

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ АГЕНТІВ В НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ СИСТЕМАХ СТВОРЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено питання ефективності використання холодильних агентів для використання у теплових насосах. Результатом дослідження стало обґрунтування необхідності та модернізація теплонасосних систем на існуючі холодоагенти при зіставленні вартості втілення мір по найбільш повному виключенні емісій холодоагентів і рівня енергетичної вигоди.

Ключові слова: холодоагенти, теплопродуктивність, теплові насоси.

Abstract

The paper investigates the efficiency of using refrigerants in heat pumps. The research results lead to the justification of the necessity and modernization of heat pump systems using existing refrigerants, considering the cost of implementing measures aimed at the most comprehensive elimination of refrigerant emissions and the level of energy efficiency.

Keywords: Refrigerants, heat productivity, heat pumps.

Вступ

Низькотемпературні системи створення мікроклімату у приміщеннях в першу чергу передбачають використання теплових насосів для потреб теплопостачання. Стимулом для широкого практичного використання теплових насосів (ТН) являється практично необмежені ресурси джерел тепла низькотемпературного потенціала, які не являються цінними для прямого технологічного використання. Так передусім це теплові насоси типу «повітря-вода», «вода-вода» та «повітря-повітря». Незалежно від типу теплового насосу, для передачі теплоти від низькотемпературного джерела до теплоносія в системі теплопостачання слугують холодильні агенти. Різні холодоагенти мають різні теплові показники при різних температурах. Особливо важливо враховувати ефективність на низьких температурах, оскільки це може вплинути на опалення в холодні періоди.

Мета роботи є вибір оптимального і ефективного холодильного агента в низькотемпературних системах створення мікроклімату приміщень.

Результати дослідження

Переваги теплопостачання за допомогою теплонасосних установок (ТНУ) можуть бути оцінені з різних поглядів, і вони можуть залежати від конкретних умов і характеристик системи. Найперша з переваг застосування ТНУ) є економічність, що впливає із високої ефективності, (для передачі в систему опалення 1кВт·год теплової енергії установка витрачає $0,2 \pm 0,35$ кВт·год електричної енергії); спрощені вимоги до систем вентиляції приміщень і високого рівня пожежної безпеки (всі системи функціонують з використанням замкнутих контурів і практично не потребують експлуатаційних витрат, крім вартості електричної енергії, необхідної для роботи обладнання); можливість перемикання з режиму теплопостачання на режим охолодження влітку; надійність компактність [1].

Принцип роботи парокомпресійного теплового насосу полягає тому, що при випаровуванні холодоагента в випарнику відбирається низькопотенціальна теплота з джерела теплоти. Отримана пара

холодоагента стискається в компресорі, що приводить до підвищення температури охолоджувача до необхідного рівня, після чого він прямує в конденсатор, де відає своє тепло нагрітому середовищу.

Раціональний вибір холодильних агентів ускладнюється одною із серйозних проблем – необхідність переведення теплових насосів, котрі розробляються, випускаються і знаходяться в експлуатації, на альтернативні, або екологічно чисті робочі рідини. Мотивацією цієї проблеми став Монреальський протокол, який звинуватив в руйнуванні озонового шару молекулу хлору. Як відомо у вітчизняних холодильних та теплонасосних установках наряду з аміаком широко застосовується фреон R22. Сьогодні для заміни забороненого R22 рекомендуються наступні суміші: R404, R507, R410A, R407, R407C [2] та R134a.

Речовини на основі гідрофторвуглеводів, такі як R404 та R507, все частіше приходять на заміну застарілим холодоагентам. Два холодоагенти підходять до діапазону температур випаровування від -45°C до $+10^{\circ}\text{C}$, однак коефіцієнт теплопередачі в азеотропічної суміші R507, як правило, вище, чим в неазотропічної R404. Тому теплообмінник, в якому використовується R507, при будь яких рівних умовах характеризується меншою площею теплообміну або більш високою температурою випаровування та більш нижчою температурою конденсації, що призводить до значної економії енергії.

Холодоагент R507 задовільняє основні вимоги по заміні R502 в модернізованих системах. Окрім цього, використання R507 підвищує надійність роботи компресорів, оскільки температура нагрівання в цьому випадку на $1-2^{\circ}\text{C}$ нижче, ніж для R404, на $11-12^{\circ}\text{C}$ нижче, ніж для R502 та ще більш нижча – для R22.

Перспективним виявляється використання холодоагента R407C, основною перевагою якого являється, що в переході з R22 на R407C, непотрібно значного змінення теплонасосної системи, і він являється оптимальною альтернативою для R22 по теплопродуктивності і тиску насиченої пари.

В порівнянні з R22 холодоагент R407C надає значно менше шкоди навколишньому середовищу. В той час, при більш низькій температурі нагнітання та трішки більшому тиску всмоктування енергетична ефективність R407C ближча до енергоефективності R22.

