

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**В.М. Мизин, Ю.В. Татаренко**

**ПОДБОР И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ  
ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ  
ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

**Учебно-методическое пособие**

**Санкт-Петербург**

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**2015**

УДК 621.56

**Мизин В.М., Татаренко Ю.В.** Подбор и расчет основных элементов одноступенчатой парокомпрессионной холодильной машины: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. – 64 с.

Рассматриваются расчет и подбор компрессора, конденсатора и испарителя паровой одноступенчатой холодильной машины. Приведены термодинамические и теплофизические свойства аммиака и других хладагентов, физические свойства воды и различных хладоносителей.

Предназначено для студентов специальности 140504 Холодильная, криогенная техника и кондиционирование и направления бакалавриата 16.03.03. Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения факультета холодильной техники всех форм обучения.

**Рецензент: доктор техн. наук, проф. А.Я. Эглит**

**Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом  
Института холода и биотехнологий**



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 – 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2015

© Мизин В.М., Татаренко Ю.В., 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Тепловой расчет и подбор одноступенчатого поршневого компрессора паровой холодильной машины (ПХМ).....	5
1.1. Пример 1. Расчет ПХМ, работающей на аммиаке.....	5
1.2. Пример 2. Расчет ПХМ, работающей на фреоне R22.....	10
2. Расчет площади теплообменной поверхности, основных размеров и гидравлического сопротивления горизонтального кожухотрубного конденсатора.....	14
2.1. Подбор конденсатора – рабочее вещество R717.....	14
2.2. Подбор конденсатора – рабочее вещество R22.....	22
3. Расчет горизонтального кожухотрубного испарителя затопленного типа.....	32
3.1. Подбор аппарата.....	32
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	38
ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ.....	38
Приложения .....	39

## ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространенным в природе является процесс теплообмена между двумя и более средами с разными температурами. Тепло от объекта с более высокой температурой передается менее нагретой среде. Таким образом, происходит охлаждение более нагретого объекта. Это и есть естественное охлаждение. При охлаждении среды или тела до температуры ниже окружающей среды – искусственное охлаждение.

В настоящее время в пищевой, химической промышленности, в сельском хозяйстве, в нефтеперерабатывающем и газовом производствах, на транспорте, в системах кондиционирования воздуха все большее значение принимает искусственный холод.

Парокомпрессорные холодильные машины имеют наибольшее применение при искусственном охлаждении. Они работают в широком диапазоне изменения холодопроизводительностей. Основной особенностью парокомпрессорных холодильных машин является то, что рабочее вещество, совершая обратный цикл, меняет свое агрегатное состояние и может находиться в состоянии влажного, сухого насыщенного или перегретого пара, и в жидком состоянии. Основными элементами холодильной машины являются: компрессор, конденсатор, испаритель и дроссельное устройство.

Настоящее методическое пособие посвящено расчету и подбору поршневого холодильного компрессора, тепловому, конструктивному и гидромеханическому расчетам теплообменных аппаратов, а именно, горизонтального кожухотрубного водяного конденсатора и испарителя, затопленного типа.

*Исходные данные для расчета:*

Холодопроизводительность  $Q_o$ , кВт.....60  
Температура кипения  $t_o$ , °С.....-15  
Температура конденсации  $t_k$ , °С.....+30  
Рабочее вещество:.....R22, R717

## 1. Тепловой расчет и подбор одноступенчатого поршневого компрессора паровой холодильной машины (ПХМ)

### 1.1. Пример 1. Расчет ПХМ, работающей на аммиаке

Теоретический цикл и схема одноступенчатой холодильной машины представлены на рис.1.

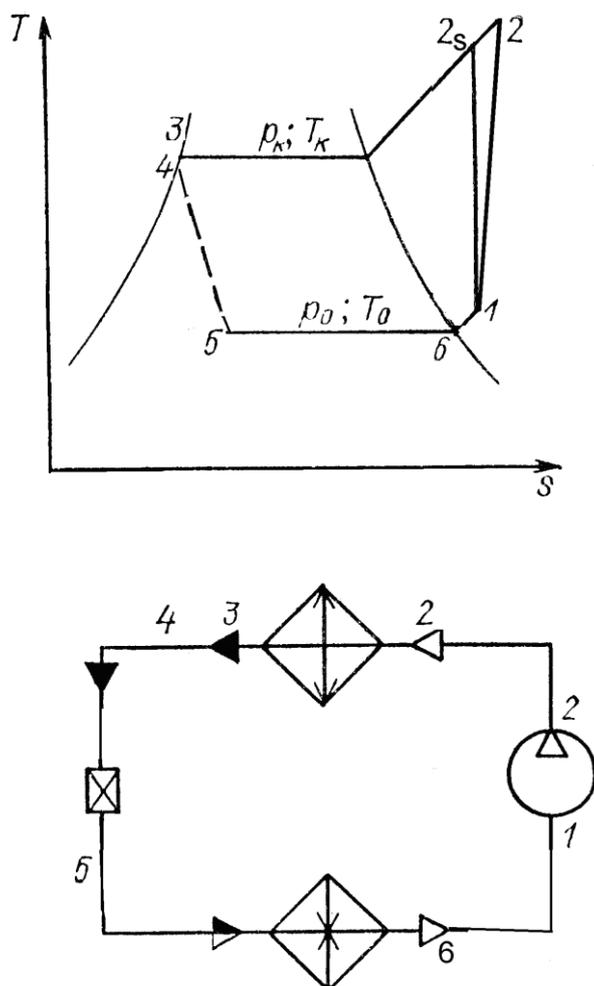


Рис. 1. Схема и цикл одноступенчатой холодильной машины, работающей на аммиаке

Положение точки 3 (см. рис.1) соответствует началу переохлаждения рабочего вещества до точки 4. В водяных кожухотрубных конденсаторах переохлаждение обычно составляет 2 – 4°С. Подогрев пара в процессе 6 – 1 принимается 5 – 10°С. Для данного расчета принимаем переохлаждение аммиака  $\Delta t = 3^\circ\text{C}$ , а перегрев –  $\Delta t_{\text{пер}} = 5^\circ\text{C}$ .

Термодинамические параметры в узловых точках цикла холодильной машины приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры узловых точек

Термодинамические параметры	1	2	2s	3	4	5	6
$p$ , бар	2,36	11,67	11,67	11,67	11,67	2,36	2,36
$t$ , °C	-10	139	105	30	27	-15	-15
$i$ , кДж/кг	1765,1	2041,8	1992	641,3	626,9	626,9	1744,1
$v$ , м <sup>3</sup> /кг	0,525	-	-	-	-	-	-

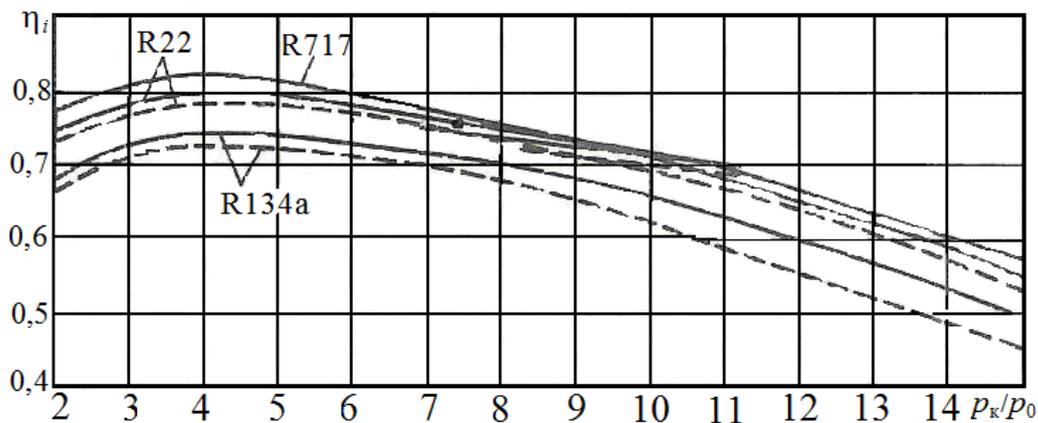


Рис.2. Индикаторный КПД для поршневых компрессоров средней производительности (компрессоры: — с сальником; - - - бессальниковые).

Процесс сжатия отклоняется от изоэнтропного, положение точки 2 можно определить, как:

$$i_2 = i_1 + \frac{i_{2s} - i_1}{\eta_i}, \text{ где}$$

$$\eta_i = 0,82 - (\text{рис.2 [4] при } \pi = \frac{p_k}{p_0} = 4,95).$$

Энтальпия точки 2 определяется, как:

$$i_2 = 1765,1 + \frac{1992 - 1765,1}{0,82} = 1765,1 + 276,7 = 2041,8 \text{ кДж/кг.}$$

Удельная массовая холодопроизводительность:

$$q_o = i_1 - i_5 = 1765,1 - 626,9 = 1138,2 \text{ кДж/кг.}$$

Массовый расход рабочего вещества:

$$G_a = Q_o / q_o = 60 / 1138,2 = 0,053 \text{ кг/с.}$$

Действительная объемная производительность компрессора:

$$V_d = G_a \cdot v_1 = 0,053 \cdot 0,525 = 0,028 \text{ м}^3/\text{с, где}$$

$v_1$  – удельный объем рабочего вещества в начале процесса сжатия.

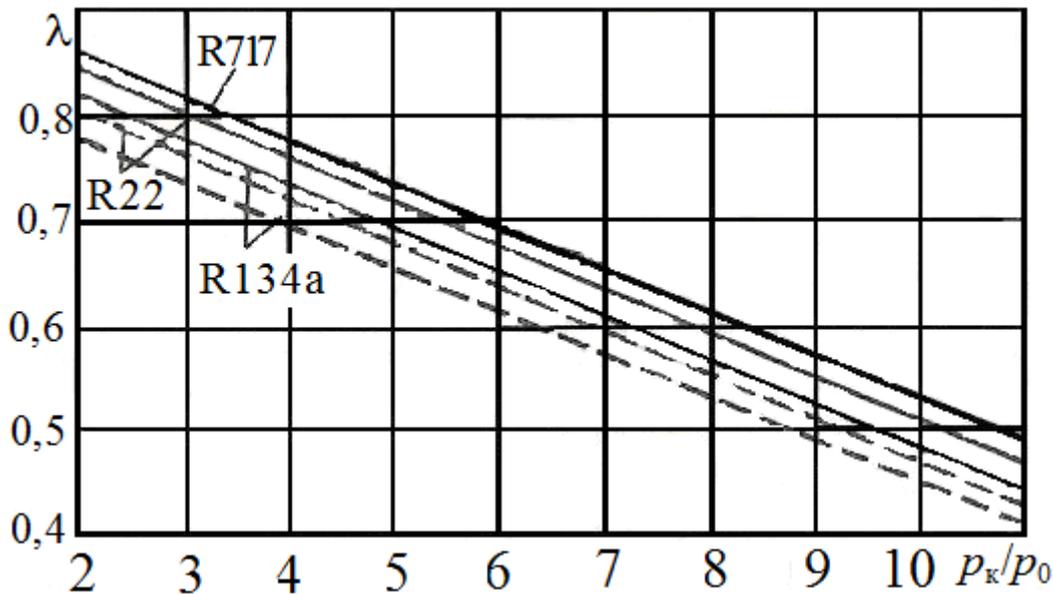


Рис.3. Коэффициент подачи для поршневых компрессоров средней производительности (компрессоры: — с сальником; --- бессальниковые).

По графику на рис. 3 [4] определяем величину коэффициента подачи компрессора  $\lambda$  в зависимости от  $\pi$  и рабочего вещества.

Коэффициент подачи компрессора:  $\lambda=0,74$  ( $\pi = 4,95$ , R717).

Теоретический объем, описываемый поршнями компрессора:

$$V_T = V_d / \lambda = 0,028 / 0,74 = 0,038 \text{ м}^3/\text{с}.$$

На основании полученного  $V_T$  была выбрана марка компрессора (см. прил. 1) со следующими характеристиками:

Тип компрессора.....	Сальниковый
Марка.....	П60
Объем, описываемый поршнями, м <sup>3</sup> /с	0,0433
Диаметр цилиндра, м.....	0,076
Ход поршня, м.....	0,066
Число цилиндров, шт.....	6
Частота вращения, с <sup>-1</sup> .....	24

Удельная изоэнтروпная работа компрессора:

$$l_s = i_{2s} - i_1 = 1992 - 1765,1 = 226,9 \text{ кДж/кг}.$$

Изоэнтропная мощность компрессора:

$$N_s = G_a \cdot l_s = 0,053 \cdot 226,9 = 12,03 \text{ кВт}.$$

Таблица 2

**Термодинамические характеристики рабочих веществ**

Параметр	Рабочее вещество		
	R134a	R22	R717
$k$	1,14	1,16	1,3
$p_{0 \text{ max}}, \text{ кПа/ } t, ^\circ\text{C}$	423,2/+10	681,1/+10	429,6/ $\pm 0$
$p_{i \text{ тр}}, \text{ кПа}$	40	40	60

Индикаторная мощность:

$$N_i = \frac{N_s}{\eta_i} = \frac{12,03}{0,82} = 14,67 \text{ кВт, где}$$

$\eta_i$  – индикаторный КПД [4] (см. рис. 2).

Мощность трения:

$$N_{\text{тр}} = P_{i_{\text{тр}}} \cdot V_T = 60 \cdot 0,0433 = 2,6 \text{ кВт,}$$

где  $P_{i_{\text{тр}}} = 60 \text{ кПа}$  – давление трения (см. табл.2)

Эффективная мощность:

$$N_e = N_i + N_{\text{тр}} = 14,67 + 2,6 = 17,27 \text{ кВт.}$$

Зная эффективную мощность компрессора, и выбрав передаточное устройство, определим мощность электродвигателя:

$$N_{\text{эд}} = \frac{N_e}{\eta_n \cdot \eta_{\text{эл}}} = \frac{17,27}{0,97 \cdot 0,8} = 22,26 \text{ кВт, где}$$

$\eta_n = 0,97 \div 0,99$  – КПД передаточного устройства,

$\eta_{\text{эл}} = 0,75 \div 0,8$  – КПД электродвигателя.

При непосредственном приводе мощность  $N_{\text{эд}}$  равна  $N_e$ . Для поршневых компрессоров рекомендуется:

$$N'_{\text{эд}} = 1,04 \div 1,06 N_{\text{эд}} = 1,05 \cdot 22,26 = 23,37 \text{ кВт.}$$

По этой характеристике подбираем электродвигатель – 4AP180M4Y3 (см. прил. 3) [6].

Эффективный холодильный коэффициент:

$$\varepsilon_e = \frac{Q_0}{N_e} = \frac{60}{17,27} = 3,47.$$

## 1.2. Пример 2. Расчет ПХМ, работающей на фреоне R22

Согласно исходным данным примера 1 произведем расчет одноступенчатой холодильной машины с регенеративным теплообменником, рабочее вещество – фреон R22.

Теоретический цикл и схема одноступенчатой холодильной машины с регенеративным теплообменником представлены на рис.4.

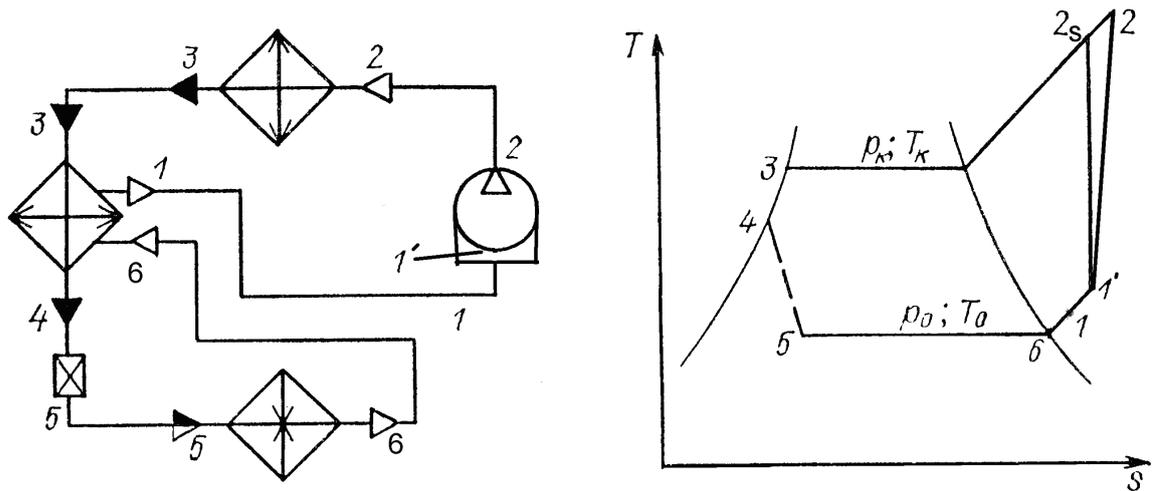


Рис. 4. Схема и цикл одноступенчатой холодильной машины с регенеративным теплообменником

Задаемся перегревом  $\Delta t = t_1 - t_6 = 27^\circ \text{C}$  и в первом приближении  $\Delta t_{\text{вс эл}} = t_{1'} - t_1 = 18^\circ \text{C}$ .

