

УДК 621.0.16.7:621.574+621.475.65

Л.И. Морозюк

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039

ТЕПЛОИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ – ПУТИ РАЗВИТИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Теплоиспользующие холодильные машины относятся к энергопреобразующим системам, работающим по обратным термодинамическим циклам. Первичной энергией для этих машин служит тепло. В соответствии с классификацией, эти машины разделены на следующие категории согласно виду проведения компенсирующего процесса: сорбционные (адсорбционные и абсорбционные), эжекторные и компрессорные. В статье проанализированы новые схемно-цикловые решения теплоиспользующих машин с точки зрения энергосбережения и экологической безопасности, а также освещены перспективы совершенствования. Также рассмотрены возможности теплоиспользующих машин в системах тригенерации. В статье дан обзор вклада одесских учёных в создание и развитие теплоиспользующих холодильных машин и тепловых насосов.

Ключевые слова: теплоиспользующая машина; абсорбционная машина, эжекторная машина, компрессорная теплоиспользующая машина, тригенерация, энергосбережение.

Л.І. Морозюк

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039

ТЕПЛОВИКРИСТАЛЬНІ ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ – ШЛЯХИ РОЗВИТКУ І ВДОСКОНАЛЕННЯ

Клас тепловикристалльних холодильних машин віднесено до енергоперетворювальних систем, які працюють за зворотними термодинамічним циклам, з теплом у якості первинної енергії. Між собою машини розподілені за способом здійснення компенсуючого процесу на сорбційні (адсорбційні та абсорбційні), ежекторні, компресорні. Проаналізовано нові схемно-циклові рішення машин з огляду на енергозбереження та екологічну безпеку. Висвітлено перспективи удосконалення машин шляхом використання їх в системі тригенерації. Оцінено внесок одеських вчених до створення та розвитку тепловикристалльних холодильних машин та теплових насосів.

Ключові слова: тепловикристалльна машина, абсорбційна машина, ежекторна машина, компресорна тепловикристалльна машини, тригенерація, енергозбереження.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/0453-8307.5/2014.28695>

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I. ВВЕДЕНИЕ

Энергопреобразующие системы в соответствии с полезным эффектом разделяются на три группы: тепловые машины, холодильные машины и тепловые насосы. Тепловые машины преобразуют первичную тепловую энергию в электрическую, механическую и тепловую.

Полезным эффектом холодильной машины является получение холода различного температурного потенциала, теплового насоса – получение тепла различного температурного потенциала.

Для того чтобы получить два последних полезных эффекта «необходимо совершить компенсирующий процесс, благодаря которому суммарная энтропия веществ, участвующих во всех процессах оставалась бы, по крайней мере, не изменной» [5]. Второй закон термодинамики не определяет характер компенсирующего процесса, так что

для его осуществления можно использовать любой полезный эффект тепловой машины: электрическую, механическую или тепловую энергию (рис.1).

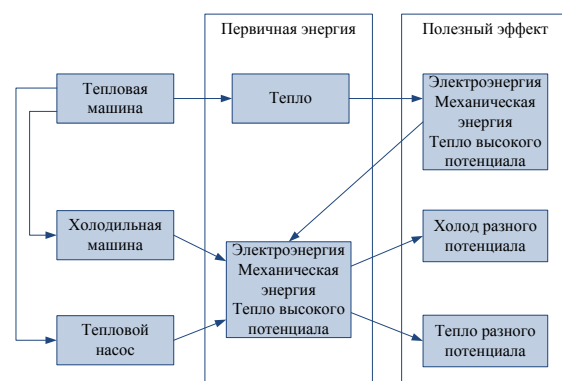


Рисунок 1

В соответствии с этим холодильные машины и тепловые насосы термодинамически всегда связаны с тепловыми машинами.

Рассмотрим эту связь с позиций рабочих веществ, участвующих во всех процессах. Вариант первый – тепловая и холодильная машина (тепловой насос) имеют разные рабочие вещества. В этом случае осуществляется механический способ проведения компенсирующегося процесса, а машины приобрели название компрессорных.

Вариант второй – тепловая и холодильная машины (тепловой насос) имеют единое рабочее вещество – низкокипящее (чистое или смесь) в соответствии с условиями холодильной машины (теплого насоса). При этом осуществляется сложный термодинамический комплекс, состоящий из двух взаимосвязанных простых – прямого (тепловая машина) и обратного (холодильная машина). Такие машины получили название – теплоиспользующих.

