

## Глава 5. Фреоны

R12  
R13  
R22  
R23  
R32  
R125  
R134a  
R142b  
R143a  
R152a

Фреоны - техническое наименование группы стойких газообразных или жидких фторорганических или фторхлорорганических соединений, иногда содержащих также атомы брома. Эти галогенпроизводные углеводородов часто применяются как рабочие вещества холодильных машин и потому иногда фигурируют под названием хладагенты или хладоны. Фреоны растворимы в органических растворителях и нерастворимы в воде. Считалось, что они негорючие, взрывобезопасны и химически инертны, но, по-видимому, это справедливо для фреонов, не содержащих атомов водорода.

Обозначения фреонов включают обычно трехзначное число, в котором первая цифра - число атомов углерода минус единица, вторая цифра - число атомов водорода плюс единица, третья - число атомов фтора. Если первая цифра равна нулю, то ее опускают. Число атомов хлора в молекуле фреона равно разности числа атомов водорода в чистом углеводороде ( $2n+2$  для насыщенных ациклических,  $2n$  для ненасыщенных ациклических и ненасыщенных алициклических углеводородов,  $n$  - число атомов углерода) и суммы чисел атомов водорода и фтора. Если в молекуле содержатся атомы брома, то предполагается, что они замещают атомы хлора. Присутствие атомов брома указывается буквой В, за которой следует цифра, показывающая число атомов брома. Название фреона циклического строения включает букву С. Обозначение смеси фреонов отражает название компонентов и их массовые проценты. Например, смесь, состоящая из 90 % R22 и 10 % R12 обозначается R22/R12(90/10). При обозначении смесей фреоны располагаются в порядке повышения нормальной температуры кипения. Азеотропные смеси совершенно условно определяются цифрами 500, 501 и т.д. В настоящее время при обозначении фреонов в литературе иногда вместо R (refrigerant) для хлорфторуглеродов применяется выражение HCFC, а для фторуглеродов - HFC.

Массовое применение хлор- и бромсодержащих фреонов по мнению большинства ученых угрожает существованию озонового слоя, обеспечивающего определенные условия жизни на Земле. Коэффициент озonoактивности для различных фреонов изменяется в достаточно широком диапазоне. Опасными в этом отношении являются фреоны, у которых все атомы водорода замещены

атомами хлора, фтора и брома, чем определяется их химическая стабильность, имеющая, однако, несомненное достоинство - отсутствие токсического воздействия на живые организмы. Меньшее озоноразрушающее действие оказывают фреоны, имеющие в составе молекулы атомы водорода. Озоноопасные хлорфторуглеводороды определяются как «регулируемые вещества», что предполагает контроль и поддержание на определенном уровне их производства и потребления в каждой стране.

Поступая в атмосферу у поверхности Земли в условиях турбулентного перемешивания и упорядоченных вертикальных потоков, эти вещества переносятся в стратосферу. Там они под действием УФ излучения подвергаются фотохимическому разложению с выделением активных атомов хлора, которые участвуя в хлорном цикле, разрушают озон. Тропосферная долговечность фреонов существенно снижается при наличии в их молекуле атомов водорода. Поэтому озоноразрушительный эффект частично замещенных хлорфторуглеводородов составляет всего 2-10% от эффекта полностью замещенных хлорфторуглеводородов. Однако, при этом повышается их взрывоопасность и горючесть, а также может иметь место токсическое воздействие этих фреонов на живые организмы. Кроме того необходимо учитывать вклад фреонов и в парниковый эффект. Оценка экологичности и выбор предпочтительного вещества представляет собой задачу принятия решений в условиях противоречивых целей: снижение глобальной экологической опасности (разрушение озонового слоя, парниковый эффект) может сопровождаться ростом отрицательного воздействия на локальном уровне.

