

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

П.А. Трубаев
Б.М. Гришко

ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ

Допущено УМО по образованию в области энергетики
и электротехники в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по специальности 140105 – «Энергетика теплотехнологий»
направления подготовки 140100 – «Теплоэнергетика»

Белгород
2010

УДК 621.577

ББК 31.38

Т 77

Рецензенты

Ефимов А.Л., канд. техн. наук, проф. кафедры теплообменных процессов и установок Московского энергетического института (технического университета)

Степанова Т.А., канд. техн. наук, проф. кафедры энергетики высокотемпературной технологии Московского энергетического института (технического университета)

Трубаев, П.А.

Т77 Тепловые насосы: учеб. пособие / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 143 с.

Содержит сведения о работе тепловых насосов, сферах их применения, описание термодинамических циклов различных схем тепловых насосов, методики термодинамического расчета циклов, методики расчета теплообменников, примеры проектирования теплонасосных установок.

Издание предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся в магистратуре по направлению 140105 – Теплоэнергетика и по специальности 140105 – Энергетика теплотехнологий направления подготовки дипломированных специалистов 140100 – Теплоэнергетика.

УДК 621.577

ББК 31.38

© П.А. Трубаев, Б.М. Гришко, 2010
© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2010

Оглавление

Введение.....	4
1. ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ.....	5
1.1. Применение теплонасосных установок в системах теплоснабжения	5
1.2. Принцип действия теплового насоса.....	8
1.3. Термодинамические основы работы парокомпрессионного теплового насоса.....	12
1.4. Показатели энергетической эффективности теплового насоса.....	16
1.5. Промышленно выпускаемые ТНУ	21
1.6. Хладагенты рабочих насосов	25
1.7. Применение тепловых насосов для индивидуального теплоснабжения.....	31
1.8. Применение тепловых насосов в системах централизованного теплоснабжения	35
2. МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО НАСОСА.....	39
2.1. Общая схема расчета	39
2.2. Методика термодинамического расчета циклов теплового насоса	39
2.3. Методика проектирования теплообменников	51
2.4. Пример термодинамического расчета ТНУ.....	64
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТНУ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛосНАБЖЕНИЯ	78
3.1. Выбор ТНУ для теплоснабжения подъезда жилого дома.....	78
3.2. Сравнение ТНУ с альтернативными системами отопления.....	80
3.3. Определение оптимального теплового режима теплообменников.....	83
3.4. Работа теплонасосной установки в нерасчетных условиях.....	84
Заключение	81
Приложение 1. Задание на РГЗ.....	87
Приложение 2. Термодинамические свойства фреонов	89
Фреон 11	90
Фреон 12	94
Фреон 22	98
Фреон 113	102
Фреон 114	106
Фреон 123	110
Фреон 124	114
Фреон 134a.....	118
Фреон 141b	122
Фреон 142b	126
Фреон 152a.....	130
Фреон 500	134
Фреон 600	138
Фреон 600a.....	142
Библиографический список	146

ВВЕДЕНИЕ

Тепловые насосы (теплонасосные установки) позволяют нагревать воду для отопления и горячего водоснабжения путем отбора теплоты из окружающей среды или от низкотемпературных бытовых и промышленных отходов. Они не производят тепловую энергию, а за счет использования внешней работы переносят теплоту от теплоносителя, имеющего температуру $0...40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (называемого низкопотенциальным) к теплоносителю, применяемому для отопления и горячего водоснабжения (называемого высокопотенциальным), нагревая его до $50...80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Преимущество применения теплонасосных установок (ТНУ) в системах теплоснабжения по сравнению с другими способами теплоснабжения состоит в значительной экономии затрат энергии. Тепловые насосы можно отнести к отдельному виду теплоэнергетического оборудования, для них нельзя использовать понятие коэффициента полезного действия, так как ТНУ позволяют вырабатывать тепловой энергии больше, чем в них затрачивается электроэнергия. Отношение выработанной теплоты к затраченной энергии на осуществление цикла теплонасосной установки называется коэффициентом преобразования теплоты μ , значение которого в тепловом насосе составляет от 2,5 до 8.

В учебном пособии рассмотрены принципы работы тепловых насосов, сфера их применения, термодинамические циклы различных схем тепловых насосов, методики термодинамического расчета циклов, методики расчета теплообменников, примеры проектирования теплонасосных установок.

1. ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Первая схема теплового насоса, названная «умножителем тепла», предложена Кельвиным в 1852 г. Патент на технологию тепловых насосов выдан в 1912 г. в Швейцарии. В 20-х годах XX в. в Англии была создана первая теплонасосная установка для отопления и горячего водоснабжения, использующая теплоту окружающего воздуха. Теплонасосная установка, установленная в 30-е годы XX в. в здании энергетической компании в штате Коннектикут (США) работает до сих пор. В Европе первая крупная теплонасосная установка построена в Цюрихе в 1938 - 1939 гг, она имела мощность 175 кВт, работала на теплоте речной воды и вырабатывала горячую воду с температурой 60 °С. Для покрытия пиковой нагрузки в системе имелся электронагреватель, а в летнее время установка работала на охлаждение. Интенсивный рост производства тепловых насосов произошел во время энергетических кризисов 1973 и 1979 г. Объем использования теплонасосных установок в настоящее время представлен в табл. 1 и 2.

Высокое значение коэффициента преобразования теплоты μ позволяет обеспечивать теплоснабжение с минимальными затратами первичной энергии. Согласно работе [1], применение ТНУ в системах теплоснабжения более выгодно, чем использование ТЭЦ и индивидуальных котельных. Эксплуатационные расходы на теплоснабжение с применением разных способов приведены в табл. 3.

По прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК) к 2020 г. в передовых странах доля отопления и горячего водоснабжения тепловыми насосами составит 75%.

Таблица 1

Количество эксплуатируемых тепловых насосов [1–3]

Страна	Количество эксплуатируемых теплонасосных установок, млн	Количество производимых теплонасосных установок, млн в год
США	25 (около 60% в жилом фонде)	1 (в том числе 0,5 на экспорт)
Япония	5	0,5
Китай	18	1
Европа	4 в 1996 г. (около 70% в жилом фонде)	Нет данных

Таблица 2

Мировой уровень использования тепловых насосов [4]

Страна	Установленная мощность оборудования, МВт	Произведенная энергия, ТДж/год	Страна	Установленная мощность оборудования, МВт	Произведенная энергия, ТДж/год
Австралия	24,0	57,6	Польша	26,2	108,3
Австрия	228,0	1094,0	Россия	1,2	11,5
Болгария	13,3	162,0	Сербия	6,0	40,0
Великобритания	0,6	2,7	Словакия	1,4	12,1
Венгрия	3,8	20,2	Словения	2,6	46,8
Германия	344,0	1149,0	США	4 800,0	12 000,0
Греция	0,4	3,1	Турция	0,5	4,0
Дания	3,0	20,8	Финляндия	80,5	484,0
Исландия	4,0	20,0	Франция	48,0	255,0
Италия	1,2	6,4	Чехия	8,0	38,2
Канада	360,0	891,0	Швейцария	300,0	1 962,0
Литва	21,0	598,8	Швеция	377,0	4 128,0
Нидерланды	10,8	57,4	Япония	3,9	64,0
Норвегия	6,0	31,9	Всего:	6 675,4	23 268,9

Таблица 3

Эксплуатационные расходы на теплоснабжение*

Вид отопления	Вид и единица энергии	Стоимость единицы энергии, руб.	Расход единиц энергии в час	Годовые затраты, руб.	Примечание
Электрическое	Электричество, кВт	1,5	15	38 250	–
Индивидуальный газовый котел	Природный газ, м ³	2,36 (1.01.09 г.) 3,00 (1.10.09 г.)	2,2	8 830 11 225	КПД котла 75%
Централизованное теплоснабжение	Теплота, Гкал	853,3	0,0129	18 700	–
Тепловой насос	Электричество, кВт	1,5	4,3	10 970	$\mu = 3,5$

* Отапливаемая площадь 180 м², отопительная мощность 15 кВт, 1700 рабочих часов в год.