Теплоиспользующие машины классификационно разделяются на группы по способу проведения компенсирующегося процесса. Термохимический компенсирующий процесс реализуется в сорбционных машинах, а в качестве рабочих веществ используют смеси.

В эжекторных машинах осуществляется частный случай механического компенсирующегося процесса с использованием пароструйного компрессора – эжектора. Машины работают с любыми рабочими веществами, присущими холодильной технике.

Механический компенсирующий процесс, в результате которого механическая энергия, полученная при расширении в прямом цикле, непосредственно передается для осуществления сжатия в обратном, связан с механическим компрессором, что дало название машине – компрессорная теплоиспользующая.

Теплоиспользующие холодильные машины (тепловые насосы) имеют столетнюю историю, пути их развития были достаточно сложными и противоречивыми на различных отрезках времени развития холодильной техники. Специалистам хорошо известны основные направления в развитии этих машин, автор же статьи хочет обратиться к работам, которые выполнены в ОГАХ и ОНАПТ, определяют современное состояние теплоиспользующих машин и намечают перспективы их совершенствования и дальнейшего развития.

II. СОРБЦИОННЫЕ МАШИНЫ

Сорбционная техника разделяется на отдельные направления и типы машин, которые определяют политику в области сорбционных машин.

В основу адсорбционных машин положено использование рабочей смеси из твердого поглотителя, и холодильного агента. Простота устройства, безотказность работы, компактность и прочие положительные характеристики привели к тому, что эти машины до конца 90-х годов про-

шлого столетия были объектами закрытого изучения во всем мире и применялись лишь в космической технике [4, 23].

В настоящее время такие машины разрабатываются для использования в качестве бытовых тепловых насосов. Наивысшим COP обладают машины с рабочей смесью «активированный уголь – аммиак».

В машине используют греющий источник с температурой до 300°C, коэффициент преобразования $COP = 1,2 \dots 1,3$. [4].

Основными рабочими веществами в абсорбционных машинах являются жидкий сорбент и холодильный агент. Широко используемыми и перспективными до сих пор остаются водный раствор бромистого лития и водоаммиачный раствор.

Теория бромистолитиевых машин в некоторой степени достигла своего предела, а практическое применение ограничивается системами кондиционирования воздуха. Однако «примитивность» свойств рабочей смеси, а именно, отсутствие собственных паров абсорбента в хладагенте, теплоты смешения, делают бромистолитиевые машины идеальным научно-исследовательским материалом для создания математических моделей расчета и проверки на адекватность создания методик термодинамического и термозакономерного анализа и оптимизации [4, 17].

Наибольшей перспективой обладает водоаммиачный раствор [13]. Все новое и современное в области водоаммиачных абсорбционных холодильных машин и тепловых насосов – это практическая реализация теоретических разработок, высказанных в разные годы учеными разных стран и научных школ [4, 7, 22, 23, 24, 26].

Среди современной абсорбционной техники следует выделить машины, известные как машины «двойного» и «тройного» эффектов. Они зарекомендовали себя надёжными и экономичными машинами [25, 26].

Отрадно отметить, что именно одесской школе абсорбционщиков принадлежит приоритет в изучении специальных типов абсорбционных машин (по характеру проведения процессов ректификации-дефрекации, а также абсорбции), абсорбционно-компрессорных для низкотемпературных холодильных машин и высокотемпературных тепловых насосов. Многообразие предложенных схем стало возможным благодаря глубокому термодинамическому анализу процессов и синтезу на основании схемно-циклового метода [13, 15, 24, 29].

В состав малой абсорбционной холодильной техники входят абсорбционно-диффузионные холодильные машины и тепловые насосы, известные как безнасосные. Среди современных исследований этого типа машин особое место занимают теоретические и экспериментальные работы, проведенные под руководством Г.Штирлина. Именно его работы послужили основой для создания нового поколения абсорбционно-диффузионных холодильных машин [27, 28].

В этом направлении абсорбционной техники одесская школа занимает особое место. Результаты научных исследований, проведенный в ОГАХ и ОНАПТ, включены в мировую базу данных по этим машинами [14, 18].