В соответствии с Монреальским протоколом по веществам, разрушающим озоновый слой, фреоны можно разделить на три группы:

Группа А. Озоноопасные фреоны, вызывающие истощение озонового слоя:

R11 ( $\text{CFCl}_3$ ), R12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ), R13 ( $\text{CF}_3\text{Cl}$ ), R111 ( $\text{C}_2\text{FCl}_5$ ), R112 ( $\text{C}_2\text{F}_2\text{Cl}_4$ ), R113 ( $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$ ), R114 ( $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$ ), R115 ( $\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$ ), R12B1 ( $\text{CF}_2\text{ClBr}$ ), R12B2 ( $\text{CF}_2\text{Br}_2$ ), R113B2 ( $\text{C}_2\text{F}_3\text{ClBr}_2$ ), R13B1 ( $\text{CF}_3\text{Br}$ ), R21B1 ( $\text{CHFClBr}$ ), R22B1 ( $\text{CHF}_2\text{Br}$ ), R114B2 ( $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$ ), а также азеотропные смеси R500 - R506.

Группа В. Регулируемые фреоны, вызывают слабое истощение озонового слоя:

R21 ( $\text{CHFCl}_2$ ), R22 ( $\text{CHF}_2\text{Cl}$ ), R31 ( $\text{CH}_2\text{FCl}$ ), R121 ( $\text{C}_2\text{HFCl}_4$ ), R122 ( $\text{C}_2\text{HF}_2\text{Cl}_3$ ), R123 ( $\text{C}_2\text{HF}_3\text{Cl}_2$ ), R123B1 ( $\text{C}_2\text{HF}_3\text{ClBr}$ ), R124 ( $\text{C}_2\text{HF}_4\text{Cl}$ ), R131 ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{FCl}_3$ ), R132 ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_2\text{Cl}_2$ ), R133 ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_3\text{Cl}$ ), R141 ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{FCl}_2$ ), R142 ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$ ), R151 ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{FCl}$ ), R221 ( $\text{C}_3\text{HFCl}_6$ ), R222 ( $\text{C}_3\text{HF}_2\text{Cl}_5$ ), R223 ( $\text{C}_3\text{HF}_3\text{Cl}_4$ ), R224 ( $\text{C}_3\text{HF}_4\text{Cl}_3$ ), R225 ( $\text{C}_3\text{HF}_5\text{Cl}_2$ ), R231 ( $\text{C}_3\text{H}_2\text{FCl}_5$ ), R232 ( $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_2\text{Cl}_4$ ), R233 ( $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$ ), R234 ( $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$ ), R235 ( $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_5\text{Cl}$ ), R241 ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{FCl}_4$ ), R242 ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}_3$ ), R243 ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{F}_3\text{Cl}_2$ ), R244 ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{F}_4\text{Cl}$ ), R251 ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{FCl}_3$ ), R252 ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{F}_2\text{Cl}_2$ ), R271 ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{FCl}$ ).

Группа С. Озонобезопасные фреоны:

R23 (CHF<sub>3</sub>), R32 (CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>), R41 (CH<sub>3</sub>F), R125 (C<sub>2</sub>HF<sub>5</sub>), R134 (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub>), R143 (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>F<sub>3</sub>), R152 (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>F<sub>2</sub>), R161 (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>F), R227 (C<sub>3</sub>HF<sub>7</sub>), R236 (C<sub>3</sub>H<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), R245 (C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>F<sub>5</sub>), R254 (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>F<sub>4</sub>), R14 (CF<sub>4</sub>), R116 (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), R218 (C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>).