Определим значение энтальпии рабочего вещества перед всасывающими клапанами при принятых значениях  $\eta_{\text{эл}} = 0,85$  и  $\eta_e = 0,7$ :

$$i_{1'}^* = i_1 + \frac{i_{2s} - i_{1'} \cdot (1 - \eta_{\text{эл}})}{\eta_{\text{эл}} \cdot \eta_e},$$

где  $i_1 = 718 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – определяем значение по диаграмме или см. табл. 6,

$i_{1'} = 728,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – первоначальное принятое значение энтальпии перед всасывающими клапанами,

$i_{2s} = 772 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – определяем значение по диаграмме.

$$i_1^* = 718 + \frac{772 - 728,8}{0,85 \cdot 0,7} = 728,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Полученное значение  $i_1^*$  незначительно отличается от принятого значения ( $i_1 = 728,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ ) и расчет можно считать верным.

Переохлаждение после конденсатора для хладонов рассчитывается из теплового баланса регенеративного теплообменника (РТО), после преобразования, который выглядит следующим образом:

$$i_1 - i_6 = i_3 - i_4 \text{ (см. рис.4).}$$

Определим значение энтальпии на выходе из РТО (точка 4):

$$i_4 = i_3 - i_1 + i_6 = 538 - 718 + 698 = 518 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Процесс сжатия отклоняется от изоэнтропного, положение точки 2 можно определить, как:

$$i_2 = i_1^* + \frac{i_{2s} - i_1^*}{\eta_i} = 728,9 + \frac{772 - 728,9}{0,79} = 783,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \text{ где}$$

$\eta_i = 0,79$  – из рис.2 (компрессор бессальниковый,  $\pi = 4$ , рабочее вещество – R22)

Термодинамические параметры в узловых точках регенеративного цикла холодильной машины приведены в табл. 3.

Удельная массовая холодопроизводительность:

$$q_o = i_6 - i_5 = 698 - 518 = 180 \text{ кДж/кг.}$$

Массовый расход рабочего вещества:

$$G_a = Q_o / q_o = 60 / 180 = 0,333 \text{ кг/с.}$$

**Параметры узловых точек**

Термодинамические параметры	1	1'	2	2s	3	4	5	6
$p$ , бар	3,00	3,00	12,00	12,00	12,00	12,00	3,00	3,00
$t$ , °C	+12	+30	+115	+102	+30	+18	-15	-15
$i$ , кДж/кг	718	728,9	783,5	772	538	518	518	698
$v$ , м <sup>3</sup> /кг	-	0,084	-	-	-	-	-	-

Действительная объемная производительность компрессора:

$$V_d = G_a \cdot v_{1'} = 0,333 \cdot 0,084 = 0,028 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$v_{1'}$  – удельный объем рабочего вещества в начале процесса сжатия.

Степень повышения давления

$$\pi = p_k/p_o = 12,00/3,00 = 4,00$$

По графику (см. рис.3) определяем величину коэффициента подачи компрессора  $\lambda$  в зависимости от  $\pi$  и рабочего вещества.

Коэффициент подачи:  $\lambda = 0,72$  ( $\pi = 4$ ; R22; компрессор – бессальниковый);

Теоретический объем, описываемый поршнями компрессора:

$$V_T = V_d/\lambda = 0,028/0,72 = 0,039 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Выбираем стандартный компрессор по величине  $V_T$  (прил. 1):

Тип компрессора.....	Бессальниковый
Марка.....	ПБ60
Объем, описываемый поршнями, м <sup>3</sup> /с	0,0433
Диаметр цилиндра, м.....	0,076
Ход поршня, м.....	0,066
Число цилиндров, шт.....	6
Частота вращения, с <sup>-1</sup> .....	24

Удельная изоэнтропная работа компрессора:

$$l_s = i_{2s} - i_1 = 772 - 728,9 = 43,1 \text{ кДж/кг}.$$

Изоэнтропная мощность компрессора:

$$N_s = G_a \cdot l_s = 0,333 \cdot 43,1 = 14,35 \text{ кВт}.$$

Индикаторная мощность:

$$N_i = \frac{N_s}{\eta_i} = \frac{14,35}{0,79} = 18,16 \text{ кВт}.$$

Мощность трения:

$$N_{\text{тр}} = P_{i \text{ тр}} \cdot V_T = 40 \cdot 0,0433 = 1,732 \text{ кВт},$$

где  $P_{i \text{ тр}} = 40 \text{ кПа}$  – давление трения,

$V_T$  – теоретическая производительность поршневого компрессора, в данном случае поршневой компрессор марки ПБ60 с  $V_T = 0,0433 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Эффективная мощность:

$$N_e = N_i + N_{\text{тр}} = 18,16 + 1,732 = 19,89 \text{ кВт}.$$

Зная эффективную мощность компрессора, и выбрав передаточное устройство, определим мощность электродвигателя:

$$N_{\text{эд}} = \frac{N_e}{\eta_n \cdot \eta_{\text{эл}}} = \frac{19,89}{1 \cdot 0,8} = 24,86 \text{ кВт}.$$

Таким образом, мощность электродвигателя:

$$N'_{\text{эд}} = 1,04 \div 1,06 \quad N_{\text{эд}} = 1,05 \cdot 24,86 = 26,1 \text{ кВт}.$$

По этой характеристике подбираем электродвигатель 4АВР180В4БФ (см. прил. 2).

Механический КПД:

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{N_i}{N_e} = \frac{18,16}{19,89} = 0,91.$$

Эффективный холодильный коэффициент:

$$\varepsilon_e = \frac{Q_0}{N_e} = \frac{60}{18,89} = 3,18.$$

## **2. Расчет площади теплообменной поверхности, основных размеров и гидравлического сопротивления горизонтального кожухотрубного конденсатора**

### *2.1. Подбор конденсатора – рабочее вещество R717*

Нагрузка на аммиачный конденсатор:

$$Q_k = G_a \cdot i_2 - i_4 = 0,053 \cdot 2041,8 - 626,9 = 75 \text{ кВт}$$

Если принять температуру на выходе из аппарата  $t_{w2}$  на  $4^\circ\text{C}$  меньше, чем температура конденсации:

$$t_{w2} = t_k - \Delta t = 30 - 4 = 26^\circ\text{C}.$$

Принимаем температуры нагрева воды в конденсаторе:

$$\Delta t = t_{w2} - t_{w1} = 3^\circ\text{C}.$$

Исходя из этих условий:

$$t_{w1} = t_{w2} - \Delta t_w = 26 - 3 = 23^\circ\text{C}.$$

Средняя логарифмическая разность температур в аппарате:

$$\theta_m^k = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\ln \frac{t_k - t_{w1}}{t_k - t_{w2}}} = \frac{26 - 23}{\ln \frac{30 - 23}{30 - 26}} = 5,36 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Поверхность аппарата можно определить на основании уравнения, приняв  $K_{F_{\text{BH}}} = 1,1 \text{ кВт/м}^2 \cdot \text{К}$  (согласно прил.7):

$$Q_k = K_{F_{\text{BH}}} \cdot F_{K_{\text{BH}}} \cdot \theta_m^k$$

Таким образом, площадь теплообменной поверхности аммиачного конденсатора составит:

$$F_{K_{\text{BH}}} = \frac{Q_k}{K_{F_{\text{BH}}} \cdot \theta_m^k} = \frac{75}{1,1 \cdot 5,36} = 12,7 \text{ м}^2$$

По полученному значению площади теплообменной поверхности, подбираем готовый отечественный конденсатор (см. прил. 22)

Таблица 4

#### Техническая характеристика аппарата АК-16,5

Теплообменная поверхность, м <sup>2</sup> .....	$F_{\text{H}}$	16,5
Длина труб, м.....	$l$	3,0
Число ходов.....	$z$	6
Масса, кг.....	$M$	525
Диаметр обечайки, м.....	$D$	0,325

#### 2.1.1. Тепловой, конструктивный и гидравлический расчеты аппарата

Для данного расчета необходимо определить теплофизические свойства воды при её средней температуре  $t_{w \text{ ср}} = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} = 24,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  (см. прил. 4) и аммиака при температуре конденсации  $t_k = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$  [8], которые представлены для данного расчета в табл.5.

Массовый расход воды через конденсатор:

$$G_w = \frac{Q_k}{c_w \cdot t_{w2} - t_{w1}} = \frac{75}{4,1785 \cdot 26 - 23} = 5,983 \text{ кг/с}$$

В качестве поверхности теплопередачи выбираем шахматный пучок из стальных гладких труб с наружным диаметром  $d_H = 0,025$  м и внутренним диаметром  $d_{BH} = 0,021$  м (ГОСТ 8734–75).

Трубы в пучке располагаются по сторонам правильного шестиугольника и вершинах треугольников с шагом по горизонтали  $S_1 = 1,24 \cdot d_H = 0,031$  м.

Таблица 5

**Теплофизические свойства воды и аммиака**

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho',$ кг/м <sup>3</sup>	$c_p,$ кДж/(кг·К)	$\lambda,$ Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^5,$ Па·с	$\nu \cdot 10^6,$ м <sup>2</sup> /с	Pr
24,5	996,95	4,1785	0,5595	–	0,9055	6,24
30	595,1	–	0,455	13,2	0,223	–

Скорость воды в аммиачных аппаратах  $\omega = 0,9 \div 1,5 \text{ м/с}$ , принимаем скорость равной  $\omega = 1,3 \text{ м/с}$ .

Число труб в одном ходе:

$$n_{1x} = \frac{4 \cdot G_w}{\pi \cdot \rho_w \cdot d_{BH}^2 \cdot \omega} = \frac{4 \cdot 5,983}{3,14 \cdot 996,95 \cdot 0,021^2 \cdot 1,3} = 13,34.$$

Принимаем число труб в одном ходе  $n_{1x} = 13$ .

Уточняем скорость воды:

$$\omega = \frac{4 \cdot G_w}{\pi \cdot \rho_w \cdot d_{BH}^2 \cdot n_{1x}} = \frac{4 \cdot 5,983}{3,14 \cdot 996,95 \cdot 0,021^2 \cdot 13} = 1,33 \text{ м/с}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{вн}}}{\nu_w} = \frac{1,33 \cdot 0,021}{0,9055 \cdot 10^{-6}} = 30845$$

Число Нуссельта:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \varepsilon_{\text{пер}} = 0,021 \cdot 30845^{0,8} \cdot 6,24^{0,43} \cdot 1 = 180,3,$$

где  $\varepsilon_{\text{пер}}$  – коэффициент для переходного режима (табл.6)

В нашем случае,  $Re = 30845 > 10000$ , тогда  $\varepsilon_{\text{пер}} = 1$ , так как турбулентный режим.

Коэффициент теплоотдачи со стороны воды:

$$\alpha_w = \frac{Nu \cdot \lambda_w}{d_{\text{вн}}} = \frac{180,3 \cdot 0,5595}{0,021} = 4803,7 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

Таблица 6

**Значения коэффициента для переходного режима в зависимости от величины числа Рейнольдса**

Re	2 500	3 000	4 000	5 000	6 000	8 000	10 000
$\varepsilon_{\text{пер}}$	0,4	0,57	0,72	0,81	0,88	0,96	1,0

Плотность теплового потока со стороны воды:

$$q_w = \frac{\theta_w}{\frac{1}{\alpha_w} + R_{TC}},$$

где  $R_{TC} = 0,4 \div 0,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$  – термическое сопротивление.

Принимаем  $R_{TC} = 0,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ , тогда

$$q_w = \frac{\theta_w}{\frac{1}{4803,7} + 0,6 \cdot 10^{-3}} = 1237,4 \cdot \theta_w = 1237,4 \cdot \theta_m - \theta_a .$$

Для дальнейших расчетов определяем ряд необходимых технических параметров:

обычно отношение длины трубы к диаметру трубной решетки:

$$K = \frac{l}{D} = 4,5 \div 8 .$$

Принимаем  $K = 6$  (первое приближение) и плотность теплового потока ( $q_{F_{\text{ВН}}} = 6000 \div 8000 \text{ Вт/м}^2$ ) отнесенную к внутренней теплопередающей поверхности труб  $q'_{F_{\text{ВН}}} = 6500 \text{ Вт/м}^2$ .

Приближенное число труб, расположенных по большей диагонали внешнего шестиугольника:

$$m = 0,75 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_k}{q' \cdot S_1 \cdot d_{\text{вн}} \cdot K}} = 0,75 \cdot \sqrt[3]{\frac{75 \cdot 10^3}{6500 \cdot 0,031 \cdot 0,025 \cdot 6}} = 10,2$$

Принимаем ближайшее нечетное значение  $m = 11$ .

Общее число труб в аппарате

$$n = 0,75m^2 + 0,25 = 91$$

Среднее число труб по вертикали

$$n_{\text{ср}} = \frac{n}{2 \cdot m - 1} = \frac{91}{2 \cdot 11 - 1} \approx 4$$

Коэффициент теплопередачи со стороны рабочего вещества, приведенный к внутренней поверхности трубы:

$$\alpha_{a_{F_{\text{ВН}}}} = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta i \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3 \cdot g}{\mu \cdot d_{\text{н}}}} \cdot \left(\frac{n_{\text{ср}}}{2}\right)^{-0,167} \cdot \frac{d_{\text{н}}}{d_{\text{вн}}} \cdot \theta_a^{-0,25} =$$

$$= 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{1414,9 \cdot 10^3 \cdot 595,1^2 \cdot 0,455^3 \cdot 9,81}{13,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,025}} \cdot \left(\frac{4}{2}\right)^{-0,167} \cdot \frac{0,025}{0,021} \cdot \theta_a^{-0,25} =$$

$$= 14777 \cdot \theta_a^{-0,25}, \text{ где}$$

$$\Delta i = i_2 - i_4 = 2041,8 - 626,9 = 1414,9 \text{ кДж/кг}.$$

Плотность теплового потока со стороны рабочего вещества:

$$q_{F_{\text{ВН}}} = \alpha_{a_{F_{\text{ВН}}}} \cdot \theta_a = 14777 \cdot \theta_a^{0,75}$$

Таким образом, для определения  $q_{F_{\text{ВН}}}$  получена система уравнений:

$$\begin{cases} q_{a_{F_{\text{ВН}}}} = 14777 \cdot \theta_a^{0,75} \\ q_w = 1237,4 \cdot 5,36 - \theta_a \end{cases}$$

Данную систему уравнений можно решить, используя два варианта:

- методом итераций;
- графо–аналитическим методом.

Решим данную систему уравнений методом итераций и для этого введем следующие обозначения:

$$A=1237,4; B=14777; \theta_m = 5,36; m = \frac{1}{0,75} = 1,333.$$

Для определения корня  $q_{\text{ВН}}$  воспользуемся итерационной формулой Ньютона:

$$q_{n+1} = \frac{m-1 \cdot q_n^m + \theta_m B^m}{m \cdot q_n^{m-1} + B^m/A}, \text{ где}$$

На первом этапе итерации  $q_n = q' = 6500 \text{ Вт/м}^2$

$$q_1 = \frac{1,333 - 1 \cdot 6500^{1,333} + 5,36 \cdot 14777^{1,333}}{1,333 \cdot 6500^{1,333-1} + 14777^{1,333} / 1237,4} = 6240,4 \text{ Вт/м}^2$$

Значение корня на втором шагу итерации ( $q_n = q_1$ )

$$q_2 = 6240,3 \text{ Вт/м}^2$$

Окончательно принимаем

$$q_{a_{F_{\text{вн}}}} = 6240,3 \text{ Вт/м}^2$$

Площадь внутренней теплообменной поверхности аппарата

$$F_{\text{вн}} = \frac{Q_{\text{к}}}{q_{\text{вн}}} = \frac{75}{6,24} = 12 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{нар}} = 14,3 \text{ м}^2$$

Коэффициент теплопередачи

$$K_{F_{\text{вн}}} = \frac{Q_{\text{к}}}{F_{\text{вн}} \cdot \theta_m^{\text{к}}} = \frac{75}{12 \cdot 5,36} = 1166 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

### 2.1.2. Конструктивный и гидромеханический расчеты конденсатора

Из уравнения площади теплообменной поверхности конденсатора  $F = \pi d \cdot l \cdot n_{1x} \cdot z$  видно, что необходимо определить длину трубы  $l$  и число ходов  $z$ . Ориентируясь на технические параметры выбранного конденсатора (АК-16,5) принимаем число ходов  $z = 4; 6$  и  $8$ . Все остальные расчеты сведены в таблицу 7.

