

SỰ ẢNH HƯỞNG MÔI CHẤT LẠNH ĐẾN ĐỘ HOÀN THIỆN CHU TRÌNH LẠNH MỘT CẤP

Lê Thành Nhân*

Tóm tắt

Tính chất nhiệt động của môi chất lạnh có ảnh hưởng đến độ hoàn thiện chu trình lạnh. Nhiệt độ bay hơi càng thấp, tỷ số nén càng tăng, nhiệt độ cuối tầm nén cao, tổn thất execgi càng tăng và chu trình lạnh càng lệch chuẩn so với chu trình Cárnot. Kết quả tính toán cho thấy tổn thất execgi lớn nhất ở quá trình ngưng tụ rồi đến quá trình nén, quá trình tiết lưu, quá trình bay hơi, sau cùng là quá trình hồi nhiệt. Tổn thất execgi quá trình hồi nhiệt thấp nhưng làm tăng độ hoàn thiện chu trình nên chu trình nhiệt độ thấp cần có thiết bị hồi nhiệt. Độ hoàn thiện chu trình một cấp sử dụng môi chất R134a, R22, R404A, R410A khi bỏ qua các tổn thất kỹ thuật chỉ đạt lớn nhất khoảng 0,42 so với chu trình Cárnot.

Từ khóa: độ hoàn thiện chu trình, tổn thất execgi, môi chất lạnh

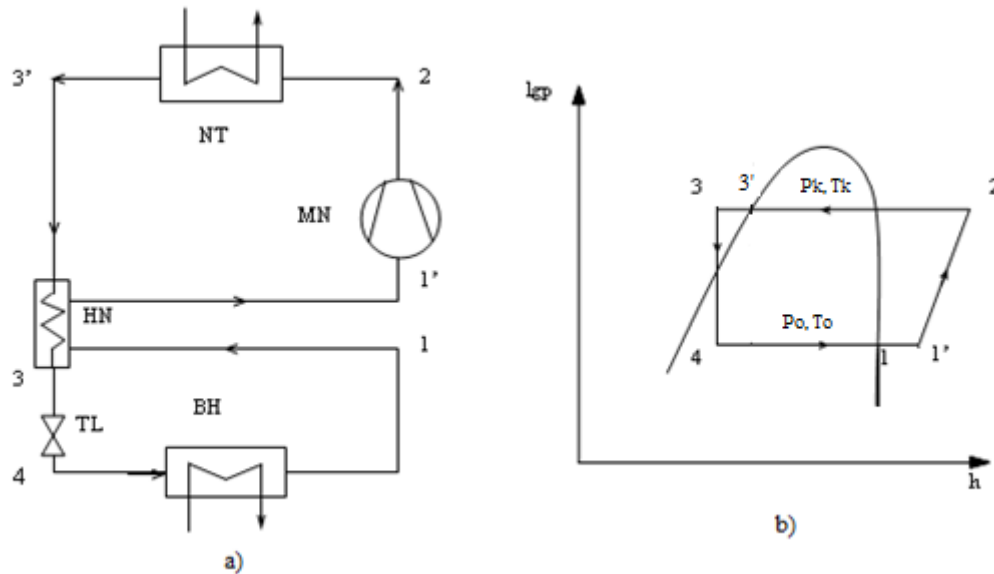
1. Cơ sở lý thuyết

Để phân tích, đánh giá chất lượng các chu trình lạnh, phương pháp cân bằng năng lượng, phương pháp entropi và phương pháp execgi được sử dụng. Phương pháp cân bằng năng lượng dựa vào nguyên lý I nhiệt động học có ưu điểm là đơn giản nhưng có các nhược điểm như lấy hệ số lạnh làm chỉ tiêu đánh giá, chỉ xét về số lượng, không xét đến chất lượng và sự xuống cấp năng lượng cũng như mối quan hệ quá trình biến đổi năng lượng với môi trường xung quanh. Phương pháp entropi dựa trên nguyên lý II nhiệt động học, đánh giá chính xác về mặt chất lượng của quá trình nhưng có nhược điểm là rất khó sử dụng và phức tạp vì chính bản thân khái niệm entropi cũng rất trừu tượng. Phương pháp execgi phân tích sự làm việc của hệ