Ниже приведены основные теплофизические данные для широко используемых в России фреонов: R12, R13 (группа А), R22, R142b (группа В), R23, R32, R125, R134a, R143a, R152a (группа С). Помимо обычных теплофизических свойств, для каждого фреона дана краткая сводка его физико-химических характеристик. Приводятся также экологические параметры: ODP - потенциал истощения озонового слоя относительно фтортрихлорметана, HGWP - потенциал глобального потепления относительно фтортрихлорметана, GWP - потенциал глобального потепления относительно диоксида углерода. Параметр ODP есть способность разрушать озон в относительных единицах при условии, что для фреона R11 эта способность принята равной 1. Считаются высокими значения ODP от 0.05 до 1.08. Потенциал глобального потепления GWP принимается за 1 для диоксида углерода при некотором допущенном временном рубеже: 20, 10 или 500 лет. Значения GWP составляют 90 - 8000 для хладагентов, имеющих ту же единичную массу, что и CO<sub>2</sub> и принятый временной рубеж 100 лет. Среднее значение по всем фреонам оценивается как 2100. GWP для R12 равняется 4500 (при временном рубеже 500 лет) и 7200 (при временном рубеже 100 лет).

Параметр HGWP является потенциалом глобального потепления относительно фтортрихлорметана (R11). Значение HGWP для R11 равно 1. Значения HGWP составляют 0.01 - 10 для хладагентов, имеющих ту же единичную массу, что и R11. Значения этих параметров, принятые ниже, соответствуют данным публикаций:

(1) Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. ЮНЕП: Программа ООН по окружающей среде. Монреаль. 1987; (2) Руководство по Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой. :-3-е изд. Секретариат по озону. 1993.

Справочные данные для широкого круга фреонов можно найти в справочниках [5.1 - 7]. Методы оценки теплофизических свойств фреонов в отсутствие экспериментальных данных изложены в руководстве [5.5].

Таблицы термодинамических свойств для фреонов R125, R134a, R142b, R143a и R152a рассчитаны специально для данного справочника на кафедре инженерной теплофизики МЭИ (доц., к.т.н. Устюжанин Е.Е.). Для расчета использовалось уравнение состояния Карнахана - Старлинга - Де Сантиса (CSD), которое имеет вид:

$$z = \frac{1 + y + y^2 - y^3}{1 - y^3} - \frac{a}{RT(v + b)}, y = \frac{b}{4v}$$

Это уравнение относится к так называемым кубическим уравнениям состояния (типа Ван-дер-Ваальса, Редлиха-Квонга и др.), но обладает рядом

существенных преимуществ. В области малых плотностей оно удовлетворительно передает температурную зависимость второго вириального коэффициента. В области высоких плотностей (в жидкости) оно опирается на строгую модель твердых сфер.

Уравнение состояния CSD также удовлетворительно описывает смеси, причем смесевые коэффициенты уравнения почти не зависят от концентрации смеси. Температурные функции  $a(T)$  и  $b(T)$  уравнения вычислены с помощью программ, которые базируются на нелинейном методе аппроксимации опытных данных. Помимо этого в расчете использовались данные по идеально-газовой теплоемкости каждого из фреонов в виде температурного полинома  $C_p(T) = C_0 + C_1T + C_2T^2 + C_3T^3$ . Для одного из фреонов R134a, рассчитанные таблицы аттестованы в ГСССД как стандартные справочные данные [5.8]. Свойства на линии насыщения в этих таблицах охватывают диапазон температур 180 - 370 К, свойства в однофазной области вычислены в диапазонах температуры 180 - 400 К и давления 0,1 - 30 МПа.

### **Фреон 12 ( дифтордихлорметан ), $CF_2Cl_2$ , хладон-12, R12, HFC12.**

Бесцветный негорючий газ. При высокой концентрации обладает наркотическим действием. При соприкосновении с пламенем и горячими поверхностями разлагается с образованием высокотоксичных продуктов.

Используется в качестве хладагента в холодильных установках и агрегатах промышленного и бытового назначения и в качестве пропеллента для аэрозольных упаковок. ODP=0.9; HGWP=3.1; GWP=8500.

Молекулярная масса 120.913. Температура плавления  $-155.95$  °C (117.2 К). Температура кипения  $-29.74$  °C (243.41 К). Критическая температура  $112.0$  °C (385.15 К), критическое давление 4.119 МПа, критическая плотность  $579.1$  кг/м<sup>3</sup>. Теплота испарения в точке кипения 20.01 кДж/моль.