В настоящее время Министерством энергетики РФ принята программа развития нетрадиционной энергетики, в том числе 30 крупных проектов использования теплонасосных установок ТНУ в жилищно-коммунальном секторе.

Применение тепловых насосов для индивидуального теплоснабжения имеет следующие преимущества:

- тепловые насосы являются установками индивидуального теплоснабжения с исключением протяженных тепловых сетей;
- снижение объема природного первичного топлива, расходуемого на теплоснабжение, примерно в 1,5...2 раза;
- улучшение экологической обстановки в населенных пунктах, так как сжигание топлива в городских котельных заменяется производством электроэнергии за пределами населенных пунктов, с меньшими затратами топлива для выработки электроэнергии, чем при использовании котлов (табл. 4);
- безопасность по сравнению с индивидуальными котельными на газовом топливе;
- меньшие затраты на обслуживание, так как тепловые насосы малой мощности, также как холодильники и кондиционеры, не требуют периодического обслуживания, а для тепловых насосов большой мощности требуется лишь периодический контроль.

Таблица 4

**Вредные выбросы за отопительный сезон (5448 ч)
от различных теплоисточников тепловой мощностью 1,16 МВт [1]**

Наименование выброса, т/г	Угольная котельная	Электрообогрев, газовая котельная	Тепловой насос ($\mu = 3,6$)
SO _x	21,77	38,02	10,56
NO _x	7,62	13,31	3,70
Твердые частицы	5,8	8,89	2,46
Фтористые соединения	0,182	0,313	0,087
Всего	34,65	60,53	16,81

У тепловых насосов в утилизации энергии сбросной низкопотенциальной теплоты промышленных предприятий большая перспектива. Например, количество теплоты, передаваемой в окружающую среду в градирнях омских ТЭЦ, достаточно, чтобы полностью покрывать потребность в теплоснабжении города при температурах наружного воздуха до $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5].

В применении тепловых насосов есть два недостатка. Первый связан с высокой стоимостью оборудования, составляющего до \$200 за 1 кВт тепловой мощности [6], хотя срок их окупаемости составляет 2...3 года. Второй недостаток связан с дешевизной природного топли-

ва в России. Соотношение цены 1 кВт·ч электроэнергии к 1 м³ природного газа в России составляет 0,7...1,2, а в Европе – 0,4...0,6 [7]. Например, в настоящее время 1 кВт·ч электроэнергии на отопительные нужды для населения стоит около 0,70 руб., а 1 м³ природного газа с теплотой сгорания около 32 МДж стоит около 1 руб., что в пересчете на 1 кВт·ч составит 0,12 руб. Такое шестикратное превышение стоимости электроэнергии перед стоимостью газа, конечно, экономически объяснено быть не может. Поэтому в существующих экономических условиях индивидуальное теплоснабжение с применением тепловых насосов по затратам значительно экономичней электрообогрева, но сопоставимо с газовым отоплением. Но при выравнивании цен на энергоносители, что произойдет через некоторое время, применение тепловых насосов станет безусловно выгодным.

Таким образом, использование теплонасосных установок в системах централизованного и индивидуального теплоснабжения является крайне актуальным.

1.2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Тепловой насос – это установка для переноса теплоты от более холодного теплоносителя к более горячему за счет подвода внешней энергии или затраты работы. Тепловые насосы используются для выработки теплоты в системах централизованного и индивидуального отопления и горячего водоснабжения. Они более экономичны и безопасны, чем котлы на газовом или твердом топливе и поэтому являются хорошей альтернативой для систем индивидуального теплоснабжения многоквартирных жилых домов и коттеджей.

Принцип действия и конструкция теплового насоса идентичны холодильной машине и установке для кондиционирования воздуха (кондиционеру), в этих устройствах различна лишь задача: холодильники и кондиционеры используются для охлаждения, а тепловые насосы – для нагрева. Из-за одинаковой конструкции бытовые кондиционеры часто могут выполнять и функции теплового насоса, в так называемом режиме обогрева.

Принцип действия теплового насоса основан на отдаче и поглощении теплоты рабочего агента «хладагента» в цикле при периодическом переходе его из одного состояния в другое.

Тепловые насосы по виду рабочего агента разделяются на три типа: парокомпрессионные, абсорбционные и термоэлектрические.

В парокомпрессионных тепловых насосах (рис. 1) используется теплота испарения и конденсации хладагента, которым обычно являются фреоны.

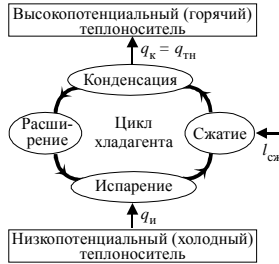


Рис. 1. Цикл парокомпрессионного теплового насоса:

$q_{и}$ – теплота, отдаваемая низкопотенциальным теплоносителем и получаемая хладагентом при его испарении; $q_{к}$ – теплота, отдаваемая хладагентом при его конденсации и получаемая высокопотенциальным теплоносителем; $l_{сж}$ – работа, необходимая для сжатия хладагента; $q_{тп}$ – тепловая нагрузка теплового насоса

При более высоком давлении температура конденсации (кипения) повышается, поэтому хладагент конденсируется при более высокой температуре, чем испаряется. Поэтому тепловой насос позволяет передавать теплоту от холодного теплоносителя к горячему. При этом он потребляет энергию $l_{сж}$, необходимую для сжатия хладагента, но эта энергия должна быть меньше, чем количество теплоты $q_{и}$, получаемое горячим теплоносителем. Эффективность теплового насоса тем выше, чем больше величина $q_{и}$ превышает работу $l_{сж}$.

Отношение теплоты, переданной горячему теплоносителю, к работе, затрачиваемой на сжатие, называется коэффициентом преобразования теплоты μ :

$$\mu = \frac{q_{тп}}{l_{сж}}.$$

Значение μ должно быть больше 1, чем оно выше тем работа теплового насоса эффективней. При $\mu = 1$ работа теплового насоса теряет смысл, так как электроэнергию, затрачиваемую на сжатие, можно использовать для получения теплоты с помощью намного более дешевых, чем тепловые насосы, электронагревателей. При $\mu < 1$ в тепловом насосе энергии тратится больше, чем производится теплоты.

Компрессионные тепловые насосы являются самыми распространенными.

В абсорбционном тепловом насосе в качестве рабочего тела используется смесь хладагента с его раствором в жидкости, имеющей более высокую температуру кипения. В отличие от чистых веществ растворы обладают способностью абсорбировать пар раствора одного состава жидким раствором другого состава даже в том случае, когда температура жидкости выше температуры пара. Схема абсорбционной установки аналогична схеме идеальной парокомпрессионной установке, только компрессор заменен абсорбционным узлом (рис. 2).

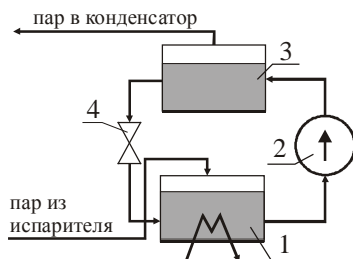


Рис. 2. Абсорбционный узел холодильной установки:
1 – абсорбер; 2 – насос; 3 – генератор пара; 4 – редукционный вентиль

Абсорбционный узел (рис. 2) служит для сжатия хладагента от давления на выходе из испарителя теплонасосной установки p_2 до давления на входе в конденсатор теплонасосной установки p_1 . В абсорбер поступает сухой насыщенный пар хладагента, куда подается также раствор хладагента, имеющий температуру T_1 . Этот раствор абсорбирует хладагент, а выделяющаяся теплота абсорбции отводится холодным теплоносителем. Концентрация хладагента в растворе в процессе абсорбции увеличивается, и следовательно, из абсорбера выходит обогащенный раствор. С помощью насоса, повышающего давление обогащенного раствора от p_2 до p_1 , раствор подается в генератор аммиачного пара, где за счет теплоты, подводимой к раствору от внешнего источника, происходит испарение раствора. Выделяющийся при этом пар практически состоит из хладагента, так как парциальное давление растворителя в газовой фазе при этих температурах ничтожно мало. Обогащенный хладагентом раствор, выходящий из генератора пара, дросселируется в редукционном вентиле от давления p_1 до давления p_2 и затем поступает в абсорбер, где он обогащается хладагентом.