Рассмотренные абсорбционные машины ориентированы на использование греющих источников тепла с относительно низким температурным потенциалом (90-250°C), что связано со свойствами рабочих смесей: осаждением бромида лития, разложением аммиака с последующей химической коррозией конструктивных материалов. Коэффициент преобразования для абсорбционных машин находится в пределах $COP = 0,3...0,8$.

III. ЭЖЕКТОРНЫЕ МАШИНЫ

Эжекторные (со струйным компрессором) теплоиспользующие машины имеют широкий диапазон производительностей при использовании различных рабочих веществ: природных и синтезированных, однокомпонентных и смесей, высококипящих. Высокая надёжность и долговечность этих машин обеспечивается, благодаря отсутствию движущихся элементов. Существенным недостатком является низкая энергетическая эффективность ($COP = 0,2...0,3$), которая связана с большими необратимыми потерями энергии в процессах в эжекторе. Область использования эжекторных машин определена специфическими условиями, когда вопросы энергетической эффективности не являются первостепенно важными.

Практическое применение в мире получили лишь пароводяные эжекторные машины для производства холода в отраслях промышленности, обладающих большим количеством бросового тепла (нефтяной, газовой, химической), а также в энергетике. Однако интенсивное развитие компрессорных машин вытесняет эжекторные машины из традиционных областей использования.

Теоретические исследования эжекторных холодильных машин, работающие на низкокипящих рабочих веществах, были начаты в середине прошлого века и продолжаются до настоящего времени.

Приоритет в этом направлении принадлежит ОГАХ. Исследованию подверглись более 30 различных однокомпонентных рабочих веществ и смесей, а также различные схемно-цикловые решения и конструкции эжекторов. В течение многих лет совершенствовались и уточнялись методики расчета эжекторов. Результаты исследований в области современных эжекторных холодильных машин представлены в работах [6, 8]. Область преимущественного использования – малые специальные холодильные машины с приводом (первичной энергией) от возобновляемых источников энергии и утилизируемого бросового тепла различного происхождения и с широким температурным диапазоном 100...140 С. Коэффициент преобразования этих машин составляет $COP = 0,28...0,30$.

IV. КОМПРЕССОРНЫЕ МАШИНЫ

Компрессорные теплоиспользующие холодильные машины появились последними среди теплоиспользующих машин. Теоретические и экспериментальные исследования начались в 50-х годах прошлого века [10]. Цикл Чистякова-Плотникова осуществлялся на низкокипящих рабочих веществах с использованием агрегата «турбина-компрессор» (оба компонента – представляют турботехнику). Первоначально считалось рациональным использовать эти машины для кондиционирования воздуха на крупных морских судах. В 60-х годах это направление получило новое развитие – в ОДАХ были разработаны и созданы теплоиспользующие компрессорные холодильные машины малой производительности (10...500 кВт) на низкокипящих рабочих веществах, конкурентно способные пароконпрессорным холодильным машинам. Машины предназначались для охлаждения наддувочного воздуха двигателей внутреннего сгорания тепловозов и судов, а также для систем кондиционирования воздуха на сухогрузах, танкерах, сейнерах, в наземных транспортных объектах специального назначения.

Общие результаты опытно-конструкторских работ и экспериментальных исследований представлены в работах А.Б. Баренбойма [1, 2, 3], которые стали заключительной научной информацией в области малых компрессорных теплоиспользующих машин по целому ряду разнородных причин. Научно – исследовательские работы в этом научном направлении прекращены в настоящее время. Одной из причин явились международные, региональные и национальные акты, декларирующие запрет на известные и ранее широко используемые рабочие вещества. В настоящее время ситуация на рынке рабочих веществ достаточно сложная, к использованию предлагаются малоизученные рабочие вещества без достаточного временного опыта практического использования. Именно эти обстоятельства побудили автора к поиску рабочих веществ для возрождения компрессорных теплоиспользующих машин. С точки зрения совершенствования этих машин с одновременным расширением возможности утилизации бросового тепла или использования тепла сгорания природного топлива, предложен к рассмотрению диоксид углерода. Тем более, что CO_2 в настоящее время является одним из наиболее перспективных рабочих веществ в энергетике и холодильной технике [16, 19, 20, 21], а оборудование для энергопреобразующих систем с CO_2 выпускают ведущие мировые фирмы.

