МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ

В.И. Пекарев, В.М. Мизин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛА ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Учебно-методическое пособие

Санкт-Петербург
2014

УДК 621.57(673)

Пекарев В.И., Мизин В.М. Определение термодинамической эффективности цикла одноступенчатой холодильной машины: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 46 с.

Рассмотрены порядок проведения и методики обработки результатов лабораторной работы по испытанию одноступенчатой холодильной машины. Даны уравнения для определения необратимых потерь компрессора, конденсатора, дроссельного вентиля и испарителя.

Предназначено для магистрантов направления 141200 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения всех форм обучения.

Рецензент: доктор техн. наук, проф. Е.И. Борзенко

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом Института холода и биотехнологий

В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных техно-логий, механики и оптики».

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2014

© Пекарев В.И., Мизин В.М., 2014

1. ЦЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Реальный цикл холодильной машины любого типа осуществляется, как известно, с необратимыми потерями. Цель данной лабораторной работы – определить общую энергетическую эффективность парокомпрессионной холодильной машины, выяснить, в каких ее элементах имеют место основные необратимые потери, оценить величины этих потерь и указать принципиальные пути их уменьшения.

Энергетическая эффективность холодильной машины парокомпрессионного типа оценивается величиной холодильного коэффициента ε или коэффициента обратимости $\eta_{обр}$. Оба коэффициента позволяют сравнить различные варианты однотипных по виду используемой энергии холодильных машин, а коэффициент обратимости, кроме того, показывает степень термодинамического совершенства холодильного цикла и представляет собой отношение работ в обратимом и реальном циклах при том же количестве отведенной теплоты и при тех же внешних источниках. Разность указанных работ, т. е. работ реального и обратимого циклов, составляет необратимые потери, определение которых является одной из задач данной работы.

Для оценки необратимых потерь по элементам холодильной машины применен энтропийный метод. Получивший также большое распространение эксергетический метод базируется на энтропийном и принципиально от него не отличается.

Большая практическая важность данной лабораторной работы заключается в том, что изучаемый метод термодинамического анализа поэлементных потерь является универсальным и может быть применен не только для холодильных машин всех типов, но и для всех технических объектов, связанных с процессами превращения энергии (теплоэнергетические установки, технологические линии химической промышленности и др.).

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Объект испытания – одноступенчатая холодильная машина с регенеративным теплообменником. Рабочее вещество – фреон R12.

Испытания проводят при установившемся режиме работы холодильной машины. Установившимся режимом является режим, при котором параметры рабочего вещества остаются постоянными

в течение всего времени испытаний. Как правило, идеально установившегося состояния достичь не удается, поэтому допускается изменение температуры рабочего вещества в измеряемых точках ±1 °С, а разности температур хладоносителя в испарителе и воды в конденсаторе – не более 3 %.

Показания контрольно-измерительных приборов записывают в протокол через каждые 10–15 мин, не менее трех раз. В протокол испытаний записывают только показания приборов. Форма протокола приведена в прил. 1.

Во время испытаний определяют:

– давление всасывания $P_{вс}$, кипения P_0, конденсации $P_к$, нагнетания $P_н$;

– температуру рабочего вещества перед всасывающим клапаном компрессора $t_{1'}$, при входе t_1 и выходе t_2 из компрессора, при входе t_3 и выходе t_4 из конденсатора, перед дроссельным вентилем t_5, при выходе из испарителя t_7;

– температуру воды при входе t_{w1} и выходе t_{w2} из конденсатора;

– температуру хладоносителя при входе t_{s1} и выходе t_{s2} из испарителя;

– расход хладоносителя в испарителе G_s;

– расход воды в конденсаторе G_w;

– мощность, проводимую к электродвигателю $N_{эл}$;

– температуру воздуха в помещении $t_п$;

– барометрическое давление *B*.

3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Показания приборов при каждом испытании могут отличаться друг от друга, поэтому они усредняются. Манометр показывает избыточное давление, поэтому все давления, зарегистрированные в протоколе, переводят в абсолютные с помощью следующих соотношений [1 техн. атм (кг/см^2) = 735,6 мм рт. ст. = 0,098 МПа]

$$P_{абс} = (P_{изб} + B/735{,}6) \quad 0{,}98, \text{бар},$$

где *B* – атмосферное давление, мм рт. ст.

3.1. Построение цикла холодильной машины

По данным протокола испытаний (по их средним значениям) строят цикл холодильной машины в одной из тепловых диаграмм *T*–*s* или *P*–*h* (рис. 3.1).

Каждую узловую точку цикла определяют по термодинамическим параметрам рабочего вещества – давлению и температуре, которые зафиксированы в протоколе, а также по агрегатному состоянию рабочего вещества в данной точке.

Построение цикла в диаграмме начинают с нанесения абсолютных давлений рабочего вещества. Цикл строят согласно схеме на рис. 3.2.

Рассмотрим, например, как определить точку 1, характеризующую состояние рабочего вещества при входе в компрессор. Точка 1 должна находиться на пересечении линии давления всасывания $P_{вс}$ и изотермы t_1. Состояние вещества – перегретый пар. Точка 5 – состояние рабочего вещества перед дроссельным вентилем, определяется пересечением линии давления конденсации $P_к$ и изотермы $t_к$. Состояние вещества – переохлажденная жидкость.

После построения цикла в диаграмме параметры узловых точек записывают в таблицу.

Параметры узловых точек

Термодинамические параметры	1	1'	2	2*s*	3	3'	4	5	6	7	7'	0
P, МПа												
t, °С												
h, кДж/кг												
s, кДж/кг												

По давлениям $P_к$ и P_0 из таблиц свойств рабочих веществ в состоянии насыщения определяют температуру конденсации $t_к$ и температуру кипения t_0.

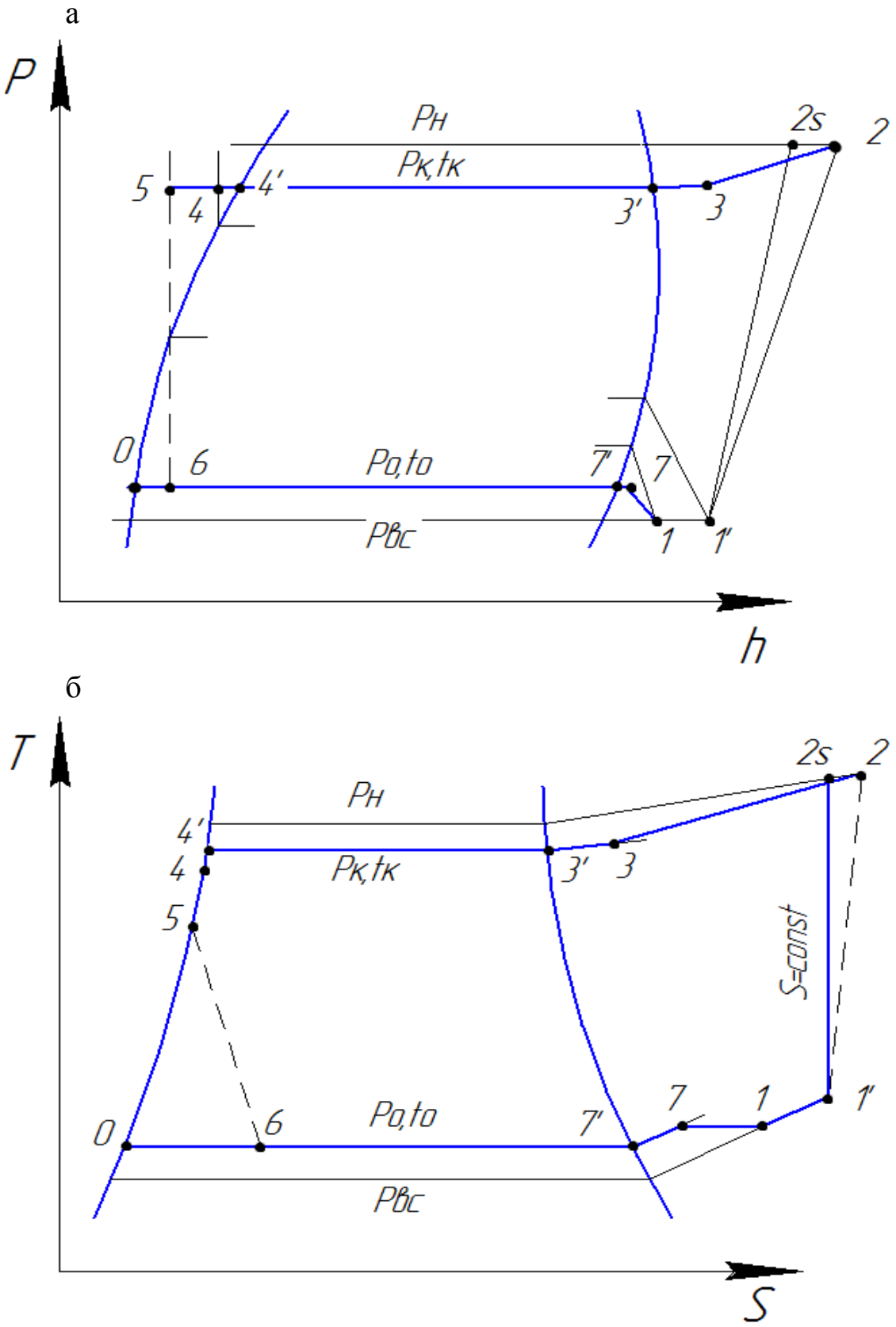


Рис. 3.1. Цикл холодильной машины в диаграмме *P-h* (*а*) и *T-s* (*б*)

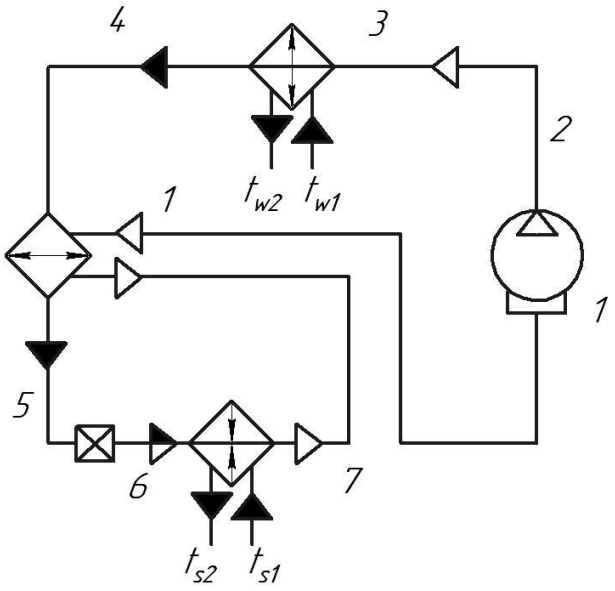


Рис. 3.2. Принципиальная схема холодильной машины

3.2. Определение расхода рабочего вещества

На основании протокола испытаний и данных, внесенных в таблицу, выполняют необходимый расчет холодильной машины. Одним из основных расчетных параметров является массовый расход хладагента G_a, циркулирующего через элементы машины. Очевидно, что в установившемся режиме расход рабочего вещества будет одинаков для любого элемента холодильной машины.