Таблица 7

**Конструктивный и гидромеханический расчеты конденсатора**

п/п	Параметр / принятое значение	z		
		4	6	8
1	Длина труб: $l = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot n_{1x} \cdot z}$ , м	3,5	2,33/2,5	1,75/2
2	Число труб: $N = z \cdot n_{1x}$	52	78	104
3	Число труб по диагонали шестиугольника $m = 0,577\sqrt{4N - 1}$	8,3/ 9	10,2/11	11,8/13
4	Диаметр обечайки: $D = m \cdot S_1$ , м	0,279/ 0,325×8	0,341/ 0,377×9	0,403/ 0,426×9
5	$K = l/D$	10,8	6,6	4,7
6	Гидравлическое сопротивление, Па: $\Delta p = \left[ \xi \frac{l \cdot z}{d_{\text{вн}}} + 1,5 \cdot z + 1 \right] 0,5 \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_w$ $\xi = 0,11 \left[ \frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} + \frac{68}{\text{Re}} \right]^{0,25}$ – коэффициент трения, $\Delta = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м	25303	29283	31941
7	Мощность проталкивания воды $N_w = V \cdot \Delta p \cdot 10^{-3}$ , кВт	0,152	0,176	0,2
8	Масса аппарата, кг: $M = 1,2 M_{\text{об}} + M_{\text{тр}}$ $M_{\text{об}} = M_{1\text{пм}} \times l_{\text{об}}$ $M_{\text{тр}} = N \cdot M_{1\text{пм}} \cdot l_{\text{тр}}$	–	515	538
9	Коэффициент массы, кг/м <sup>2</sup> $\Delta M = M/F_H$	–	36	38
10	Объем аппарата, м <sup>3</sup> : $V = 1,07 \div 1,15 V_{\text{об}}$	–	0,307	0,313
11	Коэффициент компактности, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> : $\Delta V = F_H/V$	–	47	46

Из таблицы видно, что наилучшие массогабаритные показатели соответствуют аппарату с числом ходов  $z = 6$ .

## 2.2. Подбор конденсатора – рабочее вещество R22

Если принять температуру на выходе из аппарата  $t_{w2}$  на  $4^\circ\text{C}$  меньше, чем температура конденсации:

$$t_{w2} = t_k - \Delta t = 30 - 4 = 26^\circ\text{C}.$$

Принимаем температуры нагрева воды в конденсаторе:

$$\Delta t = t_{w2} - t_{w1} = 5^\circ\text{C}.$$

Исходя из этих условий:

$$t_{w1} = t_{w2} - \Delta t_w = 26 - 5 = 21^\circ\text{C}.$$

Средняя логарифмическая разность температур в аппарате:

$$\theta_m^k = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\ln \frac{t_k - t_{w1}}{t_k - t_{w2}}} = \frac{26 - 21}{\ln \frac{30 - 21}{30 - 26}} = 6,17^\circ\text{C}.$$

Предварительно определяем теплопередающую поверхность аппарата:

$$F_{K_{\text{BH}}} = \frac{Q_k}{K_{F_{\text{BH}}} \cdot \theta_m^k},$$

где  $Q_k = G_a \cdot i_2 - i_3 = 0,333 \cdot 783,5 - 538 = 81,75 \text{ кВт}$ .

$K_{F_{\text{BH}}} = 2,0 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  – коэффициент теплопередачи, отнесенный к внутренней теплообменной поверхности аппарата, определяется (см. приложение 7):

$$F_{K_{\text{ВН}}} = \frac{81,75}{2,0 \cdot 6,17} = 6,2 \text{ кВт/м}^2 \cdot \text{К} .$$

Наружная поверхность

$$F_{K_{\text{Н}}} = F_{K_{\text{ВН}}} \cdot \beta = 6,2 \cdot 3,5 \approx 21,7 .$$

В данном типе аппаратов приняты медные оребренные трубы (заготовка 20×3) с коэффициентом оребрения  $\beta = 3,5$ .

Из отечественных аппаратов выбираем КТР–25 (см. прил. 5 и табл.8).

Таблица 8

**Техническая характеристика аппарата КТР–25**

Теплообменная поверхность, м <sup>2</sup> .....	$F_{\text{Н}} / F_{\text{ВН}}$	30/8,6
Длина труб, м.....	$l$	1,5
Число ходов.....	$z$	4
Диаметр обечайки, м.....	$D$	404

Для дальнейших расчетов определяем теплофизические свойства воды при её средней температуре

$$t_{w \text{ ср}} = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} = 23,5 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (см. прил. 4)}$$

и фреона при температуре конденсации  $t_{\text{к}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  (табл. 9).

Таблица 9

**Теплофизические свойства воды и R22**

$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$\rho', \text{ кг/м}^3$	$c_p, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\mu \cdot 10^5, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	$\text{Рг}$
23,5	997,33	4,18	0,544	–	0,936	6,477
30	1172	–	0,0807	2,29	–	–

Массовый расход воды через конденсатор:

$$G_w = \frac{Q_k}{c_w \cdot t_{w2} - t_{w1}} = \frac{81,75}{4,18 \cdot 26 - 21} = 3,91 \text{ кг/с}$$

В качестве поверхности теплопередачи выбираем шахматный пучок из медных труб со стандартным наружным оребрением ГОСТ 617–90):

внутренний диаметр  $d_{\text{вн}} = 0,0115$  м.

диаметры окружности выступов и впадин

$d_{\text{н}} = 0,01665$  м и  $d_0 = 0,01361$  м,

шаг ребер  $u = 0,00126$  м,

угол при вершине ребра  $\alpha = 16,2^\circ$

площади наружной и внутренней поверхностей 1 м длины трубы

$F'_{\text{н}} = 0,148$  м<sup>2</sup> и  $F'_{\text{вн}} = 0,038$  м<sup>2</sup>

коэффициент оребрения  $\beta = 3,9$ .

Трубы в пучке располагаются по сторонам правильного шестиугольника и вершинах треугольников с шагом по горизонтали

$$S_1 = 1,24 \cdot d_{\text{н}} = 1,24 \cdot 16,65 = 0,02115 \text{ м.}$$

Принимаем  $S_1 = 0,022$  м.

Задаемся значением скорости воды в аппарате  $\omega = 1,0 \div 2,5$  м/с, принимаем скорость равной  $\omega = 2$  м/с.

Число труб в одном ходе:

$$n_{1x} = \frac{4 \cdot G_w}{\pi \cdot \rho_w \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot \omega} = \frac{4 \cdot 3,91}{3,14 \cdot 997,33 \cdot 0,0115^2 \cdot 2} = 18,88.$$

Принимаем число труб в одном ходе  $n_{1x} = 19$ .

Уточняем скорость воды:

$$\omega = \frac{4 \cdot G_w}{\pi \cdot \rho_w \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot n_{1x}} = \frac{4 \cdot 3,91}{3,14 \cdot 997,33 \cdot 0,0115^2 \cdot 19} = 1,99 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{BH}}}{\nu_w} = \frac{1,99 \cdot 0,0115}{0,936 \cdot 10^{-6}} = 24450.$$

Число Нуссельта:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \varepsilon_{\text{пер}} = 0,021 \cdot 24450^{0,8} \cdot 6,477^{0,43} \cdot 1 = 151,96,$$

где  $\varepsilon_{\text{пер}}$  – коэффициент для переходного режима (табл.8)

В нашем случае,  $Re = 24204 > 10000$  – турбулентный режим, поэтому  $\varepsilon_{\text{пер}} = 1$ .

Коэффициент теплоотдачи со стороны воды:

$$\alpha_w = \frac{Nu \cdot \lambda_w}{d_{\text{BH}}} = \frac{151,96 \cdot 0,544}{0,0115} = 7188,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Плотность теплового потока со стороны воды:

$$q_w = \frac{\theta_w}{\frac{1}{\alpha_w} + R_{\text{TC}}},$$

где  $R_{\text{TC}} = 0,26 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$  - термическое сопротивление, тогда

$$q' = \frac{\theta_m - \theta_a}{\frac{1}{7188,4} + 0,26 \cdot 10^{-3}} = 2505,6 \cdot \theta_m - \theta_a.$$

Число труб, расположенных по большей диагонали внешнего шестиугольника при принятом значении

$$q' = 2505,6 \cdot 6,17 - 0,3 \cdot 6,17 = 10822:$$

$$m = 0,75 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_k}{q' \cdot S_1 \cdot d_{\text{вн}} \cdot \frac{l}{D}}} = 0,75 \cdot \sqrt[3]{\frac{81,75 \cdot 10^3}{10822 \cdot 0,022 \cdot 0,0115 \cdot 6}} = 12,55$$

Округляем значение числа  $m$  до ближайшего нечетного значения  $m = 13$ .

Число горизонтальных рядов труб в аппарате  $n_B = m = 13$ .

Коэффициент теплоотдачи со стороны конденсирующегося холодильного агента R22, отнесенный к внутреннему диаметру труб определяется, как:

$$\begin{aligned} \alpha_a &= 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{i_2 - i_3 \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3 \cdot g}{\mu \cdot d_0}} \cdot \left(\frac{n_B}{2}\right)^{-0,167} \cdot \theta_a^{-0,25} \cdot \beta \cdot \psi_p = \\ &= 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{783,5 - 538 \cdot 10^3 \cdot 1172^2 \cdot 0,0807^3 \cdot 9,81}{2,29 \cdot 10^{-4} \cdot 0,01361}} \cdot \left(\frac{13}{2}\right)^{-0,167} \cdot \theta_a^{-0,25} \cdot 3,9 \cdot \\ &\quad \cdot 1,572 = 15905 \cdot \theta_a^{-0,25} \end{aligned}$$

коэффициент, учитывающий различные условия конденсации на горизонтальных и вертикальных участках поверхности трубы:

$$\psi_p = 1,3 \cdot \frac{F'_B}{F'_H} \cdot E^{0,75} \cdot \left(\frac{d_0}{h_p}\right)^{0,25} + \frac{F'_\Gamma}{F'_H} = 1,3 \cdot \frac{0,116}{0,148} \cdot \left(\frac{0,01361}{0,00434}\right)^{0,25} + \frac{0,032}{0,148} = 1,572$$

- где: площадь поверхности вертикальных участков ребер длиной 1м:

$$F'_B = \frac{\pi \cdot d_H^2 - d_0^2}{2 \cdot u \cdot \cos \alpha/2} = \frac{3,14 \cdot 0,01665^2 - 0,01361^2}{2 \cdot 0,00126 \cdot \cos 16,2/2} = 0,116 \text{ м}^2;$$

площадь поверхности горизонтальных участков трубы длиной 1м:

$$F'_\Gamma = F'_H - F'_B = 0,148 - 0,116 = 0,032 \text{ м}^2;$$

приведенная высота ребер:

$$h'_p = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d_H^2 - d_0^2}{d_H} = \frac{0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,01665^2 - 0,01361^2}{0,01665} = 0,00434 \text{ м,}$$

$E$  – эффективность ребра, для низких накатных ребер:  $E = 1$ .

Плотность теплового агента со стороны холодильного агента R22 определяется следующим уравнением общего вида:

$$q_a = \alpha_a \cdot \theta_a^k$$

Подставляя коэффициент теплоотдачи  $\alpha_a$ , получим

$$q_a = 15905 \cdot \theta_a^{-0,25} \cdot \theta_a = 15905 \cdot \theta_a^{0,75}$$

С другой стороны,

$$q_w = 2505,6 \cdot 6,17 - \theta_a$$

Т.е. мы получаем систему из 2-х уравнений:

$$\begin{cases} q_a = B \theta_a^k = 15905 \cdot \theta_a^{0,75} \\ q_w = A \theta_m - \theta_a = 2505,6 \cdot 6,17 - \theta_a \end{cases}$$

Наглядный и достаточно точный результат дает графоаналитический метод, так как в установившемся режиме работы аппарата имеет место равенство  $q_w = q_a = q_{вн}$ . Для построения зависимостей предварительно вычисляют значение  $q$  для ряда значений  $\theta_a$ . Результаты расчета приведены в таблице 10.

По этим данным построены кривые зависимостей тепловых потоков воды и хладагента от  $\theta_a$  на рис.5.

Точка пересечения кривых определяет значение  $q_{вн} = 13455 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

**Вспомогательная таблица для определения плотности теплового потока конденсатора графоаналитическим методом**

$\theta_a, ^\circ\text{C}$	0	0,5	1	1,5	2
$q_w, \text{Вт/м}$	15459,6	-	-	-	10448,4
$q_a, \text{Вт/м}$	0	9457,2	15905	21557	26749

Более точное значение  $q_{\text{вн}}$  находят по итерационному выражению:

$$q_{\text{вн}} = \frac{x-1 \cdot q' \cdot x + \theta_m B^x}{x \cdot q' \cdot x^{-1} + B^x/A}, \text{ где}$$

$$x = 1/k = 1/0,75 = 1,333$$

( $k$  – показатель степени  $\theta_a$  при определении  $q_a$ ),  $A=2505,6$ ;  $B=15905$ ,  
 $\theta_m=6,17$ ,  $q' = 10822 \text{ Вт/м}^2$ .

После подстановки для первого итерационного шага

$$q_{\text{вн}1} = \frac{1,333-1 \cdot 10822^{1,333} + 6,17 \cdot 15905^{1,333}}{1,333 \cdot 10822^{1,333-1} + 15905^{1,333}/2505,6} = 13470,6 \text{ Вт/м}^2$$

Подставив в исходное итерационное выражение вместо  $q'$  значение  $q_{\text{вн}1}$ , получим для второго итерационного шага

$$q_{\text{вн}2} = \frac{1,333-1 \cdot 13470,6^{1,333} + 6,17 \cdot 15905^{1,333}}{1,333 \cdot 13470,6^{1,333-1} + 15905^{1,333}/2505,6} = 13454,8 \text{ Вт/м}^2$$

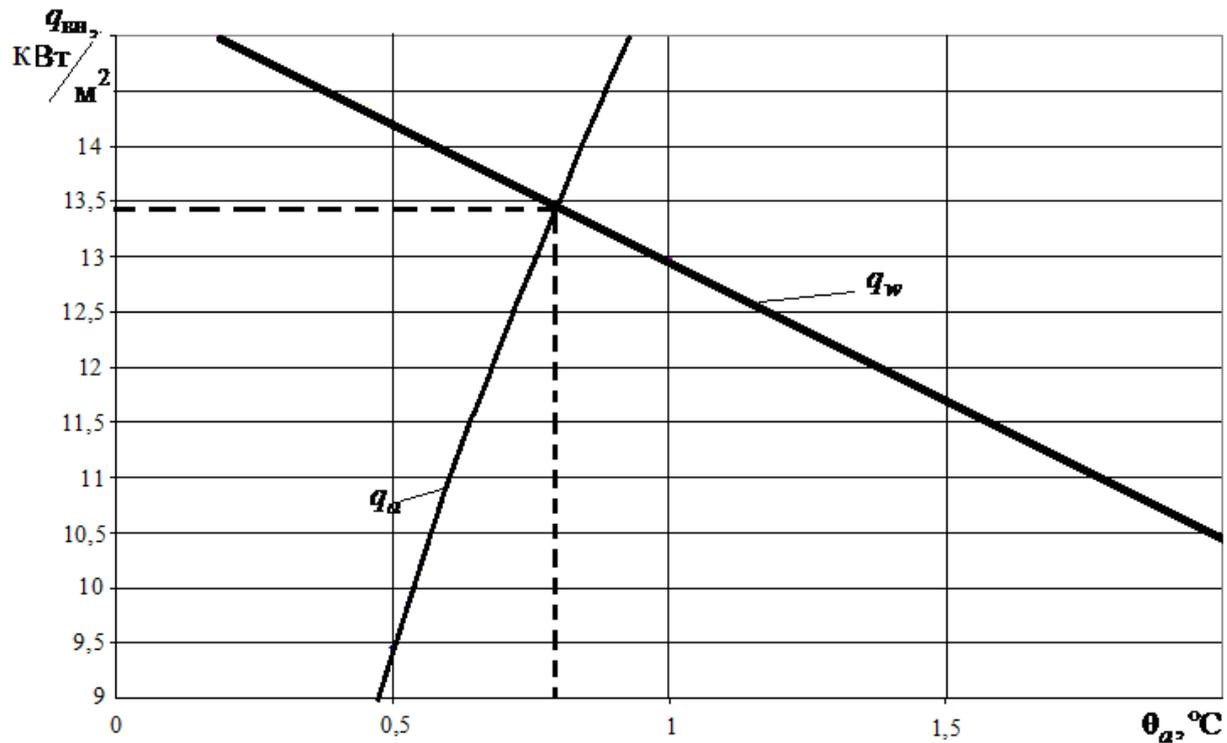


Рис. 5. Графоаналитическое определение плотности теплового потока во фреоновом горизонтальном кожухотрубном конденсаторе.