Обзоры опубликованных данных по термодинамическим свойствам фреона 12 приведены в справочнике Максимова и др. по фторорганическим продуктам [5.1] и в справочниках по фреонам: Томановской и Колотовой [5.2] и Алтунина и др. (2-й том - [5.4].)

Приведенные ниже таблицы термодинамических свойств на линии насыщения (таблица 5.1) и в однофазной области (таблица 5.2) основаны на данных, приведенных в справочнике Алтунина и др. [5.4] и монографии Перельштейна и Парушина [5.5]. Переносные свойства на линии насыщения (таблица 5.3) приняты по данным Максимова и др. [5.1], а в однофазной области (таблица 5.4) по данным Чайковского и Геллера [5.6].

Таблица 5.1. Термодинамические свойства фреона 12 на линии насыщения

Таблица 5.2. Термодинамические свойства фреона 12 в однофазной области

Таблица 5.3. Переносные свойства фреона 12 на линии насыщения

Таблица 5.4. Переносные свойства фреона 12 в однофазной области

### **Фреон 13 ( трифторхлорметан ), $\text{CF}_3\text{Cl}$ , хладон-13, R13, HFC13.**

Бесцветный негорючий газ. При соприкосновении с пламенем и горячими поверхностями разлагается с образованием высокотоксичных продуктов.

Используется в качестве хладагента в технике средних и низких температур. ODP=1; HGWP=13; GWP=11700. Молекулярная масса 104.459. Температура плавления  $-181.0^\circ\text{C}$  (92.15 К). Температура кипения  $-81.5^\circ\text{C}$  (191.65 К). Критическая температура  $28.8^\circ\text{C}$  (301.95 К), критическое давление 3.878 МПа, критическая плотность  $582.4 \text{ кг/м}^3$ . Теплота испарения в точке кипения  $15.43 \text{ кДж/моль}$ .

Обзоры опубликованных данных по теплофизическим свойствам фреона 13 приведены в справочнике Максимова и др. по фторорганическим продуктам [5.1] и во втором томе справочника Алтунина и др. по свойствам фреонов [5.4]. Приведенные ниже таблицы термодинамических и переносных свойств (таблицы 5.5 - 5.8) приняты по данным [5.4].

Таблица 5.5. Термодинамические свойства фреона 13 на линии насыщения

Таблица 5.6. Термодинамические свойства фреона 13 в однофазной области

Таблица 5.7. Переносные свойства фреона 13 на линии насыщения

Таблица 5.8. Переносные свойства фреона 13 в однофазной области

### **Фреон 22 ( дифторхлорметан ), $\text{CHF}_2\text{Cl}$ , хладон-22, R22, HCFC22.**

Бесцветный негорючий газ. Растворим в органических растворителях и плохо растворим в воде. При высокой концентрации оказывает удушающее действие. При соприкосновении с пламенем и горячими поверхностями разлагается с образованием высокотоксичных продуктов. Применяется в качестве хладагента для получения температур до  $-40^\circ\text{C}$  в первой ступени или для получения температур до  $-60^\circ\text{C}$  во второй ступени холодильных машин. ODP=0.05; HGWP=0.34; GWP=1700. Молекулярная масса 86.468. Температура плавления  $-157.4^\circ\text{C}$  (115.75 К). Температура кипения  $-40.85^\circ\text{C}$  (232.3 К). Критическая температура  $96.13^\circ\text{C}$  (369.28 К), критическое давление 4.986 МПа, критическая плотность  $512.8 \text{ кг/м}^3$ . Теплота испарения в точке кипения  $20.19 \text{ кДж/моль}$ . Опубликовано большое количество экспериментальных данных и расчетно-методических исследований теплофизических свойств фреона 22. Наиболее полные обзоры приведены в справочнике Максимова и др. по фторорганическим продуктам [5.1], 1-м томе справочника Алтунина [5.3] и монографии Клецкого [5.7]. Приведенные ниже таблицы теплофизических свойств (таблицы 5.9 - 5.12) приняты по данным справочника [5.3].