Расход рабочего вещества определяют по тепловому балансу конденсатора $G_a^к$ и испарителя $G_a^и$. Затем эти величины сравнивают. Расхождение не должно превышать 7 %.

3.2.1. Определение расхода рабочего вещества по тепловому балансу конденсатора

При составлении теплового баланса любого элемента холодильной машины необходимо выделить его из системы и определить теплоту, поступающую в этот элемент, и теплоту, отводимую от него. На рис. 3.3 показана схема для составления теплового баланса конденсатора.

В конденсатор входит $G_а^к$ рабочего вещества с энтальпией h_3, а выходит из него – с энтальпией h_4. Количество теплоты, которое отдает рабочее вещество в конденсаторе, – $Q_к$. Эта теплота передается охлаждающей воде, которая входит в конденсатор при температуре t_{w1} и выходит при температуре t_{w2}. Расход воды G_w определяется с помощью ротаметра (прил. 2). Теплоемкость воды – c_w . Количество теплоты, уносимое из конденсатора, $Q_w = G_к c_w (t_{w2} - t_{w1})$.

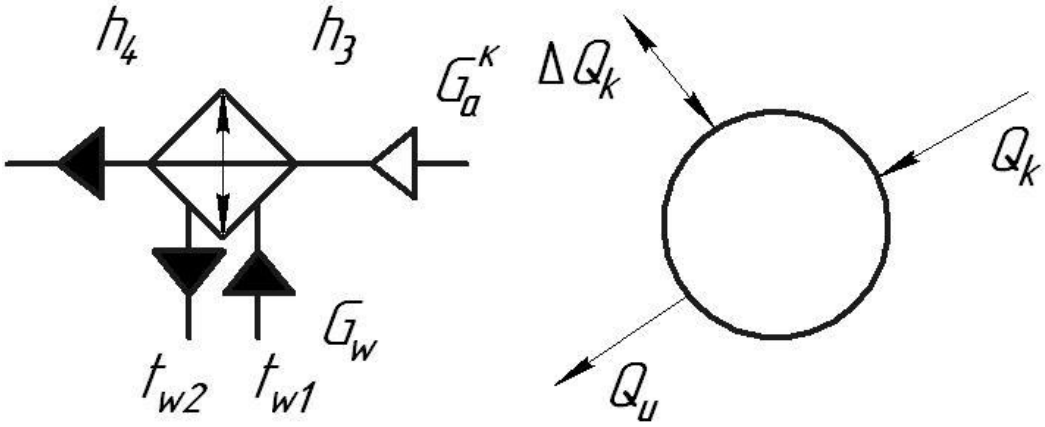


Рис. 3.3. Схема теплового баланса конденсатора

Тепловой баланс конденсатора

$$Q_к = Q_w \pm \Delta Q_к,$$

где $\Delta Q_к$ – потери в окружающую среду,

$$\Delta Q_к = K_к^{кор} F_к^{кор} (t_к - t_п),$$

здесь $K_к^{кор}$ – коэффициент теплопередачи от конденсирующего рабочего вещества к воздуху (прил. 3); $F_к^{кор}$ – поверхность корпуса конденсатора; $t_к$ – температура конденсации; $t_п$ – температура наружного воздуха;

$$Q_к = G_а^к (h_3 - h_4).$$

Отсюда

$$G_{\text{а}}^{\text{к}} = \frac{G_w c_w (t_{w_2} - t_{w_1}) \pm K_{\text{к}}^{\text{кор}} F_{\text{к}}^{\text{кор}} (t_{\text{к}} - t_{\text{п}})}{h_3 - h_4}.$$

3.2.2. Определение расхода рабочего вещества по тепловому балансу испарителя

В испаритель входит $G_{\text{а}}^{\text{и}}$ рабочего вещества, которое кипит при температуре t_0 под воздействием теплоты Q_s, подводимой от хладоносителя и теплопритоков из окружающей среды ΔQ_0. Схема теплопритоков показана на рис. 3.4, где Q_0 – количество теплоты, которое получает рабочее вещество (холодопроизводительность машины).

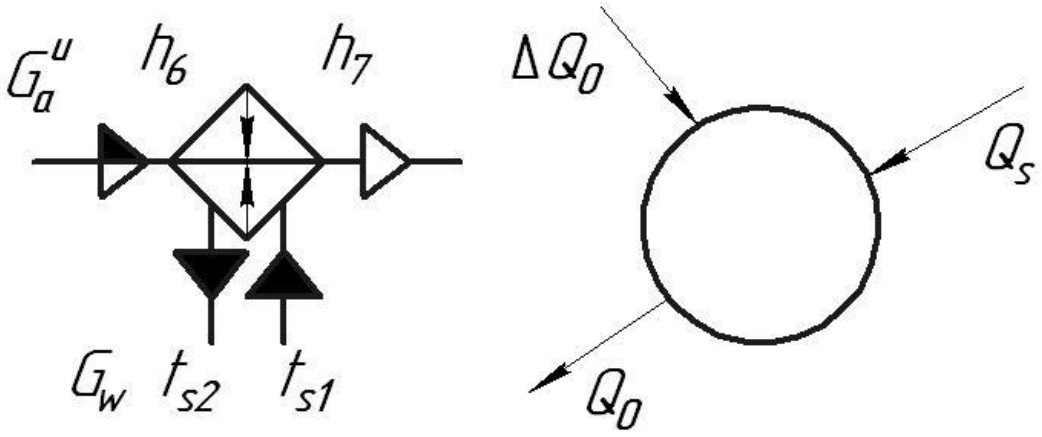


Рис. 3.4. Схема теплового баланса испарителя

Количество теплоты, подведенной к испарителю, равно количеству теплоты, отведенной от испарителя:

$$Q_0 = Q_s + \Delta Q_0\,,\ Q_0 = G_{\text{а}}^{\text{и}}(h_7 - h_6),\quad \Delta Q_0 = K_{\text{и}}^{\text{кор}} F_{\text{и}}^{\text{кор}} (t_{\text{п}} - t_0),$$

где $K_{\text{и}}^{\text{кор}}$ – наружный коэффициент теплопередачи (прил. 3); $F_{\text{и}}^{\text{кор}}$ – поверхность корпуса испарителя,

$$Q_s = G_s c_s (t_{s1} - t_{s2}),$$

где G_s – массовый расход рассола; c_s – теплоемкость рассола; t_{s1}, t_{s2} – температура рассола на входе и выходе из испарителя.

Массовый расход рассола

$$G_s = \frac{V_s \rho_s}{\tau},$$

где V_s – контрольный объем мерного бака; ρ_s – плотность рассола; τ – время заполнения контрольного объема мерного бака.

Теплоемкость рассола c_s определяют по средней температуре рассола в испарителе и его плотности. Тогда

$$G_{\text{а}}^{\text{и}} = \frac{Q_s + \Delta Q_0}{h_7 - h_6}.$$

Среднее значение расхода рабочего вещества

$$G_{\text{а}} = \frac{G_{\text{а}}^{\text{и}} + G_{\text{а}}^{\text{к}}}{2}.$$

3.3. Составление теплового баланса холодильной машины

Для того чтобы убедиться в правильности определения расхода рабочего вещества, необходимо составить тепловой баланс холодильной машины, т. е. определить теплоту, подведенную к рабочему веществу, циркулирующему в системе холодильной машины $Q_{\text{под}}$, и теплоту, отведенную от рабочего вещества $Q_{\text{отв}}$. Расхождение этих величин не должно превышать 7 %.

Общее количество теплоты, подведенной к рабочему веществу,

$$Q_{\text{под}} = Q_s + \Delta Q_0 + \Delta Q_{\text{ком}} + \Delta Q_{\text{вс.тр}},$$

где $\Delta Q_{\text{ком}}$ – теплота, подведенная к рабочему веществу в компрессоре за счет затраты механической энергии: $\Delta Q_{\text{ком}} = G_{\text{а}} (h_2 - h_{1'})$; $\Delta Q_{\text{вс.тр}}$ – теплота, подведенная к рабочему веществу при его движе-

нии по всасывающему тракту и через электродвигатель: $\Delta Q_{\text{вс.тр}} = G_{\text{а}} (h_{1'} - h_1)$.

Теплота, отведенная от рабочего вещества,

$$Q_{\text{отв}} = Q_w \pm \Delta Q_{\text{к}} + \Delta Q_{2-3},$$

где ΔQ_{2-3} – отвод теплоты от нагнетательного трубопровода на участке 2–3 (от компрессора до конденсатора): $\Delta Q_{2-3} = G_{\text{а}} (h_2 - h_3)$. Теплоотводом на других участках трубопроводов пренебрегаем ввиду их малости ($Q_{\text{под}} = Q_{\text{отв}}$), расхождение этих величин не более 7 % (см. рис. 3.2).

Цикл холодильной машины можно построить по диаграмме или с помощью таблиц прил. 4–7.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ, ЗАТРАЧЕННОЙ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ НЕОБРАТИМЫХ ПОТЕРЬ В ЭЛЕМЕНТАХ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

4.1. Компрессор

Мощность электродвигателя (кВт)

$$N_{\text{эл}} = 100A,$$

где A – показания ваттметра.

Мощность эффективная (кВт)

$$N_{\text{е}} = N_{\text{эл}} \eta_{\text{эл}},$$

где $\eta_{\text{эл}}$ – КПД электродвигателя (прил. 8).

