

# Рабочие вещества ХОЛОДИЛЬНЫХ машин и ТЕПЛОВЫХ насосов

НИВИ

Э

Тема:

ТЕПЛОВЫЕ

# ВОПРОСЫ ЛЕКЦИИ

- 1. Классификация рабочих веществ
- 2. Система обозначений хладагенов
- 3. Термодинамические характеристики хладагенов
- 4. Взаимодействие хладагентов с окружающей средой

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Рабочее вещество, посредством которого

в холодильной машине (ХМ)

осуществля-

ется термодинамический цикл,

называют **хладагентом**

хлазодильным агентом или

- Влияние на показатели работы холодильных машин и тепловых насосов оказывают следующие свойства хладагентов:
  - **Термодинамические, теплофизические;**
    - **Токсичность, пожаробезопасность;**
  - **Взаимодействие с конструкционными материалами и смазочными маслами.**

# Классификация рабочих веществ

Виды рабочих веществ и их условные обозначения

настоящее  
время  
применяю  
т  
порядка  
20

хладагент  
ов

ВОДЫ

Наиболее доступными хладагентами  
являются вода и воздух

Причины ограничения применения

воздуха

-низкое давление водяного пара ( $0,796 \text{ кПа}$  при  $t=2\text{C}^\circ$ )  
-большие удельные объемы пара при низких  $t$ -рах ( $226 \text{ м}^3/\text{кг}$  при  $t=0\text{C}^\circ$ )  
невозможность осуществления термодинамического цикла ХМ при отрицательных  $t$ -рах .

- малая теплоемкость (около  $1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ), вследствие чего в ХМ должно циркулировать большое количество-воздуха.

# Аммиак

Применяют в ХМ средней и крупной производительности для получения средних температур охлаждения.

## Недостатки:

- реагирует с большинством цветных металлов;
- взрывоопасен;
- пожароопасен;
- токсичен.

## Достоинства:

- хорошие термодинамические свойства;
- высокая объемная холодопроизводительность;
- относительно невысокие давления конденсации;
- давления кипения близки к атмосферному.

**Фреоны** - фторхлорбромпроизводные углеводородов метана, этана, пропана и бутана.

**C<sub>t</sub>H<sub>n</sub>F<sub>p</sub>Cl<sub>q</sub>Br<sub>r</sub>** *Эт. Финт. ере. но!*

Фреон-торговая марка, принадлежащая

американской фирме «Дюпон»,  
где *t, n, p, q, r* - числа атомов химических элементов,  
которая в 1928 году входящих в состав данного фреона.

впервые Иногда вместо термина «фреон» используют термин «хладон».

- Возможны 15 типов соединений галогенпроизводных метана, 55 - этана, 332 - пропана, более 1000 - бутана

# Система обозначений хладонов

Международный стандарт МС ИСО 817-74

Система состоит из **наименования** -  
буква **R** или слово *refrigerant*  
(хладагент) -  
и **цифры**, связанной со структурой  
молекулы хладагента.

# Хладагенты неорганического происхождения

У хладагентов неорганического происхождения цифры соответствуют их *молекулярной массе, увеличенной на 700.*

## Например:

вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ),  $M=18$ ; -R718

аммиак ( $\text{NH}_3$ ) - R717

двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ) - R744



# Хладоны - производные метана

Соединения без атомов водорода записывают цифрой 1, к которой подставляют цифру, равную числу атомов фтора.

**Например:**



При наличии атомов водорода к первой цифре прибавляют число, равное числу незамещенных атомов водорода.

**Например:**



При наличии в молекуле хладона атомов брома к числовому обозначению добавляют букву В и цифру, соответствующую числу атомов брома.

**Например:**



# Производные этана, пропана, бутана

Перед цифрой, определяющей **число атомов фтора**, для производных **этана** ставится число **11**, пропана -**21**, бутана -**31**

**Например:**



При наличии атомов водорода **ко второй цифре** прибавляют число, равное числу **незамещенных атомов водорода**.

**Например:**



Если в молекуле хладона 10 и более атомов фтора, последние две цифры отделяются от предыдущей чертой.