Таблица 5.9. Термодинамические свойства фреона 22 на линии насыщения

Таблица 5.10. Термодинамические свойства фреона 22 в однофазной области

Таблица 5. 11. Переносные свойства фреона 22 на линии насыщения

Таблица 5.12. Переносные свойства фреона 22 в однофазной области

Читатель может также в режиме on-line рассчитать термодинамические свойства фреона 22 при заданных температурах и давлениях, обратившись через Интернет к вычислительной программе общедоступного справочника по химии Национального института стандартов и технологии США (NIST)

### **Фреон 23 ( трифторметан ), $\text{CHF}_3$ , хладон-23, R23, HFC23.**

Бесцветный негорючий газ без запаха. Растворим в углеводородах, хлорорганических растворителях, спиртах, кетонах, эфирах. Плохо растворим в воде. Оказывает раздражающее действие на дыхательные пути. При высокой концентрации оказывает наркотическое действие. При соприкосновении с пламенем и горячими поверхностями разлагается с образованием высокотоксичных продуктов. Используется в качестве хладагента высокого давления для получения температур до  $-100\text{ }^\circ\text{C}$ . ODP=0; HGW P=5.7; GWP=12100. Молекулярная масса 70.01. Температура плавления  $-155.15\text{ }^\circ\text{C}$  (118 K). Температура кипения  $-82.2\text{ }^\circ\text{C}$  (190.95 K). Критическая температура  $25.85\text{ }^\circ\text{C}$  (299 K), критическое давление 4.82 МПа , критическая плотность  $525.0\text{ кг/м}^3$ . Теплота испарения в точке кипения  $16.75\text{ кДж/моль}$ .

Обзоры опубликованных теплофизических данных приведены в справочнике по фторорганическим продуктам (Максимов и др. [5.1]), справочнике по фреонам Томановской и Колотовой [5.2] и в 1-м томе справочника Алтунина и др. [5.3]. Приведенные таблицы теплофизических свойств (таблицы 5.13 - 5.16 ) приняты по данным [5.3 ].

Таблица 5.13. Термодинамические свойства фреона 23 на линии насыщения

Таблица 5.14. Термодинамические свойства фреона 23 в однофазной области

Таблица 5. 15. Переносные свойства фреона 23 на линии насыщения

Таблица 5.16. Переносные свойства фреона 23 в однофазной области

**Фреон 32 (дифторметан, метиленфторид, фтористый метилен),  
CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, хладон-32, R32, HFC32.**

Бесцветный горючий газ. Температура самовоспламенения 504 °С. При соприкосновении с пламенем и горячими поверхностями разлагается с образованием высокотоксичных продуктов. Молекулярная масса 52.024. Температура плавления -136 °С ( 137.15 К). Температура кипения -51.7 °С ( 221.45 К). Критическая температура 78.11 °С (351.26 К), критическое давление 5.784 МПа, критическая плотность 424.0 кг/м<sup>3</sup>. Теплота испарения в точке кипения 20.37 кДж/моль. Используется в виде компонента смесевых хладагентов. ODP=0; HGW P=0.13. GWP=580.

Термодинамические свойства (таблица 5.17) приняты по данным [5.15], а переносные свойства (таблица 5.18 ) на линии насыщения приняты по данным [5.1], за исключением вязкости насыщенной жидкости ( $\mu'$ ), которая принята по [5.9].