На кафедре холодильных машин, установок и кондиционирования воздуха ОНАПТ предложены схемно-цикловые решения компрессорной холодильной машины с CO_2 в качестве рабочего вещества. В основе создания схемно-цикловых решения лежит термодинамический анализ [11, 12].

Как показал эксергетический анализ, практическая реализация циклов возможна при темпера-

турах в газовому нагрівателі від 200 до 250°C, робочих тисках в прямому циклі від 230 до 300бар, температурах оточуючої середовища від 25 до 35°C, температурах охолоджуваного об'єкта від -15 до -10 °C ексергетический КПД склав від 13 до 15%.

V. ТРИГЕНЕРАЦІЯ

Перспективним і технічно простою шляхом підвищення ефективності теплової машини є система когенерації – одночасне отримання двох корисних ефектів, електроенергії

(механічної енергії) і тепла. В основі когенераційних технологій знаходяться різні схеми утилізації тепла, яке є прямим викидом теплових машин. Сучасні теплові машини малої і середньої продуктивності випускаються в комплекті з утилізаторами тепла.

Система тригенерація – енергоперетворююча система з одночасним виробництвом трьох корисних ефектів – електроенергії, тепла і холоду при використанні одного виду первинної енергії – тепла. С технічної точки зору – это

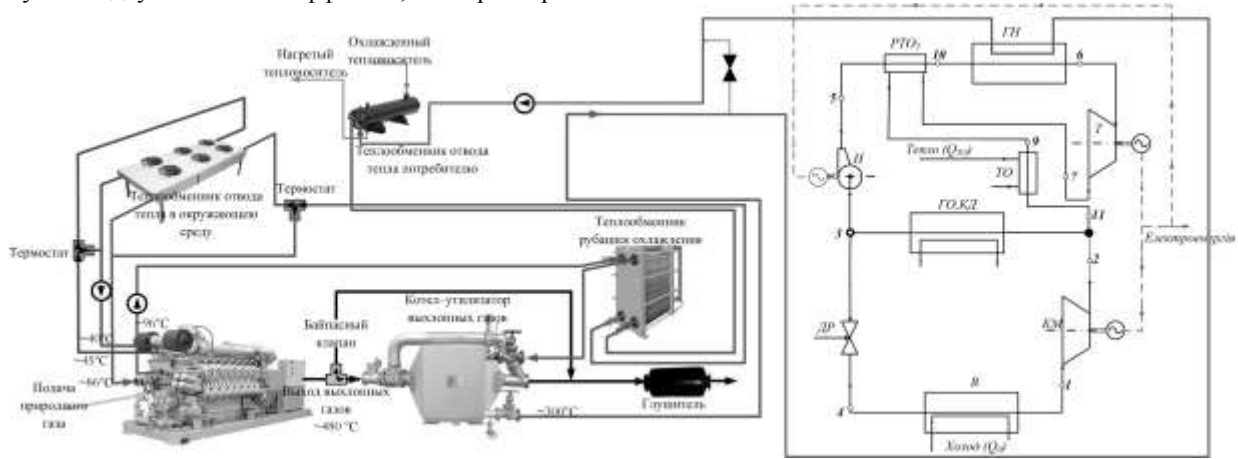


Рисунок 2

объединение системы когенерации и теплоиспользующей холодильной машины. В организации тригенерации главным и важным является наличие потребителей тепла и холода с соответствующими соотношениями производительностей и температурных режимов

В этом контексте следует отметить, что круглогодичное кондиционирование воздуха является потребителем первого порядка во многих странах мира и обеспечивает стабильную работу системы тригенерации (увеличение спроса на охлаждение совпадающее со снижением спроса на отопление).

Современные системы тригенерации состоит из тепловой машины, оборудования регенерации тепла и абсорбционной холодильной машины (бромистолитиевой или водоаммиачной) [9].

Научная группа кафедры холодильных машин, установок и кондиционирования воздуха на основании проведенных теоретических исследований предлагает новые схемно-цикловые решения систем тригенерации, которые отвечают современным требованиям высокой энергетической эффективности и экологической безопасности, например, рис.2.

Тепловая машина – дизель генератор с утилизатором, является базовой, холодильная машина - компрессорная теплоиспользующая с диоксидом углерода в качестве рабочего вещества. Цикл машины реализуется в двух областях: прямой – в надкритической, обратный – в двухфазной.

