

УДК 621.59

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ СЕЗОННОГО ФАКТОРА.

Ефрюшин Д.М. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Сулин А.Б.**
(Университет ИТМО)

Переход к экологически безопасным хладагентам является ключевым трендом современной холодильной техники. Углекислый газ (CO_2 , R744) рассматривается как идеальное долгосрочное решение благодаря нулевому потенциалу разрушения озона (ODP) и малому потенциалу глобального потепления (GWP). Однако основным недостатком транскритических CO_2 -систем остается резкое падение холодопроизводительности и холодильного коэффициента (COP) при высоких температурах окружающей среды, характерных для летнего периода. Перспективным направлением повышения эффективности является интеграция в контур CO_2 абсорбционной бромисто-литиевой холодильной машины (АБХМ, $\text{H}_2\text{O-LiBr}$), утилизирующей тепло CO_2 для дополнительного охлаждения CO_2 .

Цель исследования: Целью данного исследования является количественная оценка энергетической эффективности гибридной системы (CO_2 + АБХМ) в сравнении с транскритическим CO_2 не в пиковых, а в реальных условиях эксплуатации, определяемых сезонными колебаниями климата.

Задачи исследования:

1. Разработать математические модели двух сравниваемых систем: базовый цикл субкритический/транскритический цикл CO_2 с оптимизацией давления, и гибридную систему CO_2 + АБХМ $\text{H}_2\text{O-LiBr}$.
2. Выбрать репрезентативные климатические зоны и сформировать среднемесячные температурные профили для моделирования сезонной работы оборудования.
3. Вычислить показатели эффективности – среднемесячный, среднегодовой COP и годовое энергопотребление для каждой климатической зоны.
4. Выполнить количественную оценку прироста эффективности гибридной системы.
5. Сформулировать рекомендации по выбору типа холодильной системы в зависимости от климатического региона.

Научная новизна:

В отличие от подавляющего большинства работ [1,2,3], ограничивающихся анализом в расчетных режимах (при фиксированных $+32^\circ\text{C}$ или $+40^\circ\text{C}$), научная новизна работы заключается в следующем:

1. Сезонный подход: Выполнена оценка эффективности на основе среднемесячных температурных профилей.
2. Динамические алгоритмы управления: В модели гибридной системы реализован алгоритм включения АБХМ при достижении пороговой температуры нагнетания CO_2 , а также учтена оптимизация давления нагнетания в зависимости от текущей температуры окружающей среды.

Основные результаты:

1. Графики зависимости COP от температуры окружающей среды для трёх систем.
2. Сравнительные диаграммы годового энергопотребления по климатическим зонам.
3. Количественная оценка прироста эффективности гибридной системы относительно системы на CO_2 .
4. Рекомендации по выбору типа системы в зависимости от климатического региона.

Практическое использование результатов исследования заключается в их возможном применении при проектировании систем холодоснабжения: полученные зависимости

позволяют на этапе проектирования обоснованно выбирать тип холодильной системы не по «пиковым» паспортным данным, а с учетом реального климатического профиля региона строительства. Кроме того, результаты могут использоваться при энергоаудите и модернизации действующих CO₂-систем в жарких регионах для расчета экономии электроэнергии при дооснащении существующего оборудования абсорбционным модулем. Также разработанные модели могут позволить настроить логику работы контроллеров: определить пороговые температуры включения АБХМ и обеспечить поддержание оптимального давления нагнетания CO₂ в зависимости от сезона.

Список использованных источников

1. Хрёкин А. С., Баранов И. В. Сравнительный анализ эффективности циклов холодильных машин // Вестник Между народной академии холода. 2021. № 1. С. 12–21. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-12-21
2. Shubhanshu Rai, Anil Kumar, Anish Modi, Performance evaluation of a transcritical CO₂ refrigeration system for supermarkets in hot climatic conditions, in: 16th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, University of Maryland.
3. Bellos, E., Tzivanidis, C., 2019. Enhancing the performance of a CO₂ refrigeration system with the use of an absorption chiller. Int. J. Refrig. 108, 37–52. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.09.009>.