Таблица 5. 17. Термодинамические свойства фреона 32 на линии насыщения

Таблица 5. 18. Переносные свойства фреона 32 на линии насыщения

Читатель может также в режиме on-line рассчитать термодинамические свойства фреона 32 при заданных температурах и давлениях, обратившись через Интернет к вычислительной программе общедоступного справочника по химии Национального института стандартов и технологии США (NIST)

**Фреон 125 (пентафторэтан ), C<sub>2</sub>HF<sub>5</sub>, хладон-125, R125, HFC125.**

Бесцветный газ, стабильный при нагревании до температуры 900°С. При соприкосновении с пламенем и горячими поверхностями разлагается с образованием высокотоксичных продуктов. Массовая растворимость в воде при 25 °С составляет 0.09%, а воды в пентафторэтаноле - 0.07%. Молекулярная масса 120.022. Температура плавления -103 °С (170.15 К). Температура кипения -48.5 °С (224.65 К). Критическая температура 67.7 °С (340.85 К), критическое давление 3.39 МПа , критическая плотность 529 кг/м<sup>3</sup>. Теплота испарения в точке кипения 18.88 кДж/моль. Применяется в качестве хладагента как индивидуально, так и в составе смесей, а также в системах пожаротушения. ODP=0; HGW P=0.84; GWP=3200. Термодинамические свойства на линии насыщения (таблица 5.19) рассчитаны на кафедре инженерной теплофизики МЭИ. Переносные свойства на линии насыщения (таблица 5. 20) приняты по данным [5.10], за исключением вязкости насыщенной жидкости ( $\mu'$ ), которая принята по [5.9].

Таблица 5.19. Термодинамические свойства фреона R125 на линии насыщения

Таблица 5. 20. Переносные свойства фреона 125 на линии насыщения

Читатель может также в режиме on-line рассчитать термодинамические свойства фреона 125 при заданных температурах и давлениях, обратившись через Интернет к вычислительной программе общедоступного справочника по химии Национального института стандартов и технологии США (NIST)

**Фреон 134a (1,1,1,2-тетрафторэтан), C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub>, хладон-134a, R134a, HFC134a.**

Бесцветный, слабо горючий газ; не разлагается при нагревании до 900 °С.

При соприкосновении с пламенем и горячими поверхностями разлагается с образованием высокотоксичных продуктов. Мало растворим в воде и в маслах. Применяется в качестве хладагента, пропеллента и вспенивателя для получения пенопластов. ODP=0; HGWP=0.28; GWP=1300. Молекулярная масса 102.031. Температура плавления -101 °С (172.15 К). Температура кипения -26.5 °С (246.65 К). Критическая температура 101.5 °С (374.65 К), критическое давление 4.06 МПа, критическая плотность 538.5 кг/м<sup>3</sup>. Теплота испарения в точке кипения 21.26 кДж/моль.

Термодинамические свойства на линии насыщения (таблица 5.21) рассчитаны на кафедре инженерной теплофизики МЭИ. Методика расчета кратко изложена выше, в начале главы 5. В более полном виде таблицы термодинамических свойств и методика расчета приведены в издании ГСССД [5.8]. В таблице переносных свойств на линии насыщения (таблица 5.22) вязкость жидкости принята по [5.10, 5.14], а теплопроводность паровой и жидкой фаз принята по [5.10].

Таблица 5.21. Термодинамические свойства фреона R134a на линии насыщения

Таблица 5. 22. Переносные свойства фреона 134a на линии насыщения.

Читатель может также в режиме on-line рассчитать термодинамические свойства фреона 134a при заданных температурах и давлениях, обратившись через Интернет к вычислительной программе общедоступного справочника по химии Национального института стандартов и технологии США (NIST)

**Фреон 142b (1,1-дифтор-1-хлорэтан), CF<sub>2</sub>ClCH<sub>3</sub>, хладон-142b, R142b, HCFC142b.**

Горючий газ. Температура самовоспламенения 590 °С, концентрационные пределы воспламенения 10.6 - 15.1 %. При соприкосновении с пламенем и горячими поверхностями разлагается с образованием высокотоксичных продуктов. Не растворяется в воде. При высокой концентрации оказывает удушающее действие. Используется в качестве хладагента, пропеллента аэрозольных упаковок, порообразователя при получении фторопластов, сырья для фторорганического