Относительная погрешность составляет

$$\delta q = \frac{q_{\text{вн}1} - q_{\text{вн}2}}{q_{\text{вн}2}} = \frac{13470,6 - 13454,8}{13470,6} = 1,17 \cdot 10^{-3} \text{ или } 0,117\%.$$

Ввиду достаточной точности итерационный процесс прекращаем и принимаем  $q_{\text{вн}} = 13454,8 \text{ Вт/м}^2$ .

Площадь внутренней поверхности теплопередачи:

$$F_{\text{вн}} = Q_{\text{к}} / q_{\text{вн}} = 81750 / 13454,8 = 6,08 \text{ м}^2.$$

Наружная поверхность аппарата:

$$F_{\text{н}} = F_{\text{вн}} \times \beta = 6,08 \times 3,9 = 23,7 \text{ м}^2.$$

2.2.1. Расчет конструктивных, гидравлических и массогабаритных показателей конденсатора

Методика расчета аналогична расчету аммиачного конденсатора и приведена в табл.11:

Таблица 11

**Конструктивный и гидромеханический расчеты фреонового конденсатора**

п/п	Параметр / принятое значение	z		
		4	6	8
1	Длина труб: $l = \frac{F_{\text{вн}}}{\pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot n_{1x} \cdot z}$ , м	2,2/2,5	1,48/1,5	1,1/1,5
2	Число труб: $n = N = z \cdot n_{1x}$	76	114	152
3	Число труб по диагонали шестиугольника $m = 0,577\sqrt{4N - 1}$	10/ 11	12,3/13	14,2/15
4	Диаметр обечайки: $D = m \cdot S_1$ , м	0,242/ 0,25	0,286/ 0,325×8	0,33/ 0,35
5	$K = l/D$	10	4,6	4,3
6	Гидравлическое сопротивление, Па: $\Delta p = \left[ \xi \frac{l \cdot z}{d_{\text{вн}}} + 1,5 \cdot z + 1 \right] 0,5 \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_w$ $\xi = 0,11 \left[ \frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} + \frac{68}{\text{Re}} \right]^{0,25}$ - коэффициент трения, $\Delta = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м	63223	75086	74834
7	Мощность проталкивания воды $N_w = V_w \cdot \Delta p \cdot 10^{-3}$ , кВт	0,233	0,276	0,275
8	Масса аппарата, кг: $M = 1,2 M_{\text{об}} + M_{\text{тр}}$ $M_{\text{об}} = M_{1\text{пм}} \times l_{\text{об}}$ $M_{\text{тр}} = N \cdot M_{1\text{пм}} \cdot l_{\text{тр}}$	–	364	270
9	Коэффициент массы, кг/м <sup>2</sup> $\Delta M = M/F_{\text{н}}$	–	16,3	12

10	Объем аппарата, м <sup>3</sup> : $V = 1,07 \div 1,15 V_{об}$	–	0,228	0,137
11	Коэффициент компактности, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> : $\Delta V = F_H/V$	–	98	164

Из таблицы видно, что наилучшие массогабаритные показатели имеет аппарат с числом ходов  $z = 6$ .

### 3. Расчет горизонтального кожухотрубного испарителя затопленного типа

При разности температур на холодном конце испарителя  $\Delta t = 4^\circ\text{C}$ , температура рассола на выходе из испарителя:

$$t_{s2} = t_0 + \Delta t = -15 + 4 = -11^\circ\text{C}$$

При принятой температуре охлаждения рассола в испарителе  $\Delta t_s = 5^\circ\text{C}$ , температура рассола на входе в испаритель:

$$t_{s1} = t_{s2} + \Delta t_s = -11 + 5 = -6^\circ\text{C}$$

Температура замерзания рассола:

$$t_{зам} = t_0 - 10 = -15 - 10 = -25^\circ\text{C}$$

Логарифмическая разность температур в испарителе:

$$\theta_m = \frac{t_{s1} - t_{s2}}{\ln \frac{t_{s1} - t_0}{t_{s2} - t_0}} = \frac{5}{\ln \frac{-6 - (-15)}{-11 - (-15)}} = 6,2^\circ\text{C}$$

### 3.1. Подбор аппарата

$$F_{F_{\text{вн}}} = \frac{Q_0}{K_{F_{\text{вн}}} \cdot \theta_m} = \frac{60}{1,2 \cdot 6,2} = 8,1 \text{ м}^2, \text{ где}$$

$K_{F_{\text{вн}}} = 1,15 \div 1,3$  – коэффициент теплопередачи испарителя, отнесенный к внутренней поверхности (принимается согласно прил. 8)

Наружная поверхность испарителя:

$$F_{\text{н}} = F_{F_{\text{вн}}} \cdot \beta = 8,1 \cdot 3,5 = 28,4 \text{ м}^2$$

Выбираем испаритель ИТР – 35 (см. прил. 9 и табл.12)

Таблица 12

**Техническая характеристика испарителя ИТР – 35**

Площадь теплопередающей поверхности аппарата, м <sup>2</sup>	$F_{\text{н}} / F_{\text{вн}}$	35/10,6
Диаметр кожуха, мм	$D$	426×9
Длина кожуха, м	$l$	1,94
Число труб	$N$	145
Масса аппарата, кг	$M$	805

Для дальнейших расчетов по средней температуре и температуре заморзания рассола определяем его теплофизические свойства:

Принимаем рассол  $\text{CaCl}_2$  (см. прил. 12).

Средняя температура рассола .....  $t_{s \text{ ср}} = -8,5 \text{ }^\circ\text{C}$  .

Массовая доля.....  $\xi = 23,8 \%$  .

Температура заморзания рассола.....  $t_{\text{зам}} = -25,7 \text{ }^\circ\text{C}$  .

Плотность рассола.....  $\rho_s = 1220 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  .

Удельная теплоемкость.....  $c_s = 2,91 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  .

Коэффициент теплопроводности.....  $\lambda_s = 0,5251 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$  .

Коэффициент динамической вязкости.....  $\mu_s = 5,467 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  .

Коэффициент кинематической вязкости.....  $\nu_s = 4,498 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$  .

Число Прандтля.....  $\text{Pr}_{\text{ж}} = 30,42$  .

В качестве поверхности теплопередачи выбираем шахматный пучок из медных труб, примененных в конденсаторе.

Трубный пучок в аммиачных испарителях набирается из стальных цельнотянутых гладких труб с  $d_{\text{н}} = 25 \times 2,0$  мм. Трубы в пучке располагаются по сторонам равностороннего треугольника с шагом по горизонтали 31 мм.

Скорость воды в аппарате  $\omega = 1 \div 2,5$  м/с ;

задаемся  $\omega = 1,6$  м/с .

Число труб в одном ходе:

$$n_1 = \frac{4 \cdot Q_0}{\omega \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot \rho_s \cdot c_s \cdot \Delta t_s} = \frac{4 \cdot 60}{1,6 \cdot 3,14 \cdot 0,0115^2 \cdot 1220 \cdot 2,91 \cdot 5} = 20,3$$

Принимаем  $n_1=21$ ,

тогда действительная скорость рассола:

$$\omega = \frac{4 \cdot Q_0}{n_1 \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot \rho_s \cdot c_s \cdot \Delta t_s} = \frac{4 \cdot 60}{21 \cdot 3,14 \cdot 0,0115^2 \cdot 1220 \cdot 2,91 \cdot 5} = 1,55 \text{ м/с}$$

Число Рейнольдса:

$$Re_{\text{ж}} = \frac{\omega_s \cdot d_{\text{вн}}}{\nu_s} = \frac{1,55 \cdot 0,0115}{4,498 \cdot 10^{-6}} = 3963$$

Число Нуссельта при переходном режиме течения рассола (значение поправки на переходный режим течения жидкости табл.6):

$$Nu_{\text{ж}} = 0,021 \cdot Re_{\text{ж}}^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \epsilon_{\text{пер}} = 0,021 \cdot 3784^{0,8} \cdot 30,42^{0,43} \cdot 0,688 = 47,4$$

Коэффициент теплоотдачи со стороны рассола, отнесенный к внутренней поверхности трубы:

$$\alpha_{s \text{ вн}} = \frac{Nu_{\text{ж}} \cdot \lambda_s}{d_{\text{вн}}} = \frac{47,4 \cdot 0,5251}{0,0115} = 2164 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

Плотность теплового потока со стороны рассола:

$$q_{F_s} = \frac{\theta_s}{\frac{1}{\alpha_{s \text{ вн}}} + \sum \left( \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right)} = \frac{\theta_s}{\frac{1}{2164} + 0,25 \cdot 10^{-3}} = 1404 \cdot \theta_s$$

где  $\sum \left( \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) = 0,2 \div 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$  – суммарное термическое сопротивление стенки трубы и загрязнений.

Плотность теплового потока со стороны рабочего вещества, отнесенная к внутренней поверхности трубы:

для **R717** (аммиака):

$$q_{Fa_{\text{вн}}} = 580 \cdot \theta_a^{1,667} \cdot \frac{F_{\text{н}}}{F_{\text{вн}}}$$

для **R22**:

$$q_{Fa_{\text{вн}}} = 568 \cdot p_0^{0,45} \cdot \varepsilon_{\text{п.р}}^{1,82} \cdot \theta_a^{1,82} \cdot \beta = 568 \cdot 3^{0,45} \cdot 1 \cdot 3,9 \cdot \theta_a^{1,82} = 3632 \cdot \theta_a^{1,82}$$

для **R12** и **R134a**:

$$q_{Fa_{\text{вн}}} = 335 \cdot p_0^{0,5} \cdot \varepsilon_{\text{п.р}}^2 \cdot \varepsilon_{\text{м.р}}^2 \cdot \theta_a^2 \cdot \beta,$$

где  $p_0$  – давление кипения в бар, при  $t_0 = -15^\circ \text{C}$   $p_0 = 3$  бар (прил.15, 16);  $\varepsilon_{\text{м.р}} = 0,85$  – коэффициент, учитывающий влияние масла,  $\varepsilon_{\text{п.р}} = 1$  – коэффициент, учитывающий влияние числа рядов труб по высоте пучка;  $\beta = 3,9$  – коэффициент оребрения.

Система уравнений для определения плотности теплового потока в испарителе, работающем на фреоне R22:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{Fa_{\text{вн}}} = 3632 \cdot \theta_a^{1,82} \\ q_{Fs} = 1404 \cdot \theta_s \\ \theta_s = \theta_m - \theta_a \end{array} \right.$$

Данная система уравнений является трансцендентной относительно  $q$  и  $\theta_s$ .

Наглядный и достаточно точный результат дает графоаналитический метод, основанный на том факте, что в установившемся режиме работы аппарата имеет место равенство  $q_{Fs} = q_{Fa_{\text{вн}}} = q_{\text{вн}}$ .

Это позволяет определить фактическое значение плотности теплового потока  $q_{\text{вн}}$ , как ординату точки пересечения графических зависимостей  $q_{Fs} = 1404 \cdot \theta_s$  и  $q_{Fa_{\text{вн}}} = 3632 \cdot \theta_a^{1,82}$  в координатных осях  $\theta_s - q$ .

Для построения упомянутых зависимостей предварительно вычисляют значение  $q$  для ряда значений  $\theta_s$ . Результаты расчета приведены в таблице 13.

Таблица 13

**Вспомогательная таблица для определения плотности теплового потока в испарителе графоаналитическим методом**

$\theta_a, ^\circ\text{C}$	0	0,5	1	1,5	2	6,2
$\theta_s, ^\circ\text{C}$	–	–	5,2	–	–	0
$q_{Fs}, \text{Вт/м}^2$	–	–	7302	–	–	0
$q_{Fa_{\text{вн}}}, \text{Вт/м}^2$	0	1029	3632	7597	12824	–

По этим данным построены кривые зависимостей тепловых потоков со стороны рассола и со стороны хладагента в зависимости от  $\theta_s$ , представленные на рис. 6.

Точка пересечения кривых определяет значение плотности теплового потока в горизонтальном кожухотрубном испарителе затопленного типа с оребренными трубами  $q_{F_{BH}}^H = 6900 \text{ Вт/м}^2$ .

Площадь внутренней теплопередающей поверхности:

$$F_{BH} = \frac{Q_0}{q_{F_{BH}}} = \frac{60\,000}{6900} = 8,7 \text{ м}^2$$

$$F_H = F_{BH} \cdot \beta = 8,7 \cdot 3,9 = 33,93 \text{ м}^2$$

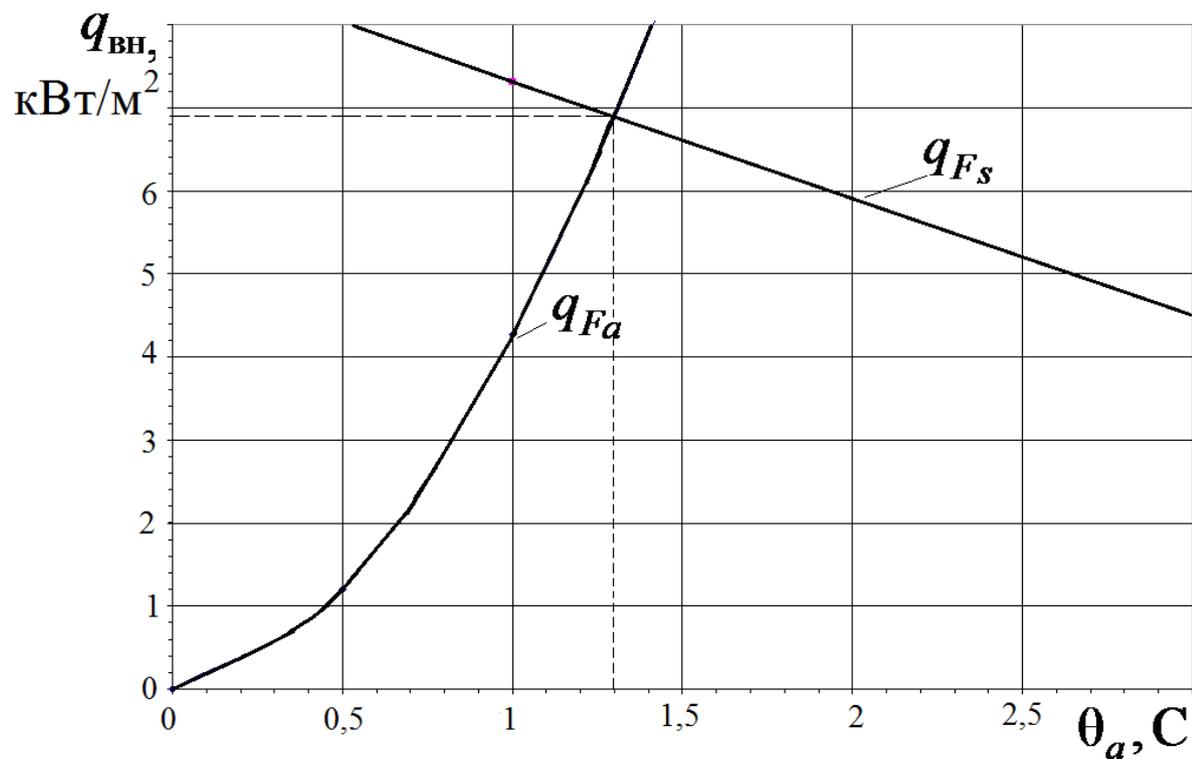


Рис. 6. Графоаналитическое определение плотности теплового потока в горизонтальном кожухотрубном испарителе затопленного типа с оребренными трубами.

### 3.1.1. Конструктивный и гидромеханический расчеты испарителя.

Число ходов в аппарате:

$$z = \frac{F_{F_{\text{вн}}}}{\pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot n_{1x} \cdot l} = \frac{8,7}{3,14 \cdot 0,0115 \cdot 21 \cdot 2} = 5,74, \text{ где}$$

$l = 2$  м (задаемся длиной трубы по выбранной марке и характеристикам испарителя ИТР–35, длина кожуха аппарата)

число труб в одном ходе  $n_{1x} = 21$ .

Принимаем  $z = 6$ .

Проверочный расчет:

$$F_{F_{\text{вн}}} = \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot n_{1x} \cdot l \cdot z = 3,14 \cdot 0,0115 \cdot 21 \cdot 2 \cdot 6 = 9,1 \text{ м}^2$$

Запас площади поверхности составляет  $\delta = 4,4\%$ .

