

УДК 536.75

Термодинамический анализ теплообменных аппаратов в составе энергопреобразующей системы энтропийно-цикловым методом

Канд. техн. наук Л. И. МОРОЗИУК, В. В. СОКОЛОВСКАЯ,
О. В. ОЛЬШЕВСКАЯ
olgaolshevskaya@mail.ru

Одесская национальная академия пищевых технологий
Институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В. С. Мартьяновского
65082, Украина, г. Одесса, ул. Дворянская, 1/3

В работе представлен термодинамический анализ цикла холодильной машины энтропийно-циклового моделию. Определены внешние и внутренние необратимости в процессах конденсации и кипения с учетом конструктивных особенностей теплообменных аппаратов. Дана количественная оценка совокупного влияния внутренних и внешних потерь в аппаратах на энергетическую эффективность цикла.

Ключевые слова: термодинамический анализ, необратимые потери, энергопреобразующая система, энтропийно-цикловый метод, гидравлическое сопротивление.

Thermodynamic analysis of heat exchangers within an energy conversion system by the entropy-cycle method

Ph. D. L. I. MOROZJUK, V. V. SOKOLOVSKAJA,
O. V. OLSHEVSKAJA
olgaolshevskaya@mail.ru

Odessa national academy food technologies
Institut holoda, kriotehnologij i jekojenergetiki im.
V. S. Martynovskogo
65082, Ukraine, Odessa, Dvoryanskaya str, 1/3

The article presents thermodynamic analysis of a refrigerating machine's cycle using the entropy-cycle model. Internal and external irreversible losses have been identified in the condensation and evaporation processes with due regard to the design features of heat exchangers. Quantitative assessment was made to find out the combined effect of internal and external losses in a heat exchanger on the cycle's energy efficiency.

Keywords: thermodynamic analysis, irreversible losses, energy conversion systems, entropy-cycle method, hydraulic resistance.

В последнее десятилетие в холодильной и теплонасосной технике появились новые типы теплообменных аппаратов — пластинчатые и микроканальные. Такие теплообменные аппараты применяются в машинах любой производительности, с любыми рабочими веществами, в различных температурных режимах. При всех положительных качествах этих аппаратов (малые габариты, малая емкость по рабочему веществу, высокие значения коэффициентов теплопередачи) специалисты отмечают ухудшение энергетических характеристик машин. Это связано с увеличенными гидравлическими потерями

со стороны рабочего вещества. Расчеты показывают, что в таких аппаратах влияние гидравлических потерь оказалось соизмеримым с влиянием тепловых потерь на энергетические показатели системы в целом [1, 2]. Оценить величину необратимых потерь, вызванных гидравлическими сопротивлениями в теплообменных аппаратах, можно еще на стадии проектирования, используя термодинамический анализ цикла системы.

Исторически сложилось, что анализ необратимых потерь в процессах энергопреобразующих систем проводится методами классической термодинамики, которые дают важные для практики прогнозы на начальной стадии проектирования. Установленный в результате предварительного анализа оптимальный цикл энергопреобразующей системы имеет не только высокую энергетическую эффективность, но и приближен к оптимальному варианту в экономическом отношении [3].

Существуют два подхода к анализу процессов, происходящих в элементах энергопреобразующей системы — энтропийный и эксергетический. Оба метода являются равнозначными и базируются на известном уравнении Гюи-Стодола [3]. Целесообразность применения каждого определяется классом энергопреобразующей системы.

Все энергопреобразующие системы по назначению (по получаемому полезному эффекту) условно можно классифицировать следующим образом:

- система с получением энергии (тепловые машины);
- система с получением тепла и холода (холодильные машины, тепловые насосы)
- система с получением энергии, холода и тепла (системы когенерации и тригенерации).

По производительности (величине полезного эффекта) системы разделяются на крупные (свыше 1 МВт), средние (от 100 кВт до 1 МВт) и малые (менее 100 кВт). Производительность, как масштабный фактор, в большой мере влияет на выбор метода термодинамического анализа.

Итогом эксергетического анализа является определение эксергетического КПД как системы в целом, так и ее отдельных элементов [4, 5]. Ценностью эксергетического анализа является его продолжение — эксерго-экономический анализ, который обеспечивает переход от технических характеристик к экономическим. Этим определяется его широкое использование в современном анализе энергетических систем [4].

Для малых энергопреобразующих систем (холодильных машин и тепловых насосов) эксерго-экономический метод анализа достаточно сложный с точки зрения затрат на проектирование, поскольку при разработке новых конструкций обычно неизвестна стоимость элементов и аппаратов при будущем серийном производстве. Кроме того, элементы системы, уже освоенные в производстве, часто имеют неодинаковую стоимость у разных фирм-производителей из-за различий в технологии и серийности. Таким образом, для анализа малых энергопреобразующих систем целесообразнее применять энтропийный метод термодинамического анализа.

