

Статистичний аналіз зміни параметрів повітряного теплового насоса при визначенні частки його участі в сезонній генерації теплоти

Богдан Козячина, аспірант¹ (ORCID: 0009-0000-6972-3862)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

В роботі було статистично проаналізовано дані про зміну теплової потужності та коефіцієнта перетворення теплоти теплових насосів повітря-вода, отриманих із технічної документації виробника. На основі оброблених даних було побудовано поліноміальну модель коефіцієнта зміни теплової потужності та модель зміни коефіцієнта перетворення теплоти для повітряних теплових насосів в діапазоні теплової потужності 10 – 100 кВт (за умов A2/W35). Для отриманих моделей було виконано оцінку можливої похибки розрахунку. Отримані моделі можуть бути застосовані для більш точного розрахунку середньої кількості теплової енергії, що буде трансформованою, та середньої кількості електричної енергії, що буде спожитою тепловим насосом протягом опалювального періоду.

Ключові слова: комбіноване джерело теплоти, повітряний тепловий насос, точка бівалентності, коефіцієнт перетворення теплоти, коефіцієнт зміни теплової потужності.

1. ВСТУП

Постійне зростання попиту на комбіновані джерела теплоти викликає необхідність у розробці ефективних схемних рішень та алгоритмів роботи, а також у точному визначенні терміну окупності та доведенні економічної доцільності їх впровадження [1]. Особливо це стосується тих джерел теплоти, зміна потужності яких значною мірою піддається впливу сезонних та кліматичних факторів, зокрема, повітряних теплових насосів (ТН) [2]. Ефективність роботи повітряних ТН значною мірою залежить від температури низькопотенційного джерела теплоти – зовнішнього повітря. Температура зовнішнього повітря, в свою чергу, протягом опалювального періоду (ОП) коливається в значних межах.

Для розрахунку кількості теплоти, що, в середньому генеруватиметься, та кількості електроенергії, що, в середньому, споживатиметься повітряним ТН у складі комбінованого джерела теплоти, можна використовувати графік витрати теплоти за ОП, який будується на основі масиву даних про середню тривалість стояння певних проміжків температур [3]. В такому випадку для даного розрахунку цілком достатньо даних, наявних в технічній документації до обладнання. Однак для того, щоб підвищити точність та гнучкість даного розрахунку необхідно враховувати теплове навантаження кожної години розрахункового ОП. Для цього потрібен масив погодинних температур зовнішнього повітря за певну кількість років, що приймаються до аналізу [4]. І оскільки даний розрахунок є значно складнішим та об'ємнішим, виникає необхідність у його автоматизації і, відповідно, у математичній залежності таких параметрів, як тепла потужність та коефіцієнт перетворення теплоти ТН від температури зовнішнього повітря та температури теплоносія в системі опалення (СО) в конкретну годину опалювального періоду.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Через високу деталізацію даних про зміну параметрів ТН, що містяться в технічній документації, до аналізу було прийнято 9 теплових насосів повітря-вода виробника WAMAK з потужністю в діапазоні 10-100кВт (A2/W35) [5]. В результаті аналізу технічної документації було виявлено,

що тепла потужність ТН, головним чином, залежить від температури зовнішнього повітря. При цьому зміна температури теплоносія в подавальному трубопроводі не впливає значною мірою на його теплову потужність, однак сильно впливає на коефіцієнт перетворення теплоти. Тому для введення коефіцієнта зміни потужності ТН було усереднено значення його теплової потужності між варіантами роботи при різних температурних графіках СО. Усереднення виконувалося окремо для кожного значення температури зовнішнього повітря. Далі проводився розрахунок зміни теплової потужності ТН (у відсотках) у відповідь на зміну температури зовнішнього повітря відносно величини його потужності при умовах A2/W35 (при температурі зовнішнього повітря +2°C, та при температурі теплоносія в подавальному трубопроводі СО +35°C). Зазвичай усі виробники ТН надають дані про теплову потужність свого обладнання при A2/W35, тому дана точка була прийнята відправною. Описаний розрахунок було проведено для кожного з прийнятих ТН. Результати представлено на графіку рис. 1. Крапками позначено величини коефіцієнта зміни потужності окремих ТН при відповідних температурах зовнішнього повітря. Суцільною лінією позначено розрахований за цими даними поліноміальний тренд. Рівняння тренду представлено на графіку.