Преимущество этого способа сжатия хладагента заключается в том, что для повышения давления используется насос, а не компрессор. Затрата работы на привод насоса пренебрежимо мала по сравнению с затратой работы в компрессоре. Выигрыш в работе, затрачиваемой на привод компрессора, компенсируется затратой теплоты в генераторе пара. Эта теплота отводится затем холодным теплоносителем в абсорбере.

К недостаткам абсорбционных насосов можно отнести наличие двух теплообменников (абсорбера и генератора), к которым соответственно необходимо подводить холодный и горячий теплоноситель. Абсорбционные холодильные установки целесообразно применять в том случае, когда может быть использован отработавший пар или другие теплоносители низкого температурного потенциала.

С развитием компрессоростроения абсорбционные холодильные установки были вытеснены парокомпрессионными установками.

Термоэлектрические тепловые насосы используют эффект возникновения электрического тока при нагреве сплавов разнородных металлов и обратный эффект – охлаждение сплавов при пропускании через них электрического тока.

Тепловые насосы могут использоваться для следующих целей.

1. Индивидуально-бытовое теплоснабжение жилых и общественных зданий. При этом холодным теплоисточником является теплота окружающей среды (в основном водных источников, земли и, очень редко, воздуха) и теплота геотермальных источников. При использовании теплового насоса экономится электроэнергия или топливо, которых потребляется меньше, чем при использовании электронагревателей или водогрейных котлов.

2. Применение в системах вентиляции для нагрева нового холодного воздуха или получения воды на отопление за счет теплоты теплого воздуха, удаляемого из помещения.

3. Получение горячей воды для технического водоснабжения промышленных предприятий за счет низкопотенциальных тепловых отходов, например, оборотной системы охлаждения компрессоров, систем кондиционирования и охлаждения оборудования, замена градирен и других охлаждающих устройств на оборотных системах водоснабжения предприятий.

4. Подогрев оборотной воды тепловых сетей.

5. Использование для выработки теплоты в системах централизованного теплоснабжения с пиковым догревом подаваемой воды в обычных котельных.

Применение тепловых насосов выгодно:

- при незначительном повышении температурного потенциала;
- при постоянной тепловой нагрузке и температурах теплоносителей;

– при низкой стоимости электроэнергии по сравнению с топливом.

Основным недостатком тепловых насосов является их высокая стоимость.

1.3. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ПАРОКОМПРЕССИОННОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Для анализа работы теплового насоса используются T , S - и p , h -диаграммы (рис. 3, 4).



Рис. 3. T , S -диаграмма

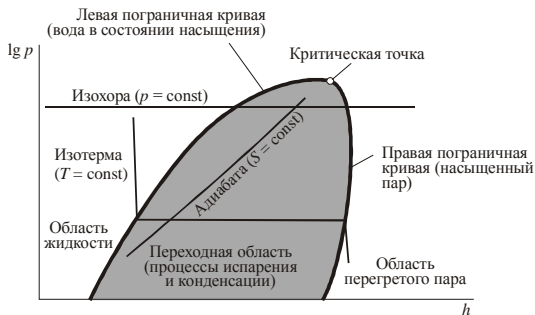


Рис. 4. p , h -диаграмма

Тепловой насос представляет обращенную тепловую машину. В тепловой машине за счет передачи теплоты производится работа, в тепловом насосе наоборот, работа затрачивается на передачу теплоты. Схема идеального теплонасосного цикла представлена на рис. 5.

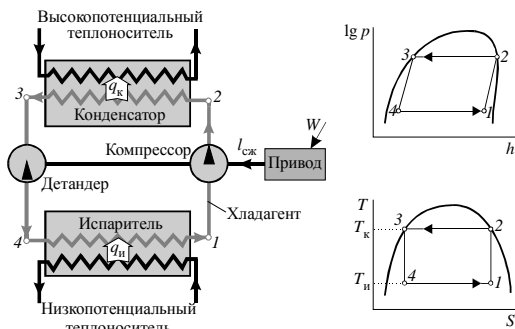


Рис. 5. Идеальный теплонасосный цикл Карно:

q_u – теплота, отдаваемая низкопотенциальным теплоносителем и получаемая хладагентом при его испарении; q_k – теплота, отдаваемая хладагентом при его конденсации и получаемая высокопотенциальным теплоносителем; $l_{сж}$ – работа, необходимая для сжатия хладагента; W – энергия, подводимая к приводу;

T_u (t_u) и T_k (t_k) – температуры испарения и конденсации

В идеальном теплонасосном цикле Карно осуществляются следующие процессы:

Процесс 1-2 – обратимый процесс сжатия хладагента в компрессоре.

Процесс 2-3 – изотермическая конденсация хладагента в конденсаторе и отдача теплоты высокопотенциальному теплоносителю.

Процесс 3-4 – обратимый процесс расширения хладагента в детандере (устройстве для расширения, обратном компрессору).

Процесс 4-1 – изотермическое испарение хладагента в испарителе за счет теплоты, отобранной у холодного теплоносителя.

В пароконденсационном тепловом насосе (рис. 6) в отличие от теплонасосного цикла Карно следующие отличия.

1. Вместо детандера, из-за его высокой стоимости, используется дроссельный вентиль, процесс расширения в котором можно рассматривать как необратимый адиабатический. Дроссельный вентиль представляет собой клапан в виде регулируемого сопла или отверстия, либо нерегулируемую капиллярную трубку. Использование дроссе-

ля вместо детандера увеличивает потери, так как процесс идет не по адиабате, а по линии постоянной энтальпии. Потери будут больше, чем выше разность температур испарения и конденсации.

2. Сжимать технически возможно только газ, потому в компрессор должен поступать пар без примеси жидкости. Сжатие сопровождается потерями энергии и происходит не адиабатически, а политропно.

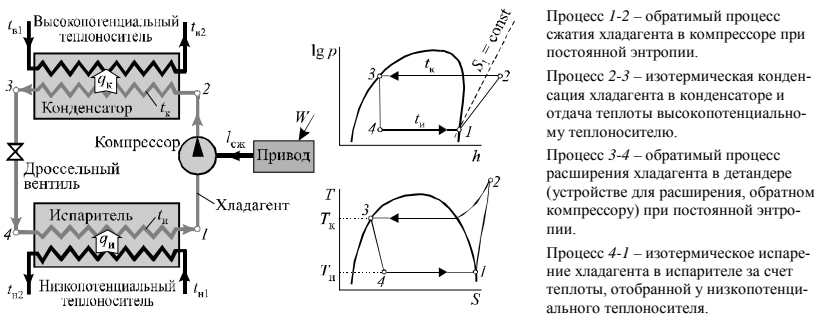


Рис. 6. Схема (№ 1) и цикл парокompрессионного теплового насоса:

t_{n1} , t_{n2} , t_n , t_{n1} — температуры высокопотенциального и низкопотенциального теплоносителя на входе и выходе

Потери энергии в парокompрессионном тепловом насосе вследствие необратимости процессов представлены на рис. 7.

В реальных циклах тепловых насосов на вход в компрессор должен подаваться пар без примеси жидкости. Поэтому пар перед компрессором должен быть несколько перегретым и точка 1 должна находиться не на линии насыщения, а правее ее (в области перегретого пара).

Потери давления из-за трения в соединительных трубопроводах между конденсатором и дросселем вызывают частичное испарение фреона. Если на вход дросселя поступает парожидкостная смесь, эффективность его работы снижается. Поэтому жидкость после конденсатора дополнительно переохлаждают так, чтобы точка 3 находилась

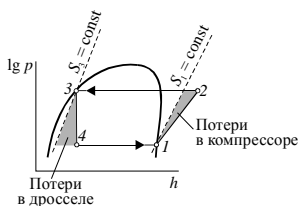


Рис. 7. Потери в парокompрессионном тепловом насосе вследствие необратимости процессов

не на линии насыщения, а левее ее. Это также улучшает работу теплового насоса, так как снижает долю пара, поступающего в испаритель, что приводит к меньшему расходу фреона в цикле.

