

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО ТА ГРУНТОВОГО ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ БУДИНКУ

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

Анотація

Робота присвячена дослідженню енергетичної ефективності застосування комбінації двох найбільш поширених джерел теплоти для теплових насосів, а саме ґрунту та атмосферного повітря. Особливістю такої системи є послідове по воді підключення повітряного і ґрунтового теплових насосів. Було запропоновано розглянути систему за трьох умов утилізації теплоти вентиляційних викидів: мінімум зовнішніх витрат енергії, рівність коефіцієнтів перетворення, рівність температур навколишнього повітря і на виході з випарника. Було зроблено висновок, що утилізація вентиляційних викидів доцільна лише рівня рівності коефіцієнтів перетворення. Подальше охолодження спричиняє різке збільшення питомої роботи.

Ключові слова: тепловий насос, вентиляційні викиди, теплота ґрунту, енергетична ефективність, питома робота, атмосферне повітря, комбінування джерел теплоти.

Abstract

The article is devoted to the study of energy efficiency of the combination of the two most common heat sources for heat pumps, namely soil and air. A feature of this system is the sequential water connection of air and ground heat pumps. It was proposed to consider the system under three conditions of heat utilization of ventilation emissions: minimum external energy consumption, equality of conversion factors, equality of ambient temperatures and at the outlet of the evaporator. It was concluded that the utilization of ventilation emissions is appropriate only for the level of equality of the conversion factors. Further cooling causes a sharp increase in specific work.

Keywords: heat pump, ventilation emissions, soil heat, energy efficiency, specific work, atmospheric air, combination of heat sources.

Вступ

Згідно зі статистикою Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) у 2019 році на житлові та комерційні будівлі припадало 49% загального кінцевого споживання (ОКП) світової електроенергії та 15% ОКП викопного палива [1]. Це вказує на те, що підвищення енергоефективності будівель має вирішальне значення для вирішення проблеми енергозбереження, скорочення викидів та глобальної зміни клімату. В даний час системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК) у житлових та громадських будинках споживають значну частку від загального споживання теплової енергії [2]. Саме це може бути основною причиною для загострення питання споживання енергії саме в житловому побутовому секторі. Одним зі шляхів вирішення проблеми енергозбереження є використання альтернативних джерел енергії, одним з яких є тепловий насос.

В роботі досліджується рішення, яке полягає у використанні послідовного з'єднання по воді конденсаторів повітряного та ґрунтового ТН. Використання такого рішення на етапі проектування системи опалення та вентиляції дозволить збалансувати переваги та недоліки двох найбільш використовуваних типів ТНУ та створить умови для більш ефективного використання теплонасосних технологій загалом.

Результати дослідження

Основною особливістю представленої на малюнку схеми є послідовне підключення по воді конденсаторів двох ТН, а саме повітряного, який відбирає теплоту від відпрацьованого вентиляційного повітря та ґрунтового ТН.

Так, згідно зі схемою, відпрацьоване вентиляційне повітря з температурою t_n , яка підтримується в приміщенні, потрапляє у випарник повітряного теплового насосу, де віддає теплоту фреону, випаровуючи його і тим самим охолоджуючись до температури t_v . Після підняття температурного потенціалу теплота в конденсаторі повітряного ТН передається теплоносія системи опалення та

вентиляції, тим самим підігріваючи його від температури $t_{зв}$ (зворотна вода) до температури $t_{пр}$ (проміжна). Далі теплоносій верхнього контуру потрапляє в конденсатор ґрунтового теплового насоса, де підігрівається до температури t_k до подачі в систему низькотемпературного опалення та вентиляції. Після цього підігрітий теплоносій віддає теплоту свіжому припливному повітрю в підігрівачі П, а також опалювальним приладам системи опалення.

Основним завданням розробки даного комбінованого рішення є прагнення безвідходного виробництва теплоти, максимальна енергоефективність системи, а також мінімізація капітальних витрат на спорудження системи. Якісні та кількісні показники цих величин були визначені на основі аналізу ефективності теплонасосної системи теплопостачання з повітряним і ґрунтовим тепловими насосами в якості джерел теплоти.

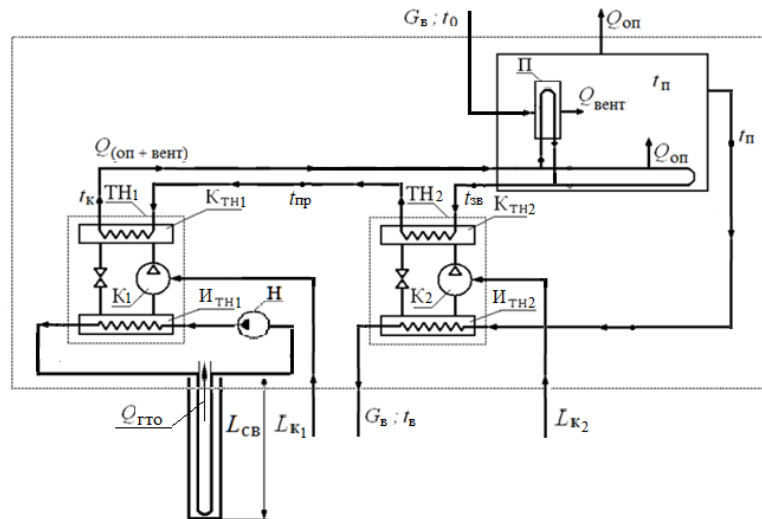


Рис. 1. Принципова схема використання каскадного з'єднання повітряного та ґрунтового теплових насосів для забезпечення опалення та вентиляції об'єкта: ТН_{1,2} – ґрунтовий та повітряний тепловий насос відповідно; КТН_{1,2} – конденсатор ґрунтового та повітряного ТН; ИТН₁ – випарник ґрунтового та повітряного ТН; К₁ – компресор ґрунтового та повітряного ТН; П – підігрівач вентиляційного повітря; Н – насос нижнього контуру ґрунтового ТН.