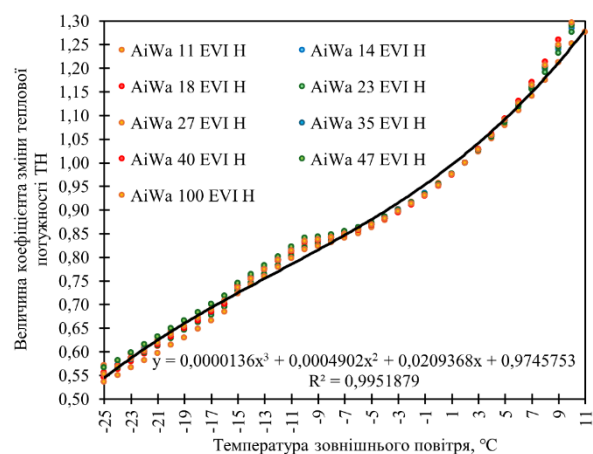


Рис. 1 Залежність коефіцієнта зміни теплової потужності повітряного ТН від температури зовнішнього повітря

Визначити теплову потужність повітряного ТН при конкретній температурі зовнішнього повітря можна за допомогою формул:

$$Q_{HP}^{t_i} = Q_{HP}^{+2} \cdot k_i \quad (1)$$

$$k_i = f(t_i) \quad (2)$$

де $Q_{HP}^{t_i}$ – теплова потужність повітряного ТН при певній температурі зовнішнього повітря, кВт;
 Q_{HP}^{+2} – теплова потужність ТН при умовах A2/W35, кВт;
 k_i – коефіцієнт зміни теплової потужності повітряного ТН, при певній температурі зовнішнього повітря;
 t_i – температура зовнішнього повітря, для якої виконується розрахунок, °С.

Для того, щоб оцінити величину можливої похибки було визначено відхилення результатів розрахунку теплової потужності при використанні отриманої моделі з даними, вказаними в технічній документації для кожного з прийнятих ТН. Отримані відхилення у відсотках від значень із технічної документації представлено на гістограмі рис. 2.

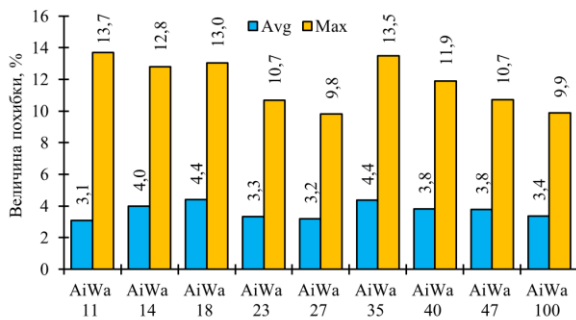


Рис. 2 Величина можливої похибки при розрахунку теплової потужності повітряного ТН за отриманою моделлю

Коефіцієнт перетворення теплоти повітряного ТН значною мірою залежить від різниці між температурою теплоносія в подавальному трубопроводі СО та температурою зовнішнього повітря. Зміна коефіцієнта перетворення кожного з прийнятих ТН у відповідь на зміну цієї різниці температур представлено на рис. 3. На графіку чорною суцільною лінією позначено поліноміальний тренд та його рівняння. Розраховані за аналогічним принципом значення максимальної та середньої похибки для кожного з прийнятих ТН представлено на гістограмах рис. 4.