Изоэнтропная мощность компрессора (кВт)

$$N_{\text{s}} = G_{\text{а}} (h_{2\text{s}} - h_{1'}).$$

Полная работа цикла (кВт)

$$N_{\text{ц}} = G_{\text{а}} (h_2 - h_{1'}).$$

Перерасход мощности в компрессоре (кВт)

$$\Delta N_{\text{км}} = G_{\text{а}} [(h_2 - h_{1'}) - (h_{2\text{s}} - h_{1'})] = (h_2 - h_{2\text{s}}) G_{\text{а}}.$$

4.2. Конденсатор

Изменение состояния рабочего вещества в конденсаторе можно разделить на части: процесс 3–3' – охлаждение рабочего вещества до состояния сухого насыщенного пара; процесс 3'–4 – конденсация рабочего вещества; процесс 4'–4 – переохлаждение рабочего вещества, которое составляет 1–2 °С и которым можно пренебречь (см. рис. 3.2).

Количество теплоты, которое получает окружающая среда (вода) от рабочего вещества,

$$Q_w = G_w\, c_w\, (t_{w2} - t_{w1}).$$

Возрастание энтропии окружающей среды

$$\Delta S_{\text{о.с}} = \frac{Q_w}{T_{\text{о.с}}},$$

где $T_{\text{о.с}} = T_{w_1}$.

Уменьшение энтропии рабочего вещества на участке 3–3' [кДж/(кг · К)]

$$\Delta S_{3-3'} = \frac{(h_3 - h_{3'})}{T_{\text{ср.пл}}^{3-3'}}, \text{ где } T_{\text{ср.пл}}^{3-3'} = \frac{T_3 - T_{3'}}{\ln\frac{T_3}{T_{3'}}}.$$

Уменьшение энтропии в процессе 3'–4 [кДж/(кг·К)]

$$\Delta S_{3'-4} = \frac{(h_{3'} - h_4)}{T_{\text{к}}}.$$

Изменение энтропии в процессе 3–4 [кДж/(кг·К)]

$$\Delta S_{3-4} = \Delta S_{3-3'} + \Delta S_{3'-4}.$$

Полное изменение энтропии рабочего вещества в конденсаторе [кДж/(кг · К)]

$$\Delta S_{\text{р.в}} = G_{\text{а}}\, \Delta S_{3-4}.$$

Изменение энтропии системы [кДж/(кг · К)]

$$\Delta S^{к}_{сист} = \Delta S_{о.с} - \Delta S_{р.в}.$$

Перерасход мощности в конденсаторе (кВт)

$$\Delta N_{к} = T_{о.с}\, \Delta S^{к}_{сист}.$$

4.3. Дроссельный вентиль

Энтропия в точке 6 (см. рис. 3.2) определяется по диаграмме рабочего вещества, более точно ее можно определить по степени сухости пара x_6:

$$S_6 = x_6 S_{7'} + (1 - x_6) S_0\,, \quad \text{где } x_6 = \frac{(h_6 - h_0)}{(h_{7'} - h_0)} = \frac{(S_6 - S_0)}{(S_{7'} - S_0)}\,.$$

Перерасход мощности из-за необратимых потерь (кВт)

$$\Delta N_{др} = G_{а}\, T_{о.с}\, (S_6 - S_5).$$

4.4. Испаритель

Для более точных расчетов необходимо произвести корректировку массового расхода теплоносителя $G_s^{расч}$ по отношению к расходу хладагента $G_а$. Расчетные значения расхода рассола определяют из баланса испарителя:

$$G_s^{расч} \cdot c_s \cdot \Delta t + \Delta Q_0 = G_а \cdot (h_2 - h_{1'}),$$

откуда

$$G_s^{расч} = \frac{G_а \cdot (h_2 - h_{1'}) + \Delta Q_0}{c_s \cdot \Delta t}.$$

Полное изменение энтропии рассола [кДж/(кг · К)]

$$\Delta S_s = G_s^{\text{расч}} \Delta S_s, \text{ где } \Delta S_s = c_s \ln \frac{T_{s_1}}{T_{s_2}}.$$

Полное изменение энтропии рабочего вещества [кДж/(кг · К)]

$$\Delta S_{\text{р.в}} = G_{\text{а}} \frac{h_7 - h_6}{T_0}.$$

Изменение энтропии системы [кДж/(кг · К)]

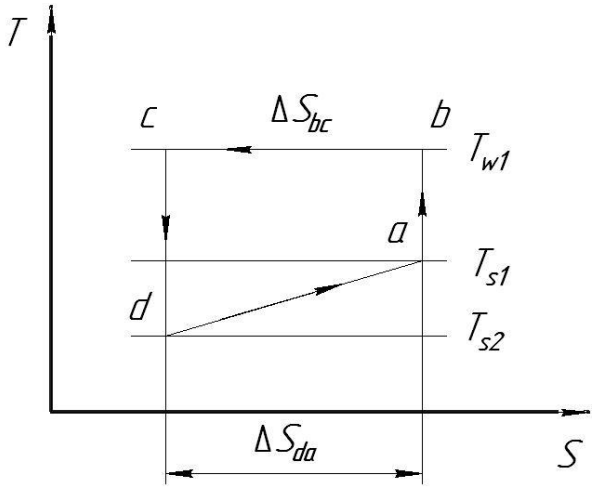
$$\Delta S_{\text{сист}}^{\text{и}} = \Delta S_{\text{р.в}} - \Delta S_s.$$

Переход мощности испарителя (кВт)

$$\Delta N_{\text{и}} = T_{\text{о.с}} \Delta S_{\text{сист}}^{\text{и}}.$$

5. МИНИМАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ ЦИКЛА

Цикл минимальной работы показан на рисунке.



Цикл минимальной работы

Минимальную мощность определяют как разность теплоты Q_{b-c} и Q_{d-a}:

$$N_{\min} = Q_{b-c} - Q_{d-a}.$$

Теплота

$$Q_{d-a} = G_s^{\text{расч}} c_s (T_{s_1} - T_{s_2}).$$

Теплота

$$Q_{b-c} = \Delta S_{d-a} - T_{w1}.$$

Ширина энтропийного поля цикла

$$\Delta S_{d-a} = c_s \ln \frac{T_{s_1}}{T_{s_2}} G_s^{\text{расч}}.$$

Коэффициент обратимости цикла

$$\eta_{\text{обр}} = \frac{N_{\min}}{N_e}.$$

6. ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Полная работа цикла

$$N_{\text{ц}} = N_{\min} + \Delta N_{\text{км}} + \Delta N_{\text{к}} + \Delta N_{\text{др}} + \Delta N_{\text{и}}.$$

Расхождение в результатах $N_{\text{ц}}$ и $N_{\text{эл}}$ не должно превышать 7 %.

Относительная ошибка расчета (%)

$$\delta = \frac{\Delta N_i}{N_{\text{ц}}}.$$

Для определения погрешности в расчетах рекомендуется построить таблицу, в которую следует вносить абсолютные значения потерь в элементах холодильной машины и их относительную погрешность:

Параметр	Абсолютные значения, кВт	Относительная погрешность, %
N_{min}		
$\Delta N_{км}$		
$\Delta N_{к}$		
$\Delta N_{др}$		
$\Delta N_{и}$		
$\sum \Delta N$		

7. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Все материалы испытаний объединяются в отчет по работе, который обязательно должен содержать следующее:

– протокол испытаний, подписанный студентом и преподавателем, руководившим работой;

– схему стенда с расстановкой номеров узловых точек цикла;

– цикл, вписанный в диаграмму состояния рабочего вещества;

– таблицу термодинамических параметров узловых точек цикла;

– результаты обработки опытных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодильные машины: Учеб. / Под общ. ред. Л.С. Тимофеевского. – СПб.: Политехники, 2006. – 992 с.

2. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин: Учеб. пособие / Под общ. ред. Л.С. Тимофеевского. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. – 200 с.

3. **Богданов С.Н., Иванов О.П., Куприянова А.В.** Холодильная техника. Свойства веществ: Справ./ Под ред. С.Н. Богданова. – СПб.: СПбГАХПТ, 1999. – 320 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Протокол испытаний одноступенчатой холодильной машины ХМ2ФВБС–6

“___”_____2014 г._____группа

Измеряемая величина	Примечания к показаниям приборов	Номер измерения			Среднее значение
		1	2	3	
Рабочее вещество					
Давление кг/см^2: кипения ρ_0					
конденсации $\rho_к$					
всасывания $\rho_{вс}$					
нагнетания $\rho_н$					
Температура, °С: при входе в компрессор t_1					
перед всасывающим клапаном t_1'					
при выходе из компрессора t_2,					
при входе в конденсатор t_3,					
при выходе из конденсатора t_4					
перед дроссельным вентилем t_5					
при выходе из испарителя t_7					
Вода					
Температура, °С: при входе в конденсатор t_{w1}					
при выходе из конденсатора t_{w2}					
Расход n, деления ротаметра					
Рассол					
Температура, °С: при входе в испаритель t_{s1}					
при выходе из испарителя t_{s2}					
Объем мерного бака V, м^3					
Время заполнения мерного бака τ, с					
Плотность рассола ρ, кг/см^3					

Окончание

Измеряемая величина	Примечания к показаниям приборов	Номер измерения			Среднее значение
		1	2	3	
Прочие измерения					
Атмосферное давление B, мм рт.ст.					
Показания ваттметра A, деления					
Температура воздуха в помещении $t_п$, °С					

Приложение 2

Показания ротаметра по расходу воды

n, дел.	0	10	20	30	40	50
Расход, л/с	0,206	0,256	0,295	0,355	0,398	0,459

Приложение 3

Техническая характеристика одноступенчатой холодильной машины ХМ2ФВБС–6

Компрессор

Число цилиндров ……. 2

Диаметр цилиндра …….. 67,5 мм

Ход поршня ……. 50 мм

Частота вращения …….. 24,2 $с^{-1}$

Мощность трения 950 Вт

Конденсатор

Внутренняя теплопередающая поверхность …… 1,35 $м^2$

Диаметр обечайки ……... 200 мм

Длина обечайки ……... 1005 мм

Наружный коэффициент теплопередачи …….. 10 Вт/($м^2 \cdot К$)