thống lạnh có kể đến sự khác nhau của các nguồn năng lượng và độ không thuận nghịch của các quá trình thực trên cơ sở sử dụng đồng thời các nguyên lý I và II nhiệt động học. Việc thay hệ số lạnh, độ hoàn thiện của chu trình theo phương pháp này được đánh giá bằng hiệu suất execgi. Nó chẳng những biểu thị mức độ thực của việc sử dụng năng lượng hữu ích thông qua việc phân tích các tổn thất execgi mà còn chỉ ra các phương hướng và tầm quan trọng của các biện pháp cần đạt được để cải thiện các điều kiện thực hiện và nâng cao hiệu quả của quá trình. Vì vậy, trong phạm vi bài báo này, phương pháp execgi được sử dụng để phân tích các tổn thất execgi và đề xuất các giải pháp cần thiết nhằm nâng cao hiệu quả của quá trình nhiệt động và độ hoàn thiện của chu trình lạnh 1 cấp nhiệt độ bay hơi - 65 °C.

Chu trình lạnh một cấp hồi nhiệt được biểu diễn như hình sau:

* Ks, Trường CĐCN Tuy Hòa



Hình 1. Chu trình máy lạnh một cấp hồi nhiệt

a) Sơ đồ thiết bị: MN - Máy nén; NT - Dàn ngưng tụ; TL - Van tiết lưu;
BH – Dàn bay hơi; HN- Thiết bị hồi nhiệt.

b) Chu trình biểu diễn trên đồ thị $\lg p$ - h .

1-1' - quá nhiệt trong thiết bị hồi nhiệt;

1-2 - nén đoạn nhiệt từ áp suất thấp p_0 lên áp suất cao p_k , $s_1 = s_2$;

2-3' - ngưng tụ môi chất đẳng áp;

3'-3 - quá lạnh trong thiết bị hồi nhiệt;

3-4 - quá trình tiết lưu đẳng entanpi ở van tiết lưu $h_3 = h_4$;

4-1 - quá trình bay hơi trong bình bay hơi đẳng áp $p_0 = \text{const}$ và đẳng nhiệt $t_0 = \text{const}$.

Tổn thất execgi của chu trình một cấp hồi nhiệt gồm tổn thất kỹ thuật và tổn thất do độ không thuận nghịch của các quá trình. Độ hoàn thiện chu trình máy lạnh hay hiệu suất execgi η_e được xác định [1], [2], [3]:

$$\eta_e = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} = \varepsilon \cdot \theta = 1 - \frac{\Pi_{MN} + \Pi_{NT} + \Pi_{HN} + \Pi_{TL} + \Pi_{BH}}{l}, \% \quad (1)$$

Trong đó:

Tổn thất execgi quá trình nén: $\Pi_{MN} = T_{mt}(s_2 - s_1), kJ/kg(2)$

Tổn thất execgi quá trình ngưng tụ: $\Pi_{NT} = h_2 - h_3 - T_{mt}(s_2 - s_3), kJ/kg(3)$

Tổn thất execgi quá trình hồi nhiệt: $\Pi_{HN} = (h_{3'} - h_3 + h_1 - h_{1'}) - T_{mt}(s_{3'} - s_3 + s_1 - s_{1'}) \quad kJ/kg(4)$

Tổn thất execgi quá trình tiết lưu: $\Pi_{TL} = h_3 - h_4 - T_{mt}(s_3 - s_4), kJ/kg(5)$

Tổn thất execgi thiết bị bay hơi: $\Pi_{BN} = \frac{T_{mt}}{T_{kk}}[(h_4 - h_3) - T_{kk}(s_4 - s_3)], kJ/kg(6)$

với T_{mt} , T_{kk} - là nhiệt độ môi trường giải nhiệt và nhiệt độ không khí trong buồng lạnh, K.

h -entanpi, kJ/kg; s - entropi, kJ/kg·K; l - công của chu trình, kJ/kg; q_0 - Năng suất lạnh, kJ/kg.

$\varepsilon = \frac{q_0}{l}$ - hệ số lạnh của chu trình thực;

$\varepsilon_c = \frac{T_{kk}}{T_{mt} - T_{kk}}$ - hệ số lạnh của chu trình Cárnô;

$\theta = \frac{1}{\varepsilon_c}$ - dữ kiện nhiệt độ Cárnô.