Переохлаждение жидкости в конденсаторе невозможно, так как это требует более высокого температурного напора между фреоном и горячим теплоносителем a , значит, снижения температуры горячего теплоносителя (что невозможно по требованиям к получаемому теплоносителю) или повышения давления и температуры конденсации фреона (что значительно удорожит стоимость основного компонента теплового насоса – компрессора). Перегрев пара в испарителе также невозможен, так как температуру холодного теплоносителя изменить нельзя, поэтому для перегрева необходимо понижать температуру испарения, а, значит, увеличивать степень повышения давления в компрессоре.

Переохлаждение жидкости и перегрев пара совмещают в дополнительном промежуточном теплообменнике, где горячий фреон после конденсатора нагревает холодный фреон после испарителя (рис. 8).

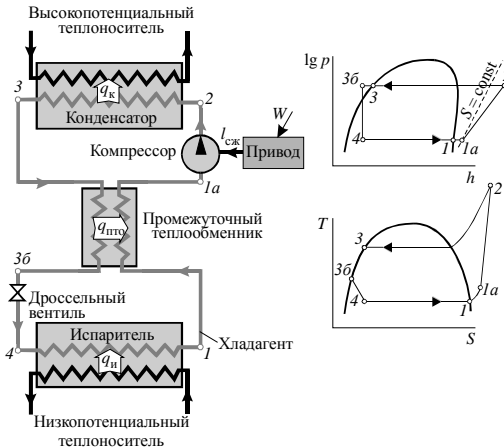


Рис. 8. Схема (№ 2) и цикл теплового насоса с промежуточным теплообменником

Если горячий теплоноситель вырабатывается для водоснабжения, то есть поступает на вход намного холодней, чем выходит из теплового насоса, переохлаждение жидкости возможно в дополнительном теп-

лообменнике – переохладителе, который устанавливается после конденсатора (см. рис. 9).

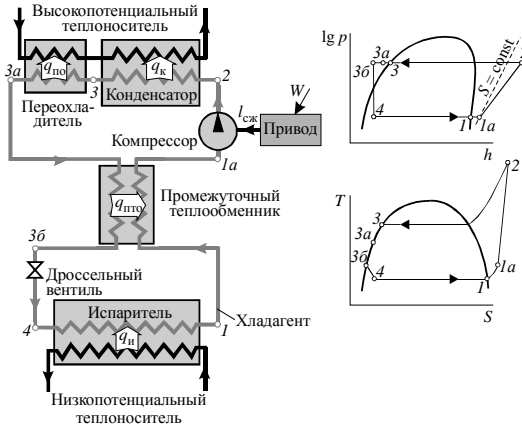


Рис. 9. Схема (№ 3) и цикл теплового насоса с промежуточным теплообменником и переохладителем

Тепловые насосы малой мощности, как правило, выполняются с испарителем и конденсатором, а большой мощности – с промежуточным теплообменником, и, возможно, с переохладителем.

1.4. ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Удельная тепловая нагрузка теплового насоса $q_{тн}$ – это теплота, переданная горячему теплоносителю:

– для схем без переохладителя

$$q_{тн} = q_k;$$

– для схемы с переохладителем

$$q_{тн} = q_k + q_{по},$$

где q_k , $q_{по}$ – удельная тепловая нагрузка в конденсаторе и переохладителе, кДж/кг или ккал/кг фреона.

Для оценки эффективности теплового насоса используются коэффициенты преобразования теплоты μ и электроэнергии μ_e и удельные затраты электроэнергии \mathcal{E} и первичной энергии ПЭ на единицу полученной теплоты.

Коэффициент преобразования теплоты μ – это отношение теплоты, переданной горячему теплоносителю к работе, затраченной на сжатие:

$$\mu = \frac{q_{\text{гн}}}{l_{\text{сж}}}.$$

Коэффициент преобразования теплоты идеального парокompрессионного цикла Карно $\mu_{\text{ид}}$ является величиной, обратной термическому КПД цикла Карно:

$$\mu_{\text{ид}} = \frac{1}{1 - \frac{T_{\text{и}}}{T_{\text{к}}}} = \frac{T_{\text{к}}}{T_{\text{к}} - T_{\text{и}}}.$$

Значение $\mu_{\text{ид}}$ при разных температурах испарения и конденсации представлено на рис. 10. Из рис. 10 видно, что $\mu_{\text{ид}}$ наиболее высок при минимальной разнице между температурами испарения и конденсации, то есть между температурами горячего и холодного теплоносителей. Так как парокompрессионный цикл Карно является обратимым, коэффициент $\mu_{\text{ид}}$ определяет максимально возможный коэффициент преобразования теплоты при заданных температурах испарения и конденсации. Коэффициенты μ реальных тепловых насосов всегда меньше значения $\mu_{\text{ид}}$.

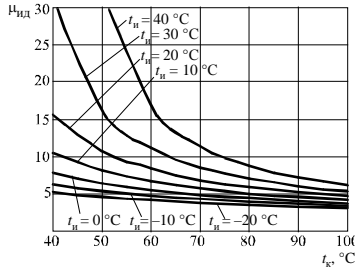


Рис. 10. Коэффициент преобразования теплоты идеального парокompрессионного цикла Карно $\mu_{\text{ид}}$ при разной температуре испарения $t_{\text{и}}$ и конденсации $t_{\text{к}}$

Отношение реального и идеального коэффициентов преобразования теплоты называют КПД теплового насоса $\eta_{\text{т.н}}$:

$$\eta_{\text{т.н}} = \frac{\mu}{\mu_{\text{ид}}}$$

Энергетическую эффективность теплового насоса удобно оценивать с помощью p, h -диаграммы. На этой диаграмме значения q_n , q_k , $q_{по}$, $l_{сж}$ соответствуют размеру проекций соответствующих процессов на ось абсцисс (рис. 11). Поэтому коэффициент преобразования теплоты будет равен отношению разностей энтальпий $h_2 - h_3$ и $h_2 - h_1$.

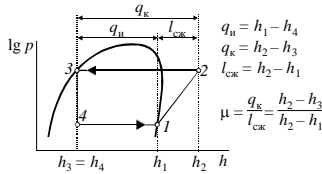


Рис. 11. Энергетические потоки в идеальном парокомпрессионном тепловом насосе

Рассмотрим два случая с одинаковой температурой испарения, но разной температурой конденсации (рис. 12).

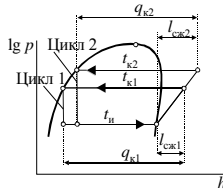


Рис. 12. Цикл работы теплового насоса в при одинаковой температуре испарения t_n и различных температурах конденсации $t_{к1}$ и $t_{к2}$

Из рис. 12 видно, что при уменьшении температуры конденсации (смещении вниз линии 2–3) величина $l_{сж}$ будет уменьшаться быстрее, чем величина q_k . Поэтому коэффициент преобразования энергии μ будет возрастать. Можно сделать вывод, что работа теплового насоса тем эффективнее, чем меньше разность температур испарения и конденсации и чем дальше цикл удаляется от критической точки.

Рассмотрим показатели эффективности тепловых насосов с учетом потерь энергии в приводах компрессоров.

В качестве привода тепловых насосов в большинстве случаев используются электродвигатели. Эффективность такого насоса оценивается по соотношению потребленной электроэнергии и полученной теплоты. Коэффициент преобразования электроэнергии $\mu_э$ (в ино-

странной литературе называемый Coefficient of Performance или COP) – это отношение теплоты, переданной горячему теплоносителю к электроэнергии, подведенной к приводу-электродвигателю, по отношению к коэффициенту μ он дополнительно включает механические потери энергии в компрессоре и потери энергии в электродвигателе:

$$\mu_3 = \frac{q_{\text{тн}}}{W} = \eta_{\text{э.м}} \eta_3 \mu,$$

где $\eta_{\text{э.м}}$ – электромеханический КПД компрессора, обычно равен 0,9...0,95; η_3 – КПД электродвигателя, равен 0,6...0,95.