**Например:**



# Изомеры

Начиная с галогенпроизводных этана появляются **изомеры**.

Они имеют **одинаковое** цифровое обозначение и различаются строчной буквой в конце.

**Симметричный изомер обозначается только цифрами.**

Указанием асимметрии являются строчные буквы *a*, *b*, *c* и т.д.

**Например:**



# Азеотропная смесь

- Наряду с чистыми фреонами широко применяют и их смеси

- **Азеотропная смесь** — смесь двух или более жидкостей, состав которой не меняется при **кипении**.
- Например, азеотропная смесь воды и этилового спирта содержит смесь из 95,57%  $C_2H_5OH$  и кипит при температуре  $78,15^{\circ}C$ .
- Этим объясняется принятая промышленная концентрация этилового спирта 96%: это азеотропная смесь и дальнейшей перегонкой её нельзя разделить на фракции. Температура кипения для азеотропной смеси может быть как меньше, так и больше температуры кипения компонента.

# Неазеотропная смесь

- Наряду с чистыми фреонами широко применяют и их смеси

- **Азеотропными** называются смеси, состоящие из двух и более компонентов (фреонов), которые кипят и конденсируются при постоянной температуре как однородные вещества.
- **Неазеотропные смеси** характеризуются разделением равновесных концентраций компонентов в жидкой и газовой фазах. Кипение и конденсация неазеотропных смесей происходит при переменных температурах.
- Их применяют для увеличения холодопроизводительности, снижения температур конца сжатия, расширения диапазона применения по температурам кипения и конденсации.

# Неазеотропные смеси хладагентов

В обозначении указываются виды хладагентов, входящих в смесь, и их процентное содержание в смеси.

**Например:** R22/R12 (90/10) представляет собой смесь, состоящую из 90% R22 и 10% R12 .

В обозначении хладагенты располагаются в порядке повышения нормальных температур кипения.

# Рабочие растворы абсорбционных ХМ

Не имеют условных обозначений.

Употребляют либо их **названия**, либо химические **формулы** их компонентов.

**Например:**

рабочий раствор -  
водный раствор бромистого лития,  
или  $\text{H}_2\text{O} - \text{LiBr}$ ;  
раствор метанол - бромистый литий,  
или  $\text{CH}_3\text{OH} - \text{LiBr}$ .

# Хладагенты классифицируют по

давлениям  
насыщенного  
пара

нормальным  
температурам  
кипения

**Классификации по давлениям  
и температурам взаимосвязаны.**

хладагенты **высокого** давления

**2 - 7 МПа при  $t=30\text{ }^{\circ}\text{C}$**   
**( R13, R503, R744)**

**низкотемпературные**

$$t_{\text{H}} < -60\text{ }^{\circ}\text{C}$$

хладагенты **среднего** давления

**0,3 - 2 МПа при  $t=30\text{ }^{\circ}\text{C}$**   
**( R717, R12, R22, R134a)**

**среднетемпературные**

$$-60\text{ }^{\circ}\text{C} < t_{\text{H}} < -10\text{ }^{\circ}\text{C}$$

хладагенты **низкого** давления

**$< 0,3$  МПа при  $t=30\text{ }^{\circ}\text{C}$**   
**( R11, R718, R113)**

**высокотемпературные**

$$t_{\text{H}} > -10\text{ }^{\circ}\text{C}$$

**Хладагенты Высокого давления  
являются низкотемпературны-  
ми рабочими веществами, низ-  
кого давления - высокотемпера-  
турными.**



# Термодинамические характеристики рабочих веществ парокompрессорных холодильных машин

## Рабочие вещества низкого давления

Рабочее Вещество	Химич. формула	Молярная масса $M$ , кг/кмоль	Нормальная температура кипения $t_n$ , °C	Критическая температура $t_{кр}$ , °C
<i>R718</i>	<i>H<sub>2</sub>O</i>	<i>18,016</i>	<i>100,0</i>	<i>374,15</i>
<i>R21</i>	<i>CHFCl<sub>2</sub></i>	<i>102,92</i>	<i>8,73</i>	<i>178,50</i>
<i>R123</i>	<i>CF<sub>3</sub>-CHCl<sub>2</sub></i>	<i>152,9</i>	<i>27,9</i>	<i>183,8</i>
<i>R142</i>	<i>C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>F<sub>2</sub>Cl</i>	<i>100,49</i>	<i>-9,20</i>	<i>136,45</i>
<i>R318</i>	<i>C<sub>4</sub>F<sub>8</sub></i>	<i>200,04</i>	<i>-5,97</i>	<i>115,32</i>