Nhằm đánh giá độ bền của hệ thống máy và thiết bị lạnh, xét tỷ số nén của chu trình được xác định:

$$\beta = \frac{p_k}{p_o} \quad (7)$$

2. Phương pháp khảo sát

Chọn chế độ làm việc của chu trình lạnh một cấp hồi nhiệt như sau:

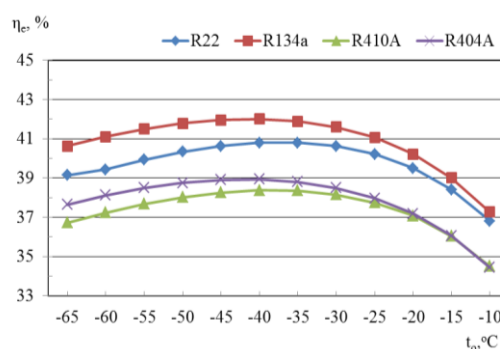
- Nhiệt độ ngưng tụ $t_k = 35^\circ\text{C}$.
- Nhiệt độ bay hơi $t_o = -65 \div -10^\circ\text{C}$.
- Nhiệt độ hơi hút $t_h = 10^\circ\text{C}$.
- Chênh lệch nhiệt độ giữa nhiệt độ bay hơi và nhiệt độ không khí trong buồng bay hơi $\Delta t_{kk} = 10^\circ\text{C}$.
- Chênh lệch nhiệt độ giữa nhiệt độ ngưng tụ và nhiệt độ môi trường giải nhiệt $\Delta t_{mt} = 8^\circ\text{C}$.
- Hiệu suất chỉ thị của máy nén đối với tất cả các chế độ làm việc $\eta_i = 0,8$.

Môi chất lạnh được sử dụng để nghiên cứu sự ảnh hưởng tính chất nhiệt động của nó đến độ hoàn thiện chu trình là những môi chất lạnh thông dụng như R134a, R22, R404A và R410A.

Các thông số trạng thái môi chất tại các điểm nút chu trình được xác định bởi phần mềm REFPROP của Viện Công nghệ và Tiêu chuẩn Mỹ (NIST). Việc tính toán và xây dựng đồ thị độ hoàn thiện chu trình, tổn thất execgi các quá trình, tỷ số nén và nhiệt độ cuối tầm nén bằng phần mềm Mathcad R14.

