі за рахунок ґрунтового теплового насоса покривається витрата теплоти як на вентиляцію $Q_{\text{вент}}$, так і на опалення $Q_{\text{оп}}$. Використовуючи додаткові низькопотенційні джерела теплоти, виникає можливість за рахунок скидної теплоти стоків і відпрацьованого повітря підвищити ефективність схеми теплопостачання на основі ґрунтового ТН. За рахунок такого рішення можна зменшити не тільки експлуатаційні витрати на теплопостачання (електроенергія), а й капітальні - за рахунок зменшення розмірів ґрунтового теплообмінника.

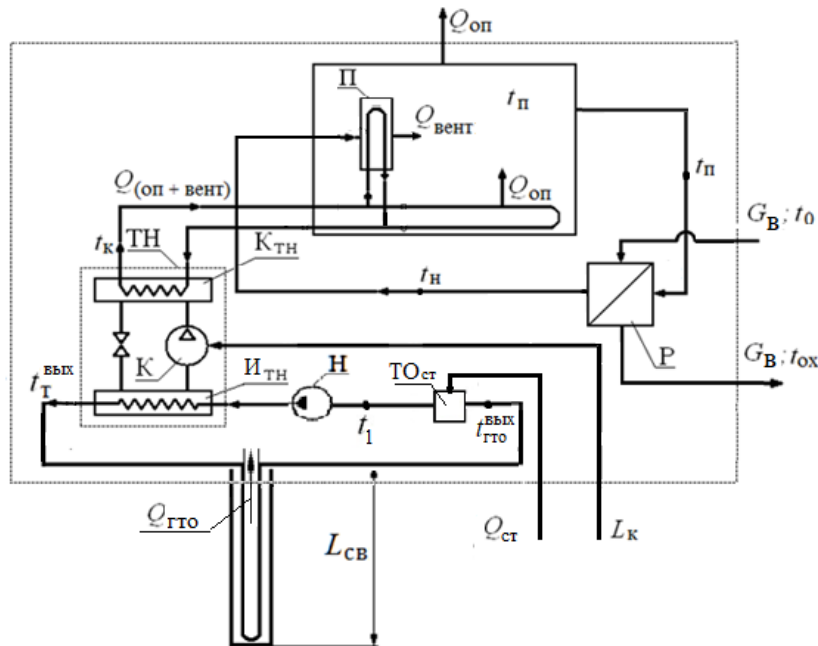


Рис. 1. Принципова схема комбінованої системи опалення та вентиляції на базі ґрунтового теплового насоса з додатковим використанням теплоти вентиляційних викидів і стічних вод: ТН-тепловий насос; Ктн - конденсатор ТН; Итн - випарник ТН; К - компресор; ТОст - теплообмінник-утилізатор теплоти стічних вод; П-підігрівач вентиляційного повітря; Н - насос нижнього контуру; Р - рекуператор.

Термодинамічний аналіз розробленої схеми починається з визначення основних величин в вузлових точках системи і оцінки впливу додаткових джерел енергії на параметри схеми. Використовуючи теплоту стічних вод, необхідно передбачити їх поділ на умовно-чисті (душ, ванна, рукомийники, раковини для миття посуду) і холодні (туалет) [5]. Це розділення необхідне для інтенсифікації процесів в теплообмінниках-утилізаторах, адже температура умовно-чистих стічних вод може досягати в середньому 32°C , тоді як для холодних ця температура не перевищує 10°C . Оцінка потужності такого джерела теплоти була проведена в [6] і її рівень визначався співвідношенням теплоти на гаряче водопостачання $Q_{\text{ГВ}}$ до теплоті на опалення $Q_{\text{оп}}$.

Для визначення основних величин, що характеризують ефективність роботи системи теплонасосного опалення та вентиляції було використано чисельний метод.