Для реалізації чисельного рішення складеної математичної моделі розглянутої системи були прийняті такі вихідні дані.

Було прийнято низькотемпературну систему теплопостачання з температурним графіком 40/30. При цьому зміна температур на вході та виході з системи опалення в залежності від температури зовнішнього повітря була прийнята відповідно до температурного графіка, розрахованого за рекомендаціями [3] при розрахунковій температурі зовнішнього повітря і температурі повітря в приміщенні °С.

Середня температура теплоносія на виході з ґрунтового теплообмінника або на вході у випарник ґрунтового ТН прийнята з урахуванням даних вимірювання в роботах [4, 5] на рівні , а перепад температур теплоносія на вході та виході з випарника ґрунтового ТН був прийнятий на рівні середнього оптимального значення.

Співвідношення витрат теплоти на вентиляцію та опалення було прийнято в діапазоні $m=0,5...4,0$ та охоплює умови роботи від індивідуальних житлових будинків до великих торгових центрів.

Залежність питомих витрат зовнішньої енергії на привід системи представлена на рис.2. Видно, що зниження температури повітря після випарника повітряного ТН до рівня, виходячи з рівності COP для різних ТН, призводить лише до незначного збільшення питомих витрат енергії на привід системи. При цьому питомі витрати енергії не залежать від співвідношення витрат теплоти на вентиляцію та опалення

Висновки

1. Розробка ефективної теплонасосної системи опалення та вентиляції різних об'єктів на базі двох теплових насосів з використанням теплоти ґрунту і теплоти вентиляційних викидів при раціональному її проектуванні може дати позитивний ефект як в енергетичному, так і в інвестиційному відношенні.

2. Раціональне проектування системи опалення та вентиляції з двома тепловими насосами може бути виконане на підставі спільного аналізу двох найважливіших характеристик такої системи, а саме, відносного теплового навантаження ґрунтового теплообмінника та питомих сумарних витрат зовнішньої роботи на привід системи, залежно від глибини використання теплоти вентиляційних викидів.

3. Аналіз показав, що позитивний як енергетичний, так і інвестиційний ефект може бути досягнутий при глибині утилізації вентиляційних викидів, що відповідає умові рівності коефіцієнтів перетворення повітряного та ґрунтового теплових насосів.

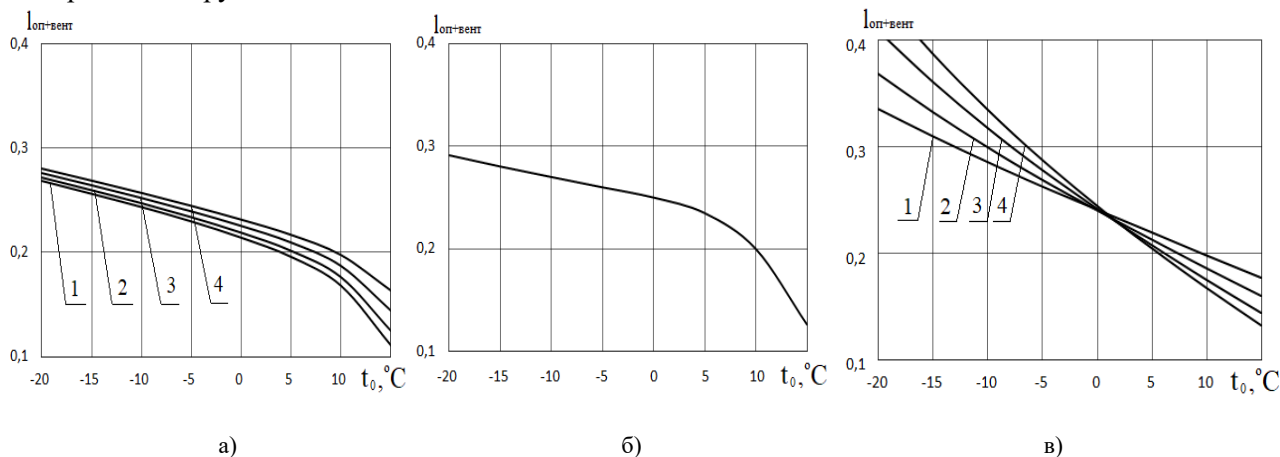


Рис. 2. Залежність питомих витрат зовнішньої енергії систему від зовнішньої температури: а) умова мінімуму питомих витрат енергії; б) умова рівності ϕ ; в) умова $t_n = t_0$, де 1-4 – $m=0,5$; 1; 2; 4.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. IEA, Key World Energy Statistics, 2020. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/>.
2. Katsura T. Development of optimum design method for the heat recovery ground source heat pump system. In: 12th IEA heat pump conference 2017. Rotterdam; 2017.
3. Інтернет ресурс. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: http://www.ktto.com.ua/calculation/temperaturnyy_grafik.
4. Willem H. Review of energy efficiency and system performance of residential heat pump water heaters / H. Willem, Y. Lin, A. Lekov. // Energy and Buildings. – 2017. – №143. – P. 191–201.
5. World Energy Outlook // International Energy Agency. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>.

Кафедра технічної теплофізики та промислової теплоенергетики

Безродний Михайло Костянтинович — д-р. техн. наук, проф., професор кафедри теплоенергетики, 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 теплоенергетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

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

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

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