

УДК 629.463.125

Іщенко В.М., к.т.н., доц. (ДЕТУТ)
Дуганов О.Г., к.т.н., доц. (ДНУЗТ)
Вислогузов В.Т., к.т.н., доц. (ДНУЗТ)

**ТЕРМОДИНАМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ
ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ
АЛЬТЕРНАТИВНИХ ХОЛОДОАГЕНТІВ**

Вступ. Відповідно до рішень Монреальського протоколу та інших міжнародних домовленостей щодо речовин, які руйнують озоновий шар, холодильний агент хладон 12 (R12), який застосовувався в холодильному обладнанні рухомого складу залізниць протягом багатьох років, визнаний

озоноруйнуючою речовиною і його виробництво та використання в теперішній час заборонено [1, 2]. Згідно існуючих критеріїв вибору альтернативних холодоагентів для заміни R12 в холодильному обладнанні установок кондиціонування повітря пасажирських вагонів та рефрижераторного рухомого складу найбільш прийнятним рішенням є використання неазеотропної сумішної композиції холодоагентів на основі гідрохлорфторвуглецевих (ГХФВ) [3, 4]. Неазеотропні сумішні композиції холодоагентів ГХФВ мають характерні для них особливості роботи, які дещо відрізняються від поведінки азеотропної моноречовини R12 і потребують удосконалення процедури діагностування та регулювання холодильного обладнання з урахуванням особливостей термодинамічних властивостей.

Постановка задачі. Для забезпечення ефективного функціонування холодильного обладнання сучасні методи діагностики холодильних систем використовують термодинамічний аналіз, який описує за допомогою математичних моделей взаємодію між енергією, що споживається і продуктом, що виробляється [5]. Аномальна поведінка одного з елементів обладнання викликає зміну роботи інших елементів та усієї системи. Функції, за якими розрізняють несправності, завжди базуються на основі термодинамічних властивостей робочих тіл, які здійснюють процеси переносу енергії і маси в системі. Такі функції розглядаються як міра розбіжності між ідеальною характеристикою до початку експлуатації обладнання і реальною характеристикою безпосередньо в процесі життєвого циклу рухомого складу залізниць. З цієї точки зору знання термодинамічної поведінки робочих тіл є ключовим моментом для подальшого удосконалення процедури діагностування холодильного обладнання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням підвищення екологічної безпеки рухомого складу залізниць та технічної діагностики обладнання вагонів присвячені праці вітчизняних, закордонних вчених та фахівців. Аналіз довів що більшість робіт стосується пошуку та вибору нових холодоагентів для холодильного обладнання рухомого складу залізниць з урахуванням екологічних, економічних, термодинамічних та експлуатаційних вимог, а також впровадженню виконаних досліджень в існуючих холодильних установках робочого парку пасажирських та рефрижераторних вагонів. При цьому недостатньо приділено уваги дослідженням удосконалення процедури діагностування та регулювання холодильного обладнання рухомого складу залізниць з урахуванням його конструктивних особливостей і термодинамічних властивостей альтернативних сумішних композицій холодоагентів що використовуються в теперішній час.

Метою роботи є удосконалення процедури діагностування холодильного обладнання рухомого складу залізниць, що працює на

альтернативній неазеотропній сумішній композиції холодоагентів, з урахуванням її термодинамічних властивостей.

Основний матеріал. В рухомому складі залізниць застосовуються парокompресійні холодильні установки, що розраховані на використання холодоагента R12 з поршневыми компресорами одно- та двоступеневого стиснення. В робочому процесі холодильної установки холодопродуктивність, що виробляється компресором за рахунок підведеної роботи, утворюється у випарнику шляхом кипіння холодоагенту при низькій температурі кипіння t_0 та тиску кипіння P_0 за рахунок відводу теплоти від середовища, що охолоджується. Це означає, що робота холодильної установки характеризується однаковими значеннями холодопродуктивності компресора та випарника і у перехідному процесі ця енергетична рівновага є динамічною[6].

Холодопродуктивність є основною зовнішньою характеристикою холодильної установки, яка залежить від властивостей холодоагенту, параметрів холодильного циклу та для азеотропної моноречовини R12 визначається значеннями температур конденсації t_k та кипіння t_0 , тобто [6]

$$Q_0 = f(t_k, t_0), \quad (1)$$

На підставі положень термодинаміки холодильних машин рухомого складу залізниць, які розроблені Бартошем Є. Т., залежність $Q_0 = f(t_k, t_0)$ визначається за допомогою виразу об'ємної продуктивності компресора і має вигляд

$$Q_0 = \lambda V_h q_v, \quad (2)$$

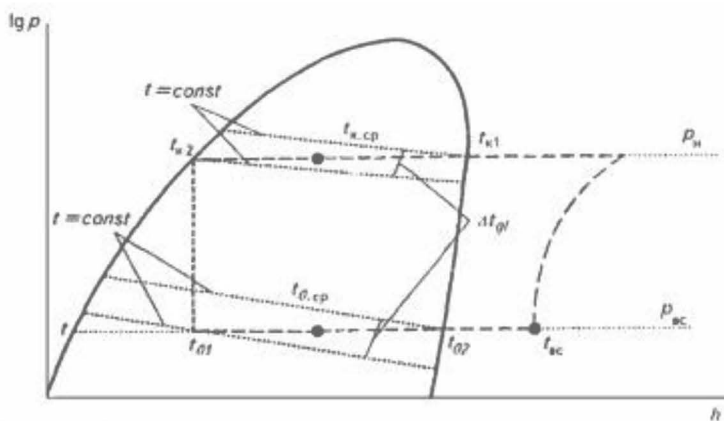
де λ - коефіцієнт подачі компресора;

V_h - об'єм, що описують поршні компресора за одиницю часу, $\text{м}^3/\text{с}$;

q_v - питома об'ємна холодопродуктивність пару холодоагенту, що всмоктується компресором, $\text{Дж}/\text{м}^3$.

