

УДК 536.71+533.717+621.577-9

С. В. Здитовецкая, ассистент (БГТУ);**В. И. Володин**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой (БГТУ);**П. М. Клепацкий**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИКЛОВ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЕПЛА С АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ ХЛАДАГЕНТАМИ

Проведен сравнительный анализ термодинамической эффективности хладагентов, которые предложены в качестве альтернативных для замены хлорсодержащих хладагентов групп CFC и HCFC. Анализ их эффективности оценивали путем сравнения параметров циклов пароконденсационных трансформаторов тепла. Для замены хладагента R22, принадлежащего к группе HCFC, рекомендуются R600a, R134a-R152a, R290.

The comparative analysis of thermodynamic efficiency of coolants which are offered as alternative for replacement chlorine-containing coolants of groups CFC and HCFC is carried out. The analysis of their efficiency estimated by comparison of parameters of cycles steamcompressive heat transformers. For replacement of coolant R22 belonging to group HCFC, are recommended R600a, R134a-R152a, R290.

Введение. Существенное влияние на энергетическую эффективность, материалоемкость и надежность работы трансформаторов тепла оказывают термодинамические и теплофизические свойства хладагентов [1]. Термодинамические характеристики рабочих веществ влияют главным образом на температурные режимы работы трансформатора тепла, эффективность циклов, показатели и характеристики теплообменников и компрессоров.

В качестве хладагентов пароконденсационных холодильных машин и тепловых насосов широкое применение нашли галогенсодержащие углеводороды (фреоны), обладающие требуемыми термодинамическими и теплофизическими свойствами и являющиеся озоноразрушающими веществами.

По степени озоноразрушающей активности галоидопроизводные углеводороды разделены на три группы:

- хладагенты группы CFC с высокой озоноразрушающей активностью;
- хладагенты группы HCFC с низкой озоноразрушающей активностью;
- хладагенты, не содержащие атомов хлора, с нулевой озоноразрушающей активностью: фторуглероды (FC), гидрофторуглероды (HFC), углеводороды (HC).

Для анализа экологической целесообразности применения хладагентов используют потенциал разрушения озона (ODP) и потенциал глобального потепления (GWP). Для хладагентов группы CFC $ODP > 1$, для группы HCFC $ODP < 0,1$, а для озонобезопасных хладагентов – $ODP = 0$.

В соответствии с Монреальским протоколом в странах Евросоюза полностью прекращено производство и применение хладагентов группы CFC. Сокращение производства хладагентов группы HCFC начато с 2004 г. и должно быть прекращено к 2030 г. [2–4].

Возникает задача поиска и разработки эффективных рабочих веществ, а также исследования влияния их теплофизических свойств, методов расчета и разработки соответствующих прикладных программ, которые будут использоваться при проектировании и оптимизации трансформаторов тепла [5].

Фактором, который определяет возможность использования вещества в качестве хладагента, является оценка его термодинамической эффективности. При этом с переходом на новые хладагенты необходимо сохранение холодо- и теплопроизводительности эксплуатируемых трансформаторов тепла.

Объект и метод исследования. В данной работе рассчитывалась эффективность циклов холодильной машины с хладагентами R134a, R218, R134a-R152a, R600a, R290, R22. Схема исследуемой установки представлена на рис. 1.

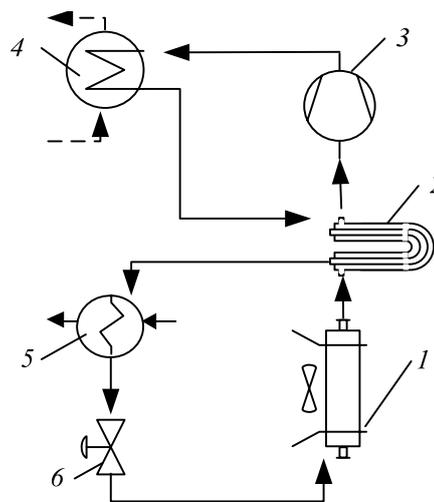


Рис. 1. Схема холодильной машины:
1 – испаритель; 2 – регенератор; 3 – компрессор;
4 – конденсатор; 5 – охладитель;
6 – терморегулирующий вентиль

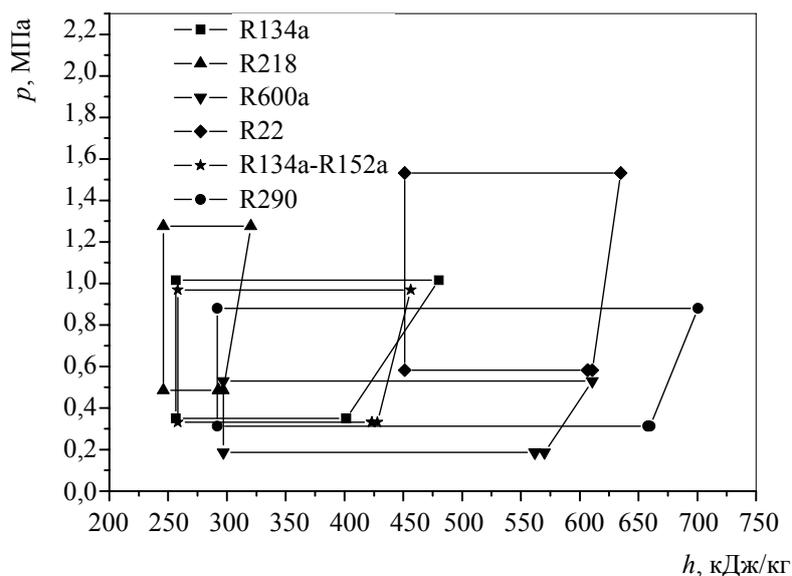


Рис. 2. Термодинамические циклы при идеальном сжатии в компрессоре и $\Delta p_{\text{и}} = 0$, $\Delta p_{\text{к}} = 0$

Расчеты параметров циклов для холодильной установки были проведены при следующих допущениях:

- идеальное сжатие в компрессоре при отсутствии потерь давления в испарителе и конденсаторе, т.е. $\Delta p_{\text{и}} = 0$ и $\Delta p_{\text{к}} = 0$;
- идеальное сжатие в компрессоре с учетом потерь давления в испарителе и конденсаторе, т.е. $\Delta p_{\text{и}} \neq 0$ и $\Delta p_{\text{к}} \neq 0$;
- сжатие в реальном компрессоре с учетом потерь давления в испарителе и конденсаторе, т.е. $\Delta p_{\text{и}} \neq 0$ и $\Delta p_{\text{к}} \neq 0$.

При расчете циклов задавались следующие исходные параметры установки: температура кипения $t_{\text{и}} = 5^\circ\text{C}$, температура конденсации $t_{\text{к}} = 40^\circ\text{C}$, перегрев пара в испарителе $\Delta t_{\text{и}} = 5^\circ\text{C}$.

Расчет проводился с помощью вычислительного эксперимента на основе разработанного комплексного метода численного анализа пароконденсационных трансформаторов тепла [6, 7]. Данный метод включает в себя совместный расчет параметров цикла и теплообменников с учетом необратимых потерь в контуре. Комплексный метод анализа реализован в виде пакета прикладных программ на языке Фортран.

Результаты вычислительного эксперимента. На ph -диаграмме (рис. 2) приведены термодинамические циклы для перечисленных хладагентов.

Для хладагента R218, имеющего из рассмотренных хладагентов наименьшую критическую температуру $T_c = 344,95\text{ K}$, форма цикла растянута по вертикали, холодильный коэффициент и коэффициент преобразования соответственно равны 2,19 и 3,19.

Хладагенты R22, R134a и композиционный R134a-R152a (80% R134a) имеют достаточно

близкие значения критических температур соответственно 369,15; 374,15 и 377,52 К. Формы циклов данных хладагентов подобны.

Цикл с хладагентом R22 сдвинут вправо по оси абсцисс. Данный хладагент имеет самое высокое критическое давление (5,054 МПа) среди рассматриваемых веществ. Хладагенты R22 и R134a-R152a имеют высокие значения холодильного коэффициента – 6,6 и 6,06 соответственно, холодильный коэффициент R134a составляет 2,2. Циклы хладагентов R290 и R600a растянуты вдоль оси абсцисс. Степень сжатия в компрессоре – 2,81–2,84. Холодильный коэффициент R290 равен 6,79, а для R600a – 6,7. Значения коэффициента преобразования составляют 7,7 и 7,68 соответственно.

На рис. 3 представлены данные расчета параметров цикла с учетом гидравлических потерь в теплообменных аппаратах контура: конденсаторе $\Delta p_{\text{к}} = 10\text{ кПа}$ и испарителе $\Delta p_{\text{и}} = 40\text{ кПа}$ для всех рассматриваемых хладагентов.

Результаты рис. 3 согласуются с результатами, представленными на рис. 2. Однако потери давления в теплообменных аппаратах приводят к уменьшению холодильного коэффициента для всех рассматриваемых веществ в среднем приблизительно на 8–15%, а коэффициента преобразования – на 6–13% (см. рис. 5).

На рис. 4 представлены результаты расчета циклов с использованием компрессора ХГВ-14 с учетом необратимых потерь в теплообменниках и компрессоре. Полученные данные согласуются с результатами, представленными на рис. 2 и 3. Учет необратимости процессов в компрессоре, как и учет потерь давления в теплообменных аппаратах, приводит к дальнейшему уменьшению энергетических характеристик.

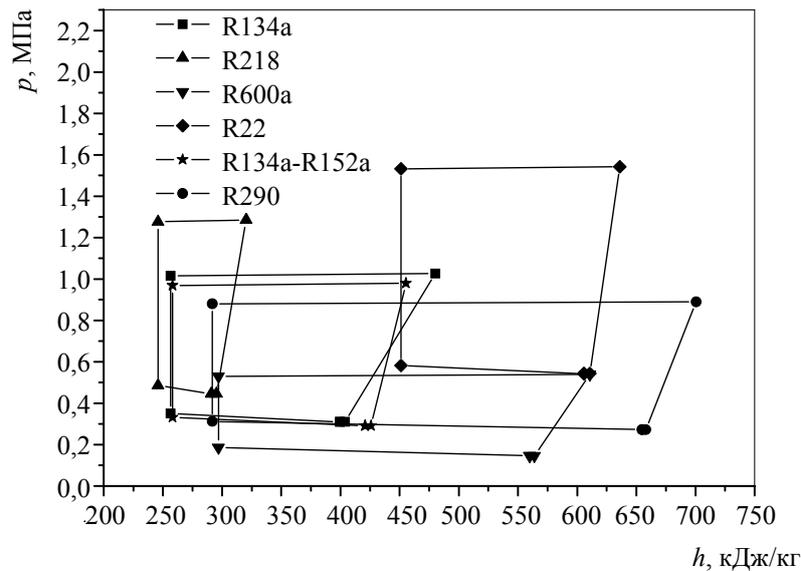


Рис. 3. Термодинамические циклы при идеальном сжатии в компрессоре и $\Delta p_n \neq 0$, $\Delta p_k \neq 0$

Для хладагентов R134a, R134a-R152a, R290, R600a и R22 наблюдается уменьшение холодильного коэффициента на ~30%, по сравнению с идеальным циклом. Для хладагента R218 холодильный коэффициент снизился на ~52%, что объясняется близостью рабочих параметров компрессора к параметрам критической точки. Коэффициент преобразования понизился на ~30% по сравнению с идеальным циклом для R134a, R134a-R152a, R290, R600a, R22, а для R218 – на 50%.

На рис. 5 представлены значения холодильного коэффициента и коэффициента преобразования для рассматриваемых хладагентов. Результаты приведены для всех трех вариантов расчета параметров цикла, упомянутых выше.

Видно, что энергетические характеристики имеют максимальное значение в случае идеального процесса сжатия в компрессоре и при от-

сутствии необратимых потерь в теплообменных аппаратах. Необратимое сжатия в компрессоре и наличие гидравлических потерь в аппаратах снижают энергетические показатели для R134a, R134a-R152a, R290, R600a, R22 в среднем на 25–30%, а для R218 – на 50% (рис. 5).

Закключение. Анализ энергетической эффективности циклов показал, что по совокупности значений холодильного коэффициента и коэффициента преобразования хладагенты R134a-R152a, R600a, R290 не уступают R22. Хладагенты R134a и R218 имеют невысокие энергетические параметры и уступают R22 в эффективности приблизительно в 2,0–2,5 раза. Исследование хладагента R218 следует продолжить в области более низких температур. Полученные данные способствуют расширению номенклатуры хладагентов, применяемых в трансформаторах тепла.

