

## АНАЛИЗ И ВЫБОР РАБОЧИХ АГЕНТОВ ДЛЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Доц. Ольшанский А.И., доц. Ольшанский В.И., ст. преп. Ротенберг В.Е.,  
асс. Котов А.А. (ВГТУ)

В качестве рабочих тел в парокомпрессионных тепловых насосах могут использоваться вещества или смеси веществ, которые должны обладать рядом специфических требований. Они должны обладать следующими свойствами:

Иметь низкую при атмосферном давлении температуру испарения  $t_{исп}$ , с тем, чтобы процесс испарения при подводе низкопотенциальной теплоты происходил при давлении  $P_{исп.}$ , незначительно превышающем атмосферное, для исключения подсоса воздуха в испарителе установки; невысокое давление конденсации паров  $P_k$  при требуемой температуре нагрева теплоносителя с целью снижения требований к конструкции компрессора, уменьшение степени сжатия  $P_k / P_{исп.}$  и снижения затрат электроэнергии на привод компрессора; высокую теплоту парообразования в рабочем интервале температур, что обеспечивает высокое значение теплопроизводительности установки, и коэффициента преобразования тепла; нетоксичность, невоспламеняемость, взрывобезопасность, высокую химическую стабильность, химическую инертность по отношению к смазочным маслам и металлам.

С этой точки зрения очень эффективными в термодинамическом отношении являются фреоны, которые представляют галоидные соединения насыщенных углеводородов, в основном метана, этана, пропана, бутана, получаемые в результате замещения атомов водорода атомами фтора, хлора и брома. Известны несколько десятков различных фреонов. Они представляют собой газы либо жидкости без запаха и цвета. Современное, принятое в международной практике обозначение фреонов R.

Токсичность фреонов очень мала: значение предельно допустимой концентрации фреона в воздухе (ПДК) в большинстве случаев составляет 1-3 г/м<sup>3</sup>, в то время как ПДК аммиака составляет 0,02 г/м<sup>3</sup>. Фреоны невоспламеняемы и взрывобезопасны даже при контакте с открытым пламенем.

Химическая стабильность фреонов весьма высока. На стабильность фреонов может влиять одновременное воздействие температуры, влаги и смазочных масел.

Из-за возможного разложения смеси фреона с маслом, предельной для многих фреонов считается температура после сжатия в компрессоре 130-150°C [1]

Взаимодействие фреонов со смазочными маслами имеет значение в основном для установок с поршневыми компрессорами, где неизбежно образование смеси рабочего тела с маслом. Минеральные масла, применяемые в поршневых фреоновых компрессорах, неограниченно растворяются во фреонах (кроме R-22, R-114, R-502). Однако излишне высокое содержание масла во фреонах вызывает ухудшение теплопередачи в теплообменниках и влияет на значение температур испарения и конденсации и уменьшает коэффициент преобразования тепла. Для ТНУ, которые работают при более высоких температурах, чем холодильные машины, вязкость масла снижается иногда в 10 раз, что может приводить к ухудшению смазочных свойств на трущихся поверхностях и нарушению работы компрессора. Фреоны R-22, R-114, R-502 не образуют стабильных смесей с маслом. Получается расслоение смесей, затрудняется возврат масла в компрессор и замасливание поверхностей теплообмена, что приводит к ухудшению теплоотдачи и уменьшению теплопроизводительности.

Синтетические масла в отношении взаимодействия с фреонами более благоприятны, чем минеральные масла природного происхождения. Растворимость воды во фреонах мала, причем повышение температуры воды до 60°C вызывает рост растворимости воды во фреонах до 10 раз. Поэтому необходимо избегать попадания влаги во фреоны и при содержании влаги выше 25-40 мг/кг перед заправкой ТНУ фреоны необходимо подвергать сушке. Содержание влаги во фреонах вызывает ускорение процесса старения масла и коррозию металлов. Конструкционные металлы в сухих фреонах, как правило, не корродируют. Исключение составляют сплавы магния и алюминия. Неметаллические материалы - пластмассы в конструкциях ТНУ используются пока только в качестве уплотнений. При применении фреонов с большим содержанием фтора воздействие на пластики ослабляется и возникает возможность использования

для теплообменников труб на неметаллической основе, гораздо более дешевых, чем металлические.