Число труб, расположенных по диагонали шестиугольника:

$$m = 0,577 \sqrt{4N - 1} = 12,94, \text{ где}$$

$$N = z \cdot n_{1x} = 6 \cdot 21 = 126 - \text{число труб.}$$

Принимаем ближайшее нечетное число -  $m = 13$ .

Диаметр обечайки:  $D = m \cdot S_1 = 13 \cdot 0,022 = 0,286$  м, где

$$S_1 = 1,24 \cdot d_{\text{н}} = 1,24 \cdot 0,01665 = 0,021 \text{ м} - \text{принимаем } S_1 = 0,022 \text{ м.}$$

Выбираем обечайку диаметром  $D_{\text{н}} = 0,325$  м, толщина стенки  $\delta = 0,008$  м. (см. ГОСТ 10705-80 и ГОСТ 20295-85)

Масса аппарата, кг:

$$M = 1,2 M_{\text{об}} + M_{\text{тр}} \approx 400 \text{ кг, где}$$

$$M_{\text{об}} = M_{1\text{пм}} \times l_{\text{об}} = 64,5 \cdot 2 = 129 \text{ кг} - \text{масса обечайки,}$$

$$M_{\text{тр}} = M_{1\text{пм}} \cdot N \cdot l_{\text{тр}} = 0,786 \cdot 126 \cdot 2 = 198 \text{ кг} - \text{масса трубного пучка.}$$

Как видно из приведенного расчета, масса рассчитанного аппарата благодаря применению новых теплообменных труб в два раза меньше ИТР–35.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пластинин П.И.** Поршневые компрессоры. Т. 1. Теория и расчет. – М.: Колосс, 2006. – 456 с.
2. **Пластинин П.И.** Поршневые компрессоры. Т. 2. Основы проектирования. Конструкции. – М.: Колосс, 2008. – 711 с.
3. Теплообменные аппараты холодильных установок / Под ред. Г.Н. Даниловой. – Л.: Машиностроение, 1986. – 303 с.
4. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин/ Под ред. И.А. Сакуна. – Л.: Машиностроение, 1987. – 423 с.
5. Холодильные машины: Справ. / Под ред. А. В. Быкова. – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. – 224 с.
6. Холодильные машины / Под ред. Л.С. Тимофеевского. – СПб.: Политехника, 2006. – 992 с.
7. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ. / Под ред. С.Н. Богданова. – СПб.: СПбГАХПТ, 1999.
8. **Цветков О.Б., Лаптев Ю.А.** Таблицы свойств холодильных агентов: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 52 с.

## ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. ГОСТ 8734–75 [http://www.metallopt.ru/info/gost\\_all/8734/](http://www.metallopt.ru/info/gost_all/8734/)
2. ГОСТ 10705–80  
<http://www.docload.ru/Basesdoc/4/4011/index.htm>
3. ГОСТ 20295–85 [http://mgsz.ru/gost-20295–85/](http://mgsz.ru/gost-20295-85/)
4. ГОСТ 617–90 [http://standartgost.ru/ГОСТ 617–90](http://standartgost.ru/ГОСТ_617-90)
5. <http://bitzer.ru/>
6. <http://www.hladotehnika.ru/products/producers/>
7. <http://www.holodneva.ru/product/polugermitchnye-kompressory-discus/>
8. <http://www.ltec.ru/ct.html>
9. [http://www.aircool.su/CatalogImages/File/pdf/kondensatori\\_vodohl.pdf](http://www.aircool.su/CatalogImages/File/pdf/kondensatori_vodohl.pdf)
10. <http://www.aircool.su/CatalogImages/File/pdf/Dryplus.pdf>
11. [http://www.space-cool.ru/PDF/4/2\\_WTK.pdf](http://www.space-cool.ru/PDF/4/2_WTK.pdf)

Приложение 1

№	Конструктивные параметры компрессора							
	Тип, (ход поршня, мм)	Расположение цилиндров	Кол-во цилиндров	Частота вращения, с <sup>-1</sup>	Марка	Диаметр цилиндра,	Объем, описываемый поршнями, × 10 <sup>2</sup> , м <sup>3</sup> /с	
1	Непрямоточный герметичный (32)	Горизонтальное	2	48	ПГ5	42	0,411	
			3		ПГ7		0,616	
			4		ПГ10		0,822	
2	Непрямоточный бессальниковый и сальниковый (65 и 45)	Вертикальное	1	24	ПБ5	67,5	0,385	
			1		ПБ7		0,555	
			2		ПБ10		0,77	
		V - образное	2	24	ПБ14	67,5	1,11	
			2		П14		1,11	
			4		ПБ20		1,54	
			4		П20		1,54	
			4		ПБ28		2,22	
			4		П28		2,22	
3	Непрямоточный бессальниковый и сальниковый (66)	V – образное	4	24	ПБ40	76	2,89	
			4		П40		2,89	
		W – образное	6	24	ПБ60	76	4,33	
			6		П60		4,33	
		VV – образное	8	24	ПБ80	76	5,78	
			8		П80		5,78	
4	Непрямоточный бессальниковый и сальниковый (82)	V – образное	4	24	ПБ110	115	8,35	
			4		П110		8,35	
		W – образное	6	24	ПБ165	115	12,5	
			6		П165		12,5	
		VV – образное	8	24	ПБ220	115	16,7	
			8		П220		16,7	
5	Непрямоточный герметичный (40)	Горизонтальное	2	24	ФГ2,8	50	0,38	
			4		ФГ5,6		0,76	
			2		2ФВБС4		67,5	0,57
		Вертикальное	2	24	ФВ6	67,5	0,855	
			2		2ФВБС6		67,5	0,855
			2		24		67,5	0,855
6	Непрямоточный бессальниковый и сальниковый (50)	V – образное	4	16	2ФУБС9	67,5	1,14	
			4		ФУ12		67,5	1,71
			4		2ФУБС12		67,5	1,71
		VV – образное	8	16	2ФУУБС18	67,5	2,28	
			8		ФУУ25		67,5	3,42
			8		2ФУУБС25		67,5	3,42
7	Непрямоточный фреоновый и прямоточный аммиачный (70)	Вертикальное	2	24	ФВ20	101,6	2,72	
			2		АВ22		82	1,79
		V – образное	4	24	ФУ40	101,6	5,44	
			4		АУ45		82	3,58
		VV – образное	8	24	ФУУ80	101,6	10,88	
			8		24		101,6	10,88

## Продолжение прил.1

№	Конструктивные параметры компрессора						
	Тип, (ход поршня, мм)	Расположение Цилиндров	Кол-во цилиндров	Частота вращения, с <sup>-1</sup>	Марка	Диаметр цилиндра, мм	Объем, описываемый поршнями, × 10 <sup>2</sup> , м <sup>3</sup> /с
			8	24	АУУ90	82	7,16
8	Прямоточный сальниковый (130)	Вертикальное	2	16	АВ100	150	7,35
		V – образное	4	16	АУ200	150	14,7
		VV – образное	8	16	АУУ400	150	29,4
9	Прямоточный сальниковый, крейцкопфный (220)	Оппозитное	2	8,35	АО600	280	440
			4	8,35	АО1200	280	880

Примечания: Ход поршня 45 мм для ПБ5, ПБ10, ПБ20 и П20.

## Приложение 2

Характеристики электродвигателей  
для бессальниковых компрессоров

Электродвигатель	Мощность, кВт	Частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)
4АВР112А4БФ	1,5	–
4АВР1126БФ	2,2	–
4АВР1124БФ	3,0	24(1440)
4АВР112В4БФ	4,0	–
4АВР1122БФ	5,5	–
4АВР1326БФ	4,0	–
4АВР132А4БФ	5,5	24(1440)
4АВР1326БФ	5,5	–
4АВР1324БФ	7,5	–
4АВР1804БФ	11,0	–
4АВР180А4БФ	15,0	24,7(1480)
4АВР180А4БФ	22,0	24,6(1475)
4АВР180В4БФ	30,0	24,2(1455)
4АВР180В4БФ	45	–
4АВР2504БФ	55	–
4АВР2504БФ	75	–
4АВР2504БФ	110	–
4АВР2502БФ	90	–
4АВР2002НБФМ	30	–

Приложение 3

Характеристики электродвигателей для компрессоров,  
работающих на R717

Электродвигатель	Мощность, кВт	Частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)
4AP160M4Y3	18,5	25(1500)
4AP180M4Y3	30	25(1500)
4AP200M4Y3	37	25(1500)
A02914Y3	75	25(1500)
4A225M4Y3	55	25(1500)
4A225M6Y3	33	16,7(1000)
A3-315S1-4	132	25(1500)
A02-92-4Y3	100	25(1500)
СДКП2-16-24-12КУ4	320	8,3(500)
СДКП2-17-26-12КУ4	630	8,3(500)

Приложение 4

Теплофизические свойства воды на линии насыщения

$t$ , °C	$p \cdot 10^5$ , Па	$\rho'$ , кг/м <sup>3</sup>	$c_p$ , кДж/(кг·K)	$\lambda$ , Вт/(м·K)	$\mu \cdot 10^6$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$P_g$
0	1,013	999,9	4,212	0,560	1788	1,789	13,5
10	1,013	999,7	4,191	0,580	1306	1,306	9,45
20	1,013	998,2	4,183	0,507	1004	1,006	7,03
30	1,013	995,7	4,174	0,612	801,5	0,805	5,45
40	1,013	992,2	4,174	0,627	653,3	0,659	4,36
50	1,013	988,1	4,174	0,640	549,4	0,556	3,53
60	1,013	983,1	4,179	0,650	469,9	0,478	3,08
70	1,013	977,8	4,187	0,662	406,1	0,415	2,52
80	1,013	971,8	4,195	0,669	355,1	0,365	2,23
90	1,013	965,3	4,208	0,676	314,9	0,326	1,97
100	1,013	958,4	4,220	0,684	282,5	0,295	1,75
110	1,43	951,0	4,233	0,685	259,0	0,272	1,60
120	1,98	943,1	4,250	0,686	237,1	0,252	1,47

Приложение 5

Конденсаторы кожухотрубные горизонтальные фреоновые

Марка	Площадь действующей наружной поверхности $F_n, \text{ м}^2$	Диаметр обечайки $D, \text{ мм}$	Число труб $n_{\text{тр}}$	Длина труб $l, \text{ м}$	Число ходов $z$
КТР-4	4,8	194	23	1,0	4; 2
КТР-6	6,8	219	29	1,5	4; 2
КТР-9	9,0	273; 377	46; 53	1,0; 1,3	4; 2
КТР-12	12,8	377; 325	86	1,0; 1,2	4; 2
КТР-18	18,0	377; 325	86	1,8	4; 2
КТР-25	30,0	404	135	1,5	4
КТР-35	40,0	404	135	2,0	4
КТР-50	49,6	404	135	2,5	4
КТР-65	62,0	500	210	2,0	4; 2
КТР-85	92,5	500	210	3,0	4; 2
КТР-110	107	600	293	2,5	4
КТР-150	150	600	293	3,5	2
КТР-200	200	800	455	3,0	4; 2
КТР-260	260	800	455	4,0	2
КТР-380	407	900	680	4,0	-

Приложение 6

Конденсаторы кожухотрубные горизонтальные аммиачные

Марка	Площадь поверхности $F_n, \text{ м}^2$	Диаметр обечайки $D, \text{ мм}$	Число труб $n_{\text{тр}}$	Длина труб $l, \text{ м}$	Число ходов $z$	Масса аппарата
КТГ-10	9	408	99	1,5	10	555
КТГ-20	20	500	144	2,5	8	995
КТГ-25	25	500	144	3,0	8	1140
КТГ-32	32	500	144	4,0	8	1440
КТГ-40	40	600	216	3,0	8	1555
КТГ-50	50	600	216	4,0	8	1980
КТГ-65	65	600	216	5,0	8	2430
КТГ-90	90	800	386	4,0	8	3300
КТГ-110	110	800	386	5,0	8	4000
КТГ-140	140	1000	614	4,0	8	5330
КТГ-180	180	1000	614	5,0	8	6450
КТГ-250	250	1200	870	5,0	8	9360
КТГ-300	300	1200	870	6,0	8	10930
КТГ-500	556	1600	797	6,01	2; 4; 8	23000
КТГ-630	710	1800	1023	6,01	2; 4	29000

Некоторые данные по испытаниям конденсаторов

Тип конденсатора и т/о поверхности	Рабочее вещество	Плотность теплового потока	Коэфф. теплопередачи	$\theta_m$	$w_{cp}$
		$q_{F_{BH}}$ кВт/м <sup>2</sup>	$K_{F_{BH}}$ Вт/м <sup>2</sup> ·К	°С	м/с
<b>Кожухотрубный, водяной, гориз.</b> гл. стальн. труба Ø25×3 (КТГ-90)  оробрен. медные трубы Ø20×3  оробрен. медные трубы Ø20×3  оробрен. медные трубы Ø16×2	R717	2÷6	1200÷1400 ( $t_k=30$ ) 1000÷1120 ( $t_k=35$ )	2÷4,6 2÷6	1,5 1,5
	R134a	2,5÷7	1100÷1200	2÷6	1,9
	R22	12÷20	2000÷2100	6÷8	1,4
	R22	11÷23	3600÷3000 2400÷2100	5,5÷7,5 5,5÷7,5	1,8 1,4
<b>Вертикальный кожухотрубный</b> стальн. труба Ø57×3,5	R717	4,7÷5,2	–	4÷7	–
<b>Испарительный</b>	R717	2÷3	–	$\Delta t = 3$	–
<b>Воздушные</b> Оребрен. сталь, оцинковка Навитая алюм лента	R717	0,15÷0,48	25÷20	8÷15	До 10
	R717	0,15÷0,48	25÷28		
Воздушные малых ХМ $F=0,9÷5,5$	R134a	0,2÷1	56÷50	–	$w \cdot \rho =$ 10
	R22	0,2÷0,5	63÷52	–	$\frac{кг}{с \cdot м^2}$ 3,5÷6,5
$F=10÷35$	R22	0,17÷0,34			2÷5
<b>Пластинчатые</b>	R717	10	3100	3,2	0,6

Некоторые данные по испытаниям испарителей

Тип аппарата и т/о поверхности	Рабочее вещество	Плотность теплового потока $q_{F_{вн}}$	Кoeff. теплопередачи $K_{F_{вн}}$	$\theta_m$	$w_s$
		кВт/м <sup>2</sup>	Вт/ м <sup>2</sup> · К	°С	м/с
<b>Кожухотрубный затопл. типа</b> глад труба (сталь) глад труба (сталь) оребр. труба Ø20×3 (ИТР-70) оребр. труба Ø16×2 (каф. ХМ)	R717	1,3÷4	430÷800	2,5÷5	1÷1,5
	R22	2,2 ÷5,0	600÷850	3,7÷7	1÷1,5
	R22	4,6÷8	1150÷1300	4÷6	1,5÷2
	R22	3,5÷8,5	1100÷1650	(-15÷5) 3,5÷5,6	1,5÷2
<b>Пластинчатый испаритель</b>	R717	7,96÷14,26	1300÷1400	3÷5 ( $t_0 = 0^\circ\text{C}$ )	0,4
	R22	5,0÷10,5	1250÷1470 (1000÷1170) $\Delta t_{пер} = 4^\circ\text{C}$	4÷7 ( $t_0 = -20^\circ\text{C}$ )	0,4
<b>Испаритель с внутритрубн. кипением</b> ( $t_0 = -5 \div 2^\circ\text{C}$ )	R22	2,3÷11	1040÷1326	8÷10	0,5÷1
<b>Пленочные испарители</b>	R22	5,9	2360	2,5	–
<b>Панельный испаритель</b>	R717	2,9÷3,5	–	5÷6	–
<b>Воздухоохладитель</b>		$q_H = 0,15 \div 0,2$	$K_H = 25 \div 58$	8÷9 ( $t_k \approx 0^\circ\text{C}$ ) 7÷8 ( $t_{кам} = -18^\circ\text{C}$ )	4÷10

Приложение 9

Испарители кожухотрубные горизонтальные  
фреоновые затопленного типа

Марка	Площадь передающей поверхности, $F_H / F_{BH}$ , м <sup>2</sup>	Диаметр кожуха, мм	Длина кожуха, мм	Число труб	Число горизонтальных рядов труб
ИТР-12	12/3,7	325	1415	70	9
ИТР-18	18/5,3	325	1665	84	11
ИТР-35	35/10,6	426	1940	145	14
ИТР-50	50/15,5	525	1985	207	14
ИТР-70	70/21,0	530	2240	249	18
ИТР-105	100/33,0	600	3700	237	16
ИТР-210	209/68,0	800	3730	484	23
ИТР-400	390/134,0	1200	3870	920	28
ИТР-65	65/19,0	500	2435	210	16
ИТРН-80	77/25,0	600	3100	218	13
ИТР-35Н	35/13,0	500	3000	123	10