Испаритель

Внутренняя теплопередающая поверхность …… 2,5 $м^2$

Диаметр обечайки ……... 200 мм

Длина обечайки ……... 900 мм

Наружный коэффициент теплопередачи …….. 10 Вт/($м^2 \cdot К$)

Приложение 4

Термодинамические свойства хладагента R12 на линии насыщения

t, °C	$p \cdot 10^{-5}$, Па	$v' \cdot 10^{3}$, м³/кг	v'', м³/кг	$\rho' \cdot 10^{-3}$, кг/м³	ρ'', кг/м³	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	r, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
–75	0,0878	0,6198	1,540	1,614	0,6491	333,21	517,20	183,98	3,7159	4,6444
–74	0,0940	0,6208	1,446	1,611	0,6918	334,05	517,66	183,61	3,7202	4,6421
–73	0,1006	0,6218	1,357	1,608	0,7367	334,89	518,12	183,23	3,7243	4,6398
–72	0,1075	0,6228	1,276	1,606	0,7839	335,73	518,59	182,86	3,7285	4,6376
–71	0,1148	0,6238	1,200	1,603	0,8335	336,57	519,05	182,48	3,7326	4,6354
–70	0,1226	0,6248	1,129	1,600	0,8857	337,41	519,52	182,10	3,7368	4,6332
–69	0,1307	0,6259	1,063	1,598	0,9404	338,26	519,98	181,73	3,7410	4,6311
–68	0,1393	0,6269	1,002	1,595	0,9978	339,09	520,45	181,36	3,7451	4,6291
–67	0,1484	0,6280	0,9452	1,592	1,058	339,94	520,92	180,98	3,7492	4,6271
–66	0,1579	0,6290	0,8920	1,590	1,121	340,78	521,38	180,60	3,7533	4,6251
–65	0,1679	0,6301	0,8423	1,587	1,187	341,63	521,85	180,22	3,7574	4,6232
–64	0,1785	0,6312	0,7959	1,584	1,256	342,49	522,32	179,83	3,7615	4,6213
–63	0,1896	0,6322	0,7526	1,582	1,329	343,34	522,79	179,45	3,7655	4,6194
–62	0,2012	0,6333	0,7121	1,579	1,404	344,19	523,26	179,06	3,7696	4,6176
–61	0,2134	0,6344	0,6741	1,576	1,483	345,05	523,72	178,67	3,7736	4,6158
–60	0,2262	0,6355	0,6386	1,574	1,566	345,90	524,19	178,29	3,7776	4,6140
–59	0,2396	0,6366	0,6053	1,571	1,652	346,76	524,66	177,90	3,7816	4,6124
–58	0,2537	0,6377	0,5741	1,568	1,742	347,62	525,13	177,52	3,7856	4,6107
–57	0,2684	0,6388	0,5448	1,565	1,836	348,49	525,60	177,11	3,7896	4,6090

Продолжение

t, °C	$p \cdot 10^{-5}$, Па	$v' \cdot 10^{3}$, м³/кг	v'', м³/кг	$\rho' \cdot 10^{-3}$, кг/м³	ρ'', кг/м³	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	r, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
–56	0,2838	0,6399	0,5173	1,563	1,933	349,34	526,07	176,73	3,7936	4,6074
–55	0,2999	0,6411	0,4914	1,560	2,035	350,21	526,54	176,33	3,7975	4,6059
–54	0,3168	0,6422	0,4671	1,557	2,141	351,07	527,01	175,94	3,8015	4,6043
–53	0,3344	0,6433	0,4443	1,554	2,251	351,94	527,48	175,54	3,8054	4,6028
–52	0,3527	0,6445	0,4228	1,552	2,365	352,80	527,95	175,15	3,8093	4,6013
–51	0,3719	0,6456	0,4025	1,549	2,485	353,68	528,42	174,74	3,8133	4,5999
–50	0,3919	0,6468	0,3834	1,546	2,608	354,55	528,90	174,35	3,8172	4,5985
–49	0,4127	0,6480	0,3654	1,543	2,737	355,42	529,37	173,95	3,8211	4,5971
–48	0,4345	0,6492	0,3484	1,540	2,870	356,29	529,84	173,55	3,8249	4,5958
–47	0,4571	0,6503	0,3323	1,538	3,009	357,17	530,31	173,13	3,8288	4,5944
–46	0,4806	0,6515	0,3172	1,535	3,153	358,05	530,78	172,73	3,8327	4,5931
–45	0,5051	0,6527	0,3029	1,532	3,302	358,93	531,25	172,32	3,8366	4,5919
–44	0,5306	0,6539	0,2893	1,529	3,456	359,81	531,72	171,91	3,8404	4,5906
–43	0,5571	0,6551	0,2765	1,526	3,616	360,70	532,19	171,50	3,8443	4,5894
–42	0,5847	0,6564	0,2644	1,524	3,782	361,57	532,66	171,09	3,8481	4,5882
–41	0,6133	0,6576	0,2529	1,521	3,954	362,46	533,13	170,67	3,8519	4,5871
–40	0,6430	0,6588	0,2421	1,518	4,131	363,34	533,60	170,26	3,8557	4,5859
–39	0,6738	0,6601	0,2318	1,515	4,315	364,23	534,07	169,84	3,8595	4,5848
–38	0,7057	0,6613	0,2220	1,512	4,504	365,12	534,54	169,43	3,8632	4,5837
–37	0,7389	0,6626	0,2127	1,509	4,701	366,01	535,01	169,00	3,8670	4,5827
–36	0,7732	0,6639	0,2039	1,506	4,904	366,90	535,48	168,58	3,8708	4,5816
–35	0,8088	0,6651	0,1956	1,503	5,114	367,80	535,95	168,16	3,8745	4,5806

Продолжение

t, °C	$p \cdot 10^{-5}$, Па	$v' \cdot 10^{3}$, м³/кг	v'', м³/кг	$\rho' \cdot 10^{-3}$, кг/м³	ρ'', кг/м³	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	r, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
–34	0,8457	0,6664	0,1876	1,500	5,330	368,69	536,42	167,73	3,8782	4,5796
–33	0,8839	0,6677	0,1800	1,498	5,554	369,59	536,89	167,30	3,8820	4,5787
–32	0,9234	0,6690	0,1729	1,495	5,784	370,49	537,36	166,87	3,8857	4,5777
–31	0,9643	0,6704	0,1660	1,492	6,022	371,39	537,83	166,44	3,8894	4,5768
–30	1,006	0,6717	0,1595	1,489	6,268	372,29	538,30	166,00	3,8932	4,5759
–29	1,050	0,6730	0,1534	1,486	6,521	373,19	538,76	165,58	3,8968	4,5750
–28	1,095	0,6744	0,1474	1,483	6,782	374,10	539,23	165,13	3,9005	4,5741
–27	1,142	0,6757	0,1418	1,480	7,050	375,00	539,70	164,70	3,9042	4,5733
–26	1,190	0,6771	0,1365	1,477	7,328	375,91	540,17	164,26	3,9078	4,5725
–25	1,240	0,6784	0,1314	1,474	7,613	376,81	540,63	163,82	3,9115	4,5716
–24	1,291	0,6798	0,1265	1,471	7,907	377,73	541,10	163,36	3,9152	4,5709
–23	1,344	0,6812	0,1218	1,468	8,209	378,64	541,56	162,92	3,9188	4,5701
–22	1,399	0,6826	0,1174	1,465	8,520	379,56	542,03	162,47	3,9224	4,5693
–21	1,455	0,6840	0,1131	1,462	8,840	380,47	542,49	162,02	3,9260	4,5686
–20	1,513	0,6854	0,1091	1,459	9,169	381,38	542,96	161,58	3,9296	4,5679
–19	1,573	0,6869	0,1052	1,456	9,508	382,30	543,30	161,12	3,9332	4,5672
–18	1,634	0,6883	0,1015	1,453	9,856	383,22	543,88	160,66	3,9368	4,5665
–17	1,698	0,6898	0,09791	1,450	10,21	384,14	544,34	160,20	3,9404	4,5658
–16	1,763	0,6913	0,09451	1,447	10,58	385,06	544,80	159,75	3,9440	4,5652
–15	1,830	0,6927	0,09125	1,444	10,96	385,98	545,26	159,28	3,9476	4,5646
–14	1,899	0,6942	0,08813	1,440	11,35	386,91	545,72	158,81	3,9511	4,5639
–13	1,970	0,6957	0,08514	1,437	11,74	387,83	546,18	158,35	3,9547	4,5633

Продолжение

t, °C	$p \cdot 10^{-5}$, Па	$v' \cdot 10^{3}$, м³/кг	v'', м³/кг	$\rho' \cdot 10^{-3}$, кг/м³	ρ'', кг/м³	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	r, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
–12	2,044	0,6972	0,08228	1,434	12,15	388,76	546,64	157,88	3,9582	4,5628
–11	2,119	0,6988	0,07953	1,431	12,57	389,70	547,10	157,40	3,9617	4,5622
–10	2,196	0,7003	0,07689	1,428	13,00	390,63	547,55	156,92	3,9653	4,5616
–9	2,275	0,7019	0,07437	1,425	13,45	391,56	548,01	156,45	3,9688	4,5611
–8	2,357	0,7034	0,07194	1,422	13,90	392,48	548,46	155,98	3,9723	4,5605
–7	2,440	0,7050	0,06962	1,418	14,36	393,42	548,92	155,50	3,9758	4,5600
–6	2,526	0,7066	0,06738	1,415	14,84	394,36	549,37	155,01	3,9793	4,5595
–5	2,614	0,7082	0,06522	1,412	15,33	395,30	549,82	154,52	3,9828	4,5590
–4	2,705	0,7098	0,06316	1,409	15,83	396,23	550,27	154,04	3,9862	4,5585
–3	2,798	0,7114	0,06118	1,406	16,34	397,17	550,72	153,55	3,9897	4,5580
–2	2,893	0,7131	0,05926	1,402	16,87	398,12	551,17	153,05	3,9931	4,5576
–1	2,990	0,7147	0,05743	1,399	17,41	399,06	551,62	152,55	3,9966	4,5571
0	3,091	0,7164	0,05566	1,396	17,96	400,00	552,06	152,06	4,0000	4,5567
1	3,193	0,7181	0,05396	1,392	18,53	400,95	552,51	151,56	4,0034	4,5563
2	3,298	0,7198	0,05232	1,389	19,11	401,90	552,95	151,05	4,0069	4,5558
3	3,406	0,7215	0,05075	1,386	19,70	402,85	553,39	150,55	4,0103	4,5554
4	3,516	0,7232	0,04923	1,383	20,31	403,80	553,84	150,04	4,0137	4,5550
5	3,629	0,7250	0,04776	1,379	20,94	404,75	554,28	149,53	4,0171	4,5547
6	3,745	0,7268	0,04635	1,376	21,57	405,70	554,71	149,01	4,0205	4,5543
7	3,863	0,7285	0,04499	1,373	22,23	406,67	555,15	148,48	4,0239	4,5539
8	3,984	0,7303	0,04368	1,369	22,89	407,62	555,59	147,97	4,0272	4,5536
9	4,108	0,7321	0,04242	1,366	23,58	408,58	556,02	147,44	4,0306	4,5532