Термодинамический анализ показал, что наивысшая энергетическая эффективность машины при рабочих тисках в газовом нагрівателі

$p=300$ бар и температурах $t = 250...350$ °C. Полученные результаты теоретических исследований свидетельствуют о перспективности практической реализации с теплоиспользующих компрессорных холодильных машин с диоксидом углерода.

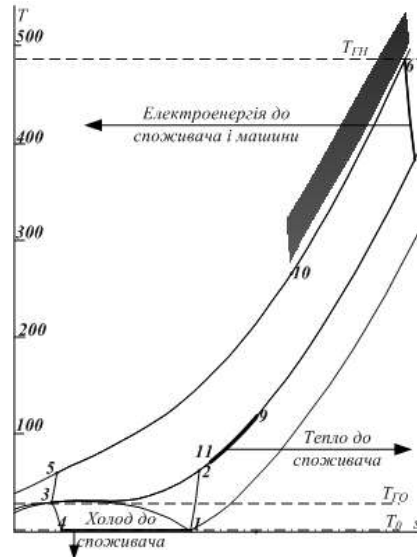


Рисунок 3

VI. БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор статьи воскрешает память о своих учителях и коллегах, которые своими знаниями, энтузиазмом, научными предвидениями основали научную школу теплоиспользующей холодильной техники.