Удельные затраты электроэнергии на единицу переданной теплоты являются величиной, обратной μ_3 :

$$\mathfrak{E} = \frac{W}{q_{\text{тн}}} = \frac{1}{\mu_3}.$$

Для эффективной работы насоса с электроприводом должны выполняться условия $\mu_3 > 1$ или $\mathfrak{E} < 1$. Если эти величины равны 1, то теплота, вырабатываемая тепловым насосом, становится равным теплоте, полученной при прямом использовании электроэнергии на обогрев, и применение теплового насоса теряет смысл.

Вместо электродвигателя в качестве привода компрессора могут использоваться паровые и газовые турбины, двигатели внутреннего сгорания и другие машины. Для оценки различных схем теплоснабжения применяется *удельные затраты первичной энергии на производство теплоты* ПЭ:

$$\text{ПЭ} = \frac{Q_{\text{топл}}}{q_{\text{теп}}},$$

где $Q_{\text{топл}}$ – энергия топлива, использованного для выработки теплоты; $q_{\text{теп}}$ – количество полученной теплоты, для теплового насоса эта величина равна $q_{\text{тн}}$.

Чем больше величина ПЭ, тем система теплоснабжения менее эффективна. Для водогрейных котлов ПЭ равняется величине, обратной их КПД. КПД водогрейных котлов составляет не более 0,85, значит величина ПЭ – не менее 1,2.

Для тепловых насосов с приводом-электродвигателем электроэнергия вырабатывается при сжигании топлива на электростанциях, поэтому для них

$$\text{ПЭ} = \frac{Q_{\text{топл}}}{q_{\text{тн}}} = \frac{W}{\eta_{\text{э.с}} \eta_{\text{пер}}} \frac{1}{q_{\text{тн}}} = \frac{l_{\text{сж}}}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}}} \frac{1}{\eta_{\text{э.с}} \eta_{\text{пер}}} \frac{1}{q_{\text{тн}}},$$

или

$$\text{ПЭ} = \frac{1}{\eta_{\text{э.с}} \eta_{\text{пер}}} \frac{1}{\mu_{\text{э}}} = \frac{1}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{э.с}} \eta_{\text{пер}} \mu},$$

где $\eta_{\text{э.с}}$ – КПД электростанции ($\approx 0,4$); $\eta_{\text{пер}}$ – КПД систем энергоснабжения ($\approx 0,95$).

Приняв средние значения КПД, получаем $\text{ПЭ} \approx 2,6/\mu_{\text{э}} \approx 3/\mu$.

Поэтому тепловой насос будет экономичней самого эффективно-го водогрейного котла, имеющего КПД 0,85, при $\mu > 2,5$.

Если в качестве привода теплового насоса используется дизель, КПД которого $\eta_{\text{д}} = 0,4$, то ПЭ в этом случае

$$\text{ПЭ} = \frac{l_{\text{сж}}}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{д}}} \frac{1}{q_{\text{тн}}} = \frac{1}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{д}} \mu} \frac{1}{\mu} \approx \frac{2,6}{\mu},$$

то есть применение дизеля выгодней, чем электродвигателя (при сбалансированных ценах на топливо и электроэнергию).

Применение тепловых насосов выгодно, если коэффициент ПЭ для них ниже, чем у альтернативных источников теплоснабжения. На рис. 13 представлено соотношение значений μ и $\eta_{\text{э.с}}$, при которых работа теплового насоса с тепловой точки зрения будет выгодней, чем высокоэффективной котельной с $\eta_{\text{кот}} = 0,85$.

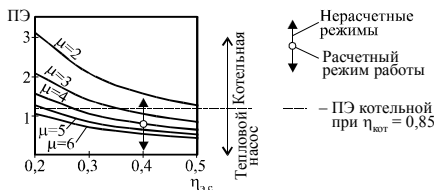


Рис. 13. Экономичность работы теплового насоса по сравнению с работой котельной установки ($\eta_{\text{пер}} = 0,95$; $\eta_{\text{э.м}} = 0,9$; $\eta_{\text{э}} = 0,9$)

Наличие промежуточного теплообменника (см. рис. 8) на показатели энергетической эффективности не влияет, так как теплота передается регенеративно внутри цикла и за пределы теплового насоса не выходит. Но в расчете необходимо учитывать, что процесс сжатия в компрессоре начинается с точки $1a$, а не 1 . Таким образом для схемы с промежуточным теплообменником

$$l_{\text{сж}} = h_2 - h_{1a}; W = \frac{h_2 - h_{1a}}{\eta_{\text{э.м}}\eta_{\text{э}}}, \mu = \frac{q_{\text{к}}}{l_{\text{сж}}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_{1a}}$$

При наличии переохладителя (см. рис. 9) фреон отдает теплоту горячему теплоносителю в конденсаторе и переохладителе, таким образом

$$l_{\text{сж}} = h_2 - h_{1a}; W = \frac{h_2 - h_{1a}}{\eta_{\text{э.м}}\eta_{\text{э}}};$$

$$\mu = \frac{q_{\text{к}} + q_{\text{по}}}{l_{\text{сж}}} = \frac{h_2 - h_{3a}}{h_2 - h_{1a}}, \mu_{\text{э}} = \frac{q_{\text{к}} + q_{\text{по}}}{W}, \vartheta = \frac{W}{q_{\text{к}} + q_{\text{по}}}.$$

1.5. ПРОМЫШЛЕННО ВЫПУСКАЕМЫЕ ТНУ

Тепловой насос по конструкции и комплектующим узлам аналогичен холодильным установкам, поэтому их производство обычно организовывается на базе заводов, выпускающих холодильную технику. В России тепловые насосы выпускают ПО «Компрессор» (г. Москва), завод «Красный факел» (г. Москва), ПО «Мелитополь-холодмаш», ПО «Одесхолодмаш», НПО «Казанькомпрессормаш», ЗАО «Энергия» (г. Новосибирск). Технические характеристики некоторых промышленно изготавливаемых тепловых насосов представлены в табл. 5–8, а сами насосы – на рис. 14 и рис. 15.

Таблица 5

Технические характеристики тепловых насосов Carrier (Франция)

Наименование	30SZ	30RW	30HXC
Тепловая мощность, кВт	15...125	25...403	270...1700
Хладагент	Озонобезопасный R-407с	Озонобезопасный R-407с	Озонобезопасный R-134а
Максимальная температура горячей воды, °С	55	55	63
Тип теплообменников испарителя и конденсатора	Пластинчатые	Пластинчатые	Кожухотрубные с оребренными медными трубами
Тип компрессоров	Спиральные полугерметичные	Спиральные	Винтовые
Область применения	Автономное теплоснабжение частного сектора	Автономное теплоснабжение частного сектора и промпредприятий	Системы централизованного теплоснабжения

Таблица 6

Технические характеристики тепловых насосов ОКБ «Карат»

Параметры	ТНУ- -КР-5	ТНУ- -КР-10	ТНУ- -КР-18	ТНУ- -КР-25	ТНУ- -КР-30	ТНУ- -КР-50	ТНУ- -КР-60
Теплопроизводительность, кВт	5	10	18	25	30	50	60
Потребляемая электрическая мощность, кВт	1,7	3,3	6	8,3	10	17	20
Коэффициент преобразования электроэнергии	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	3,0
Температура горячей воды, °С	55						
Отапливаемая площадь помещения, м ²	80...150	150...330	300...600	400...830	500...1000	830...1650	1000...2000
Длина траншей для теплоотборника, м	100	200	360	500	600	1000	1200
Объем водного теплоотборника, м ³	1	2	4	6	7	12	14
Масса, кг	150	200	250	400	420	450	500
Габариты основного агрегата, мм	500	600	600	800	800	1600	1600
	400	400	450	650	650	650	650
	1000	1000	1800	2000	2000	2000	2000