Змінні параметри, які є визначальними в розрахунках взяті на рівні реальних для цільових об'єктів згідно з попередніми дослідженнями [6, 7]:

- частка теплоти стічних вод будівлі в загальній витраті теплоти на опалення при розрахункових умовах навколишнього середовища $K_p = 0 \dots 0,3$;

- відношення кількості теплоти, що витрачається на підігрів вентиляційного повітря до кількості теплоти на опалення $m = 0 \dots 2,0$;

- коефіцієнт ефективності рекуперативного підігрівача вентиляційного повітря згідно з рекомендаціями [8] $\eta_p = 0,4 \dots 0,8$.

На основі термодинамічного аналізу був проведений числовий аналіз зміни параметрів схеми і її енергетичної ефективності, який дозволив зробити наступні висновки.

Висновки

1. Використання додаткових джерел теплоти в верхньому (вентиляційні викиди) і нижньому (умовно чисті стічні води) контурі комбінованої схеми опалення та вентиляції з ґрунтовим ТН в цілому характеризується значним позитивним ефектом.

2. Утилізація теплоти вентиляційних викидів в верхньому контурі за допомогою рекуператора для попереднього підігріву припливного повітря призводить як до значної економії зовнішньої енергії на привід ТН, так і до зниження необхідної потужності ґрунтового теплообмінника, наслідком чого є зменшення його розмірів і капітальних витрат на його спорудження.

3. Застосування теплообмінника стічних вод практично не впливає на оптимальне значення швидкості теплоносія в нижньому контурі ТН і на сумарні питомі витрати зовнішньої енергії на привід компресора ТН і циркуляційного насоса.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Computational analysis of wind-driven natural ventilation in a two sided rectangular wind catcher. / M. H.Ghadiri, N. Lukman, N. Ibrahim, M. F. Mohamed. // International Journal of Ventilation. – 2016. – №12. – P. 51–62.
2. Microcogeneration in buildings with low energy demand in load sharing application. / G.Angrisani, M. Canelli, C. Roselli, M. Sasso. // Energy Conversion and Management. – 2015. – №100. – P. 78–89.
3. World Energy Outlook [Електронний ресурс] // International Energy Agency. – 2019. – Режим доступа к ресурсу: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>.
4. Habibi M. Evaluation and improvement of the thermal performance of different types of horizontal ground heat exchangers based on techno-economic analysis. / M. Habibi, K. Hakkaki-Fard. // Energy Conversion and Management. – 2018. – №171. – P. 1177–1192.
5. Безродний М. К. Термодинамічна ефективність теплонасосної схеми опалення з використанням теплоти ґрунту та стічних вод / М. К. Безродний, Н. О. Притула, С. О. Ословський // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2018. – № 1. – С. 7–15.
6. Безродний М. К. Енергоефективність теплонасосно-рекуператорної системи водяного опалення і вентиляції з використанням теплоти ґрунту та вентиляційних викидів / М. К. Безродний, С.О. Ословський // Енергетика: економіка, технології, екологія.– 2018.–№ 3.–С. 95–103.
7. Безродний М. К. Аналіз комбінованої теплонасосної схеми опалення з використанням атмосферного повітря та стічних вод будівлі / М. К. Безродний, Н. О. Притула С. О. Ословський, // Енерготехнології та ресурсозбереження. – 2018. –№ 5. – С. 12–20
8. Безродний М. К. Аналіз енергетичних та екологічних аспектів утилізації теплоти відхідних виробничих газів. / М. К. Безродний, С. О. Хавін. // Енерготехнології та ре-сурсозбереження. – 2003. – №1. – С. 18–21

Безродний Михайло Костянтинович — д-р. техн. наук, проф., професор кафедри теоретичної та промислової теплотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, m.bezrodny@kpi.ua.

Ословський Сергій Олексійович — аспірант, теплоенергетичний факультет, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, work.oslovskiy@gmail.com.

Науковий керівник: **Безродний Михайло Костянтинович** — д-р. техн. наук, проф., професор кафедри теоретичної та промислової теплотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

Bezrodny Mykhailo K. — doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: m.bezrodny@kpi.ua

Oslovskyi Serhii O. — postgraduate, Faculty of Heat and Power Engineering, Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: work.oslovskyi@gmail.com.

Supervisor: **Bezrodny Mykhailo K.** — doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv