

**Черников В.В.,**

*старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика на  
железнодорожном транспорте»*

*Ростовский государственный университет путей сообщения*

*Россия, г. Ростов-на-Дону*

**Олешко М.А.,**

*студент*

*2 курс, магистратура, факультет «Энергетический»*

*Ростовский государственный университет путей сообщения*

*Россия, г. Ростов-на-Дону*

## **КЛАССИФИКАЦИЯ РАБОЧИХ ТЕЛ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН**

**Аннотация:** В статье рассматривается методика анализа синтетических хладагентов по средствам оценки эффективности их использования в различных задаваемых температурных диапазонах.

**Ключевые слова:** фреоны, хладоны, хладагенты, хладоносители, критерий оценки.

**Annotation:** The article deals with the method of analysis of synthetic refrigerants by means of evaluating the effectiveness of their use in various specified temperature ranges.

**Key words:** chlorofluorocarbons, halons, refrigerants, coolants, criterion of estimation.

В ходе анализа 45 синтетических хладагентов [4] был выявлен объективный критерий оценки эффективности их использования в различных задаваемых температурных диапазонах.

Этим критерием является холодильный коэффициент  $\varepsilon$  [2], безразмерная

величина, характеризующая энергетическую эффективность работы холодильной машины, равна отношению холодопроизводительности цикла к количеству энергии, затраченной на осуществление холодильного цикла

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_2}{h_3 - h_2}. \quad (1)$$

Критерием оценки эффективности работы холодильных машин является холодильный коэффициент, безразмерная величина  $\varepsilon$ , равная отношению холодопроизводительности к количеству энергии, затраченной на осуществление холодильного цикла

Несмотря на объективность такой оценки, следует отметить, что величина  $\varepsilon$  характеризует конкретный цикл холодильной машины определенного типа, в заданном диапазоне температур и с используемым хладагентом.

Учитывая возможность максимального переохлаждения жидкой фазы, а также изменение характера изоэнтропий при увеличении энтальпии газовой фазы в начале сжатия в компрессоре, предлагается определять максимальное возможное значение  $\varepsilon$  с использованием изображенного на рисунке цикла.

Эффективность использования любого другого рассматриваемого цикла с другим хладагентом в заданном интервале температур предлагается оценивать

относительной величиной  $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{max}} \Big|_{t_n, t_k}$ .

На рисунке (1) рассмотрим цикл одноступенчатой холодильной машины. Диаграмма делится на три зоны:

- Переохлажденной жидкости – слева от кривой насыщенной жидкости, где степень сухости пара  $x=0$ ;
- Парожидкостной смеси – между кривыми  $x=0$  и  $x=1$  – насыщенный пар;
- Перегретого пара – справа от линии  $x=1$ .

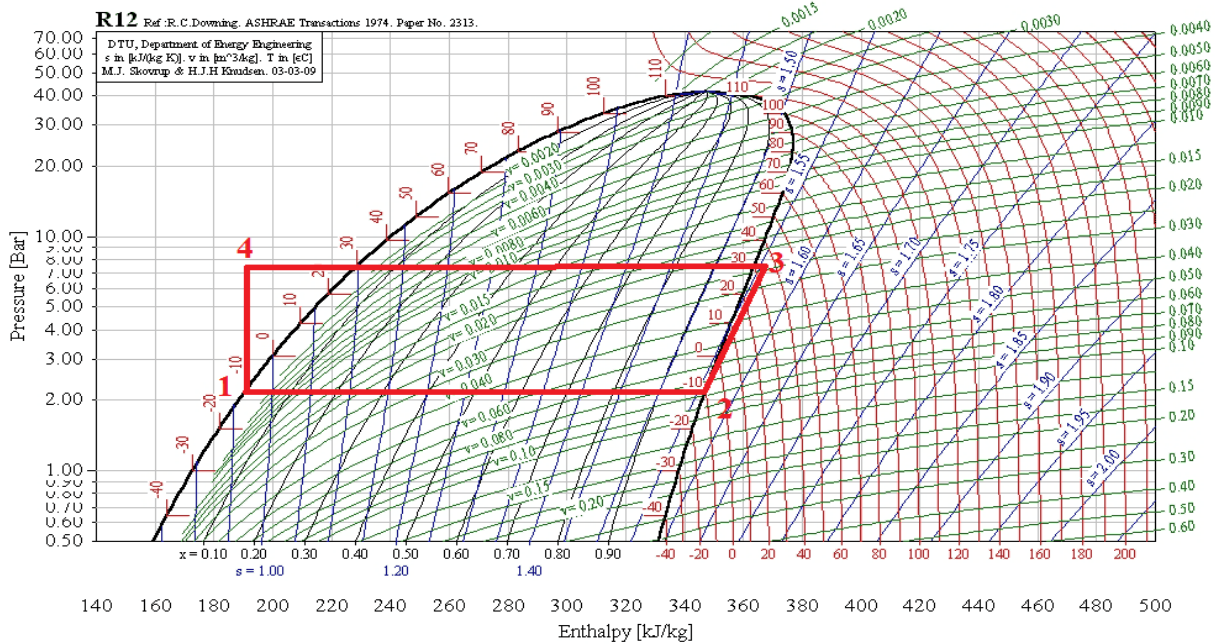


Рис. 1 - цикл одноступенчатой холодильной машины.

В рассмотренном диапазоне температур ( $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) по техническим характеристикам были выполнены расчеты для 31 синтетического хладагента: R11; R12; R21; R22; R114; R134A; R152; R290; R401A; R402A; R408A; R500; R113; R123; R401B; R401C; R402B; R406A; R407A; R407B; R407C; R409A; R410A; R410B; R502; R600; R600A; R717; R744; R1270; RC318.

Результаты расчетов холодильных коэффициентов приведены в таблице 1.

Таблица 1. - Результаты расчетов холодильных коэфф. ( $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

|            |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | R11   | R12   | R21  | R22   | R114  | R134A | R152  | R290  | R401A | R402A | R408A |
| h1-h2      | 187   | 155   | 248  | 210   | 139   | 202   | 315   | 375   | 210   | 173   | 205   |
| h3-h2      | 33    | 25    | 40   | 35    | 26    | 28    | 50    | 42    | 35    | 25    | 29    |
| $\epsilon$ | 5,67  | 6,20  | 6,20 | 6,00  | 5,35  | 7,21  | 6,30  | 8,93  | 6,00  | 6,92  | 7,07  |
|            | R500  | R113  | R123 | R401B | R401C | R402B | R406A | R407A | R407B | R407C | R409A |
| h1-h2      | 185   | 160   | 160  | 100   | 120   | 100   | 130   | 100   | 90    | 140   | 100   |
| h3-h2      | 26    | 20    | 40   | 60    | 40    | 20    | 20    | 30    | 30    | 30    | 40    |
| $\epsilon$ | 7,12  | 8,00  | 4,00 | 1,67  | 3,00  | 5,00  | 6,50  | 3,33  | 3,00  | 4,67  | 2,50  |
|            | R410A | R410B | R502 | R507  | R600A | R717  | R744  | R1270 | RC318 |       |       |
| h1-h2      | 90    | 120   | 160  | 490   | 350   | 1340  | 260   | 350   | 120   |       |       |
| h3-h2      | 30    | 30    | 20   | 80    | 50    | 200   | 40    | 50    | 20    |       |       |
| $\epsilon$ | 3,00  | 4,00  | 8,00 | 6,13  | 7,00  | 6,70  | 6,50  | 7,00  | 6,00  |       |       |

Лучший показатель холодильного коэффициента был замечен у хладагента R290(8,93) - Пропана. Так же хорошие показатели были выявлены у R113(8,0), R502(8,0). R290 - пропан характеризуется низкой стоимостью и нетоксичен. При использовании данного хладагента не возникает проблем с выбором конструкционных материалов деталей компрессора, конденсатора и испарителя. Пропан хорошо растворяется в минеральных маслах. Температура кипения при атмосферном давлении  $-42,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Преимуществом пропана является также низкая температура на выходе из компрессора. Однако, R290 как хладагент имеет два принципиальных недостатка. Во-первых, он пожароопасен, во-вторых, размеры компрессора должны быть больше, чем при использовании в холодильной машине аналогичного хладагента R22(6,0) заданной холодопроизводительности.

В рассмотренном диапазоне температур ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) по техническим характеристикам были выполнены расчеты для 33 синтетических хладагентов: R11; R12; R13; R21; R22; R23; R113; R114; R123; R134A; R152; R290; R401A; R402A; R408A; R401B; R401C; R402B; R406A; R407A; R407B; R407C; R409A; R410A; R410B; R500; R502; R600; R600A; R717; R744; R1270; RC318.

Результаты расчетов холодильных коэффициентов приведены в таблице 2.