Таблица 7

**Техническая характеристика теплового насоса
НПО «Казанькомпрессормаш»**

Тепловая мощность при температуре конденсации фреона 70 °С и температуре кипения 4 °С	2209 кВт
Мощность привода компрессора при 4/70 °С и частоте вращения 11 000 об/мин	860 кВт
Коэффициент преобразования при этих параметрах	2,57
Частота вращения электродвигателя	3000 об/мин
Теплоноситель	Фреон-12
Температура конденсации фреона до	72 °С
Температура испарения фреона	1...10 °С
Температура выходящего из испарителя низкопотенциального теплоносителя (воды)	8 °С
Температура воды на выходе из конденсатора	48 °С

Таблица 8

Тепловые насосы ЗАО «Энергия»

Тип теплового насоса	НТ -	НКТ -	НКТ -	НТ -	НТ -	НТ -
----------------------	------	-------	-------	------	------	------

	80	110	300	500	1000	3000
Теплопроизводительность, кВт*	105	155,7	311,4	455,3	905,2	1810,5
	184,5	233,6	467,2	685,4	1358	2716,4
Потребляемая электрическая мощность, кВт*	35	51,2	102,4	149,7	297,3	595,4
	43,4	55	110	161,4	315	630
Коэффициент преобразования электроэнергии*	3,0					
	4,3					
Компрессор	Поршневой			Винтовой		
Исполнение	Моноблочное			Раздельное		
	Габаритные размеры установки или компрессорного агрегата, мм	2375 900 1155	3900 2100 1495	4500 2100 2100	4100 2300 2400	4100 1740 2290	5200 1900 3000
Габаритные размеры испарительно-конденсаторного агрегата, мм	–				3800	5550
					1500	1885
Масса, кг					2600	2930
	1400	4500	4500	9700	13000	24000

*Верхнее число – вода источника 12 °С, нижнее – вода источника 25 °С.



Рис. 14. Тепловой насос НКТ – 300 (моноблочная компоновка)



Рис. 15. Тепловой насос НТ – 1000 (раздельная компоновка)

В работе [6] отмечается, что стоимость теплонасосных установок и их монтажа составляет примерно \$200 за 1 кВт тепловой мощности. Стоимость тепловых насосов ЗАО «Энергия» составляет от \$100 до \$150 за 1 кВт тепловой мощности в зависимости от источника низкопотенциальной теплоты. Срок службы тепловых насосов до капитального ремонта составляет 45 000–60 000 часов или 10–15 отопительных сезонов. Их срок окупаемости не превышает 2-3 года.

В тепловых насосах могут применяться холодильные компрессоры, представленные в табл. 9 и 10.

Таблица 9

**Характеристики унифицированных
поршневых холодильных компрессоров [8]**

№ ба-зы	Тип	Ход поршня, мм	Диаметр цилиндра, мм	Число цилиндров	Часота, мин ⁻¹	Максимальная степень повышения давления	Холодопроизводительность (для R22), кВт	Мощность, кВт	Размеры (длина, ширина, высота), мм	Масса, кг
I	ПГ5	32	42	2	48	21	5,8	2,6	380x365x480	58
	ПГ7			3		8,7	3,9	460x450x480	69	
	ПГ10			4		11,6	5,2	425x420x532	76	
II	ПБ5	45	67,5	1	24	21	6,5	2,5	470x330x450	80
	ПБ7	65		1			9,5	3,5	485x350x460	85
	ПБ10	45		2			13,0	5,0	630x360x470	130
	ПБ14	65		2			19,0	6,9	630x380x480	150
	П14	65		2			20,5	6,7	580x380x480	112
	ПБ20	45		4			26,0	10,0	680x550x485	223
	П20	45		4			28,4	9,1	610x550x485	180
	ПБ28	65		4			38,0	13,85	700x565x485	240
	П28	65		4			41,0	13,3	610x565x485	190
III	ПБ40	66	76	4	24	17	42,5	14,0	1020x620x580	365
	П40			4			44,2	13,0	850x620x580	280
	ПБ60			6			63,7	21,0	1090x700x685	420
	П60			6			66,3	19,5	885x700x685	330
	ПБ80			8			85,0	28,0	1120x755x650	480
	П80			8			88,4	26,0	930x755x650	375
	IV			ПБ110			82	115	4	24	17	128	51,5	1300x900x800	1000
П110		4	134	39,0	950x900x800	770				
ПБ165		6	192	62,5	1380x1035x885	1110				
П165		6	200	58,5	1030x1035x885	880				
ПБ220		8	256	83,0	1460x1140x890	1220				
П220		8	268	78,0	1110x1140x890	1000				

Таблица 10

**Характеристики унифицированных
винтовых холодильных компрессоров [8]**

База	Тип ком-	Тип ком-	Степень	Холодо-	Наружный	Длина	Произво-
------	----------	----------	---------	---------	----------	-------	----------

	прессора	прессорного агрегата	повышения давления	производительность (R22), кВт	диаметр ротора, мм	ротора, мм	длительность, м ³ /с
5	BX 350-2-1	A 350-2-1	2,6	710	200	270	0,243
	BX 350-2-3	A 350-2-3	4,0	444			
	BX 350-2-5	A 350-2-5	5,0	122			
	BX 30-2-7	АН 30-2-7	2,6	35			
6а	BX 470-2-1	A 470-2-1	2,6	950	250	225	0,365
	BX 470-2-3	A 470-2-3	4,0	600			
	BX 470-2-5	A 470-2-5	5,0	165			
	BX 45-2-1	АН 45-2-1	2,6	52			
6	BX 700-2-1	A 700-2-1	2,6	1420	250	337,5	0,486
	BX 700-2-3	A 700-2-3	4,0	890			
	BX 700-2-5	A 700-2-5	5,0	250			
	BX 60-2-7	АН 60-2-7	2,6	70			
7	BX 1400-2-1	A 1400-2-1	2,6	2850	315	425	0,972
	BX 1400-2-3	A 1400-2-3	4,0	1780			
	BX 1400-2-5	A 1400-2-5	5,0	500			
	BX 120-2-7	АН 120-2-7	2,6	140			

1.6. ХЛАДАГЕНТЫ РАБОЧИХ НАСОСОВ

Обозначения фреонов

Хладагент (фреон, хладон) – это органическое вещество, состоящее из атомов углерода С, водорода Н, фтора F и брома Вг. Для хладагентов используется несколько обозначений: условное (символическое), торговое (марка), химическое (химической формулой).

Условное обозначение хладагентов является предпочтительным и состоит из буквы "R" или слова Refrigerant (хладагент) и комбинации цифр. Например, хладон-11 (CFCl₃) имеет обозначение R11, хладон-12 (CF₂C1₂) – R12. Цифры расшифровывают в зависимости от химической формулы хладагента. Первая цифра (1) указывает на метановый ряд, следующая цифра (2) соответствует числу атомов фтора в соединении. В том случае, когда в производных метана водород вытеснен не полностью, к первой цифре добавляют количество оставшихся в соединении атомов водорода, например R22 (CHF₂Cl).

Для этанового ряда вначале записывают комбинацию цифр – индекс, равный 11, для пропанового – 21, для бутанового – 31. Для этих производных ко второй цифре добавляют число атомов водорода, если они есть, например трифтортрихлорэтан C2F2C13 - R113.

В случае, если в составе соединения имеется бром, в его обозначении появляется буква "В", за которой следует число атомов брома, например R13B1 – трифторбромметан, химическая формула CF_3Br .

Для обозначения изомеров производных этана к цифровому индексу добавляют символы «a», «b», «c».

Способ цифрового обозначения непредельных углеводородов и их галогенопроизводных аналогичен рассмотренному выше, но к цифрам, расположенным после буквы "R", слева добавляют 1 для обозначения тысяч (например, R1150).

Для хладагентов на основе циклических углеводородов и их производных после буквы "R" перед цифровым индексом вставляют букву "C" (например, RC270).