Выбор рабочих тел для ТНУ производится по основным показателям, таким как коэффициент преобразования тепла  $\varphi_t$ , давление в испарителе  $P_{и}$ , давление в конденсаторе  $P_k$ , отношение давлений  $P_k / P_{и}$  (степень сжатия), объемная производительность  $q_v$ , теплота парообразования  $g$ .

Повышение давления конденсации  $P_k$  вызывает требование повышения прочности компрессора и его удорожание. Поэтому во всех странах Западной Европы, США и в России верхним пределом давления в поршневом компрессоре принимается 20 бар.

Весь практический опыт работы ТНУ в странах Западной Европы, США, России показывает, что в качестве хладагентов в теплонасосных установках могут использоваться фреоны: R11, R21, R22, R113, R114, R12, R142, RC318, R503.

### 1.Хладагент R22

Широко используется в поршневых ТНУ. Имеет высокую объемную теплопроизводительность  $q_v$ , на 40-60% большую чем у фреона R12, что позволяет уменьшить объем всасывания пара, сократить размеры компрессора, и теплообменных аппаратов.

Относится к наиболее хорошо изученным фреонам, о котором имеются исчерпывающие сведения о термодинамических свойствах, теплофизических характеристиках, интенсивности теплообмена, взаимодействии с маслами.

Однако при температуре конденсации  $t_c=50^{\circ}\text{C}$ , давление в конденсаторе  $P_k= 19,4$  бар, что является предельным для поршневых компрессоров. Несмотря на данный недостаток широко используется в настоящее время в немецких ТНУ, рекламируемых и распространяемых в Республике Беларусь.

### 2.Хладагент R-12

Получил самое широкое применение в мелких и средних поршневых ТНУ в качестве хладагента еще в 30 годы в СССР. В настоящее время при возрождении интереса к ТНУ в России используется как основное рабочее тело. Как и

фреон R22 относится к хорошо изученным хладагентам. Имеет -60% меньше чем у фреона R22.

### 3. Хладагент R142

Широко используется в качестве хладагента в поршневых ТНУ, а также в турбокомпрессорных агрегатах крупной производительности. Применяется в холодильных машинах системы кондиционирования воздуха. Термодинамические свойства R142 лучше, чем у фреона R12, более низкое давление в конденсаторе  $P_k = 6,75$  бар умеренное давление в конденсаторе  $P_k = 12,1$  бар при  $t_{кон} = 50^\circ\text{C}$  и низкое давление в испарителе  $P_{исп} = 3,1$  бар при  $t_{исп} = 0^\circ\text{C}$ , но объемная теплопроизводительность  $q_v$  на 40% при  $t_{кон} = 50^\circ\text{C}$  и в испарителе  $P_k = 1,45$  бар при  $t_{исп} = 0^\circ\text{C}$ . Недостатком является более низкая объемная теплопроизводительность  $q_v$ , по сравнению с фреоном R12, фреоны R142 и R12 смазываются одним маслом ХФ-12 и легко смешиваются, поэтому для снижения давления в конденсаторе  $P_k$  и получения более высокой температуры конденсации  $t_{кон}$ , применяются композиционные смеси данных фреонов с различной процентной концентрацией.

### 4. Хладагент RC318

Фреон RC318 обладает исключительной термической и химической стабильностью. Используется главным образом в качестве хладагента в турбокомпрессорных установках для кондиционирования воздуха и с успехом может применяться как рабочее тело и в поршневых ТНУ.

Термодинамические и теплофизические свойства достаточно хорошо изучены. При температуре конденсации  $t_{кон} = 50^\circ\text{C}$ , давление в конденсаторе умеренное  $P_k = 6,48$  бар., в испарителе при  $t_{исп} = 0^\circ\text{C}$ ,  $P_k = 1,29$  бар. Недостатком является низкая объемная теплопроизводительность  $q_v$   $\text{кДж/м}^3$ .