Автор выражает благодарность и желает новых научных достижений своим коллегам и ученикам которые в настоящее время продолжают научные традиции кафедры, вносят свой вклад в развитие современной теплоиспользующей холодильной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Баренбойм, А.Б.** Турбомашины для охлаждения наддувочного воздуха двигателей внутреннего сгорания / А.Б. Баренбойм. – Одесса: Студия «Негоциант», 2001 г. ISBN 966-7423-71-9.
2. **Баренбойм, А.Б.** Холодильные центробежные компрессоры / А.Б. Баренбойм. – Одесса. 2004. – 208 с.
3. **Баренбойм, А.Б.** Малорасходные турбокомпрессоры для кондиционирования воздуха и охлаждения аппаратуры в транспорте/ А.Б. Баренбойм. – Одесса: Студия «Негоциант», 2000. – 265 с.
4. **Блиер, Б.М.** Теоретические основы проектирования абсорбционных термотрансформаторов / Б.М. Блиер, А.В. Вургафт. М.: Пищ. Пром.– 1971.– 204 с.
5. **Бошнякович Ф.** Техническая термодинамика / Ф. Бошнякович. М.: Госэнергоиздат. – 1956. – Т.2. – 372 с.
6. **Воловик, А.С.** Совершенствование характеристик и показателей эжекторной холодильной машины, работающей на низкокипящих веществах: дисс.... канд. тех. наук / А.С. Воловик. – Одесса, 2013.
7. **Галимова, Л.В.** Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы: учеб. пособие / Л.В. Галимова, Астрахань: АГТУ, 1997. – 226 с.
8. **Ерин, В.А.** Разработка холодильных систем на основе эжекторных машин с рациональным энергоиспользованием и утилизацией тепла: дисс. канд. техн. наук / В.А. Ерин. – Одесса, 2013.
9. **Каталог продукции:** Газопоршневые электростанции / Инжиниринговая компания Группа «Техмаш» // www.grouptm.ru/files/catalogues/Gazoporshnevye-electrostancii.pdf. – 29.05.2012г. – Загл. с экрана.
10. **Мартыновский, В.С.** Анализ действительных термодинамических циклов / В.С. Мартыновский. – М.: Энергия, 1972. – 216 с.
11. **Морозюк, Л.И.** Термодинамический анализ теплоиспользующей холодильной машины с диоксидом углерода / Л.И. Морозюк, Т.В. Морозюк, С.В. Гайдук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий (EJET). – 2014р. – № 2(8(68)). – С. 36-44.
12. **Морозюк, Л.И.** Можливості створення компресорної тепловикористальної холодильної машини / Л.И. Морозюк, С.В. Гайдук // Холодильная техника и технология. – 2012. – № 4 (138). – С. 17-21.
13. **Морозюк, Т.В.** Водоаміачні термотрансформатори (теорія, аналіз, синтез, оптимізація): дисс....док.тех. наук: 05.14.06 / Т.В. Морозюк. – ОНПУ, Одесса, 2001. – 382 с.
14. **Морозюк, Л.И.** Развитие теории и методов исследования процессов преобразования и получения тепла и холода в установках с многокомпонентными и многофазными рабочими веществами: дисс. док. тех. наук: 05.14.06 / Л. И. Морозюк. – ОНПУ, Одесса, 2013. – 352 с.
15. **Минкус, Б.А.** Комбинированные теплоиспользующие холодильные машины: дисс. док. тех. наук: 05.14.03 / Б.А. Минкус. – ОТИХП, Одесса, 1970. – 243 с.
16. **Наер, В.А.** Анализ термодинамического цикла кондиционера, работающего на CO₂// В.А. Наер, А.В. Рожнецев // Вестник международной академии холода. – 2002. – №2. – С. 21-25.
17. **Розенфельд, Л.М.** Анализ влияния параметров абсорбционной бромисто-литиевой холодильной машины с помощью математического моделирования // Л.М. Розенфельд, Б.И. Псахис // Изд. СО АН СССР. Серия технических наук. 1965 – №3. вып. 1.
18. **Титлов, А.С.** Научно-технические основы создания энергосберегающих бытовых абсорбционных холодильных приборов: дисс. док. тех. наук / А.С. Титлов. – Одесса, 2008.
19. **Supercritical carbon dioxide Brayton Cycle turbines** promise giant leap in thermal-to-electric conversion efficiency / Sandia Labs News Releases. March 4, 2011 // www.share.sandia.gov/news/resources/news_releases/brayton-cycle-turbines/#.U_upQNF_GIM. – Загл. с экрана.
20. **Giroto, S.** Commercial refrigeration system using CO₂ as the refrigerant / S. Giroto, S. Minetto, P.Neksa // International Journal of Refrigeration. – 2004. – №27 (7). – P. 717-723.
21. **Samer, S.** Theoretical evaluation of trans-critical CO₂ systems in supermarket refrigeration. Part I: Modeling, simulation and optimization of two system solutions / S. Samer // International Journal of Refrigeration. – 2008. – №31 (3). – P. 516-524.
22. **Berlitz T.** A contribution to the evaluation of the economic perspective of absorption chillers / T. Berlitz et all. // International Journal Refrigeration. – 1999. – Vol. 22, No 1. – P. 67-76.
23. **Menier, F.** Solid sorption refrigeration. Proceedings of the IIF/IIR // Symposium, Paris. – France, 1992.
24. **Nikanpur, D.** Ab-Sorption, 96 – Towards sustainable technologies. / D. Nikanpur, S. Hosante // Proceedings of the International. Ab-Sorption Heat Pump Conference, Montreal. – Canada, 1996.
25. **Pons, M.** Thermodynamic based comparison of absorption systems for cooling and heat pumping / M. Pons et all. // International Journal Refrigeration. – 1999. – Vol. 22, No 1. – P. 5-17.
26. **Le Goff, P.** A new heat transformer operating by “reverse rectification” for upgrading waste heat / **P.Le Goff, J. Labidi, P Ranger** // Proceedings of 4-th International Heat pump Conference, Maastricht. –The Nethernands. – 1993. – P. 187-197.

27. **Stirlin, H.** Beitrag zum Theorie der Absorption-kaeltemaschintn / H. Stirlin // Kaeltechnik 16, 1964.
28. **Stirlin, H.** Last Developments in Domestic Absorption of Refrigeration and the Future Out-Look. Progress in Refrigeration Science and Technology / H. Stirlin // Proceedings of the XII International Congress of Refrigeration. Madrid. – 1967.

29. **Feidt, M.** La fonction compression dans une pompe a chaleur a compression-absorption / M. Feidt, B. Hivet // Proceedings of International Conference of IIR/IIF “Research Design and Construction of Refrigeration and Air Conditioning Equipment in Eastern European Countries”. – 1996. – P. 126-136.