Хладагенты неорганического происхождения имеют номера, соответствующие их относительной молекулярной массе, плюс 700. Например, аммиак, химическая формула которого NH_3 , обозначают как R717, воду (H_2O) – как R718.

Хладагентам органического происхождения присвоена серия 600, а номер каждого хладагента внутри этой серии назначают произвольно (например, метиламин имеет номер 30, следовательно, его обозначение запишется как R630).

Зеотропным, или неazeотропным, смесям присвоена серия 400 с произвольным номером для каждого хладагента внутри этой серии, например R401A.

Хладагенты на основе предельных углеводородов, содержащих бром, имеют двойное обозначение. Это обозначение имеет в своем составе букву "В", например R13B1, или букву "H", за которой следуют цифры 1 и 3, но далее к ним добавляют еще две цифры, первая из которых указывает на число атомов хлора, вторая – на число атомов брома. Например, трифторбромметан (CF_3Br), у которого число атомов хлора равно 0, а атомов брома – 1, может обозначаться либо R13B1, либо H1301.

В настоящее время появилась тенденция при обозначении хладагентов предварять цифровой индекс не буквой "R" или "H", а аббревиатурой, указывающей непосредственно на группу, к которой относят хладагент в зависимости от степени воздействия его на окружающую среду. Например, предлагаются обозначения:

- CFC12 для хладагента R12, принадлежащего к группе CFC (ХФУ), в которую входят хладагенты, вредные для окружающей среды;
- HCFC125 для хладагента R125, относящегося к группе HCFC (ГХФУ), состоящей из хладагентов, менее вредных для окружающей среды;
- HFC134a для хладагента R134a, входящего в группу HFC (ГФУ), состоящую из хладагентов, безвредных для окружающей среды.

Смеси фреонов обозначаются следующим образом: R12B1/R13B1 (10/90), где после названий фреонов указывается их соотношение в массовых процентах.

Диапазон рабочих температур

При выборе хладагента важным является диапазон его рабочих температур. При температурах выше критической точки фреон использоваться не может. Коэффициент преобразования теплоты μ теплового насоса определяется свойствами фреона. Чем выше требуемые температуры кипения и испарения к критической точке, тем коэффициент μ ниже, но чем температура дальше от критической точки, тем больше расход хладагента.

Температура фреонов в тепловом насосе выше, чем в холодильных установках, поэтому фреон в тепловом насосе может разлагаться и вызывать коррозию оборудования. На практике существуют ограничения по рабочим температурам: R₁₁ – 107 °С; R₁₁₄ – 121 °С; R₁₁₃ – 107 °С; R₂₂, R₅₀₂ – 135 °С; R₁₂ – 121 °С; R₁₃ – 150 °С; R₅₀₀ – 121 °С.

Озоноопасность фреонов

Фреоны легче воздуха и обладают высокой устойчивостью. При утечке из холодильных агрегатов, кондиционеров и тепловых насосов они поднимаются в верхние слои атмосферы на высоту 15–50 км и там разлагаются под действием ультрафиолетового излучения. Выделяющийся атомарный хлор взаимодействует с озоном [9]. По не до конца подтвержденному мнению некоторых специалистов это приводит к разрушению озонового слоя Земли. В 1987 г. основными странами, производящими фреоны, принят Монреальский протокол, который разделил фреоны на следующие группы [9]:

I. Особо озоноопасные, производство которых намечено сокращать;

II. Озоноопасные, степень воздействия которых на окружающую среду примерно в 10 раз ниже, чем у фреонов группы I;

III. Экологически безопасные фреоны.

Россия ратифицировала Монреальский протокол и поэтому промышленность вынуждена использовать так называемые «озонобезопасные фреоны». Следует отметить, что для каждого традиционного фреона имеется озонобезопасный аналог [10].

По степени озоноразрушающей активности озонового слоя Земли галоидопроизводные углеводороды разделены на три группы (табл. 11).

Таблица 11

Классификация фреонов по степени озоноопасности

№	Группа	Характеристика	Фреоны
I	Хлорфторуглероды ХФУ (CFC)	Высокая озоноразрушающая активность	R11, R12, R13, R113, R114, R115, R500, R502, R503, R12B1, R13B1
II	Гидрохлорфторуглероды ГХФУ (HCFC)	Низкая озоноразрушающая активность	R21, R22, R141b, R142b, R123, R12
III	Гидрофторуглероды ГФУ (HFC), фторуглероды ФУ (FC), углеводороды (HC)	Озонобезопасные	R134, R134a, R152a, R143a, R125, R32, R23, R218, R116, RC318, R290, R600, R600a, R717 и др.

Примечание. Фреоны R400...R414, R507...R509 с индексами А, В, С являются смесью из нескольких фреонов групп HCFC, HFC и FC.

Недостатком озонобезопасных фреонов является их большая стоимость (например, стоимость килограмма фреона R22 составляет \$5, R410A – \$33, R407C – \$30), более высокие рабочие давления (соответственно 16, 26 и 18 бар), необходимость применения для смазки высококинетических полиэфирных масел, а не минеральных. Большинство озонобезопасных фреонов представляют собой смесь из двух-трех компонентов. Поэтому они характеризуются неизотропностью, то есть при разгерметизации сначала испаряются более легкие компоненты и состав и свойства фреона изменяется. Поэтому даже в случае незначительной утечки, весь оставшийся хладагент необходимо полностью слить и заменить его новым.

Фреоны для тепловых насосов

Критические давления и температуры фреонов приведены на рис. 16.

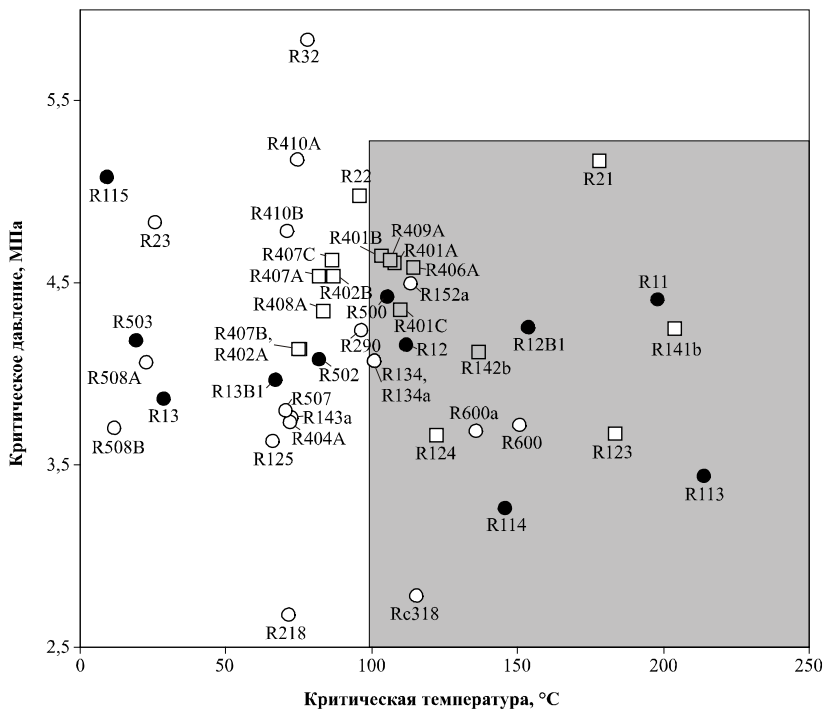


Рис. 16. Область применения фреонов для тепловых насосов
(● – CFC; □ – HCFC; ○ – HFC, FC)

В тепловых насосах возможно применение следующих фреонов:

- группа CFC: R11, R12, R12B1, R113, R114, R500;
- группа HCFC: R21, R22, R123, R124, R141b, R142b, R401a, R401b, R401c, R406a, R409a;
- группа HFC, FC: R134a, R152a, R290, R600, R600a, RC318.