Продолжение

t, °С	$p \cdot 10^{-5}$, Па	$v' \cdot 10^{3}$, м³/кг	v'', м³/кг	$\rho' \cdot 10^{-3}$, кг/м³	ρ'', кг/м³	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	r, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
10	4,235	0,7340	0,04119	1,362	24,28	409,54	556,45	146,92	4,0340	4,5528
11	4,365	0,7358	0,04001	1,359	24,99	410,50	556,88	146,38	4,0374	4,5525
12	4,497	0,7377	0,03888	1,356	25,72	411,46	557,32	145,86	4,0407	4,5522
13	4,633	0,7396	0,03778	1,352	26,47	412,42	557,74	145,32	4,0440	4,5519
14	4,772	0,7415	0,03672	1,349	27,23	413,38	558,17	144,78	4,0473	4,5516
15	4,913	0,7434	0,03569	1,345	28,02	414,36	558,59	144,23	4,0507	4,5512
16	5,058	0,7453	0,03470	1,342	28,82	415,32	559,02	143,69	4,0540	4,5510
17	5,206	0,7473	0,03374	1,338	29,63	416,29	559,44	143,14	4,0573	4,5506
18	5,357	0,7493	0,03282	1,335	30,47	417,27	559,86	142,58	4,0606	4,5504
19	5,511	0,7513	0,03192	1,331	31,33	418,24	560,27	142,03	4,0639	4,5501
20	5,669	0,7533	0,03105	1,327	32,20	419,22	560,69	141,46	4,0672	4,5498
21	5,830	0,7553	0,03022	1,324	33,10	420,20	561,10	140,90	4,0705	4,5495
22	5,994	0,7574	0,02940	1,320	34,01	421,18	561,51	140,33	4,0738	4,5493
23	6,162	0,7595	0,02862	1,317	34,94	422,16	561,92	139,76	4,0771	4,5490
24	6,333	0,7616	0,02786	1,313	35,90	423,14	562,33	139,18	4,0803	4,5487
25	6,508	0,7637	0,02712	1,309	36,87	424,13	562,73	138,61	4,0836	4,5485
26	6,686	0,7659	0,02641	1,306	37,87	425,11	563,13	138,02	4,0868	4,5482
27	6,868	0,7681	0,02571	1,302	38,89	426,11	563,53	137,42	4,0901	4,5480
28	7,053	0,7703	0,02504	1,298	39,93	427,10	563,93	136,83	4,0934	4,5478
29	7,242	0,7725	0,02440	1,294	40,99	428,08	564,33	136,24	4,0966	4,5475
30	7,435	0,7748	0,02376	1,291	42,08	429,08	564,72	135,64	4,0998	4,5473
31	7,631	0,7770	0,02315	1,287	43,19	430,08	565,11	135,03	4,1031	4,5470

Продолжение

t, °С	$p \cdot 10^{-5}$, Па	$v' \cdot 10^{3}$, м³/кг	v'', м³/кг	$\rho' \cdot 10^{-3}$, кг/м³	ρ'', кг/м³	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	r, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
32	7,832	0,7794	0,02256	1,283	44,32	431,08	565,49	134,42	4,1063	4,5468
33	8,036	0,7817	0,02198	1,279	45,48	432,08	565,88	133,80	4,1095	4,5466
34	8,244	0,7840	0,02143	1,275	46,67	433,09	566,26	133,17	4,1128	4,5463
35	8,456	0,7864	0,02088	1,272	47,88	434,09	566,64	132,55	4,1160	4,5461
36	8,672	0,7889	0,02036	1,268	49,12	435,10	567,01	131,91	4,1192	4,5459
37	8,892	0,7913	0,01985	1,264	50,38	436,11	567,38	131,27	4,1224	4,5456
38	9,116	0,7938	0,01935	1,260	51,67	437,12	567,75	130,63	4,1256	4,5454
39	9,344	0,7963	0,01887	1,256	52,99	438 14	568,12	129,98	4 1288	4,5452
40	9,577	0,7989	0,01840	1,252	54,34	439,16	568,48	129,32	4,1320	4,5450
41	9,814	0,8015	0,01795	1,248	55,72	440,18	568,84	128,66	4,1352	4,5447
42	10,05	0,8041	0,01750	1,244	57,13	441,20	569,19	127,99	4,1384	4,5445
43	10,30	0,8067	0,01707	1,240	58,57	442,22	569,54	127,32	4,1416	4,5443
44	10,55	0,8094	0,01666	1,235	60,04	443,25	569,89	126,64	4,1448	4,5440
45	10,80	0,8122	0,01625	1,231	61,54	444,28	570,24	125,95	4,1479	4,5438
46	11,06	0,8149	0,01585	1,227	63,08	445,32	570,57	125,26	4,1511	4,5436
47	11,33	0,8177	0,01547	1,223	64,65	446,36	570,91	124,56	4,1543	4,5433
48	11,59	0,8206	0,01509	1,219	66,25	447 40	571,24	123,84	4,1575	4,5431
49	11,87	0,8235	0,01473	1,214	67,90	448,44	571,57	123,13	4,1606	5,5428
50	12,14	0,8264	0,01437	1,210	69,58	449,49	571,89	122,40	4,1638	4,5426
51	12,43	0,8294	0,01403	1,206	71,29	450,54	572,21	121,66	4,1670	4,5423
52	12,71	0,8324	0,01369	1,201	73,05	451,60	572,52	120,92	4,1702	4,5421
53	13,00	0,8355	0,01336	1,197	74,85	452,66	572,83	120,17	4,1734	4,5418

Продолжение

t, °С	$p \cdot 10^{-5}$, Па	$v' \cdot 10^{3}$, м³/кг	v'', м³/кг	$\rho' \cdot 10^{-3}$, кг/м³	ρ'', кг/м³	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	r, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
54	13,30	0,8386	0,01304	1,192	76,68	453,72	573,13	119,41	4,1765	4,5415
55	13,60	0,8418	0,01273	1,188	78,56	454,78	573,43	118,64	4,1797	4,5413
56	13,91	0,8450	0,01242	1,183	80 48	455,86	573,72	117,86	4,1829	4,5410
57	14,22	0,8483	0,01213	1,179	82,45	456,93	574,01	117,08	4,1861	4,5407
58	14,54	0,8516	0,01184	1,174	84,46	458,01	574,29	116,28	4,1892	4,5404
59	14,86	0,8550	0,01156	1,170	86,52	459,09	574,56	115,47	4,1924	4,5401
60	15,19	0,8585	0,01128	1,165	88,63	460,18	574,83	114,65	4,1956	4,5398
61	15,52	0,8620	0,01101	1,160	90,79	461,28	575,10	113 82	4,1988	4,5394
62	15,86	0,8656	0,01075	1,155	93,00	462,38	575,35	112,98	4,2020	4,5391
63	16,20	0,8693	0,01050	1,150	95,26	463,47	575,60	112,13	4,2052	4,5388
64	16,55	0,8730	0,01025	1,145	97,59	564,59	575,84	111,26	4,2084	4,5384
65	16,91	0,8768	0,01000	1,140	99,96	465,70	576,08	110,39	4,2116	4,5380
66	17,27	0,8806	0,009765	1,136	102,4	466,82	576,31	109,48	4,2148	4,5377
67	17,63	0,8846	0,009533	1,130	104,8	467,94	576,53	108,59	4,2180	4,5373
68	18,00	0,8886	0,009306	1,125	107,5	469,07	576,74	107,67	4,2213	4,5369
69	18,38	0,8927	0,00908	1,120	110,1	470,21	576,95	10673	4,2245	4,5365
70	18,77	0,8970	0,008866	1,115	112,8	471,36	577,14	105,78	4,2277	4,5360
71	19,16	0,9013	0,008653	1,110	115,6	472,52	577,33	104,81	4,2310	4,5356
72	19,55	0,9056	0,008446	1,104	118,4	473,67	577,50	103,83	4,2343	4,5351
73	19,95	0 9102	0,008243	1 099	121,3	474,84	577,67	102,83	4,2375	4,5346
74	20,36	0,9148	0,008043	1,093	124,3	476,02	577,83	101,81	4,2408	4,5341
75	20,78	0,9195	0,007849	1,088	127,4	477,21	577,98	100,77	4,2441	4,5336