L.I. Morosuk

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaja str., Odessa, 65039, Ukraine

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF THE HEAT USING REFRIGERATING MACHINES

Heat-using refrigeration machines are a particular case of energy conversion systems working on the inverse thermodynamic cycles. The primary energy for such machines is thermal energy. The heat-using refrigeration machines can be divided into the three groups according to the so-called compensation process: (a) sorption (absorption and adsorption) with thermochemical compression, (b) ejection with jet-compression, and (c) compression with mechanical compression/expansion. Development in the field of absorption refrigeration machines associates with using the water-ammonia mixture as a working fluid as well as with utilization of special schematics related to (a) rectification/dephlegmation processes and absorption process, and (b) absorption-compression machines that are most effective as low-temperature refrigeration machines and high-temperature heat pumps. Development in ejection machines goes to the direction of machines with (a) small refrigeration capacities, (b) using the natural working fluids, and (c) implementation of the renewable energy sources with different temperature levels. Development in compression heat-using refrigeration machines associates with (a) using carbon dioxide as a working fluid, (b) implementation of renewable energy sources, and (c) extended possibilities to use these machines within the tri-generation systems. Development and improvement in the field of the heat-using refrigeration machines and heat pumps are the result of long-term and successful theoretical and experimental research has been conducted in the chair “Refrigeration machines and installations” at Odessa National Academy of Food Technologies.

Keywords: Heat using machines - absorption machines - ejection machines - compression heat-using machines - tri-generation – energy saving.

REFERENCES

- Barenboim, A.B.** Turbomashiny dlya ohlazhdeniya nadduvochnogo vozduha dvigatelei vnutrennego sgoraniya / A.B. Barenboim. – Odessa: Studiia “Negociant”, 2001 g. ISBN 966-7423-71-9.
- Barenboim, A.B.** Holodil'nye centrobeznyie kompressory / A.B. Barenboim. – Odessa. 2004. – 208 s.
- Barenboim, A.B.** Malorashodnye turbokompressory dlya kondicionirovaniya vozduha i ohlazhdeniya apparatury v transporte / A.B. Barenboim. – Odessa: Studiia “Negociant”, 2000. – 265 s.
- Blier, B.M.** Teoreticheskie osnovy proektirovaniya absorbcionnyh termotransformatorov / B.M. Blier, A.V. Vurgaft. M.: Pisch. Prom.– 1971. – 204 s.
- Boshnyakovich F.** Tehnicheskaya termodinamika / F. Boshnyakovich. M.: Gosenergoizdat. – 1956. – T.2. – 372 s.
- Volovik, A.S.** Sovershenstvovanie harakteristik i pokazatelei ezhektornoj holodil'noi mashiny, rabotayuschei na nizekopyaschih veschestvah: diss. ... kand. teh. nauk / A.S. Volovik. – Odessa, 2013.
- Galimova, L.V.** Absorbcionnye holodil'nye mashiny i teplovyie nasosy: ucheb. posobie / L.V. Galimova, Astrahan': AGTU, 1997. – 226 s.
- Yerin, V.A.** Razrabotka holodil'nyh sistem na osnove ezhektornyh mashin s racional'nyim energo-

ispol'zovaniem i utilizaciei tepla: diss. ... kand. tehn. nauk / V.A. Erin. – Odessa, 2013.

- Katalog produkcii:** Gazoporshnevyie elektrostancii / Inzhiniringovaya kompaniya Gruppy “Tehmash” // www.grouptm.ru/files/catalogues/Gazoporshnevyie-electrostancii.pdf. – 29.05.2012 g. – Zagl. s ekrana.
- Martynovskii, V.S.** Analiz deistvitel'nyh termodinamicheskikh ciklov / V.S. Martynovskii. – M.: Energiya, 1972. – 216 s.
- Morozyuk, L.I.** Termodinamicheskii analiz teploispol'zuyuschei holodil'noi mashiny s dioksidom ugljeroda / L.I. Morozyuk, T.V. Morozyuk, S.V. Gaiduk // Vostochno-Evropskii zhurnal peredovyh tehnologii (EEJET). – 2014r. – No2(8(68)). – S. 36-44.
- Morozyuk, L.I.** Mozhlivosti stvorenniya kompressornoyi teplovikoristal'noyi holodil'noyi mashiny / L.I. Morozyuk, S.V. Gaiduk // Holodil'naya tehnika i tehnologiya. – 2012. - No 4 (138). – S. 17-21.
- Morozyuk, T.V.** Vodoamiachni termotransformatori (teoriya, analiz, sintez, optimizaciya): disc....dok. teh. nauk: 05.14.06 / T.V. Morozyuk. – ONPU, Odessa, 2001. – 382 s.
- Morozyuk, L.I.** Razvitie teorii i metodov issledovaniya processov preobrazovaniya i polucheniya tepla i holoda v ustanovkakh s mnogokomponentnyimi i mnogofaznyimi rabochimi veschestvami:): disc. ...