3. Kết quả khảo sát và thảo luận

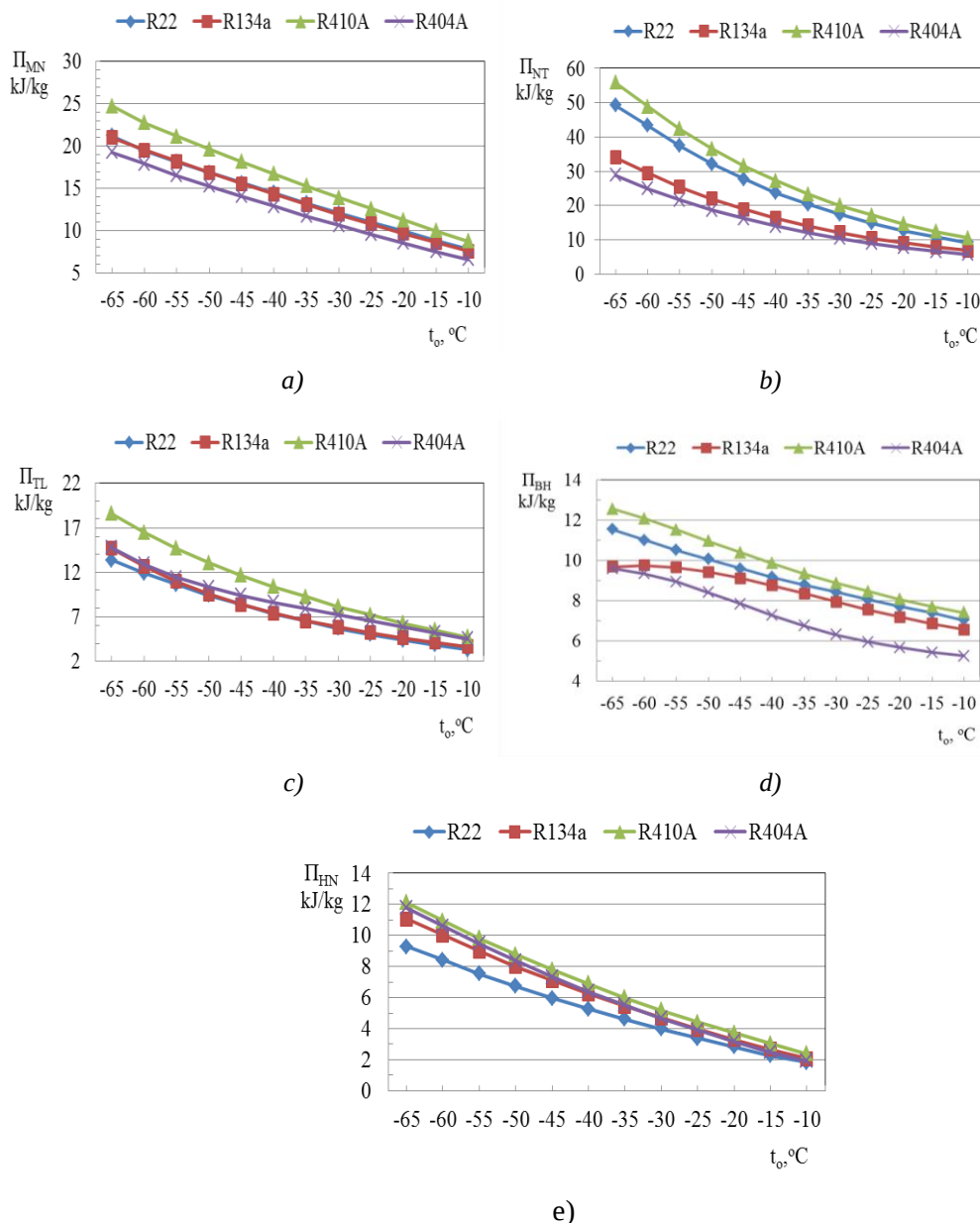
Độ hoàn thiện chu trình phụ thuộc vào nhiệt độ bay hơi được biểu diễn trên hình 2:



Hình 2. Độ hoàn thiện chu trình

Phân tích đồ thị, ta thấy rằng độ hoàn thiện chu trình η_e là một đường cong đạt đỉnh cao nhất rơi vào khoảng nhiệt độ $-40 \div -35^\circ\text{C}$. Độ hoàn thiện chu trình luôn tồn tại giá trị tối đa vì độ hoàn thiện chu trình là tích hệ số lạnh và dữ kiện nhiệt độ Cárnô, khi nhiệt độ bay hơi giảm, hệ số lạnh giảm nhưng dữ kiện nhiệt độ Cárnô lại tăng và ngược lại. Với các môi chất khác nhau độ hoàn thiện chu trình đều khác nhau, chu trình sử dụng R134a có độ hoàn thiện chu trình tốt nhất đạt 42%, tiếp đến lần lượt là R22, R404A và R410A.

Khi nhiệt độ giảm thấp hơn giá trị nhiệt độ tối ưu thì độ hoàn thiện của chu trình cũng giảm nghĩa là tổn thất execgi tăng. Độ lớn tổn thất execgi của từng quá trình được thể hiện như hình 3:

**Hình 3.** *Tổn thất execgi của các quá trình*

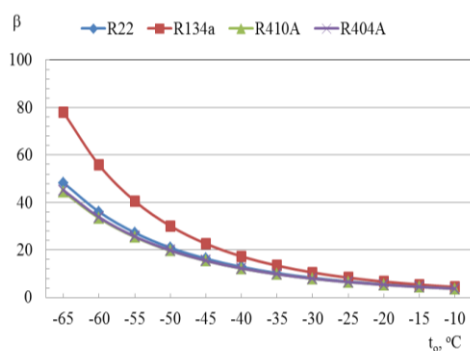
a- Quá trình nén; b- Quá trình ngưng tụ;
c- Quá trình hồi nhiệt; d- Quá trình tiết lưu; e- Quá trình bay hơi.