Приложение 10

Испарители кожухотрубные горизонтальные аммиачные

Марка	Площадь передающей поверхности, $F_H / F_{BH}$ , м <sup>2</sup>	Размеры кожуха, $D_{BH} \times \delta_{CT}$ , мм	Длина труб, мм	Число труб	Число ходов
50ИТГ	51/40,6	600×8	3000	216	8
63ИТГ	67,9/54,2	600×8	4000	216	8
80ИТГ	85/68	600×8	5000	216	8
125ИТГ	121/97	800×8	4000	386	8
160ИТГ	152/121	800×8	5000	386	8
200ИТГ	194/155	1000×10	4000	616	8
250ИТГ	242/194	1000×10	5000	616	8
ИНГ315	300/240	1000×8	6000	636	4
ИНГ400	381,5/305	1200×10	6000	810	4
500ИТГ	594/500	1600×16	6010	827	2,4,8
630ИТГ	759/650	1800×20	6010	1059	2,4,8
800ИТГ	1010/850	1800×20	8010	1059	2,4,8,10

Приложение 11

Теплофизические свойства раствора хлористого натрия

$\xi$ , %	$t_s$ , °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$t_s$ , °C	$c$ , кДж/(кг·K)	$\lambda$ , Вт/(м·K)	$\mu \cdot 10^3$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	Pr
7	-4,4	1050	20	3,843	0,593	1,08	1,03	6,9
7	-4,4	1050	10	3,835	0,576	1,41	1,34	9,4
7	-4,4	1050	0	3,827	0,559	1,87	1,78	12,7
7	-4,4	1050	-4	3,818	0,556	2,16	2,06	14,8
11	-7,5	1080	20	3,697	0,593	1,15	1,06	7,2
11	-7,5	1080	10	3,684	0,570	1,52	1,41	9,9
11	-7,5	1080	0	3,676	0,556	2,02	1,87	13,4
11	-7,5	1080	-5	3,672	0,549	2,44	2,26	16,4
11	-7,5	1080	-7,5	3,672	0,545	2,65	2,45	17,8
13,6	-9,8	1100	20	3,609	0,593	1,23	1,12	7,4
13,6	-9,8	1100	10	3,601	0,568	1,62	1,47	10,3
13,6	-9,8	1100	0	3,588	0,544	2,15	1,95	13,9
13,6	-9,8	1100	-5	3,584	0,547	2,61	2,37	17,1
13,6	-9,8	1100	-9,8	3,580	0,540	3,43	3,13	22,9
16,2	-12,2	1120	20	3,534	0,573	1,31	1,20	8,3
16,2	-12,2	1120	10	3,525	0,569	1,73	1,57	10,9
16,2	-12,2	1120	-5	3,508	0,544	2,83	2,58	18,6
16,2	-12,2	1120	-10	3,504	0,535	3,49	3,18	23,2
16,2	-12,2	1120	-12,2	3,500	0,533	4,22	3,84	28,3
18,8	-15,1	1140	20	3,462	0,582	1,43	1,26	8,5
18,8	-15,1	1140	10	3,454	0,566	1,85	1,63	11,4
18,8	-15,1	1140	0	3,442	0,550	2,56	2,25	16,1
18,8	-15,1	1140	-5	3,433	0,542	3,12	2,74	19,8
18,8	-15,1	1140	-10	3,429	0,533	3,87	3,40	24,8
18,8	-15,1	1140	-15	3,425	0,524	4,78	4,19	31,0
21,2	-18,2	1160	20	3,395	0,579	1,55	1,33	9,1
21,2	-18,2	1160	10	3,383	0,563	2,01	1,73	12,1
21,2	-18,2	1160	0	3,374	0,547	2,82	2,44	17,5
21,2	-18,2	1160	-5	3,366	0,538	3,44	2,96	21,5
21,2	-18,2	1160	-10	3,362	0,530	4,30	3,70	27,1
21,2	-18,2	1160	-15	3,358	0,522	5,28	4,55	33,9
21,2	-18,2	1160	-18	3,358	0,518	6,08	5,24	39,4
23,1	-21,2	1175	20	3,345	0,565	1,67	1,42	9,6
23,1	-21,2	1175	10	3,333	0,549	2,16	1,84	13,1
23,1	-21,2	1175	0	3,324	0,544	3,04	2,59	18,6
23,1	-21,2	1175	-5	3,320	0,536	3,75	3,20	23,3
23,1	-21,2	1175	-10	3,312	0,528	4,71	4,02	29,5
23,1	-21,2	1175	-15	3,308	0,520	5,75	4,90	36,5
23,1	-21,2	1175	-21	3,303	0,514	7,75	6,60	50,0

Приложение 12

Теплофизические свойства раствора хлористого кальция

$\xi$ , %	$t_s$ , °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$t_s$ , °C	$c$ , кДж/(кг·K)	$\lambda$ , Вт/(м·K)	$\mu \cdot 10^3$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	Pr
9,4	-5,2	1080	20	3,642	0,584	1,24	1,15	7,8
9,4	-5,2	1080	10	3,634	0,570	1,55	1,44	9,9
9,4	-5,2	1080	0	3,626	0,556	2,16	2,00	14,1
9,4	-5,2	1080	-5	3,601	0,549	2,55	2,36	16,7
14,7	-10,2	1130	20	3,362	0,576	1,49	1,32	8,7
14,7	-10,2	1130	10	3,349	0,563	1,86	1,64	11,0
14,7	-10,2	1130	0	3,328	0,549	2,56	2,27	15,6
14,7	-10,2	1130	-5	3,316	0,542	3,04	2,70	18,7
14,7	-10,2	1130	-10	3,308	0,534	4,06	3,60	25,3
18,9	-15,7	1170	20	3,148	0,572	1,80	1,54	9,9
18,9	-15,7	1170	10	3,140	0,558	2,24	1,91	12,6
18,9	-15,7	1170	0	3,128	0,544	2,99	2,56	17,2
18,9	-15,7	1170	-5	3,098	0,537	3,43	2,94	19,8
18,9	-15,7	1170	-10	3,086	0,529	4,67	4,00	27,3
18,9	-15,7	1170	-15	3,065	0,523	6,15	5,27	35,9
20,9	-19,2	1190	20	3,077	0,569	2,00	1,68	10,9
20,9	-19,2	1190	10	3,056	0,555	2,45	2,06	13,4
20,9	-19,2	1190	0	3,044	0,542	3,28	2,76	18,5
20,9	-19,2	1190	-5	3,014	0,535	3,82	3,22	21,5
20,9	-19,2	1190	-10	3,014	0,527	5,07	4,25	28,9
20,9	-19,2	1190	-15	3,014	0,521	6,59	5,53	38,2
23,8	-25,7	1220	20	2,973	0,565	2,35	1,94	12,5
23,8	-25,7	1220	10	2,952	0,551	2,87	2,35	15,4
23,8	-25,7	1220	0	2,931	0,538	3,81	3,13	20,8
23,8	-25,7	1220	-5	2,910	0,530	4,41	3,63	24,4
23,8	-25,7	1220	-10	2,910	0,523	5,92	4,87	33,0
23,8	-25,7	1220	-15	2,910	0,518	7,55	6,20	42,5
23,8	-25,7	1220	-20	2,889	0,510	9,47	7,77	53,8
23,8	-25,7	1220	-25	2,889	0,504	11,57	9,48	66,5
25,7	-31,2	1240	20	2,889	0,562	2,63	2,12	13,5
25,7	-31,2	1240	10	2,889	0,548	3,22	2,51	16,5
25,7	-31,2	1240	0	2,868	0,535	4,26	3,43	22,7
25,7	-31,2	1240	-10	2,847	0,521	6,68	5,40	36,6
25,7	-31,2	1240	-15	2,847	0,514	9,36	6,75	46,3
25,7	-31,2	1240	-20	2,805	0,508	10,56	8,52	58,5
25,7	-31,2	1240	-25	2,805	0,501	12,90	10,40	72,0
25,7	-31,2	1240	-30	2,763	0,494	14,81	12,00	83,0
27,5	-38,6	1260	20	2,847	0,558	2,93	2,33	14,9
27,5	-38,6	1260	10	2,826	0,545	3,61	2,87	18,8

## Окончание прил. 12

$\xi$ , %	$t_3$ , °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$t_s$ , °C	$c_p$ , кДж/(кг·К)	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^3$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	Рг
27,5	-38,6	1260	-20	2,763	0,506	11,87	9,45	65,0
27,5	-38,6	1260	-25	2,742	0,449	14,71	11,70	80,7
27,5	-38,6	1260	-30	2,742	0,492	17,16	13,60	95,5
27,5	-38,6	1260	-35	2,721	0,486	21,57	17,10	120,0
28,5	-43,5	1270	20	2,805	0,557	3,14	2,47	15,8
28,5	-43,5	1270	0	2,780	0,529	5,12	4,02	26,7
28,5	-43,5	1270	-10	2,763	0,518	8,02	6,32	42,7
28,5	-43,5	1270	-20	2,721	0,505	12,65	10,0	68,8
28,5	-43,5	1270	-25	2,721	0,500	15,98	12,6	87,5
28,5	-43,5	1270	-30	2,700	0,491	18,83	14,9	103,5
28,5	-43,5	1270	-35	2,700	0,491	18,83	14,9	103,5
28,5	-43,5	1270	-40	2,680	0,478	30,40	24,0	171,0
29,4	-50,1	1280	20	2,805	0,555	3,33	2,65	17,2
29,4	-50,1	1280	0	2,775	0,528	5,49	4,30	28,7
29,4	-50,1	1280	-10	2,721	0,576	8,63	6,75	45,4
29,4	-50,1	1280	-20	2,680	0,504	13,83	10,8	73,4
29,4	-50,1	1280	-30	2,659	0,490	21,28	16,6	115,0
29,4	-50,1	1280	-35	2,638	0,483	25,50	19,9	139,0
29,4	-50,1	1280	-40	2,638	0,447	32,36	25,3	179,0
29,4	-50,1	1280	-45	2,617	0,470	40,21	31,4	223,0
29,4	-50,1	1280	-50	2,617	0,464	49,03	38,3	295,0
29,9	-55	1286	20	2,784	0,554	3,51	2,75	17,8
29,9	-55	1286	0	2,738	0,528	5,69	4,43	29,5
29,9	-55	1286	-10	2,700	0,515	9,04	7,04	47,5
29,9	-55	1286	-20	2,680	0,502	14,42	11,23	77,0
29,9	-55	1286	-30	2,659	0,488	22,56	17,6	123,0
29,9	-55	1286	-35	2,638	0,483	28,44	22,1	156,5
29,9	-55	1286	-40	2,638	0,576	35,30	27,5	196,0
29,9	-55	1286	-45	2,617	0,470	43,15	33,5	240,0
29,9	-55	1286	-50	2,617	0,463	50,99	39,7	290,0
29,9	-55	1286	-55	2,596	0,456	64,72	50,2	368,0

Приложение 13

Теплофизические свойства насыщенной жидкости аммиака (R717)

$t$ , °C	$p$ , МПа	$\rho'$ , кг/м <sup>3</sup>	$c_p$ , кДж/(кг·K)	$\lambda$ , Вт/(м·K)	$a \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\mu \cdot 10^5$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\sigma \cdot 10^2$ , Н/м	$P_T$
-70	0,01092	725,3	4,359	-	-	-	-	5,49	-
-60	0,02187	713,9	4,378	0,600	0,192	-	-	5,14	-
-50	0,04082	702,2	4,404	0,585	0,189	31,5	0,449	4,81	2,37
-40	0,07169	690,2	4,434	0,570	0,186	27,6	0,400	4,48	2,15
-30	0,1194	677,9	4,468	0,554	0,183	24,3	0,358	4,16	1,96
-20	0,1901	665,1	4,506	0,538	0,180	21,6	0,325	3,84	1,81
-10	0,2908	652,0	4,549	0,522	0,176	19,4	0,298	3,53	1,69
0	0,4296	638,5	4,599	0,506	0,172	17,5	0,274	3,23	1,59
10	0,6153	624,6	4,659	0,490	0,168	15,9	0,255	2,93	1,51
20	0,8578	610,2	4,731	0,472	0,164	14,5	0,238	2,64	1,45
30	1,1675	595,1	4,821	0,455	0,159	13,2	0,223	2,34	1,40
40	1,5556	579,4	4,931	0,436	0,153	12,1	0,209	2,06	1,37
50	2,0337	562,8	5,070	0,417	0,146	11,0	0,195	1,77	1,34

Приложение 14

Теплофизические свойства насыщенной жидкости хладагента R22

$t$ , °C	$p$ , МПа	$\rho'$ , кг/м <sup>3</sup>	$c_p$ , кДж/(кг·К)	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^7$ , м <sup>2</sup> /с	$\mu \cdot 10^4$ , Па·с	$\nu \cdot 10^7$ , м <sup>2</sup> /с	$\sigma \cdot 10^3$ , Н/м	$\beta \cdot 10^4$ , К <sup>-1</sup>	Pr
-60	0,03747	1463	1,085	0,1199	0,755	4,14	2,83	21,5	15,3	3,75
-50	0,06453	1435	1,094	0,1153	0,734	3,78	2,63	19,9	16,8	3,58
-40	0,1053	1406	1,104	0,1108	0,714	3,49	2,48	18,2	18,4	3,47
-30	0,164	1377	1,116	0,1064	0,692	3,24	2,35	16,6	20,1	3,40
-20	0,2455	1347	1,130	0,1021	0,671	3,02	2,24	15,0	22,1	3,34
-10	0,355	1315	1,147	0,0977	0,648	2,83	2,15	13,3	24,1	3,32
0	0,4981	1282	1,167	0,0934	0,624	2,67	2,08	11,7	26,3	3,33
10	0,6809	1248	1,193	0,0892	0,599	2,53	2,03	10,2	29,1	3,39
20	0,9097	1211	1,226	0,0849	0,572	2,40	1,98	8,7	32,7	3,46
30	1,1913	1172	1,269	0,0807	0,543	2,29	1,95	7,2	37,7	3,59
40	1,5327	ИЗО	1,330	0,0765	0,509	2,19	1,94	5,8	44,9	3,81
50	1,9418	1083	1,416	0,0722	0,471	2,10	1,94	4,5	55,0	4,12
60	2,4267	1031	1,546	0,0679	0,426	-	-	3,3	69,6	-
70	2,9971	970,2	1,764	0,0633	0,370	-	-	2,1	-	-

Приложение 15

Теплофизические свойства насыщенной жидкости хладагента R134a

$t$ , °C	$p$ , МПа	$\rho'$ , кг/м <sup>3</sup>	$c_p$ , кДж/(кг·К)	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с	$\mu \cdot 10^4$ , Па·с	$\nu \cdot 10^7$ , м <sup>2</sup> /с	$\sigma \cdot 10^3$ , Н/м	$\beta \cdot 10^3$ , К <sup>-1</sup>	Pr
-35	0,063	1419,6	1,301	0,1095	5,929	3,09	2,174	16,72	-	3,67
-30	0,081	1396,9	1,308	0,1072	5,867	2,79	1,997	15,98	2,20	3,40
-20	0,129	1363,2	1,323	0,1027	5,694	2,26	1,658	14,54	2,30	2,91
-10	0,196	1331,3	1,339	0,0983	5,514	1,99	1,495	13,10	2,45	2,71
0	0,289	1298,7	1,358	0,0942	5,341	1,69	1,301	11,69	2,60	2,44
10	0,412	1264,6	1,380	0,0901	5,163	1,50	1,186	10,30	2,80	2,30
20	0,571	1228,4	1,406	0,0860	4,979	1,35	1,099	8,94	3,05	2,21
30	0,772	1190,1	1,439	0,0820	4,788	1,22	1,025	7,61	3,35	2,14
40	1,019	1149,0	1,482	0,0781	4,586	1,09	0,949	6,31	3,75	2,07
50	1,321	1 104,5	1,537	0,0742	4,371	0,95	0,860	5,06	4,25	1,97
60	1,684	1055,3	1,618	0,0704	4,123	0,80	0,758	3,86	5,00	1,84
70	2,118	998,8	1,747	0,0665	3,811	0,69	1,687	2,74	6,20	1,80

Приложение 16

Термодинамические свойства хладагента R717 (аммиак)