# Термодинамические характеристики рабочих веществ парокomppressorных холодильных машин

## Рабочие вещества низкого давления *продолжение*

Рабочее Вещество	Критическое давление $p_{кр}$ , МПа	Удельная теплота парообразования при 98 кПа $r$ , кДж/кг	Газовая постоянная $R$ , Дж/(кг·К)	Показатель адиабаты $k$
<i>R718</i>	<i>22,11</i>	<i>2259,72</i>	<i>461,51</i>	<i>1,330</i>
<i>R21</i>	<i>5,173</i>	<i>239,0</i>	<i>80,78</i>	<i>1,160</i>
<i>R123</i>	<i>3,674</i>	<i>167,6</i>	<i>54,368</i>	<i>---</i>
<i>R142</i>	<i>4,138</i>	<i>223,5</i>	<i>82,74</i>	<i>1,135</i>
<i>R318</i>	<i>2,780</i>	<i>112,0</i>	<i>41,56</i>	<i>---</i>

# Термодинамические характеристики рабочих веществ парокompрессорных холодильных машин

## Рабочие вещества среднего давления

Рабочее Вещество	Химич. формула	Молярная масса $M$ , кг/кмоль	Нормальная температура кипения $t_n$ , °C	Критическая температура $t_{кр}$ , °C
<i>R12</i>	<i>CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub></i>	<i>120,91</i>	<i>-29,74</i>	<i>112,00</i>
<i>R22</i>	<i>CHF<sub>2</sub>Cl</i>	<i>86,47</i>	<i>-40,81</i>	<i>96,13</i>
<i>R32</i>	<i>CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub></i>	<i>52,02</i>	<i>-51,7</i>	<i>78,4</i>
<i>R125</i>	<i>CHF<sub>2</sub>-CF<sub>3</sub></i>	<i>120,0</i>	<i>-49,3</i>	<i>66,25</i>
<i>R134a</i>	<i>CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>F</i>	<i>102,03</i>	<i>-26,80</i>	<i>101,10</i>
<i>R143</i>	<i>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>2</sub></i>	<i>84,04</i>	<i>-47,58</i>	<i>73,10</i>
<i>R152a</i>	<i>CF<sub>2</sub>H-CH<sub>3</sub></i>	<i>66,05</i>	<i>-24,15</i>	<i>113,3</i>
<i>R290</i>	<i>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></i>	<i>44,10</i>	<i>-41,97</i>	<i>96,81</i>
<i>R717</i>	<i>NH<sub>3</sub></i>	<i>17,03</i>	<i>-33,35</i>	<i>132,40</i>

# Термодинамические характеристики рабочих веществ парокomppressorных холодильных машин

## Рабочие вещества среднего давления

продолжение

Рабочее Вещество	Критическое давление $p_{кр}$ , МПа	Удельная теплота парообразования при 98 кПа $r$ , кДж/кг	Газовая постоянная $R$ , Дж/(кг·К)	Показатель адиабаты $k$
<i>R12</i>	<i>4,119</i>	<i>166,0</i>	<i>68,76</i>	<i>1,140</i>
<i>R22</i>	<i>4,990</i>	<i>229,0</i>	<i>96,16</i>	<i>1,160</i>
<i>R32</i>	<i>5,830</i>	<i>391,9</i>	<i>159,8</i>	<i>---</i>
<i>R125</i>	<i>3,631</i>	<i>161,9</i>	<i>69,275</i>	<i>---</i>
<i>R134a</i>	<i>4,067</i>	<i>217,8</i>	<i>81,49</i>	<i>---</i>
<i>R143</i>	<i>4,110</i>	<i>226,0</i>	<i>98,93</i>	<i>---</i>
<i>R152a</i>	<i>4,520</i>	<i>331,9</i>	<i>125,9</i>	<i>---</i>
<i>R290</i>	<i>4,269</i>	<i>419,0</i>	<i>88,55</i>	<i>1,130</i>
<i>R717</i>	<i>11,397</i>	<i>1360,0</i>	<i>488,16</i>	<i>1,300</i>