Продолжение

t, °C	$p \cdot 10^{-5}$, Па	$v' \cdot 10^{3}$, м³/кг	v'', м³/кг	$\rho' \cdot 10^{-3}$, кг/м³	ρ'', кг/м³	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	r, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
76	21,20	0,9243	0,007658	1,082	130,6	478,40	578,11	99,72	4,2474	4,5330
77	21,63	0,9293	0,007472	1,076	133,8	479,60	578,24	98,64	4,2508	4,5325
78	22,06	0,9344	0,007289	1,070	137,2	480,81	578,35	97,54	4,2541	4,5319
79	22,50	0,9395	0,007109	1,064	140,7	482,03	578,45	96,42	4,2575	4,5313
80	22,95	0,9450	0,006934	1,058	144,2	483,27	578,54	95,27	4,2608	4,5306
81	23,40	0,9506	0,006762	1,052	147,9	484,51	578,61	94,10	4,2642	4,5300
82	23,86	0,9563	0,006592	1,046	151,7	485,77	578,67	92,90	4,2677	4,5292
83	24,33	0,9622	0,006427	1,039	155,6	487,03	578,72	91,68	4,2711	4,5285
84	24,80	0,9683	0,006264	1,033	159,6	488,31	578,74	90,43	4,2746	4,5278
85	25,29	0,9745	0,006104	1,026	163,8	489,61	578,75	89,14	4,2781	4,5270
86	25,77	0,9810	0,005947	1,019	168,1	490,92	578,75	87,83	4,2816	4,5261
87	26,27	0,9878	0,005793	1,012	172,6	492,25	578,72	86,48	4,2851	4,5252
88	26,77	0,9947	0,005641	1,004	177,3	493,59	578,68	85,09	4,2887	4,5243
89	27,28	1,0020	0,005492	0,998	182,1	494,94	578,61	83,67	4,2923	4,5233
90	27,80	1,0095	0,005345	0,991	187,1	496,32	578,52	82,20	4,2960	4,5223
91	28,33	1,0174	0,005200	0,983	192,3	497,72	578,41	80,69	4,2997	4,5212
92	28,86	1,0256	0,005058	0,975	197,7	499,13	578,27	79,14	4,3034	4,5201
93	29,40	1,0342	0,004917	0,967	203,4	500,58	578,10	77,52	4,3072	4,5189
94	29,95	1,0432	0,004778	0,959	209,3	502,04	577,91	75,87	4,3110	4,5177
95	30,51	1,0526	0,004640	0,950	215,5	503,53	577,67	74,14	4,3149	4,5163
96	31,08	1,0626	0,004505	0,941	222,0	505,05	577,41	72,36	4,3189	4,5149
97	31,65	1,0732	0,004370	0,932	228,8	506,60	577,10	70,50	4,3229	4,5134

Окончание

t, °С	$p \cdot 10^{-5}$, Па	$v' \cdot 10^{3}$, м³/кг	v'', м³/кг	$\rho' \cdot 10^{-3}$, кг/м³	ρ'', кг/м³	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	r, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
98	32,23	1,0844	0,004237	0,922	236,0	508,19	576,75	68,56	4,3270	4,5117
99	32,82	1 0963	0,004104	0,912	243,6	509,81	576,35	66,54	4,3312	4,5100
100	33,42	1,1091	0,003972	0,902	251,7	511,47	575,90	64,42	4,3355	4,5081
101	34,03	1,1229	0,003841	0,891	260,4	513,19	575,38	62,20	4,3399	4,5061
102	34,64	1,1378	0,003709	0,879	269,6	514,95	574,80	59,85	4,3444	4,5040
103	35,27	1,1541	0,003577	0,866	279,6	516,78	574,14	57,35	4,3491	4,5016
104	35,90	1,1721	0,003444	0,853	290,3	518,69	573,37	54,69	4,3540	4,4990
105	36,54	1,1922	0,003309	0,839	302,2	520,68	572,50	51,82	4,3590	4,4961
106	37,20	1,2150	0 003172	0,823	315,3	522,77	571,48	48,71	4,3644	4,4928
107	37,86	1,2414	0,003030	0,806	330,0	525,01	570,29	45,28	4,3700	4,4892
108	38,53	1,2727	0,002882	0,786	347,0	527,43	568,86	41,43	4,3762	4,4849
109	39,21	1,3117	0,002725	0,762	367,0	530,11	567,09	36,98	4,3830	4,4797
110	39,90	1,3639	0,002550	0,733	392,2	533,22	564,78	31,56	4,3909	4,4732
111	40,60	1,4452	0,002339	0,692	427,5	537,23	561,43	24,20	4,4011	4,4641
112	41,31	1,8755	0,001875	0,533	533,2	551,09	551,09	0	4,4368	4,4368

Приложение 5

Термодинамические свойства перегретого пара хладагента R12

t, °C	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг·К)	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)
	$t_н$ = –20 °C (p = 1,513·10^5 Па)			$t_н$ = –15 °C (p = 1,83·10^5 Па)		
–20	0,1091	542,96	4,5679	–	–	–
–15	0,1116	545,95	4,5796	0,09125	545,26	4,5646
–10	0,1142	548,95	4,5911	0,09343	548,31	4,5762
–5	0,1167	551,96	4,6024	0,09558	551,36	4,5877
0	0,1193	554,98	4,6136	0,09770	554,42	4,5990
5	0,1218	558,02	4,6246	0,09981	557,49	4,6102
10	0,1242	561,07	4,6355	0,1019	560,57	4,6211
15	0,1267	564,14	4,6462	0,1040	563,66	4,6320
20	0,1291	567,22	4,6568	0,1060	566,77	4,6427
25	0,1316	570,32	4,6673	0,1081	569,90	4,6532
30	0,1340	573,44	4,6777	0,1101	573,03	4,6637
35	0,1364	576,57	4,6880	0,1121	576,19	4,6740
40	0,1388	579,73	4,6981	0,1141	579,36	4,6842
45	0,1412	582,90	4,7082	0,1162	582,54	4,6943
50	0,1436	586,09	4,7181	0,1181	585,75	4,7043
55	0,1460	589,29	4,7280	0,1201	588,97	4,7142
60	0,1484	592,52	4,7377	0,1221	592,20	4,7240
65	0,1507	595,76	4,7474	0,1241	595,46	4,7336
70	0,1531	599,02	4,7569	0,1261	598,73	4,7433

Продолжение

t, °C	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)
75	0,1555	602,30	4,7664	0,1280	602,01	4,7528
80	0,1578	605,59	4,7758	0,1300	605,32	4,7622
85	0,1602	608,90	4,7851	0,1320	608,64	4,7715
90	0,1625	612,23	4,7944	0,1339	611,98	4,7808
95	0,1649	615,58	4,8035	0,1359	615,33	4,7900
100	0,1672	618,94	4,8126	0,1378	618,70	4,7990
105	0,1695	622,32	4,8216	0,1398	622,09	4,8081
110	0,1719	625,72	4,8305	0,1417	625,49	4,8170
115	0,1742	629,13	4,8394	0,1437	628,91	4,8259
120	0,1766	632,56	4,8481	0,1456	632,35	4,8347
125	0,1789	636,01	4,8568	0,1475	635,80	4,8434
130	0,1812	639,47	4,8655	0,1495	639,26	4,8520
135	0,1836	642,94	4,8740	0,1514	642,74	4,8606
140	0,1859	646,43	4,8825	0,1533	646,24	4,8691
145	0,1882	649,94	4,8910	0,1553	649,75	4,8776
150	0,1905	653,46	4,8993	0,1572	653,27	4,8859
155	0,1928	656,99	4,9076	0,1591	656,80	4,8942
160	0,1952	660,54	4,9159	0,1610	660,36	4,9025
165	0,1975	664,10	4,9241	0,1630	663,92	4,9107
170	0,1998	667,68	4,9322	0,1649	667,50	4,9188
175	0,2021	671,27	4,9402	0,1668	671,10	4,9269
180	0,2044	674,87	4,9482	0,1687	674,70	4,9349

Продолжение

t, °C	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)
185	0,2067	678,48	4,9561	0,1707	678,32	4,9428
190	0,2090	682,11	4,9640	0,1726	681,95	4,9507
195	0,2114	685,75	4,9719	0,1745	685,59	4,9585
200	0,2137	689,41	4,9796	0,1764	689,25	4,9663
	$t_н$ = –10 °С (p = 2,196·10^5 Па)			$t_н$ = –5 °С (p = 2,614·10^5 Па)		
–10	0,07690	547,55	4,5616	–	–	–
–5	0,07874	550,65	4,5733	0,06523	549,82	4,5590
0	0,08056	553,76	4,5847	0,06681	552,98	4,5707
5	0,08236	556,86	4,5960	0,06837	556,14	4,5821
10	0,08414	559,98	4,6071	0,06990	559,30	4,5934
15	0,08591	563,11	4,6181	0,07142	562,46	4,6045
20	0,08766	566,25	4,6289	0,07292	565,63	4,6154
25	0,08940	569,40	4,6395	0,07442	568,81	4,6261
30	0,09112	572,56	4,6500	0,07589	572,01	4,6368
35	0,09283	575,74	4,6604	0,07736	575,21	4,6472
40	0,09454	578,93	4,6707	0,07882	578,42	4,6576
45	0,09624	582,13	4,6809	0,08026	581,65	4,6678
50	0,09792	585,35	4,6909	0,08170	584,89	4,6779
55	0,09960	588,59	4,7008	0,08314	588,15	4,6879
60	0,1013	591,84	4,7107	0,08456	591,42	4,6978
65	0,1029	595,11	4,7204	0,08598	594,70	4,7076
70	0,1046	598,39	4,7300	0,08739	598,00	4,7173

Продолжение

t, °C	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)
75	0,1062	601,69	4,7396	0,08880	601,31	4,7268
80	0,1079	605,00	4,7490	0,09020	604,64	4,7363
85	0,1096	608,34	4,7584	0,09160	607,96	4,7457
90	0,1112	611,68	4,7677	0,09299	611,34	4,7550
95	0,1128	615,05	4,7769	0,09438	614,72	4,7643
100	0,1145	618,42	4,7860	0,09578	618,10	4,7734
105	0,1161	621,82	4,7950	0,09716	621,51	4,7825
110	0,1177	625,23	4,8040	0,09854	624,93	4,7915
115	0,1194	628,66	4,8129	0,09992	628,36	4,8004
120	0,1210	632,09	4,8217	0,1013	631,81	4,8092
125	0,1226	635,55	4,8304	0,1027	635,27	4,8180
130	0,1243	639,02	4,8391	0,1040	638,75	4,8266
135	0,1259	642,51	4,8477	0,1054	642,24	5,8352
140	0,1275	646,01	4,8562	0,1068	645,75	4,8438
145	0,1291	649,52	4,8647	0,1082	649,27	4,8522
150	0,1307	653,05	4,8731	0,1095	652,80	4,8606
155	0,1323	656,59	4,8814	0,1109	656,35	4,8690
160	0,1340	660,15	4,8896	0,1122	659,91	4,8772
165	0,1356	663,72	4,8978	0,1136	663,48	4,8854
170	0,1372	667,30	4,9060	0,1150	667,07	4,8936
175	0,1388	670,90	4,9140	0,1163	670,67	4,9017
180	0,1404	674,51	4,9220	0,1177	674,28	4,9097