Энтропийный метод основан на определении изменения величины энтропии при осуществлении действительного процесса, и его влияния на состояние энергопреобразующей системы в целом [6]. Результатом анализа является определение величин необратимых потерь в отдельных процессах, связь между ними, а также определение предельно возможной эффективности энергопреобразующей системы.

Четкость и простоту количественных характеристик необратимостей в отдельных элементах машины и согласование этих характеристик с общей необратимостью в цикле обеспечивает энтропийно-цикловой анализ [7, 8]. Авторами данной работы проводится анализ процессов в теплообменных аппаратах, имеющих увеличенные гидравлические потери на стороне рабочего вещества, энтропийно-цикловым методом, на примере действительного обратного термодинамического цикла.

Рассмотрим действительный цикл холодильной машины (рис. 1). В изображении цикла учтены внешние необратимости в процессах подвода и отвода теплоты, внутренние необратимости в процессе сжатия и перегрева пара на всасывании в компрессор, дросселирования [8].

Термодинамический анализ выполняется расчетно-графическим способом с помощью диаграммы состояний $T-s$. Для определения наименьшей возможной потери работы построим цикл Карно на реальных температурах $T_{cp} = 30\text{ }^\circ\text{C}$ и $T_{кам} = 5\text{ }^\circ\text{C}$ с соответственными температурами: конденсации $T_k = 40\text{ }^\circ\text{C}$ и кипения $T_0 = 0\text{ }^\circ\text{C}$. Рассматриваемый цикл реализуется на рабочем веществе — R134a. Для расчета использованы условия работы авторефрижераторной холодильной машины, укомплектованной микроканальным конденсатором.

При сравнении обратных циклов обязательным условием является одинаковость полезных эффектов обоих циклов (цикла Карно и действительного цикла).

При этом

$$\begin{aligned} \text{пл. } d04b &= \text{пл. } fm_1m_4k \Rightarrow \\ q_0 &= h_0 - h_4 = T_{кам}(s_f - s_k) \end{aligned} \quad (1)$$

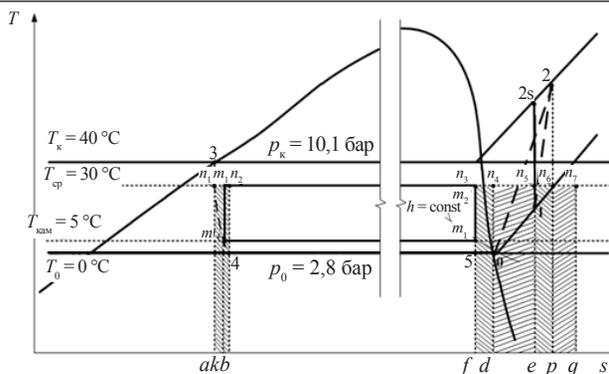


Рис. 1. Энтропийно-цикловая модель действительного термодинамического цикла

Работа, затрачиваемая в действительном цикле, равна $w_d = q_k - q_0 \Rightarrow q_k = h_2 - h_3 \Leftrightarrow \text{пл. } p23a \Rightarrow w_d = p23ab40d$ (2)

Минимальная работа, затраченная в цикле Карно

$$w_{min} = (h_{m_2} - h_{m_1}) - (h_{m_3} - h_{m_4}) \Leftrightarrow \text{пл. } m_1m_2m_3m_4 \quad (3)$$

Перерасход работы в действительном цикле определяется как

$$\Pi = w_d - w_{min} \quad (4)$$

Общий перерасход работы является функцией потерь в отдельных элементах. Покажем графически влияние потерь в каждом элементе на затрату работы во всем действительном цикле.

Внутренние потери в процессе дросселирования

$$\Pi_{др} = T_{cp}(s_b - s_a) \Leftrightarrow \text{пл. } b4n_1n_2a \quad (5)$$

Внешние потери в процессе подвода тепла в испарителе

$$\Pi_{и} = T_{cp}(s_d - s_f) \Leftrightarrow \text{пл. } dn_3n_4f \quad (6)$$

Внутренние потери при перегреве пара на всасывании в компрессор

$$\Pi_{пер} = T_{cp}(s_e - s_d) \Leftrightarrow \text{пл. } en_3n_4d \quad (7)$$

Внутренние потери в процессе необратимого сжатия в компрессоре

$$\Pi_{км} = T_{cp}(s_p - s_e) \Leftrightarrow \text{пл. } pn_6n_5e \quad (8)$$

Внешние потери в процессе отвода тепла в конденсаторе

$$\begin{aligned} \Pi_{к} &= (h_2 - h_3) - T_{cp}(s_p - s_a) = \\ &= T_{cp}(s_q - s_p) \Leftrightarrow \text{пл. } n_623n_1n_3n_4n_5n_6 \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$s_q = s_p + \left(\frac{(h_2 - h_3) - T_{cp}(s_p - s_a)}{T_{cp}} \right)$$

Следует отметить, что процесс перегрева пара на всасывании в компрессор обычно относят к внутренним необратимостям в компрессоре, поэтому действительный процесс сжатия должен быть изображен линией 0-2.