Разом з тим більшість компаній занепокоєні великим температурним дрейфом ($5-7^{\circ}\text{C}$), характерним для R407C. При цьому, масові частки компонентів пропонованих сумішей варіюються в широких межах. Дана обставина затруднює обслуговування холодильних систем. Так, в системах з декількома випаровувачами можливе порушення вхідної концентрації робочої суміші, заправленої в систему. Однак, незважаючи на очевидну перевагу та потенційні вигоди застосування R410A в кондиціонуванні, рахується, що з R410A тяжкіше працювати оскільки установки, де він використовується, повинні бути розраховані на більш високий робочий тиск. При більшій питомій продуктивності, чим R22, діапазон нормальних робочих тисків для R410A в півтора рази вищий ніж R22.

Більш висока об'ємна теплопродуктивність R410A в порівнянні з R22, в зв'язку з більш високим коефіцієнтом теплопередачі дозволяє конструювати компактне обладнання, знижуючи тим собівартість установки та розширює можливості монтажу. ТНУ, спеціально сконструйовані для роботи з R410A, на 5% енергетично більш ефективні у порівнянні з R22 і на 12% з R407C [3].

Після заборони використання R22 стає широко використовуватись фреон R134a, який як і більшість холодильних агентів є парниковим газом, має порівняно з іншими низький тиск, що робить його більш безпечним у використанні. Проте, через його потенційний вплив на глобальне потепління, деякі країни досліджують альтернативні холодоагенти для майбутнього.

Аналізуючи технічні специфікації виробників теплонасосного обладнання виявлено, що найбільш застосовуваними холодильними агентами є : R410A, R407C, R134a.

Прийнято рішення провести порівняння ефективності використання даних холодоагентів у циклі теплового насоса за допомогою програмного продукту SOLKANE 8. Порівняння виконувалося за таких умов: продуктивність конденсатора 10 кВт, температура випарника (-5°C), температура конденсатора 40°C . Крім того проведено співставлення даних фреонів із застрілим R22 . Результати показані у табл. 1.

Як видно із табл. 1, найбільш ефективний за об'ємною теплопродуктивністю є холодоагент R410A, а найближчий до нього R22, але він заборонений. Найнижчу об'ємну теплопродуктивність має R134a, який також має досить високий вплив на глобальне потепління. Фреон R407C має на 53,1% вищу об'ємну теплопродуктивність ніж R134a і на 22% нижчий вплив на глобальне потепління.

Таблиця 1 – Порівняння показників продуктивності холодильних агентів

Холодильний агент	Потужність випарника, кВт	Потужність компресора, кВт	COP	Об'ємна теплопродуктивність, кДж/м ³
R410A	7,72	2,29	4,37	5165,0
R407C	7,82	2,22	4,5	3275,7
R134a	7,86	2,17	4,61	2139,04
R22	7,88	2,15	4,65	3525,96

Висновки

Отже, має сенс модернізація теплонасосних систем на існуючі холодоагенти при зіставленні вартості втілення заходів по найбільш повному виключенні емісії холодоагентів і рівня енергетичної вигоди. Це особливо важливо для країн з низьким економічним рівнем розвитку. Для таких країн до яких, відноситься напревеликий жаль, і Україна. Неефективність переходити на альтернативні холодоагенти можливо аргументувати наступним:

- ні один з альтернативних фреонів, а також холодильних масел до них, не виробляються в Україні, тому, при переході на ці холодоагенти, відчизняні споживачі змушені повністю залежати від закордонних виробників фреону;

- несумісність ряду мінеральних масел з холодоагентами викликають необхідність їх заміни на дорогі гігроскопічні синтетичні масла;

- фреони певного ступені шкідливі, взв'язку з чим необхідно дотримуватися особливих вимог, пред'явлені до розміщених холодильних установок, в яких вони використовуються.

Також експлуатація теплонасосного обладнання, працюючого на нових багатокомпонентних сумішах, потребує високої технічної культури обслуговуючого персоналу. Ускладнюється процедура заправки і дозаправки холодильних агентів. Це обумовлено зміненням першочергового співвідношення холодильних сумішей, в наслідок неминучого витікання холодоагента, що приводить до змін термодинамічних характеристик сумішей і, як наслідок, до порушення умов експлуатації обладнання.

Встановлено найбільш ефективний холодоагент для заміни є R410A оскільки має найвищу у порівнянні із R407C, R134a, R22 об'ємну теплопродуктивність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання: монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 176 с.

2. M. O. McLinden, C. J. Seeton, and A. Pearson, “New refrigerants and system configurations for vapor-compression refrigeration,” *Science* (New York, N.Y.), vol. 370, no. 6518, pp. 791–796, 2020, DOI: 10.1126/science.abe3692.

3. T. Bai, G. Yan, and J. Yu, “Thermodynamic assessment of a condenser outlet split ejector-based high temperature heat pump cycle using various low GWP refrigerants,” *Energy*, vol. 179, pp. 850–862, 2019, DOI: 10.1016/j.energy.2019.04.191

4. V. Masson-Delmotte et al., *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: Cambridge University Press, 2021. [Online]. Available: [HTTPS://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/)

Снісарчук Дмитро Михайлович – аспірант групи 144-23а, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Степанова Наталія Дмитрівна** – канд. тех. наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Snisarchuk Dmytro M. – postgraduate student, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Stepanova Nataliya D., Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsya, e-mail: Stepanovand@i.ua