Таблица 2. - Результаты расчетов холодильных коэфф. ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

|            |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | R11   | R12   | R21  | R22   | R114  | R134A | R152  | R290  | R401A | R402A | R408A |
| h1-h2      | 198   | 160   | 258  | 220   | 146   | 212   | 215   | 400   | 225   | 175   | 230   |
| h3-h2      | 30    | 25    | 42   | 35    | 22    | 30    | 52    | 60    | 30    | 30    | 30    |
| $\epsilon$ | 6,60  | 6,40  | 6,14 | 6,29  | 6,64  | 7,07  | 4,13  | 6,67  | 7,50  | 5,83  | 7,67  |
|            | R500  | R113  | R123 | R401B | R401C | R402B | R406A | R407A | R407B | R407C | R409A |
| h1-h2      | 195   | 180   | 180  | 100   | 100   | 100   | 140   | 110   | 90    | 110   | 110   |
| h3-h2      | 25    | 20    | 30   | 30    | 40    | 30    | 40    | 30    | 30    | 40    | 40    |
| $\epsilon$ | 7,80  | 9,00  | 6,00 | 3,33  | 2,50  | 3,33  | 3,50  | 3,67  | 3,00  | 2,75  | 2,75  |
|            | R410A | R410B | R502 | R507  | R600A | R717  | R744  | R1270 | RC318 | R13   | R23   |
| h1-h2      | 110   | 110   | 160  | 170   | 375   | 1300  | 375   | 375   | 120   | 100   | 170   |
| h3-h2      | 40    | 40    | 40   | 40    | 50    | 300   | 75    | 75    | 20    | 40    | 30    |
| $\epsilon$ | 2,75  | 2,75  | 4,00 | 4,25  | 7,50  | 4,33  | 5,00  | 5,00  | 6,00  | 2,50  | 5,67  |

Лучший показатель холодильного коэффициента был замечен у хладагента R113(9,0) - Трифтортрихлорэтана. Так же хорошие показатели были выявлены у R500(7,8), R408A(7,67). R113 – трифтортрихлорэтан – негорючее,

невзрывоопасное вещество. По степени воздействия на организм относится к веществам 4-ого класса опасности.

В рассмотренном диапазоне температур ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) по техническим характеристикам были выполнены расчеты для 24 синтетических хладагентов: R11; R12; R21; R22; R114; R134a; R152; R290; R401A; R402A; R408A; R401B; R402B; R407A; R407B; R407C; R409A; R410A; R410B; R500; R502; R600A; R717; R1270.

Результаты расчетов холодильных коэффициентов приведены в таблице 3.

Таблица 3. - Результаты расчетов холодильных коэфф. ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

|               |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               | R11  | R12   | R21   | R22   | R114  | R134A | R152  | R290  | R401A | R402A | R408A |
| h1-h2         | 205  | 175   | 265   | 230   | 150   | 225   | 325   | 428   | 235   | 190   | 225   |
| h3-h2         | 50   | 43    | 75    | 55    | 45    | 60    | 88    | 115   | 65    | 50    | 75    |
| $\varepsilon$ | 4,10 | 4,07  | 3,53  | 4,18  | 3,33  | 3,75  | 3,69  | 3,72  | 3,62  | 3,80  | 3,00  |
|               | R500 | R401B | R402B | R407A | R407B | R407C | R409A | R410A | R410B | R502  | R600A |
| h1-h2         | 202  | 227   | 205   | 225   | 190   | 142   | 217   | 257   | 255   | 170   | 390   |
| h3-h2         | 55   | 68    | 50    | 58    | 50    | 65    | 75    | 75    | 65    | 43    | 100   |
| $\varepsilon$ | 3,67 | 3,34  | 4,10  | 3,88  | 3,80  | 2,18  | 2,89  | 3,43  | 3,92  | 3,95  | 3,90  |
|               | R717 | R1270 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| h1-h2         | 1365 | 430   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| h3-h2         | 450  | 115   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $\varepsilon$ | 3,03 | 3,74  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Лучший показатель холодильного коэффициента был замечен у хладагента R22(4,18) - Дифторхлорметан. Так же хорошие показатели были выявлены у R11(4,1), R402B(4,1). R22 – дифторхлорметан – негорючее, невзрывоопасное вещество. Бесцветный газ со слабым запахом хлороформа, более ядовит чем R12. Широко используется в качестве хладагента.

Дальнейший выбор оптимального для различных нужд хладагента должен строиться на технико-экономических и экологических основах.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. **Науменко С.Н.** Обеспечение экологичности и эффективности изотермических транспортных средств: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». – М.: Интекст, 2010. – 160 с.

2. **Кириллин В. А. и др.** Техническая термодинамика: Учебник для вузов/ В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 416 с, ил.
3. **Морозюк Т.В.** Теория холодильных машин и тепловых насосов. – Одесса: Студия «Негоциант», 2006. – 712 с. (с приложением).
4. **Термодинамические диаграммы  $i$  -lgP для хладагентов.** М.: АВИСАНКО, 2003. – 50 с.