# Термодинамические характеристики рабочих веществ парокomppressorных холодильных машин

## Рабочие вещества высокого давления

Рабочее Вещество	Химич. формула	Молярная масса $M$ , кг/кмоль	Нормальная температура кипения $t_n$ , °C	Критическая температура $t_{кр}$ , °C
<i>R13</i>	<i>CF<sub>3</sub>Cl</i>	<i>104,46</i>	<i>-81,59</i>	<i>28,75</i>
<i>R14</i>	<i>CF<sub>4</sub></i>	<i>88,0</i>	<i>-128,02</i>	<i>-45,65</i>
<i>R23</i>	<i>CHF<sub>3</sub></i>	<i>70,01</i>	<i>-82,14</i>	<i>26,30</i>
<i>R170</i>	<i>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></i>	<i>30,07</i>	<i>-88,53</i>	<i>32,27</i>
<i>R150</i>	<i>CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub></i>	<i>28,05</i>	<i>-103,74</i>	<i>9,50</i>
<i>R744</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>44,10</i>	<i>-78,50</i>	<i>31,20</i>
<i>воздух</i>	<i>---</i>	<i>28,95</i>	<i>-192...-195</i>	<i>-140,70</i>

# Термодинамические характеристики рабочих веществ парокomppressorных холодильных машин

## Рабочие вещества высокого давления

*продолжение*

Рабочее Вещество	Критическое давление $p_{кр}$ , МПа	Удельная теплота парообразования при 98 кПа $r$ , кДж/кг	Газовая постоянная $R$ , Дж/(кг·К)	Показатель адиабаты $k$
<i>R13</i>	<i>3,868</i>	<i>149,7</i>	<i>79,59</i>	<i>---</i>
<i>R14</i>	<i>3,745</i>	<i>136,3</i>	<i>94,48</i>	<i>1,220</i>
<i>R23</i>	<i>4,811</i>	<i>239,5</i>	<i>118,76</i>	<i>---</i>
<i>R170</i>	<i>4,934</i>	<i>470,0</i>	<i>276,51</i>	<i>1,250</i>
<i>R150</i>	<i>5,056</i>	<i>465,57</i>	<i>296,37</i>	<i>---</i>
<i>R744</i>	<i>7,383</i>	<i>573,13*</i>	<i>188,54</i>	<i>1,300</i>
<i>воздух</i>	<i>3,756</i>	<i>196,80</i>	<i>288,0</i>	<i>1,400</i>

**\* - теплота сублимации**

# **4. Взаимодействие хладагентов с окружающей средой**

# Химическая стабильность фреонов

Химическая стабильность фреонов столь высока, что молекулы этих веществ не разрушаются в тропосфере (до 16 км) и достигают стратосферы (45 км).

Под действием ультрафиолета происходит распад молекул фреонов с выделением атомов хлора.

ХЛОР вступает в реакцию с озоном с образованием

окислов и кислорода:  $\text{Cl} + \text{O}_3 \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2$



# Химическая стабильность фреонов

## *Характеризуется:*

1. Температурой разложения
2. Воспламеняемостью;
3. Взрывоопасностью.

**t** разложения фреонов применяемых в технике значительно выше **t<sub>t</sub>**, при которых работают ТН и ХМ (холод.маш).

**Термическая устойчивость различна: АММИАК при 250 °С расп.на N и H.  
CO<sub>2</sub> -при 1500 °С**

# Токсичность хладагентов

**По степени токсичности хладагенты делятся на 6 классов.**

**Классификация основана на опытном изучении воздействия паров фреонов на подопытных животных.**