### 5. Хладагент R503

Фреон R503 представляет собой азеотропную смесь, состоящую из 60% по массе из R124 и 40% по массе из RC318. С успехом может использоваться в поршневых ТНУ для подогрева воды в отопительных системах до  $70-80^\circ\text{C}$ . Давление в конденсаторе  $P_k = 12,8$  бар, соответствующее температуре конден-

сации для фреона R12  $t_k=50^{\circ}\text{C}$ , для фреона R503 соответствует температуре  $t_k=70^{\circ}\text{C}$ , т.е. при равных условиях по давлениям теплоноситель можно нагреть до более высокой температуры и тем самым скомпенсировать недостаточную объемную теплопроизводительность  $q_v$  по сравнению с фреоном R12. Отношение  $q_v(\text{R12})/q_v(\text{R503})=2290/1611=1,42$ , а отношение температур при принятых условиях  $t_k(\text{R503})/t_k(\text{R12})=70/50=1,4$

Следовательно, принимая для ТНУ работающего на фреоне R503 температуру  $t_k=70^{\circ}\text{C}$ , можно по эффективности работы приблизиться к ТНУ на фреоне R12, практически при одинаковых давлениях в конденсаторе и испарителе. На основе анализа термодинамических свойств различных фреонов [1,2,3] составлена табл.1, из которой очевидно, что эффективную работу ТНУ при принятых по техническому заданию параметрах  $t_k=50^{\circ}\text{C}$  и температуре теплоносителя на входе в испаритель  $t_1=15^{\circ}\text{C}$  и  $t_n=0^{\circ}\text{C}$  могут обеспечить фреоны: R-12, R-142, RC-318, R-503.

Таблица 1

Таблица основных термодинамических свойств холодильных агентов и относительные размеры компрессоров для выбора рабочего тела в теплонасосной установке.

Холодильный агент	Давление конденсации $P_k$ при $t_k=50^{\circ}\text{C}$ бар.	Давление кипения $P_{\text{кип}}$ при $t_n = 0^{\circ}\text{C}$ бар.	$r$ при $t_k=50^{\circ}\text{C}$ кДж/кг	Объемная производительность $q_v$ кДж/м <sup>3</sup>	Относительные размеры	Источник
фреон 22	19,4	5	152,5	3666	1	[5]
фреон 12	12,1	3,1	122	2225	1,64	[5]
фреон 142	6,75	1,45	184,6	805	4,55	[5]
фреон 113	1,1	0,15	146	111	33	[5]
фреон 114	4,58	0,89	118	361	10,1	[5]
фреон C318	6,48	1,29	91	730	5	[1,2]
фреон 503	8	1,65	116	1611	2,27	[1,2]

Анализ термодинамических свойств различных хладагентов, показывает, что ни один хладагент в полной мере не может удовлетворять всем требованиям одновременно. Какие бы два вещества не сравнивались, при оценке их качества, у каждого из них всегда есть свои преимущества и недостатки. Поэтому при выборе рабочего тела для ТНУ в первую очередь необходимо исходить из того, что хладагент должен отвечать самым необходимым техническим требованиям ( $t_k$ ,  $P_k$ ,  $P_n$ ), и, во-вторых, обеспечивать оптимальную эффективность ТНУ ( $\varphi$ ,  $q_v$ ,  $g$ ,  $Q_k$ ).

По согласованию с Управлением государственного контроля по сокращению озоноразрушающих веществ, Министерство природных ресурсов запрещает использование фреонов R11, R12 и R113, R114, R115, R12B1. Применение фреона R142, R22 разрешено только до 2000 г. Фреоны RC318 и R503 относятся к озонобезопасным холодильным агентам и могут использоваться как хладагенты при проектировании ТНУ.

Примечание: При сравнении размеров компрессоров за 1 принят компрессор на фреоне 22. Значения  $q_v$  взяты при  $t_k=0^{\circ}\text{C}$  из рис.5 · 10 (ав.) [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. В.Ф.Томановская, Б.Е.Колотова, Фреоны, Л."Химия" 1970 г.
2. А.В.Быков, Э.М.Бежанишвили, И.М.Калнинь, Холодильные компрессоры, М."Колос" 1992 г.
3. Промышленные фторорганические продукты. Справочник. Л."Химия", 1990.
4. Информационный бюллетень №7 Белорусы защищают озоновый слой, Белорусский центр "Экология", Министерство природных ресурсов и охраны окружающей Среды Республики Беларусь, Минск, 1996 г.