синтеза. ODP=0.065; HGW=0.36; GWP=2000. Молекулярная масса 100.49. Температура плавления -130.8 °С (142.35 К). Температура кипения -9.2 °С (263.95 К). Критическая температура 136.45 °С (409.6 К), критическое давление 4.138 МПа, критическая плотность 459 кг/м<sup>3</sup>. Теплота испарения в точке кипения 22.57 кДж/моль.

Термодинамические свойства на линии насыщения (таблица 5.23) рассчитаны на кафедре инженерной теплофизики МЭИ. Переносные свойства на линии насыщения (таблица 5.24) приняты по данным [5.1].

Таблица 5.23. Термодинамические свойства фреона R142b на линии насыщения

Таблица 5. 24. Переносные свойства фреона 142b на линии насыщения

**Фреон 143a (1,1,1-трифторэтан), CF<sub>3</sub>CH<sub>3</sub>, хладон-143a, R143a, HFC143a.**

Бесцветный горючий газ. Температура самовоспламенения 720 °С, концентрационные пределы самовоспламенения 9.5 - 19.5%. При соприкосновении с пламенем и горячими поверхностями разлагается с образованием высокотоксичных продуктов. Применяется в качестве хладагента в одноступенчатых низкотемпературных холодильных машинах и в качестве сырья для фторорганического синтеза. ODP=0; HGW=1.1; GWP=4400. Молекулярная масса 84.04. Температура плавления -111.3 °С (161.85 К). Температура кипения -47.6 °С (225.55 К). Критическая температура 73.1 °С (346.25 К), критическое давление 4.11 МПа, критическая плотность 445 кг/м<sup>3</sup>. Теплота испарения в точке кипения 19.88 кДж/моль.

Термодинамические свойства на линии насыщения (таблица 5.25) рассчитаны на кафедре инженерной теплофизики МЭИ. Переносные свойства на линии насыщения (таблица 5.26) приняты по данным [5.1].

Таблица 5.25. Термодинамические свойства фреона R143a на линии насыщения..

Таблица 5. 26. Переносные свойства фреона 143a на линии насыщения

Читатель может также в режиме on-line рассчитать термодинамические свойства фреона 143a при заданных температурах и давлениях, обратившись через Интернет к вычислительной программе общедоступного справочника по химии Национального института стандартов и технологии США (NIST)

### **Фреон 152а (1,1-дифторэтан), $\text{CHF}_2\text{CH}_3$ , хладон-152а, R152а, HFC152а.**

Бесцветный, горючий газ. Температура самовоспламенения 453 °С, концентрационные пределы взрываемости 5.3-16.5%. При соприкосновении с пламенем и горячими поверхностями разлагается с образованием высокотоксичных продуктов. При высокой концентрации оказывает наркотическое действие. Нерастворим в воде. Молекулярная масса 66.051. Температура плавления -117 °С (156.15 К). Температура кипения -24.55 °С ( 248.6 К). Критическая температура 113.5 °С (386.65 К), критическое давление 4.491 МПа, критическая плотность 365 кг/м<sup>3</sup>. Теплота испарения в точке кипения 21.88 кДж/моль. Применяется как хладагент, пропеллент и порообразователь при получении пенопластов. Наиболее эффективный смесевой хладагент (массовая доля 1,1-дифторэтана 70%, изобутана 30 %), применяемый в бытовых холодильниках. ODP=0; HGW P=0.03; GWP=140.

Термодинамические свойства на линии насыщения (таблица 5.27) рассчитаны на кафедре инженерной теплофизики МЭИ. Переносные свойства на линии насыщения (таблица 5.28) приняты по данным [5.1].