Продолжение

t, °C	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг·К)	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)
185	0,1420	678,13	4,9300	0,1190	677,91	4,9176
190	0,1436	681,76	4,9379	0,1203	681,55	4,9256
195	0,1452	685,41	4,9457	0,1217	685,20	4,9334
200	0,1468	689,07	4,9536	0,1231	688,86	4,9412
	$t_н$ = 20 °C (p = 5,660·10^5 Па)			$t_н$ = 25 °C (p = 6,508·10^5 Па)		
20	0,03105	560,69	4,5498	–	–	–
25	0,03188	564,16	4,5616	0,02712	562,73	4,5485
30	0,03268	567,62	4,5731	0,02786	566,28	4,5603
35	0,03347	571,06	4,5843	0,02858	569,81	4,5718
40	0,03424	574,49	4,5954	0,02928	573,31	4,5931
45	0,03500	577,91	4,6062	0,02997	576,80	4,5942
50	0,03575	581,33	4,6169	0,03065	580,27	4,6050
55	0,03649	584,74	4,6273	0,03132	583,74	4,6156
60	0,03722	588,16	4,6377	0,03198	587,21	4,6261
65	0,03794	591,58	4,6479	0,03263	590,67	4,6364
70	0,03866	595,00	4,6579	0,03327	594,13	4,6466
75	0,03937	598,43	4,6678	0,03390	597,60	4,6566
80	0,04008	601,87	4,6776	0,03453	601,07	4,6665
85	0,04077	605,31	4,6873	0,03515	604,54	4,6763
90	0,04147	608,76	4,6969	0,03577	608,02	4,6859
95	0,04216	612,22	4,7063	0,03639	611,50	4,6955
100	0,04284	615,68	4,7157	0,03700	614,99	4,7049

Продолжение

t, °C	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)
105	0,04352	619 16	4,7249	0,03760	618,50	4,7142
110	0,04420	622,65	4,7341	0,03820	622,00	4,7234
115	0,04488	626,15	4,7432	0,03880	625,52	4,7326
120	0,04555	629,66	4,7522	0,03939	629,05	4,7416
125	0,04622	633,18	4,7610	0,03998	632,59	4,7505
25	0,03188	564,16	4,5616	0,02712	562,73	4,5485
30	0,03268	567,62	4,5731	0,02786	566,28	4,5603
35	0,03347	571,06	4,5843	0,02858	569,81	4,5718
40	0,03424	574,49	4,5954	0,02928	573,31	4,5931
45	0,03500	577,91	4,6062	0,02997	576,80	4,5942
50	0,03575	581,33	4,6169	0,03065	580,27	4,6050
55	0,03649	584,74	4,6273	0,03132	583,74	4,6156
60	0,03722	588,16	4,6377	0,03198	587,21	4,6261
65	0,03794	591,58	4,6479	0,03263	590,67	4,6364
70	0,03866	595,00	4,6579	0,03327	594,13	4,6466
75	0,03937	598,43	4,6678	0,03390	597,60	4,6566
80	0,04008	601,87	4,6776	0,03453	601,07	4,6665
85	0,04077	605,31	4,6873	0,03515	604,54	4,6763
90	0,04147	608,76	4,6969	0,03577	608,02	4,6859
95	0,04216	612,22	4,7063	0,03639	611,50	4,6955
100	0,04284	615,68	4,7157	0,03700	614,99	4,7049
105	0,04352	619,16	4,7249	0,03760	618,50	4,7142

Продолжение

t, °C	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)
110	0,04420	622,65	4,7341	0,03820	622,00	4,7234
115	0,04488	626,15	4,7432	0,03880	625,52	4,7326
120	0,04555	629,66	4,7522	0,03939	629,05	4,7416
125	0,04622	633,18	4,7610	0,03998	632,59	4,7505
130	0,04688	636,71	4,7699	0,04058	636,13	4,7594
135	0,04755	640,25	4,7786	0,04116	639,69	4,7681
140	0,04821	643,80	4,7872	0,04175	643,26	4,7768
145	0,04888	647,37	4,7958	0,04233	646,84	4,7854
150	0,04953	650,95	4,8043	0,04291	650,43	4,7940
155	0,05019	654,53	4,8128	0,04349	654,03	4,8024
160	0,05085	658,13	4,8211	0,04407	657,64	4,8108
165	0,05150	661,74	4,8294	0,04464	661,26	4,8191
170	0,05215	665,36	4,8376	0,04522	664,89	4,8274
175	0,05281	668,99	4,8458	0,04580	668,53	4,8355
180	0,05345	672,64	4,8539	0,04637	672,19	4,8436
185	0,05410	676,30	4,8620	0,04694	675,85	4,8517
190	0,05475	679,96	4,8698	0,04751	679,52	4,8597
195	0,05540	683,64	4,8777	0,04808	683,21	4,8676
200	0,05605	687,33	4,8856	0,04865	686,91	4,8754
	$t_н$ =30 °C (p = 7,435·10^5 Па)			$t_н$ = 35 °C (p = 8,456·10^5 Па)		
30	0,02376	564,72	4,5473	–	–	–
35	0,02443	568,35	4,5591	0,02088	566,64	4,5461

Продолжение

t, °C	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)
40	0,02508	571,94	4,5707	0,02149	570,35	4,5581
45	0,02572	575,51	4,5820	0,02209	574,02	4,5697
50	0,02634	579,06	4,5931	0,02266	577,66	4,5811
55	0,02695	582,60	4,6040	0,02322	581,28	4,5922
60	0,02754	586,12	4,6146	0,02377	584,87	4,6030
65	0,02813	589,64	4,6251	0,02431	588,45	4,6137
70	0,02871	593,14	4,6354	0,02484	592,02	4,6242
75	0,02928	596,65	4,6455	0,02536	595,58	4,6345
80	0,02985	600,16	4,6555	0,02588	599,14	4,6446
85	0,03041	603,67	4,6654	0,02638	602,69	4,6546
90	0,03097	607,18	4,6752	0,02688	606,24	4,6644
95	0,03151	610,70	4,6848	0,02738	609,79	4,6742
100	0,03207	614,22	4,6943	0,02787	613,35	4,6837
105	0,03260	617,75	4,7036	0,02836	616,96	4,6932
110	0,03314	621,28	4,7129	0,02884	620,47	4,7026
115	0,03367	624,82	4,7221	0,02932	624,03	4,7118
120	0,03420	628,37	4,7312	0,02980	627,61	4,7210
125	0,03473	631,92	4,7402	0,03027	631,19	4,7300
130	0,03525	635,49	4,7491	0,03074	634,77	4,7390
135	0,03578	639,07	4,7579	0,03121	638,37	4,7478
140	0,03630	642,65	4,7666	0,03168	641,97	4,7566
145	0,03682	646,24	4,7753	0,03214	645,58	4,7653

Окончание

t, °С	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)	v, м³/кг	h, кДж/кг	s, кДж/(кг · К)
150	0,03733	649,85	4,7838	0,03260	649,20	4,7739
155	0,03785	653,46	4,7923	0,03306	652,83	4,7824
160	0,03836	657,08	4,8007	0,03352	656,47	4,7909
165	0,03887	660,72	4,8091	0,03397	660,12	4,7992
170	0,03938	664,36	4,8174	0,03443	663,77	4,8076
175	0,03989	668,01	4,8255	0,03488	667,44	4,8158
180	0,04040	671,69	4,8337	0,03533	671,11	4,8239
185	0,04090	675,35	4,8417	0,03578	674,80	4,8320
190	0,04141	679,04	4,8497	0,03623	678,50	4,8400
195	0,04191	682,73	4,8577	0,03668	682,20	4,8480
200	0,04241	686,44	4,8656	0,03712	685,92	4,8559

Приложение 6

Плотность водного раствора хлористого кальция

ξ, %	ρ, кг/м³, при *t*, °С					
	15	0	–10	–20	–30	–40
15	1132	1137	1140	–	–	
16	1142	1147	1150	–	–	–
17	1151	1157	1160	–	–	
18	1161	1167	1170	–	–	–
19	1171	1177	1180	–	–	–
20	1181	1187	1190	–	–	–
21	1191	1197	1201	1205	–	–
22	1201	1207	1211	1215	–	–
23	1211	1218	1222	1226	–	–
24	1222	1228	1233	1237	–	–
25	1232	1239	1244	1248	–	–
26	1243	1250	1254	1259	1263	–
27	1252	1261	1266	1270	1275	–
28	1264	1272	1277	1282	1287	–
29	1275	1283	1288	1293	1298	1303
30	1286	1294	1298	1304	1310	1315

Приложение 7

Теплофизические свойства раствора хлористого кальция

ξ, %	$t_з$, °С	ρ_{15}, кг/м^3	t, °С	c, Дж/(кг · К)	λ, Вт/(м · К)	$\mu \cdot 10^3$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м^2/с	$a \cdot 10^7$, м^2/с	Pr
9,4	–5,2	1080	20	3,642	5,584	1,24	1,15	1,49	7,8
9,4	–5,2	1080	10	3,634	0,570	1,55	1,44	1,45	9,9
9,4	–5,2	1080	0	3,626	0,556	2,16	2,00	1,42	14,1
9,4	–5,2	1080	–5	3,601	0,549	2,55	2,36	1,41	16,7
14,7	–10,2	1130	20	3,362	0,576	1,49	1,32	1,52	8,7
14,7	–10,2	1130	10	3,349	0,563	1,86	1,64	1,49	11,0
14,7	–10,2	1130	0	3,328	0,549	2,56	2,27	1,46	15,6
14,7	–10,2	1130	–5	3,316	0,542	3,04	2,70	1,44	18,7
14,7	–10,2	1130	–10	3,308	0,534	4,06	3,60	1,43	25,3
18,9	–15,7	1170	20	3,148	0,572	1,80	1,54	1,56	9,9
18,9	–15,7	1170	10	3,140	0,558	2,24	1,91	1,52	12,6
18,9	–15,7	1170	0	3,128	0,544	2,99	2,56	1,49	17,2
18,9	–15,7	1170	–5	3,098	0,537	3,43	2,94	1,48	19,8
18,9	–15,7	1170	–10	3,086	0,529	4,67	4,00	1,47	27,3
18,9	–15,7	1170	–15	3,065	0,523	6,15	5,27	1,47	35,9
20,9	–19,2	1190	20	3,077	0,569	2,00	1,68	1,55	10,9
20,9	–19,2	1190	10	3,056	0,555	2,45	2,06	1,53	13,4
20,9	–19,2	1190	0	3,044	0,542	3,28	2,76	1,49	18,5
20,9	–19,2	1190	–5	3,014	0,535	3,82	3,22	1,49	21,5
20,9	–19,2	1190	–10	3,014	0,527	5,07	4,25	1,47	28,9