В соответствии с проведенными расчетами, заштрихованные площадки на диаграмме эквивалентны потерям в отдельных процессах (см. рис. 1).

Выводы. Представленный в графической форме термодинамический анализ демонстрирует возможности перевода внутренне необратимых потерь в теплообменных аппаратах в эквивалентные внешние потери и оценивает их количественно. Использование энтропийно-циклового метода термодинамического анализа на стадии предварительного проектирования намечает пути совершенствования теплообменных процессов.

Список литературы

1. Морозюк Л. И. Анализ процесса гидродинамики при конденсации рабочего вещества в микроканальном конденсаторе/Л. И. Морозюк, О. В. Ольшевская // Холодильная техника и технология. 2012. — №4 (138). — С. 22–25.
2. Бродов Ю. М. О применении пластинчатых теплообменных аппаратов в схемах паротурбинных установок/Бродов Ю. М., Пермяков В. А. // Новости Теплоснабжения. [электронный ресурс] от 24.04.2013 http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=712
3. Мартыновский В. С. Анализ действительных термодинамических циклов/ — М.: Энергия, 1972. — 216 с.
4. Тсатсаронис Д. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы: пер. с англ. — Одесса: Студия «Негоциант», 2002. —152 с.
5. Бродянский В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа. — М.: Энергия, 1973. — 296 с.
6. Гохштейн Д. П. Современные методы термодинамического анализа энергетических установок: на правах рукописи. — Одесса: Изд-во ОТИ им. М. В. Ломоносова, 1967. — 333с.
7. Morosuk T. Entropy-cycle method for analysis of refrigeration machine and heat pump cycle. *Thermal science*. 2006. Vol. 10, № 1. pp. 111–124.

8. Никульшин Р. К. Термодинамический анализ регенеративных циклов пароконденсаторных машин энтропийно-цикловым методом/Р. К. Никульшин., Л. И. Морозюк, В. В. Соколовская, А. А. Клименко // Холодильная техника и технология. 2011. №2 (130). С. 20–24.

9. Сухих А. А., Антаненкова И. С. Методика сравнения термодинамической эффективности циклов холодильных и теплонасосных установок // Вестник Международной академии холода. 2012. №4

References

1. Morozjuk L. I. *Holodil'naja tehnika i tehnologija*. 2012. No 4 (138). pp. 22–25.
2. Brodov Ju. M. Permjakov V. A. *Novosti Teplosnabzhenija*. http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=712
3. Martynovskij V. S. *Analiz dejstvitel'nyh termodinamicheskikh ciklov*. — М.: Jenergija, 1972. 216 p.
4. Tsatsaronis D. *Vzaimodejstvie termodinamiki i jekonomiki dlja minimizacii stoimosti jenergopreobrazujushhej sistemy*. — Odessa: Studija «Negociant», 2002. —152 p.
5. Brodjanskij V. M. *Jeksergeticheskij metod termodinamicheskogo analiza*. — М.: Jenergija, 1973. 296 p.
6. Gohshtejn D. P. *Sovremennye metody termodinamicheskogo analiza jenergeticheskikh ustanovok: na pravah rukopisi*. — Odessa: Izd-vo OTI im. M. V. Lomonosova, 1967. 333p.
7. Morosuk T. Entropy-cycle method for analysis of refrigeration machine and heat pump cycle. *Thermal science*. 2006. Vol. 10, № 1. pp. 111–124.
8. Nikul'shin R. K. Morozjuk L. I., Sokolovskaja V. V., Klimenko A. A. *Holodil'naja tehnika i tehnologija*. 2011. No 2 (130). pp. 20–24.
9. Suhij A. A., Antanenkova I. S. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2012. №4

eLIBRARY.RU

ИМПАКТ-ФАКТОР РИНЦ –

численный показатель важности научного журнала

Импакт-фактор рассчитывается на основе данных по цитированию журнала в РИНЦ за предыдущие два года (или пять лет) и отражает среднее число цитирований одной статьи в журнале.

Рекомендации для авторов журнала «Вестник МАХ»

Для повышения библиометрических показателей, публикационной активности авторов и журнала в рейтинговой таблице РИНЦ, для увеличения импакт-фактора издания необходимо:

- ✓ обращать внимание на приоритетные направления и востребованные ведущими отраслями материалы, научно-технические разработки в данных областях;
- ✓ ссылаться в размещаемой в Вестнике МАХ статье на работы, опубликованные ранее в Вестнике МАХ, как самого автора, так и коллег. Это повысит индекс самоцитирования журнала и импакт-фактор журнала в целом;
- ✓ размещать научные материалы в сторонних журналах с высоким импакт-фактором, ссылаясь на работы, соответствующие тематике и опубликованные ранее в Вестнике МАХ, как самим автором, так и другими авторами.

Вестник МАХ включен в предварительный список 1500 наиболее рейтинговых изданий, который составлен по итогам проведенного анализа НЭБ.