Таблица 5.27. Термодинамические свойства фреона R152а на линии насыщения

Таблица 5. 28. Переносные свойства фреона 152а на линии насыщения

Читатель может также в режиме on-line рассчитать термодинамические свойства фреона 152а при заданных температурах и давлениях, обратившись через Интернет к вычислительной программе общедоступного справочника по химии Национального института стандартов и технологии США (NIST)

### **Он-лайн расчет свойств в Интернете**

С помощью вычислительной программы Интернет-справочника по химии NIST читатель может рассчитать различные таблицы свойств ряда фреонов и других флюидов при других заданных переменных и в различных единицах измерения:

<http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>

## Литература к главе 5.

1. Максимов Б.Н., Барабанов В.Г., Серушкин И.Л. и др. Промышленные фторорганические продукты. Справочник. Санкт-Петербург. Химия. 1996.
2. Томановская В.Ф., Колотова В.Е. Фреоны, свойства, применение. Москва. 1970.
3. Алтунин В.В., Геллер В.З., Петров Е.К., Рассказов Д.С., Спиридонов Г.А. Теплофизические свойства фреонов. Том 1. Фреоны метанового ряда. М.: Изд-во стандартов. 1980.
4. Алтунин В.В., Геллер В.З., Кремневская Е.А., Перельштейн И.И., Петров Е.К. Теплофизические свойства фреонов. Том 2. Фреоны метанового ряда. М.: Изд-во стандартов. 1985.
5. Перельштейн И.И., Парушин Е.Б. Термодинамические и теплофизические свойства рабочих веществ холодильных машин и тепловых насосов. М.: Легкая и пищевая промышленность. 1984.
6. Чайковский В.Ф., Геллер В.З. Теплофизические свойства рабочих веществ холодильных машин. Одесса.: «Вища школа». 1986.
7. Клецкий А.В. Теплофизические свойства фреона 22. М.: Изд-во стандартов. 1970.
8. ГСССД 182-97. Таблицы стандартных справочных данных. Хладон R134a. Термодинамические свойства в диапазонах температур 180...400 К и давлений 0,01...30 Мпа. Устюжанин Е.Е., Доброхотов А.В., Масленников А.В., Попов П.В. .Протокол № 18, 23.12.97.Деп. ВНИЦСМВ 22.12.97, № 774-97 кк
9. Sun Li-Qun, Zhu Ming-Shan, Han Li-Zhong, Liu Zhao-Zhuang. Viscosity of difluoromethane and pentafluoroethane along the saturation line. J. Chem. Engn. Data 1996, v. 41, №1, p. 292.
10. Цветков О.Б., Клецкий А.В., Лаптев Ю.А. Теплофизические свойства и диаграммы альтернативных холодильных агентов. Учебное пособие. Санкт-Петербург, 1997.
11. Olivera C.M., Wakeham W.A. The viscosity of liquid R134a. Int. J. Thermophys. 1993, v. 14, №1, p. 33.
12. Krauss R., Weiss V.C., Edison T.A., Sengers J.V., Stephan K. Transport properties of 1,1-difluoroethane (R152a). Int. J. Thermophys. 1993, №1, p. 33.
13. Sun Li-Qun, Zhu Ming-Shan, Han Li-Zhong, Liu Zhao-Zhuang. Thermal conductivity of gaseous difluoromethane and pentafluoroethane near saturated line. J. Chem. Engn. Data 1997, v. 42, №1, p. 179.
14. Krauss R., Luettmmer-Strathmann J., Sengers J.V., Stephan K. Transport properties of 1,1,2-tetrafluoroethane (R134a). Int. J. Thermophys. 1993, v. 14, 951.
15. Tillner-Roth Reiner, Yokozeki Akimichi. An International standart equation of state for difluoromethane (R32) for temperatures from the triple point at K to 435 K and pressures up to 70 MPa. J. Phys. Chem. Ref. Data 1997, №6, p. 1273.