Продолжение

ξ, %	$t_з$, °С	ρ_{15}, кг/м^3	t, °С	c, кДж/(кг · К)	λ, Вт/(м · К)	$\mu \cdot 10^3$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м^2/с	$a \cdot 10^7$, м^2/с	Pr
20,9	–19,2	1190	–15	3,014	0,521	6,59	5,53	1,45	38,2
23,8	–25,7	1220	20	2,973	0,565	2,35	1,94	1,56	12,5
23,8	–25,7	1220	10	2,952	0,551	2,87	2,35	1,53	15,4
23,8	–25,7	1220	0	2,931	0,538	3,81	3,13	1,51	20,8
23,8	–25,7	1220	–5	2,910	0,530	4,41	3,63	1,49	24,4
23,8	–25,7	1220	–10	2,910	0,523	5,92	4,87	1,48	33,0
23,8	–25,7	1220	–15	2,910	0,518	7,55	6,20	1,46	42,5
23,8	–25,7	1220	–20	2,889	0,510	9,47	7,77	1,44	53,8
23,8	–25,7	1220	–25	5,889	0,504	11,57	9,48	1,43	66,5
25,7	–31,2	1240	20	2,889	0,562	2,63	2,12	1,57	13,5
25,7	–31,2	1240	10	2,889	0,548	3,22	2,51	1,53	16,5
25,7	–31,2	1240	0	2,868	0,535	4,26	3,43	1,51	22,7
25,7	–31,2	1240	–10	2,847	0,521	6,68	5,40	1,48	36,6
25,7	–31,2	1240	–15	2,847	0,514	9,36	6,75	1,46	46,3
25,7	–31 2	1240	–20	2,805	0,508	10,56	8,52	1,46	58,5
25,7	–31,2	1240	–25	2,805	0,501	12,90	10,40	1,44	72,0
25,7	–31,2	1240	–30	2,763	0,494	14,81	12,00	1,44	83,0
27,5	–38,6	1260	20	2,847	0,558	2,93	2,33	1,56	14,9
27,5	–38,6	1260	10	2,826	0,545	3,61	2,87	1,53	18,8
27,5	–38,6	1260	0	2,809	0,531	4,80	3,81	1,50	25,3
27,5	–38,6	1260	–10	2,784	0,519	7,52	5,97	1,48	40,3
27,5	–38,6	1260	–20	2,763	0,506	11,87	9,45	1,46	65,0

Продолжение

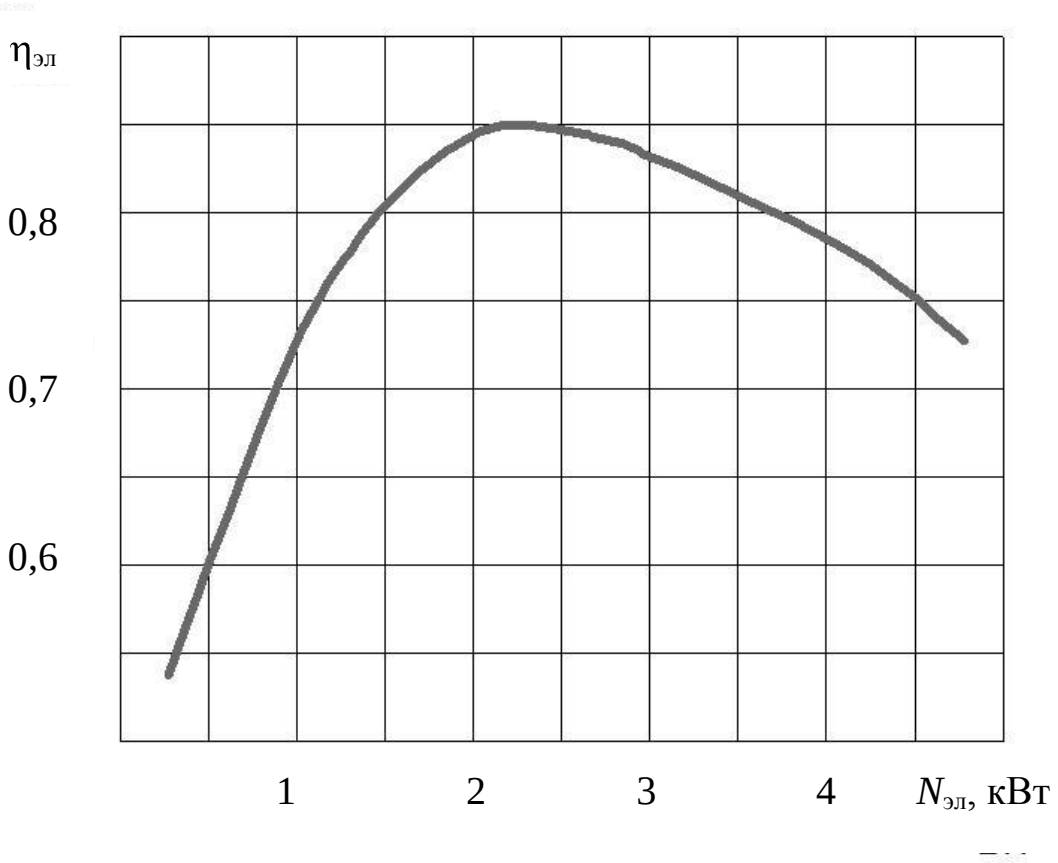
ξ, %	$t_з$, °С	ρ_{15}, кг/м^3	t, °С	c, кДж/(кг · К)	λ, Вт/(м · К)	$\mu \cdot 10^3$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м^2/с	$a \cdot 10^7$, м^2/с	Pr
27,5	–38,6	1260	–25	2,742	0,449	14,71	11,70	1,44	80,7
27,5	–38,6	1260	–30	2,742	0,492	17,16	13,60	1,42	95,5
27,5	–38,6	1260	–35	2,721	0,486	21,57	17,10	1,42	120,0
28,5	–43,5	1270	20	2,805	0,557	3,14	2,47	1,56	15,8
28,5	–43,5	1270	0	2,780	0,529	5,12	4,02	1,50	26,7
28,5	–43,5	1270	–10	2,763	0,518	8,02	6,32	1,48	42,7
28,5	–43,5	1270	–20	2,721	0,505	12,65	10,0	1,46	68,8
28,5	–43,5	1270	–25	2,721	0,500	15,98	12,6	1,44	87,5
28,5	–43,5	1270	–30	2,700	0,491	18,83	14,9	1,43	103,5
28,5	–43,5	1270	–35	2,700	0,491	18,83	14,9	1,43	103,5
28,5	–43,5	1270	–40	2,680	0,478	30,40	24,0	1,41	171,0
29,4	–50,1	1280	20	2,805	0,555	3,33	2,65	1,55	17,2
29,4	–50,1	1280	0	2,775	0,528	5,49	4,30	1,50	28,7
29,4	–50,1	1280	–10	2,721	0,576	8,63	6,75	1,49	45,4
29,4	–50,1	1280	–20	2,680	0,504	13,83	10,8	1,47	73,4
29,4	–50,1	1280	–30	2,659	0,490	21,28	16,6	1,44	115,0
29,4	–50,1	1280	–35	2,638	0,483	25,50	19,9	1,43	139,0
29,4	–50,1	1280	–40	2,638	0,447	32,36	25,3	1,42	179,0
29,4	–50,1	1280	–45	2,617	0,470	40,21	31,4	1,40	223,0
29,4	–50,1	1280	–50	2,617	0,464	49,03	38,3	1,30	295,0
29,9	–55	1286	20	2,784	0,554	3,51	2,75	1,55	17,8

Окончание

ξ, %	$t_з$, °С	ρ_{15}, кг/м^3	t, °С	c, кДж/(кг · К)	λ, Вт/(м · К)	$\mu \cdot 10^3$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м^2/с	$a \cdot 10^7$, м^2/с	Pr
29,9	–55	1286	0	2,738	0,528	5,69	4,43	1,50	29,5
29,9	–55	1286	–10	2,700	0,515	9,04	7,04	1,48	47,5
29,9	–55	1286	–20	2,680	0,502	14,42	11,23	1,46	77,0
29,9	–55	1286	–30	2,659	0,488	22,56	17,6	1,43	123,0
29,9	–55	1286	–35	2,638	0,483	28,44	22,1	1,42	156,5
29,9	–55	1286	–40	2,638	0,576	35,30	27,5	1,40	196,0
29,9	–55	1286	–45	2,617	0,470	43,15	33,5	1,39	240,0
29,9	–55	1286	–50	2,617	0,463	50,99	39,7	1,38	290,0
29,9	–55	1286	–55	2,596	0,456	64,72	50,2	1,36	368,0

Приложение 8

Зависимость КПД электродвигателя от мощности



СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ 1
2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ 3
3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ 4
3.1. Построение цикла холодильной машины 5
3.2. Определение расхода рабочего вещества 7
3.3. Составление теплового баланса холодильной машины 10
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ, ЗАТРАЧЕННОЙ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ НЕОБРАТИМЫХ ПОТЕРЬ В ЭЛЕМЕНТАХ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ 11
4.1. Компрессор 11
4.2. Конденсатор 12
4.3. Дроссельный вентиль 13
4.4. Испаритель 13
5. МИНИМАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ ЦИКЛА 14
6. ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 15
7. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ 16
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 16
ПРИЛОЖЕНИЯ 17

Пекарев Валентин Иванович
Мизин Валерий Михайлович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛА ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Учебно-методическое пособие

Ответственный редактор
Т.Г. Смирнова

Редактор
Е.О. Трусова

Компьютерная верстка
Н.В. Гуральник

Дизайн обложки
Н.А. Потехина

Подписано в печать 25.03.2014. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 2,79. Печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 2,81
Тираж 100 экз. Заказ № С 12

НИУ ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
ИИК ИХиБТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9