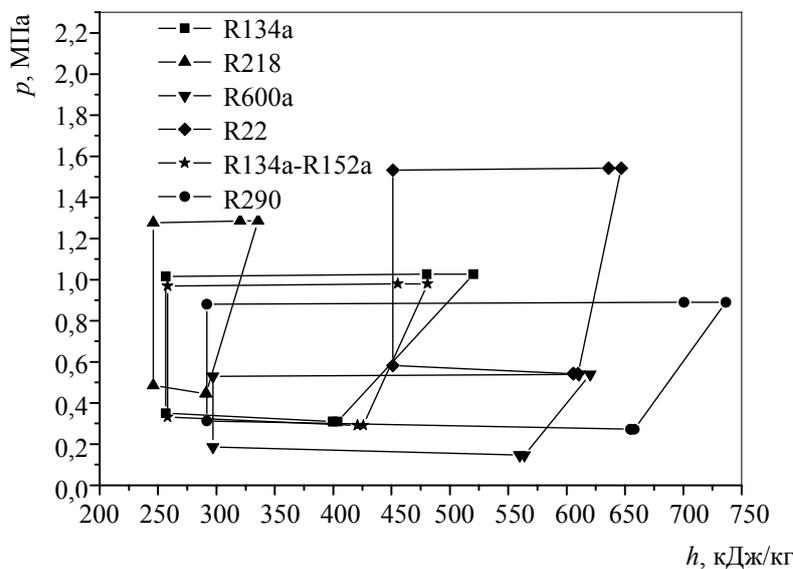


Рис. 4. Термодинамические циклы при реальном сжатии и $\Delta p_n \neq 0$, $\Delta p_k \neq 0$

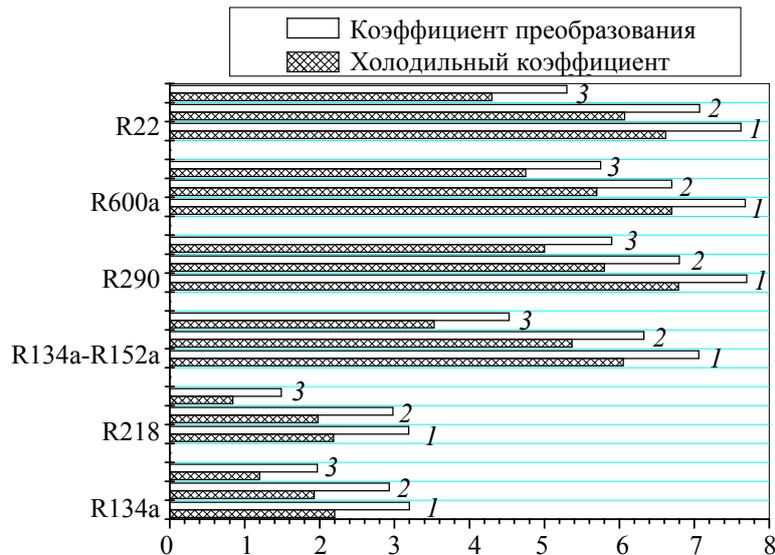


Рис. 5. Холодильный коэффициент и коэффициент преобразования:

1 – идеальное сжатие в компрессоре при $\Delta p_n = 0$ и $\Delta p_k = 0$;

2 – идеальное сжатие в компрессоре при $\Delta p_n \neq 0$ и $\Delta p_k \neq 0$;

3 – сжатие в реальном компрессоре при $\Delta p_n \neq 0$ и $\Delta p_k \neq 0$

Литература

1. Холодильные машины / А. В. Бараненко [и др.]; под общ. ред. Л. С. Тимофеевского. – СПб.: Политехника, 1997. – 992 с.

2. Калм, Дж. М. Следующее поколение хладагентов / Дж. М. Калм // Холодильная техника. – 2008. – № 8. – С. 39–42.

3. Calm, Jm. Emission and Environmental Impacts from Air Conditioning and Refrigerating Systems / Jm. Calm // International Journal of Refrigeration. – 2002. – No. 25(3). – P. 293–305.

4. Цветков, О. Б. Современные хладагенты, хладоносители и проблемы экологии / О. Б. Цветков // Холодильная техника. – 2008. – № 1. – С. 30–35.

5. Анализ высокотемпературных циклов холодильных машин / В. И. Володин [и др.] // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорган. в-в. – 2006. – Вып. XIV. – С. 143–146.

6. Володин, В. И. Комплексный подход к расчету параметров компрессионной холодильной машины / В. И. Володин // Холодильная техника. – 1998. – № 2. – С. 8–10.

7. Здитовецкая, С. В. Пакет прикладных программ для комплексного анализа компрессионных тепловых насосов / С. В. Здитовецкая, В. И. Володин // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2009. – № 5. – С. 85–90.

Поступила 28.02.2011