Phân tích đồ thị hình 3 ta thấy tính chất môi chất lạnh có ảnh hưởng đến tổn thất execgi của các quá trình không thuận nghịch. Ở đây tổn thất execgi tăng lên khi nhiệt độ bay hơi giảm, tổn thất execgi lớn nhất của quá trình nén, ngưng tụ và bay hơi khi chu trình sử dụng môi chất R410A và nhỏ nhất là R404A. Riêng quá trình tiết lưu và hồi nhiệt

chu trình sử dụng môi chất lạnh R22 có tổn thất execgi nhỏ nhất. Quá trình ngưng tụ có tổn thất execgi lớn nhất, ở nhiệt độ - 65°C tổn thất execgi khoảng 55 kJ/kg, rồi đến quá trình nén 25 kJ/kg, quá trình tiết lưu 18 kJ/kg, quá trình bay hơi 13 kJ/kg. Tổn thất execgi nhỏ nhất là của quá trình hồi nhiệt khoảng 12 kJ/kg. Tổn thất execgi của quá trình ngưng tụ,

quá trình bay hơi và hồi nhiệt là do tồn tại chênh lệch nhiệt độ ΔT trong quá trình truyền nhiệt. Còn tổn thất exegic quá trình nén là do nén không đẳng entrôpi, tổn thất exegic của quá trình tiết lưu gây nên bởi độ tăng entrôpi mặc dù quá trình tiết lưu là đẳng entanpi.

Để giảm tổn thất exegic quá trình nén cần sử dụng các loại máy nén công nghệ cao như máy nén ly tâm, máy nén dòng để nâng cao hiệu suất máy nén. Việc giảm tổn thất exegic các quá trình bay hơi, ngưng tụ cần phải giảm độ chênh lệch nhiệt độ của môi chất và môi trường bằng cách tăng diện tích bề mặt truyền nhiệt, tăng hệ số truyền nhiệt...

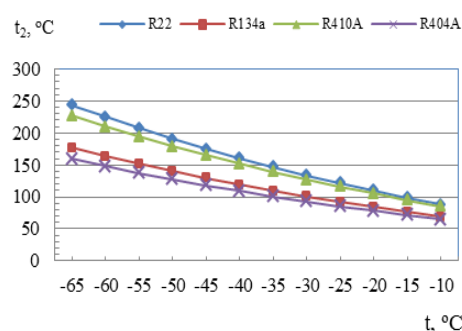


Hình 4. Biểu đồ tỷ số nén

Phân tích đồ thị hình 4 ta thấy tỷ số nén của chu trình tăng khi nhiệt độ bay hơi giảm, độ tăng của tỷ số nén theo độ giảm nhiệt độ bay hơi ở từng môi chất cũng khác nhau và ở đây có sự khác biệt lớn nhất là môi chất R134a so với các môi chất còn lại. Với môi chất R134a chu trình có tỷ số nén lớn hơn các môi chất còn lại ở cùng điều kiện và độ lớn này càng rõ ràng hơn khi nhiệt độ bay hơi càng giảm. Khi nhiệt độ bay hơi thấp, tỷ số nén cao sẽ ảnh hưởng đến độ bền thiết bị, khả năng bôi trơn dầu nhớt và dễ bị lọt không khí vào hệ thống lạnh do áp suất hút thấp hơn áp suất khí quyển. Nếu giới hạn tỷ số nén không quá 9 thì nhiệt độ bay hơi của môi chất lạnh

Đối với quá trình hồi nhiệt nếu chỉ dùng các biện pháp kỹ thuật thì chênh lệch nhiệt độ 2 dòng môi chất ở đầu nóng có thể bằng 0 nhưng ở đầu lạnh luôn khác 0 vì nhiệt dung riêng dòng môi chất cao áp luôn cao hơn dòng thấp áp. Như vậy, để giảm chênh lệch nhiệt độ 2 dòng môi chất theo bề mặt trao đổi nhiệt cần nghiên cứu, pha chế hỗn hợp môi chất lạnh có tính chất chuyển pha sao cho nhiệt dung riêng 2 dòng môi chất gần bằng nhau.

Tỷ số nén và nhiệt độ cuối tầm nén của chu trình phụ thuộc vào nhiệt độ bay hơi được mô tả bởi hình 4 và 5:



Hình 5. Nhiệt độ cuối tầm nén

R134a không thấp hơn -20 °C, R22, R404A và R410A là -25 °C.