На відміну від азеотропної моноречовини R12 у альтернативній неазеотропній сумішній композиції холодоагентів ГХФВ, які застосовуються в рухомому складі залізниць, концентрації парової та рідинної фаз в умовах термодинамічної рівноваги відрізняються, тобто кипіння при постійному тиску відбувається при збільшенні температури холодоагенту від t_{01} до t_{02} а конденсація - при зменшенні температури від t_{k1} до t_{k2} (рисунок 1).

Таким чином, температуру кипіння та конденсації холодоагенту слід визначати по-іншому [7].



Риснок 1 – Діаграма $\lg p-h$ для неазеотропних холодоагентів

Практично це означає, що для побудови та розрахунку термодинамічного циклу холодильної машини при її роботі на неазеотропній суміші холодоагентів приймаються температури

$$t_{0\bar{n}\delta} = 0,5(t_{01} + t_{02}), \quad (3)$$

$$t_{k\bar{n}\delta} = 0,5(t_{k1} + t_{k2}), \quad (4)$$

Різниця температур фазового переходу при постійному тиску (при кипінні або конденсації) отримала назву Δt_{gl} або температурний глайд (від англ. glide – ковзання). Значення Δt_{gl} залежить від складу робочого тіла і є важливим технологічним параметром.

Враховуючи ці обставини, для побудови та дослідження основної зовнішньої характеристики холодильної машини, холодопродуктивності, запропонована математична модель, яка відображає взаємозв'язки вихідних параметрів компресора холодильної машини та властивості альтернативної неазеотропної сумішної композиції холодоагентів

$$Q_0 = f_i(x_i), \quad (5)$$

$$i = 1, 2; \quad x_1 = P_k; \quad x_2 = P_0, \text{ тобто } Q_0 = f(P_k, P_0).$$

Залежність $Q_0 = f(P_k, P_0)$, пропонується визначати на підставі виразу об'ємної продуктивності компресора (2).

Залежності $Q_0 = f(P_k, P_0)$ та $Q_0 = f(t_k, t_0)$ визначаються на підставі одного математичного рівняння і тому є аналогічними. Таким чином, залежність $Q_0 = f(P_k, P_0)$ враховує параметри холодоагента, які характеризують робочий цикл і тому можна вважати характеристикою холодильної установки.

При удосконаленні процедури діагностування враховувалася вартість окремих перевірок і перевага надана таким, які дозволяють з достатньою інформативністю швидко з мінімальними витратами оцінити стан холодильної машини.

Процедура діагностування передбачає вимірювання основної характеристики холодильної машини – холодопродуктивності $Q_0^{\delta ia} = f(P_k, P_0)$ і визначення відхилення холодопродуктивності в робочому режимі від еталонної моделі $Q_0 = f(P_k, P_0)$. Використовуючи значення відхилення робочої холодопродуктивності за допомогою спеціальних перевірок визначаються несправності холодильного обладнання.

Висновки:

1. Інтегральної оцінкою технічного стану всієї системи холодильної установки є основна зовнішня характеристика – холодопродуктивність, яка визначається властивостями холодоагенту та значеннями температур кипіння і конденсації, $Q_0 = f(t_k, t_0)$.
2. На відміну від азеотропної моноречовини R12 альтернативна сумішна композиція холодоагентів має температурний глайд, який супроводжується незначними підвищенням температури при випаровуванні і зменшення температури при конденсації. Враховуючи температурний глайд неазеотропний сумішної композиції холодоагентів, для побудови та дослідження холодопродуктивності холодильної установки запропонована математична модель, яка відображає взаємозв'язки вихідних параметрів компресора та термодинамічні властивості сумішної композиції холодоагентів, $Q_0 = f(P_k, P_0)$.
3. Удосконалена процедура діагностування передбачає вимірювання робочої холодопродуктивності установки $Q_0^{\delta ia} = f(P_k, P_0)$ та визначення її відхилення від еталонної моделі $Q_0 = f(P_k, P_0)$.

Література

1. Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. ЮНЕП: Программа ООН по окружающей среде. – Монреаль. 1987. – 24 с.
2. Киотский протокол к рамочной конвенции организации объединенных наций об изменении климата, ООН, совершено 11.12.97.
3. Панферов В.И., Науменко С.Н. Исследование параметров и выбор озоносберегающего хладагента для энергохолодильного оборудования подвижного состава. Сборник научных трудов РГО ГУПС по материалам 5 международной н-т конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта», Ч.1, 2000. – С. 78-79.
4. Панферов В.И., Науменко С.М., Коковихин О.В., Дуганов А.Г. Результаты испытаний холодильных машин рефрижераторных вагонов при работе на альтернативном R12 хладагенте. – Межвузовский сб. науч. Тр., ДИИТ, 1997, вып.219, с.41-44.

5. Соколов М.М. Диагностирование вагонов – М.: Транспорт, 1990- 197с.
6. Бартош Е.Г. Энергетика изотермического подвижного состава. – М.: Транспорт, 1976. – 304 с.
7. Бабакин Б.С., Стефанчук В.И., Ковтунов Е.Е. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе. – М.: Колос, 2000. – 160с.: Ил.