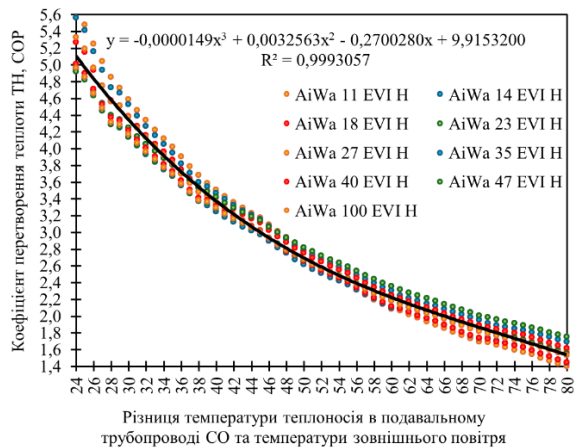


Рис. 3 Модель коефіцієнта перетворення теплоти ТН

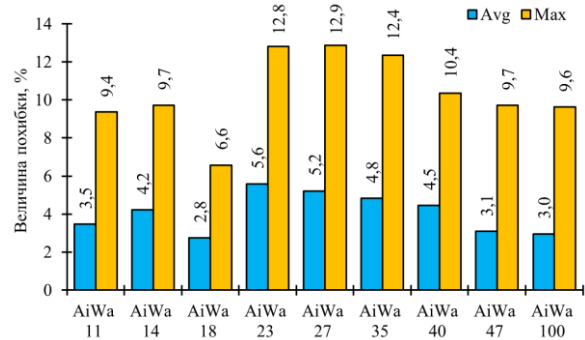


Рис. 4 Величина можливої похибки при розрахунку коефіцієнта перетворення ТН за отриманою моделлю

3. ВИСНОВКИ

З представлених результатів видно, що максимальна похибка при розрахунку із використанням отриманих моделей досягає 14%. Однак слід зазначити, що найбільша похибка виникає при досить високих температурах зовнішнього повітря, коли потреби в опаленні ще немає або при дуже низьких температурах, коли ТН не працює через низький коефіцієнт перетворення (при найбільш поширених алгоритмах роботи). Тому можна вважати точність отриманих поліноміальних моделей достатньою для практичного застосування. Однак, враховуючи, що до аналізу при розробці моделей були взяті характеристики ТН від одного виробника, які складаються із ідентичних компонентів та працюють на одному виді холодоагенту, то можна стверджувати, що отримані моделі не є універсальними. А отже, вони не дозволяють з такою ж точністю виконувати розрахунки для ТН, що працюють на іншому холодоагенті. Але використовуючи описаний підхід при наявності статистичних характеристик роботи іншого конкретного ТН, можна отримати подібні моделі і для нього. Можливо, в майбутньому виробники повітряних теплових насосів одразу надаватимуть подібні моделі, за якими можна буде достатньо точно визначити теплову потужність та коефіцієнт перетворення теплоти їхнього обладнання при будь-яких температурах зовнішнього повітря.

Список літератури

- [1] Lazzarin R. Heat pumps and solar energy: A review with some insights in the future. International Journal of Refrigeration. 2020. Vol. 116. P. 146–160. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.03.031>
- [2] Morrison G. L., Anderson T., & Behnia M. Seasonal performance rating of heat pump water heaters. Solar Energy. 2004. Vol. 76. P. 147–152.
- [3] Гламаздин П., Козячина Б. Врахування кліматичних змін при побудові графіка Росандера. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2024. Vol. 49. P. 38–55. URL: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2024.49.38-55>
- [4] Weather Archive - meteoblue. URL: https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/weat-herarchive/kyiv_ukraine_703448
- [5] AiWa EVI H Outdoor - WAMAK Heat Pumps.. URL: <https://www.wamak.eu/en/residential/heat-pumps/air-source-heat-pumps/aiwa-evi-h-outdoor>.