Theo hình 5 khi nhiệt độ bay hơi giảm thì nhiệt độ cuối tầm nén tăng. Nhiệt độ cuối tầm nén của R22 là cao nhất lần lượt đến R410A, R134a và R404A. Nhiệt độ cuối tầm nén có thể đạt 250°C khi làm việc ở nhiệt độ bay hơi -65°C. Tuy nhiên, để đảm bảo điều kiện bôi trơn máy nén tốt, không cháy dầu với nhiệt độ sau đầu đẩy máy nén khuyên dùng dưới 100°C, như vậy giới hạn nhiệt độ bay hơi thấp nhất các môi chất trên không thấp hơn -35°C. Đây là các nhược điểm lớn nhất của các loại môi chất lạnh hiện nay khi làm việc ở nhiệt độ bay hơi thấp.

4. Kết luận

- Tính chất môi chất lạnh ảnh hưởng đến độ không thuận nghịch của các quá trình nhiệt động và khả năng sử dụng năng lượng của chu trình lạnh. Nhiệt độ bay hơi càng thấp, chu trình lạnh càng lệch chuẩn so với chu trình Cárnot.

- Tổn thất exergy lớn nhất nằm ở quá trình ngưng tụ rồi đến quá trình nén, quá trình tiết lưu, quá trình bay hơi, sau cùng là quá trình hồi nhiệt. Do vậy, với chu trình lạnh một cấp nhiệt độ sôi - 65°C cần thiết phải có thiết bị hồi nhiệt nhằm giảm chênh lệch nhiệt độ trước và sau van tiết lưu, giảm tổn thất exergy nâng cao chất lượng và độ hoàn thiện của chu trình.

- Tổn thất exergy của chu trình gồm tổn thất kỹ thuật và tổn thất do bản thân các quá trình. Các tổn thất exergy của máy nén,

thiết bị ngưng tụ, van tiết lưu và thiết bị bay hơi có thể khắc phục bằng biện pháp kỹ thuật như ứng dụng công nghệ mới, hoàn thiện máy móc thiết bị. Tuy nhiên, đối với thiết bị hồi nhiệt chỉ dùng biện pháp kỹ thuật không thì chưa đủ mà phải sử dụng hỗn hợp môi chất lạnh có tính chất nhiệt động cần thiết để cân bằng nhiệt dung riêng 2 dòng môi chất, giảm tổn thất exergy tăng độ hoàn thiện chu trình.

- Việc hoàn thiện chu trình lạnh một cấp nhiệt độ sôi - 65°C phải đảm bảo áp suất thấp cao hơn áp suất khí quyển, tỷ số nén không quá 9, nhiệt độ cuối tầm nén không quá 100°C. Với điều kiện như vậy không có môi chất lạnh nào hiện nay thỏa mãn, do đó việc hoàn thiện chu trình này chỉ có thể pha chế hỗn hợp môi chất lạnh mới có tính chất phù hợp □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Đức Lợi (2014), *Giáo trình kỹ thuật lạnh*, Nxb Bách Khoa Hà Nội.
- [2] Phạm Văn Tuyền (2005), *Phương pháp tính toán và phân tích hiệu quả các hệ thống lạnh*, Nxb KH và KT. Hà Nội.
- [3] Bùi Hải (2008), *Exergivà Phương pháp phân tích exergy*, Nxb Bách Khoa - Hà Nội.

Abstract

Influence of refrigerant on a perfect refrigeration cycle

Thermodynamic properties of refrigerant really influence on a perfect refrigeration cycle. The lower the evaporation temperature is, the higher the compression ratio becomes, the higher the compressor's discharge temperature and more exergy loss, the differences between actual refrigeration cycle and Carnot cycle are more and more. The calculated results show that largest exergy loss occurs in the process of condensation and then to the compression process, the throttle process, the evaporation and finally, the process of heat recovery. Exergy loss of the heat recovery process is lower but the heat recovery process increases the perfect of the cycle. Therefore, the low temperature refrigeration cycles need to have some heat recovery equipment. Without technical losses, the maximum level of perfection of refrigeration cycle using refrigerant R134a, R22, R404A, R410A is about 0,42.

Key words: perfect refrigeration cycle, exergy loss, refrigerant.