- dok. teh. nauk: 05.14.06 / L. I. Morozjuk. – ONPU, Odessa, 2013. – 352 s.
15. **Minkus, B.A.** Kombinirovannye teploispol'zuyushchie holodil'nye mashiny: diss. ... dok. teh. nauk: 05.14.03 / B.A. Minkus. – OTIHP, Odessa, 1970.– 243 s.
16. **Naer, V.A.** Analiz termodinamicheskogo cikla kondicionera, rabotayushchego naCO₂ // V.A. Naer, A.V. Rozhencev // Vestnik mezhdunarodnoi akademii holoda. – 2002.–№2. – S. 21-25.
17. **Rozenfel'd, L.M.** Analiz vliyanija parametrov absorbcionnoj bromisto-litievoy ho-lodil'noj mashiny s pomoshh'ju matematicheskogo modelirovanija // L.M. Rozenfel'd, B.I. Psahis // Izd. SO AN SSSR. Serija tehniche-skih nauk. 1965 – №3. vyp. 1.
18. **Titlov, A.S.** Nauchno-tehnicheskie osnovy sozdaniya jenergosberegajushhih bytovyh absorbcionnyh holodil'nyh priborov: diss.... dok. teh. nauk / A.S. Titlov. – Odessa, 2008..
19. **Supercritical carbon dioxide Brayton Cycle turbines** promise giant leap in thermal-to-electric conversion efficiency / Sandia Labs News Releases. March 4, 2011 // www.share.sandia.gov/news/resources/news_releases/brayton-cycle-turbines/#.U_upQNF_GIM. – Загл. с_екрана.
20. **Giroto, S.** Commercial refrigeration system using CO₂ as the refrigerant / S. Giroto, S. Minetto, P.Neksa // International Journal of Refrigeration. – 2004.– №27(7).– P. 717-723.
21. **Samer, S.** Theoretical evaluation of trans-critical CO₂ systems in supermarket refrigeration. Part I: Modeling, simulation and optimization of two system solutions / S. Samer // International Journal of Refrigeration. – 2008.– №31 (3). – P. 516-524.
22. **Berlitz T.** A contribution to the evaluation of the economic perspective of absorption chillers / T. Berlitz et all. // International Journal Refrigeration. – 1999.– Vol. 22, No 1.– P. 67-76.
23. **Menier, F.** Solid sorption refrigeration. Proceedings of the IIF/IIR // Symposium, Paris. – France, 1992.
24. **Nikanpur, D.** Ab-Sorption, 96 – Towards sustainable technologies. / D. Nikanpur, S. Hosante // Proceedings of the International. Ab-Sorption Heat Pump Conference, Montreal. – Canada, 1996.
25. **Pons, M.** Thermodynamic based comparison of absorption systems for cooling and heat pumping / M. Pons et all. // International Journal Refrigeration. – 1999.– Vol. 22, No 1.– P. 5-17.
26. **Le Goff, P.** A new heat transformer operating by “reverse rectification” for upgrading waste heat / P. Le Goff, J. Labidi, P Ranger // Proceedings of 4-th International Heat pump Conference, Maastricht. – The Nethernands.– 1993.– P. 187-197.
27. **Stirlin, H.** Beitrag zum Theorie der Absorption-kaeltemaschintn / H. Stirlin // Kaeltechnik 16, 1964.
28. **Stirlin, H.**Last Developments in Domestic Absorption of Refrigeration and the Future Out-Look. Progress in Refrigeration Science and Technology /H. Stirlin // Proceedings of the XII International Congress of Refrigeration. Madrid. – 1967.
29. **Feidt, M.** La function compression dans une pompe a chaleur a compression-absorption / M. Feidt, B. Hivet // Proceedings of International Conference of IIR/IIF “Research Design and Construction of Refrigeration and Air Conditioning Equipment in Eastern European Countries”. – 1996.– P. 126-136.

Отримана в редакції 02.09.2014, прийнята до друку 08.09.2014