на линии насыщения

$t$ , °C	$p \cdot 10^{-5}$ , Па	$v' \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$v''$ , м <sup>3</sup> /кг	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг·К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
-65	0,15603	1,390	6,4641	209,3	1665,8	1456,5	0,7887	7,7861
-60	0,21873	1,401	4,7103	331,2	1674,7	1443,5	0,8925	7,6649
-55	0,30127	1,412	3,4916	253,1	1683,5	1430,3	0,9941	7,5507
-50	0,4082	1,424	2,6288	275,1	1692,0	1416,8	1,0938	7,4430
-45	0,5448	1,436	2,0072	297,2	1700,2	1403,0	1,1915	7,3411
-40	0,7169	1,449	1,5530	319,4	1708,3	1388,9	1,2874	7,2446
-39	0,7561	1,451	1,4775	323,8	1709,8	1386,0	1,3064	7,2259
-38	0,7971	1,454	1,4063	328,2	1711,4	1383,2	1,3253	7,2073
-37	0,8399	1,457	1,3392	332,7	1713,0	1380,3	1,3441	7,1890
-36	0,8845	1,459	1,2760	337,1	1714,5	1377,4	1,3629	7,1709
-35	0,9310	1,462	1,2162	341,6	1716,0	1374,4	1,3816	7,1529
-34	0,9796	1,464	1,1598	346,0	1717,5	1371,5	1,4003	7,1351
-33	1,0301	1,467	1,1066	350,5	1719,0	1368,5	1,4189	7,1176
-32	1,0827	1,470	1,0562	355,0	1720,5	1365,6	1,4374	7,1001
-31	1,1375	1,473	1,0085	359,4	1722,0	1362,6	1,4558	7,0829
-30	1,1945	1,475	0,9634	363,9	1723,5	1359,6	1,4742	7,0658
-29	1,2538	1,478	0,9208	368,4	1725,0	1356,6	1,4926	7,0489
-28	1,3154	1,481	0,8803	372,9	1726,4	1353,5	1,5108	7,0321
-27	1,3795	1,484	0,8418	377,4	1727,8	1350,5	1,5290	7,0155
-26	1,4460	1,486	0,8058	381,8	1729,3	1347,4	1,5472	6,9991
-25	1,5151	1,489	0,7710	386,3	1730,3	1344,4	1,5653	6,9828
-24	1,5868	1,492	0,7386	390,8	1732,1	1341,2	1,5833	6,9666
-23	1,6612	1,495	0,7072	395,3	1733,4	1338,1	1,6013	6,9506
-22	1,7384	1,498	0,6780	399,8	1734,8	1335,0	1,6192	6,9348
-21	1,8184	1,501	0,6498	404,3	1736,2	1331,9	1,6370	6,9191
-20	1,9014	1,504	0,6230	408,8	1737,5	1328,7	1,6548	6,9035
-19	1,9873	1,506	0,5977	413,3	1738,9	1325,5	1,6726	6,8881
-18	2,0763	1,509	0,5737	417,9	1740,2	1322,3	1,6903	6,8728
-17	2,1685	1,512	0,5510	422,4	1741,5	1319,1	1,7079	6,8577
-16	2,2639	1,515	0,5291	426,9	1742,8	1315,9	1,7255	6,8426
-15	2,3625	1,518	0,5081	431,4	1744,1	1312,6	1,7431	6,8277
-14	2,4646	1,521	0,4883	436,0	1745,3	1309,3	1,7606	6,8130
-13	2,5701	1,524	0,4695	440,5	1746,6	1306,1	1,7779	6,7983
-12	2,6792	1,527	0,4515	455,1	1747,8	1302,8	1,7953	6,7838
-11	2,7919	1,531	0,4342	449,6	1749,0	1299,4	1,8127	6,7694
-10	2,9083	1,534	0,4179	454,2	1750,2	1296,1	1,8299	6,7552

Продолжение прил. 16

$t$ , °C	$p \cdot 10^{-5}$ , Па	$v' \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$v''$ , м <sup>3</sup> /кг	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг·К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
-9	3,0285	1,537	0,4022	458,7	1751,4	1292,7	1,8472	6,7410
-8	3,1526	1,540	0,3873	463,3	1752,6	1289,3	1,8643	6,7269
-7	3,2807	1,543	0,3730	467,9	1753,8	1285,9	1,8815	6,7130
-6	3,4128	1,546	0,3593	472,4	1754,9	1282,5	1,8985	6,6992
-5	3,5491	1,550	0,3463	477,0	1756,1	1279,0	1,9136	6,6955
-4	3,6996	1,553	0,3338	481,6	1757,2	1275,6	1,9326	6,6719
-3	3,8344	1,556	0,3218	486,2	1758,3	1272,1	1,9495	6,6584
-2	3,9836	1,559	0,3150	490,8	1759,4	1268,6	1,9664	6,6450
-1	4,1374	1,563	0,2995	495,4	1760,5	1265,1	1,9832	6,6317
0	4,2957	1,566	0,2890	500,0	1761,5	1261,5	2,0000	6,6185
1	4,4588	1,569	0,2789	504,6	1762,6	1258,0	2,0169	6,6054
2	4,6266	1,573	0,2693	509,2	1763,6	1254,4	2,0335	6,5924
3	4,7993	1,576	0,2601	513,9	1764,6	1250,8	2,0502	6,5794
4	4,9770	1,580	0,2512	518,5	1765,6	1247,1	2,0668	6,5666
5	5,1597	1,583	0,2428	523,1	1766,6	1243,5	2,0834	6,5539
6	5,3477	1,587	0,2347	527,8	1767,5	1239,8	2,1000	6,5412
7	5,5409	1,590	0,2269	532,4	1768,5	1236,1	2,1165	6,5287
8	5,7394	1,594	0,2193	537,1	1769,4	1232,4	2,1330	6,5162
9	5,9435	1,597	0,2122	541,7	1770,3	1228,6	2,1494	6,5038
10	6,1531	1,601	0,2052	546,4	1771,2	1224,8	2,1658	6,4915
11	6,3683	1,605	0,1986	552,1	1772,1	1221,0	2,1821	6,4793
12	6,5893	1,608	0,1922	555,8	1773,2	1217,2	2,1985	6,4672
13	6,8163	1,612	0,1861	560,4	1773,8	1213,4	2,2148	6,4551
14	7,0491	1,616	0,1802	565,3	1774,6	1209,5	2,2310	6,4431
15	7,2881	1,619	0,1745	569,8	1775,4	1205,0	2,2472	6,4312
16	7,5332	1,623	0,1690	574,6	1776,2	1201,7	2,2634	6,4193
17	7,7847	1,627	0,1638	579,3	1777,0	1197,8	2,2795	6,4076
18	8,0425	1,631	0,1587	584,0	1777,8	1193,8	2,2956	6,3959
19	8,3068	1,635	0,1538	588,7	1778,5	1189,8	2,3117	6,3842
20	8,5777	1,639	0,1491	593,5	1779,2	1185,8	2,3278	6,3727
21	8,8554	1,643	0,1446	598,2	1779,9	1181,7	2,3438	6,3611
22	9,1399	1,647	0,1402	603,0	1780,6	1177,6	2,3598	6,3497
23	9,4313	1,651	0,1360	607,7	1781,3	1173,5	2,3757	6,3383
24	9,7297	1,655	0,1320	612,5	1781,9	1169,4	2,3916	6,3270
25	10,035	1,659	0,1280	617,3	1782,5	1165,2	2,4075	6,3157
26	10,348	1,663	0,1243	622,1	1783,1	1161,0	2,4234	6,3045
27	10,668	1,668	0,1206	626,9	1783,7	1156,8	2,4392	6,2934
28	10,996	1,672	0,1171	631,7	1784,2	1152,6	2,4550	6,2823

Продолжение прил. 16

$t$ , °C	$p \cdot 10^{-5}$ , Па	$v' \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$v''$ , м <sup>3</sup> /кг	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг·К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
29	11,331	1,676	0,1137	635,5	1784,8	1148,3	2,4708	6,2712
30	11,675	1,680	0,1104	641,3	1785,3	1144,0	2,4866	6,2602
31	12,025	1,685	0,1073	646,2	1785,8	1139,6	2,5023	6,2493
32	12,384	1,689	0,1042	651,0	1786,3	1135,3	2,5180	6,2384
33	12,751	1,693	0,1013	655,9	1786,7	1130,8	2,5337	6,2275
34	13,126	1,698	0,09842	660,7	1787,1	1126,4	2,5494	6,2167
35	13,510	1,702	0,09569	665,6	1787,6	1121,9	2,5650	6,2059
36	13,901	1,707	0,09298	670,5	1787,9	1117,4	2,5807	6,1952
37	14,302	1,712	0,09039	675,4	1788,3	1112,9	2,5963	6,1845
38	14,741	1,716	0,08790	680,3	1788,6	1108,3	2,6118	6,1738
39	15,128	1,721	0,08548	685,2	1788,9	1103,7	2,6274	6,1632
40	15,555	1,726	0,08313	690,2	1789,2	1099,1	2,6429	6,1526
41	15,991	1,731	0,08087	695,1	1789,5	1094,4	2,6585	6,1421
42	16,435	1,736	0,07868	700,1	1789,7	1089,7	2,6740	6,1316
43	16,889	1,741	0,07655	705,0	1789,9	1084,9	2,6895	6,1211
44	17,353	1,746	0,07449	710,0	1790,1	1080,1	2,7049	6,1106
45	17,826	1,751	0,07250	715,0	1790,3	1075,3	2,7204	6,1002
46	18,308	1,756	0,07057	720,0	1790,4	1090,4	2,7358	6,0898
47	18,801	1,761	0,06870	725,0	1790,5	1065,5	2,7513	6,0794
48	19,303	1,766	0,06688	730,1	1790,6	1060,5	2,7667	6,0690
49	19,815	1,771	0,06511	735,1	1790,7	1055,6	2,7821	6,0587
50	20,337	1,777	0,06341	740,2	1790,7	1050,5	2,7975	6,0483
51	20,870	1,782	0,06176	745,2	1790,7	1045,5	2,8129	6,0380
52	21,413	1,788	0,06015	750,3	1790,6	1040,3	2,8283	6,0277
53	21,966	1,793	0,05859	755,4	1790,6	1035,1	2,8436	6,0074
54	22,531	1,799	0,05707	760,6	1790,5	1029,9	2,8590	6,0071
55	23,106	1,804	0,05560	765,7	1790,4	1024,7	2,8743	5,9969
56	23,691	1,810	0,05417	770,8	1790,2	1019,4	2,8897	5,9866
57	24,288	1,816	0,05280	776,0	1790,0	1014,0	2,9050	5,9763
58	24,897	1,822	0,05144	781,2	1789,8	1008,6	2,9204	5,9661
59	25,516	1,828	0,05015	786,4	1789,5	1003,1	2,9357	5,9558
60	26,147	1,834	0,04888	791,6	1789,2	997,6	2,9510	5,9455
61	26,789	1,840	0,04764	796,8	1788,9	992,0	2,9664	5,9353
62	27,443	1,847	0,04642	802,1	1788,5	986,4	2,9817	5,9250
63	28,110	1,853	0,04527	807,4	1788,1	980,8	2,9970	5,9147
64	28,788	1,859	0,04413	812,6	1787,7	975,0	3,0124	5,9044
65	29,478	1,866	0,04303	818,0	1787,2	969,3	3,0277	5,8941

Приложение 17

Термодинамические свойства хладагента R22 на линии насыщения

$t$ , °C	$p \cdot 10^{-5}$ , Па	$v' \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$v'' \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг·К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
-70	0,2042	0,6711	945,18	421,9	673,4	251,5	0,6716	1,9098
-60	0,3747	0,6835	536,77	432,7	678,7	245,5	0,7236	1,8755
-55	0,4953	0,6901	413,74	438,1	680,6	242,5	0,7487	1,8603
-50	0,6453	0,6969	323,42	443,6	683,0	239,4	0,7735	1,8463
-49	0,6792	0,6983	308,26	444,7	683,5	238,8	0,7783	1,8436
-48	0,7146	0,6998	294,03	445,8	683,9	238,1	0,7832	1,8409
-47	0,7514	0,7013	280,58	446,4	684,4	237,5	0,7881	1,8383
-46	0,7896	0,7022	267,88	448,0	684,9	236,9	0,7929	1,8358
-45	0,8294	0,7037	255,88	449,1	685,3	236,2	0,7977	1,8332
-44	0,8708	0,7052	244,50	450,2	685,8	235,6	0,8025	1,8308
-43	0,9138	0,7067	233,75	451,3	686,3	235,0	0,8073	1,8283
-42	0,9585	0,7082	223,56	452,4	686,7	234,3	0,8121	1,8259
-41	1,005	0,7097	213,90	453,5	687,2	233,2	0,8163	1,8235
-40	1,053	0,7112	204,75	454,6	687,6	233,0	0,8216	1,8211
-39	1,103	0,7128	196,08	455,7	688,1	232,4	0,8263	1,8188
-38	1,154	0,7138	187,83	456,8	688,1	231,8	0,8310	1,8165
-37	1,208	0,7153	180,02	457,9	688,6	231,1	0,8357	1,8143
-36	1,264	0,7168	172,62	459,0	689,5	230,5	0,8404	1,8121
-35	1,321	0,7184	165,56	460,2	689,9	229,7	0,8450	1,8099
-34	1,381	0,7199	158,86	461,3	690,4	229,1	0,8497	1,8077
-33	1,442	0,7215	152,48	462,4	690,8	228,4	0,8543	1,8056
-32	1,506	0,7231	146,43	463,5	691,3	227,8	0,8589	1,8035
-31	1,572	0,7246	140,67	464,6	691,7	227,1	0,8635	1,8014
-30	1,640	0,7262	135,17	465,7	692,2	226,5	0,8681	1,7994
-29	1,711	0,7278	129,94	466,8	692,6	225,8	0,8727	1,7974
-28	1,783	0,7294	124,94	468,0	693,0	225,0	0,8772	1,7954
-27	1,858	0,7310	120,19	469,1	693,5	224,4	0,8818	1,7934
-26	1,936	0,7326	115,65	470,2	693,9	223,7	0,8863	1,7915
-25	2,016	0,7342	111,32	471,3	694,4	223,1	0,8908	1,7896
-24	2,098	0,7358	107,19	472,5	694,8	222,3	0,8953	1,7877
-23	2,184	0,7375	103,24	473,6	695,2	221,6	0,8998	1,7858
-22	2,271	0,7391	99,502	474,7	695,6	220,9	0,9043	1,7839
-21	2,362	0,7407	95,877	475,8	696,1	220,3	0,9088	1,7821
-20	2,455	0,7424	92,421	477,0	696,5	219,5	0,9132	1,7803
-19	2,551	0,7446	89,126	478,1	696,9	218,8	0,9177	1,7786
-18	2,650	0,7463	85,984	479,2	697,3	218,1	0,9221	1,7768
-17	2,752	0,7479	82,988	480,4	697,8	217,4	0,9265	1,7751

Продолжение прил. 17

$t, ^\circ\text{C}$	$p \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$v' \cdot 10^3, \text{м}^3/\text{кг}$	$v'' \cdot 10^3, \text{м}^3/\text{кг}$	$h', \text{кДж/кг}$	$h'', \text{кДж/кг}$	$r, \text{кДж/кг}$	$s', \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	$s'', \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
-16	2,856	0,7496	80,064	481,5	698,2	216,6	0,9309	1,7734
-15	2,964	0,7513	77,340	482,7	698,6	215,9	0,9353	1,7717
-14	3,075	0,7530	74,682	483,8	699,0	215,2	0,9397	1,7700
-13	3,189	0,7547	72,098	485,0	699,4	214,4	0,9441	1,7684
-12	3,306	0,7564	69,686	486,1	699,8	213,7	0,9484	1,7667
-11	3,426	0,7587	67,340	487,2	700,2	213,0	0,9528	1,7651
-10	3,550	0,7604	65,104	488,4	700,6	212,2	0,9571	1,7635
-9	3,677	0,7622	62,933	489,6	701,0	211,4	0,9615	1,7619
-8	3,807	0,7645	60,864	490,7	701,4	210,7	0,9658	1,7604
-7	3,941	0,7663	58,893	491,9	701,8	209,9	0,9701	1,7588
-6	4,079	0,7680	56,980	493,0	702,2	209,2	0,9744	1,7573
-5	4,220	0,7698	55,157	494,2	702,6	208,4	0,9787	1,7558
-4	4,365	0,7716	53,390	495,3	702,9	207,6	0,9830	1,7543
-3	4,513	0,7740	51,706	496,5	703,3	206,8	0,9872	1,7528
-2	4,665	0,7758	50,075	497,7	703,7	206,0	0,9915	1,7513
-1	4,821	0,7776	48,497	498,8	704,1	205,3	0,9958	1,7498
0	4,981	0,7800	46,992	500,0	704,4	204,4	1,0000	1,7484
1	5,145	0,7819	45,537	501,2	704,8	203,6	1,0042	1,7470
2	5,313	0,7843	44,150	502,4	705,2	202,8	1,0085	1,7456
3	5,485	0,7862	42,808	503,5	705,5	202,0	1,0127	1,7441
4	5,661	0,7880	41,494	504,7	705,9	201,2	1,0169	1,7427
5	5,842	0,7905	40,258	505,9	706,2	200,3	1,0211	1,7414
6	6,027	0,7924	39,047	507,1	706,6	199,5	1,0253	1,7400
7	6,216	0,7949	37,879	508,2	706,9	198,7	1,0295	1,7386
8	6,409	0,7968	36,765	509,4	707,3	197,9	1,0337	1,7373
9	6,607	0,7994	35,676	510,6	707,6	197,0	1,0378	1,7359
10	6,809	0,8013	34,638	511,8	707,9	196,1	1,0420	1,7346
11	7,016	0,8038	33,625	513,0	708,3	195,3	1,0462	1,7333
12	7,228	0,8058	32,584	514,2	708,6	194,4	1,0503	1,7319
13	7,444	0,8084	31,706	515,4	708,9	193,5	1,0545	1,7306
14	7,666	0,8110	30,798	516,6	709,2	192,6	1,0586	1,7293
15	7,892	0,8130	29,922	517,8	709,5	191,7	1,0628	1,7280
16	8,123	0,8157	29,078	519,0	709,8	190,8	1,0669	1,7267
17	8,359	0,8183	28,256	520,3	710,2	189,9	1,0710	1,7255
18	8,600	0,8203	27,465	521,5	710,5	189,0	1,0751	1,7242
19	8,846	0,8230	26,695	522,7	710,8	188,1	1,0793	1,7229
20	9,097	0,8258	25,954	523,9	711,0	187,1	1,0834	1,7216

## Окончание прил. 17

$t$ , °C	$p \cdot 10^{-5}$ , Па	$v' \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$v'' \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг·К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
21	9,354	0,8285	25,233	525,2	711,3	186,1	1,0876	1,7204
22	9,616	0,8306	24,540	526,4	711,6	185,2	1,0916	1,7191
23	9,884	0,8333	23,861	527,7	711,9	184,3	1,0957	1,7179
24	10,156	0,8361	23,213	528,9	712,2	183,3	1,0998	1,7166
25	10,435	0,8389	22,578	530,1	712,4	182,3	1,1039	1,7154
26	10,719	0,8418	21,968	531,4	712,7	181,3	1,1080	1,7141
27	11,009	0,8446	21,372	532,6	712,9	180,9	1,1121	1,7129
28	11,304	0,8474	20,799	533,9	713,2	179,3	1,1162	1,7116
29	11,606	0,8503	20,243	535,1	713,4	178,3	1,1203	1,7104
30	11,913	0,8532	19,700	536,4	713,7	177,3	1,1244	1,7091
31	12,226	0,8562	19,175	537,7	713,9	176,2	1,1285	1,7079
32	12,546	0,8591	18,667	538,0	714,1	176,1	1,1321	1,7067
33	12,871	0,8621	18,172	540,2	714,4	174,2	1,1366	1,7054
34	13,203	0,8650	17,693	541,5	714,6	173,1	1,1407	1,7042
35	13,541	0,8688	17,229	542,8	714,8	172,0	1,1448	1,7029
36	13,885	0,8718	16,776	544,1	715,0	170,9	1,1489	1,7017
37	14,236	0,8749	16,337	545,4	715,2	169,8	1,1530	1,7004
38	14,593	0,8780	15,911	546,7	715,3	168,6	1,1571	1,6992
39	14,957	0,8818	15,497	548,0	715,5	167,5	1,1612	1,6979
40	15,327	0,8850	15,094	549,3	715,7	166,4	1,1653	1,6966
41	15,705	0,8889	14,704	550,6	715,8	165,2	1,1694	1,6954
42	16,089	0,8921	14,324	552,0	716,0	164,0	1,1736	1,6941
43	16,480	0,8960	13,953	553,3	716,2	162,9	1,1777	1,6928
44	16,878	0,8993	13,592	554,6	716,3	161,7	1,1818	1,6915
45	17,283	0,9033	13,243	556,0	716,4	160,4	1,1859	1,6902
46	17,695	0,9066	12,902	557,4	716,5	159,1	1,1901	1,6889
47	18,115	0,9107	12,569	558,7	716,7	158,0	1,1942	1,6876
48	18,542	0,9149	12,246	560,1	716,8	156,7	1,1984	1,6862
49	18,976	0,9191	11,932	561,5	716,8	155,3	1,2025	1,6849
50	19,418	0,9234	11,625	562,8	716,9	154,1	1,2067	1,6835
51	19,867	0,9276	11,326	564,2	717,0	152,8	1,2109	1,6822
52	20,324	0,9320	11,036	565,6	717,1	151,5	1,2151	1,6808
53	20,789	0,9363	10,752	567,1	717,1	150,0	1,2193	1,6794
54	21,261	0,9407	10,470	568,5	717,2	148,7	1,2235	1,6779
55	21,742	0,9452	10,206	569,9	717,2	147,3	1,2278	1,6765
56	22,230	0,9497	9,940	571,4	717,2	145,8	1,2320	1,6750
57	22,727	0,9542	9,690	572,2	717,2	144,4	1,2363	1,6736
58	23,232	0,9597	9,434	574,3	717,2	142,9	1,2405	1,6721

Приложение 18

Термодинамические свойства хладагента R134a на линии насыщения

$t$ , °C	$p \cdot 10^{-5}$ , Па	$v' \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$v'' \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг·К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
-36	0,06291	3,3590	1406,0	376,53	153,18	223,35	1,7588	0,8170
-34	0,06951	3,6889	1400,2	377,79	155,71	222,08	1,7562	0,8276
-32	0,07666	4,0441	1394,3	379,06	158,24	220,82	1,7538	0,8381
-30	0,08438	4,4258	1388,4	380,31	160,79	219,52	1,7514	0,8486
-28	0,09270	4,8356	1382,4	381,57	163,34	218,23	1,7492	0,8590
-26	0,10167	5,2748	1376,4	382,82	165,90	216,92	1,7471	0,8694
-24	0,11130	5,7449	1370,4	384,07	168,48	215,59	1,7450	0,8797
-22	0,12165	6,2476	1364,3	385,31	171,05	214,26	1,7431	0,8900
-20	0,13273	6,7845	1357,2	306,55	173,63	212,92	1,7413	0,9002
-18	0,14460	7,3571	1352,1	387,78	176,22	211,56	1,7395	0,9104
-16	0,15728	7,9673	1345,9	389,01	178,83	210,18	1,7379	0,9205
-14	0,17082	8,6167	1339,7	390,23	181,44	208,79	1,7363	0,9306
-12	0,18524	9,3074	1333,4	391,45	184,06	207,39	1,7347	0,9406
-10	0,20060	10,041	1327,1	392,66	186,69	205,97	1,7333	0,9506
-8	0,21693	10,819	1320,7	393,86	189,33	204,53	1,7319	0,9606
-6	0,23428	11,645	1314,3	395,06	191,98	203,08	1,7306	0,9705
-4	0,25268	12,521	1307,8	396,25	194,64	201,61	1,7294	0,9803
-2	0,27217	13,447	1301,3	397,43	197,31	200,12	1,7282	0,9902
0	0,29280	14,428	1294,7	398,60	199,99	198,61	1,7270	1,0000
2	0,31462	15,464	1288,1	399,76	202,69	197,07	1,7260	1,0097
4	0,33766	16,560	1281,4	400,91	205,39	195,52	1,7249	1,0194
6	0,36198	17,717	1274,6	402,06	208,11	193,95	1,7239	1,0291
8	0,38761	18,937	1267,8	403,19	210,83	192,36	1,7230	1,0388
10	0,41461	20,225	1260,9	404,31	213,57	190,74	1,7221	1,0484
12	0,44301	21,583	1253,9	405,42	216,32	189,10	1,7212	1,0580
14	0,47288	23,014	1246,9	406,52	219,09	187,43	1,7204	1,0676
16	0,50425	24,521	1239,8	407,61	221,87	185,74	1,7195	1,0772
18	0,53718	26,109	1232,6	406,68	224,66	184,02	1,7188	1,0867
20	0,57171	27,780	1225,3	409,74	227,46	182,28	1,7180	1,0962
22	0,60789	29,538	1217,9	410,79	230,28	180,51	1,7173	1,1057
24	0,64578	31,389	1210,4	411,82	233,12	178,70	1,7165	1,1151
26	0,68543	33,335	1202,9	412,83	235,97	176,06	1,7158	1,1246
28	0,72688	35,382	1195,2	413,83	238,83	175,00	1,7151	1,1340
30	0,77020	37,535	1187,4	414,81	241,72	173,09	1,7144	1,1435
32	0,81543	39,799	1179,5	415,78	244,62	171,16	1,7138	1,1529
34	0,86263	42,179	1171,5	416,72	247,54	169,18	1,7131	1,1623
36	0,91185	44,683	1163,4	417,64	250,47	167,17	1,7124	1,1717

38	0,96315	47,315	1155,1	418,54	253,43	165,11	1,7117	1,1810
40	1,0165	50,085	1146,7	419,42	256,40	163,02	1,7110	1,1904
42	1,0722	52,998	1138,1	420,28	259,40	160,88	1,7103	1,1998
44	1,1301	56,064	1129,4	421,11	262,42	158,69	1,7096	1,2092
46	1,1903	59,291	1120,5	421,91	265,46	156,45	1,7088	1,2186

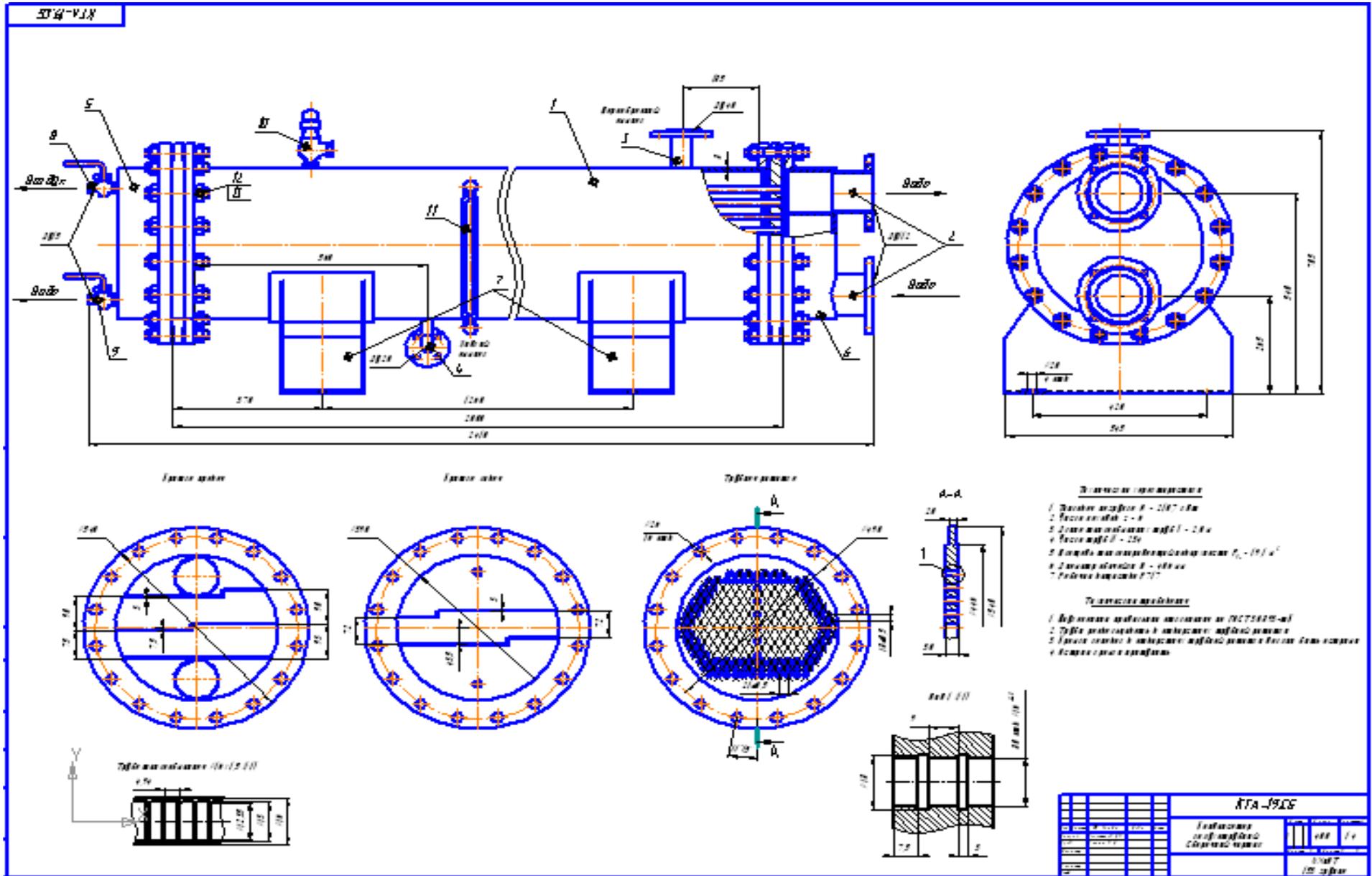
## Приложение 19



Теплообменные трубы: стальные бесшовные холоднодеформированные  $\varnothing 25 \times 2$  по ГОСТ 8734-78 из стали В10, В20 по ГОСТ 8733-74. Трубы свариваются с трубной решеткой аргонодуговой сваркой с последующей развальцовкой.

Корпус (обечайка): из бесшовной горячедеформированной трубы по ГОСТ 8732-78 или электросварной прямошовной трубы по ГОСТ 10706-76. Материал труб в соответствии с ОСТ 26291-87.

Трубные решетки имеют параметры: шаг отверстий 31 мм,  $60^\circ$ . Материалы выбираются в соответствии с ОСТ 26291-87.



**Миссия университета** – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

---

## ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ



Институт холода и биотехнологий является преемником Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ), который в ходе реорганизации (приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 2209 от 17 августа 2011г.) в январе 2012 года был присоединен к Санкт-Петербургскому национальному исследовательскому университету информационных технологий, механики и оптики.

Созданный 31 мая 1931года институт стал крупнейшим образовательным и научным центром, одним из ведущих вузов страны в области холодильной, криогенной техники, технологий и в экономике пищевых производств.

За годы существования вуза сформировались известные во всем мире научные и педагогические школы. В настоящее время фундаментальные и прикладные исследования проводятся по 20 основным научным направлениям: научные основы холодильных машин и термотрансформаторов; повышение эффективности холодильных установок; газодинамика и компрессоростроение; совершенствование процессов, машин и аппаратов криогенной техники; теплофизика; теплофизическое приборостроение;

машины, аппараты и системы кондиционирования; хладостойкие стали; проблемы прочности при низких температурах; твердотельные преобразователи энергии; холодильная обработка и хранение пищевых продуктов; тепломассоперенос в пищевой промышленности; технология молока и молочных продуктов; физико-химические, биохимические и микробиологические основы переработки пищевого сырья; пищевая технология продуктов из растительного сырья; физико-химическая механика и тепло-и массообмен; методы управления технологическими процессами; техника пищевых производств и торговли; промышленная экология; от экологической теории к практике инновационного управления предприятием.

На предприятиях холодильной, пищевых отраслей реализовано около тысячи крупных проектов, разработанных учеными и преподавателями института.

Ежегодно проводятся международные научные конференции, семинары, конференции научно-технического творчества молодежи.

Издаются научно-теоретический журнал «Вестник Международной академии холода» и Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование», Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент».

В вузе ведется подготовка кадров высшей квалификации в аспирантуре и докторантуре.

Действуют два диссертационных совета, которые принимают к защите докторские и кандидатские диссертации.

Вуз является активным участником мирового рынка образовательных и научных услуг.

**[www.ifmo.ru](http://www.ifmo.ru)**

**[ihbt.ifmo.ru](http://ihbt.ifmo.ru)**

Мизин Валерий Михайлович  
Татаренко Юлия Валентиновна

**ПОДБОР И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ  
ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ  
ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ  
ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

Учебно-методическое пособие

*Ответственный редактор*  
Т.Г. Смирнова

*Титульный редактор*  
Р.А. Сафарова

*Компьютерная верстка*  
Н.В. Гуральник

*Дизайн обложки*  
Н.А. Потехина

*Печатается  
в авторской редакции*

---

Подписано в печать 3.04.2015. Формат 60×84 1/16  
Усл. печ. л. 3,72. Печ. л. 4,0. Уч.-изд. л. 3,81  
Тираж 50 экз. Заказ № С 5

---

Университет ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Издательско-информационный комплекс  
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Санкт-Петербургский национальный исследова-  
тельный университет  
информационных технологий,  
механики и оптики  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49  
Институт холода и биотехнологий  
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