Важным свойством фреонов является хладопроизводительность – теплота фазового перехода (табл. 12). Чем выше этот показатель, тем ниже будет расход фреона, а, значит, и стоимость теплообменников и компрессора.

Таблица 12

Свойства фреонов, применяемых в ТНУ

Фреон	0 °С		70 °С	
	Давление насыщения, кгс/см ²	Холодопроизводительность, кДж/кг	Давление насыщения, кгс/см ²	Холодопроизводительность, кДж/кг
СFC, группа I				
R11	0,41	191	4,16	162
R12	3,14	153	19,17	106
R12B1	1,20	135	9,19	107
R113	0,15	160	2,06	139
R114	0,89	137	7,51	107
R500	3,70	183	22,79	120
HCFC, группа II				
R21	0,66	248	6,80	202
R22	5,07	204	30,59	124
R123	0,32	179	3,80	152
R124	1,64	161	12,59	118
R141b	0,28	238	3,24	205
R142b	1,48	220	11,47	172
R401a	2,97	214	21,02	141
R401b	3,22	214	22,33	141
R401c	2,49	207	18,09	146
R406a	2,54	240	17,93	187
R409a	2,97	206	21,18	139
HFC, FC, HC, группа III				
R134a	2,94	198	21,16	123
R152a	2,67	304	18,94	214
R290	4,72	374	25,92	228
R600	1,05	383	7,97	304
R600a	1,56	356	11,04	272
RC318	1,29	114	10,78	78

Учитывая более высокую стоимость и рабочие давления озонобезопасных фреонов, а также неизотропность многокомпонентных фреонов, можно сделать вывод, что все детали холодильного контура (компрессор, теплообменники, трубы) в ТНУ с озонобезопасными

фреонами должны иметь более высокую прочность, а значит, и стоимость.

1.7. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Согласно мировой практике 60...70% тепловых насосов устанавливаются для индивидуального теплоснабжения. Требования к температуре воды систем теплоснабжения приведены в табл. 13.

В качестве источников низкопотенциальной теплоты в тепловых насосах может быть использована теплота грунта [11], воздуха, грунтовых вод и воды в естественных водоемах (табл. 14).

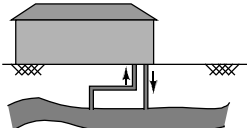
Таблица 13

Требуемая температура воды для теплоснабжения [12, 13]

Вид теплоснабжения		Температура высокопотенциального теплоносителя, °С	
		на входе в систему	на выходе из системы
Горячее водоснабжение	Централизованные открытые системы и местное теплоснабжение	60...75	–
	Централизованные закрытые системы	50...75	–
Отопление с нагревательными приборами – радиаторами, при разной температуре наружного воздуха $t_{в}$	$t_{в} = 10\text{ °С}$	37	33
	$t_{в} = 0\text{ °С}$	54	44
	$t_{в} = -10\text{ °С}$	69	54
	$t_{в} = -20\text{ °С}$	82	62
	$t_{в} = -30\text{ °С}$	95	70
Водяное отопление «теплый пол»		до 50	–

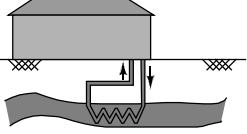
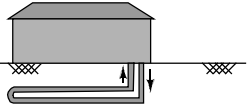
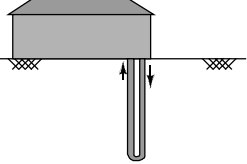
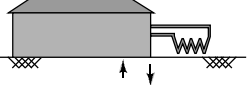
Таблица 14

Схемы использования низкопотенциальной теплоты в тепловом насосе

Наименование	Особенности схемы	Тип и температура промежуточного теплоносителя
Открытый цикл 	Используются грунтовые воды, теплоноситель забирается из водоносного слоя и возвращается в него. Схема характеризуется простотой, так как отсутствует	При использовании теплоты грунтовых вод промежуточный теплоноситель – вода с температурой 8...15 °С, воды из открытых водоемов – антифриз

	промежуточный контур теплоносителя, но стоимость монтажа водозабора может быть высокой	или рассол ($1...10\text{ }^{\circ}\text{C}$),
--	--	--

Окончание табл. 14

Наименование	Особенности схемы	Тип и температура промежуточного теплоносителя
<p>Закрытый цикл</p> 	<p>Промежуточный теплоноситель прокачивается через замкнутый контур, расположенный в водоеме, водоносном слое или бытовых стоках. Высокая стоимость монтажа испарителя</p>	<p>При использовании теплоты грунтовых вод промежуточный теплоноситель – вода с температурой $8...15\text{ }^{\circ}\text{C}$, воды из открытых водоемов – антифриз или рассол ($1...10\text{ }^{\circ}\text{C}$), бытовых стоков – вода ($10...17\text{ }^{\circ}\text{C}$)</p>
<p>Грунтовый горизонтальный теплообменник</p> 	<p>Замкнутый контур теплообменника укладывается в горизонтальные траншеи глубиной $4...6\text{ м}$ и длиной до 100 м. Требуют большой площади поверхности</p>	<p>Промежуточный теплоноситель – антифриз или рассол. Температура грунта на глубине свыше 4 м постоянна и соответствует среднегодовой температуре воздуха ($2...10\text{ }^{\circ}\text{C}$).</p>
<p>Грунтовый вертикальный теплообменник</p> 	<p>Замкнутый контур теплообменника устанавливается вертикально в пробуренные отверстия на глубину до 100 м. Применяется в тяжелом грунте или при ограниченной площади поверхности.</p>	<p>То же</p>
<p>Воздушный теплообменник</p> 	<p>Испаритель помещается в вентиляционные воздуховоды, удаляющие нагретый воздух из помещения, или в атмосферный воздух. Использование воздуха характеризуется быстрым падением мощности при снижении его температуры, образованием измороси на поверхности испарителя при температуре воздуха ниже $6\text{ }^{\circ}\text{C}$</p>	<p>Промежуточного контура нет, температура вытяжного воздуха $18...25\text{ }^{\circ}\text{C}$, атмосферного воздуха в отопительный период $-10...10\text{ }^{\circ}\text{C}$</p>

Эффективность работы теплового насоса зависит от температуры низкопотенциального теплоисточника, чем он выше, тем меньше в тепловом насосе затраты энергии (рис. 17). В табл. 15 приведена оценка эффективности тепловых насосов, применяемых для разных видов теплоснабжения, в зависимости от температуры низкопотенциального источника.

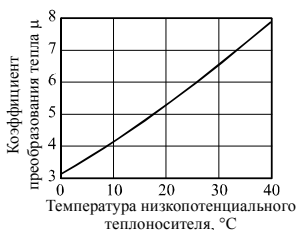


Рис. 17. Эффективность работы теплового насоса при различной температуре низкопотенциального теплоносителя

Таблица 15

Оценка коэффициента преобразования теплоты для различных способов использования теплового насоса [3]

Вид и температура низкопотенциального источника теплоты	Вид теплоснабжения и температура горячего теплоносителя					
	Отопление напольное	Отопление нагретым воздухом	Отопление с интенсивными теплообменниками	Отопление радиаторное, вода	Горячее водоснабжение	
	25...35 °C	25...30 °C	40...55 °C	70...100 °C	50...80 °C	40...50 °C
Воздух, -5...15 °C	4,0	3,9	3,15	—	2,65	3,15
Грунт, 5...10 °C	4,0	3,9	3,15	2,0	2,65	3,15
Грунтовые воды, 8...15 °C	4,4	4,0	3,6	2,25	2,9	3,6
Естественные водоемы, 4...17 °C	4,4	4,0	3,6	2,25	2,9	3,6
Сточные воды, 10...17 °C	4,7	4,2	3,8	2,25	3,15	3,8
Оборотная вода, 25...40 °C	—	—	4,5	3,0	3,35	4,5

Тепловой насос применяется в основном для индивидуального теплоснабжения зданий. В США в связи с особенностями климата уже более 40 лет применяются реверсивные тепловые насосы, выполняющие функции отопления в холодный период и кондиционирования в

жаркий период, тепловыми насосами оснащаются около 30% строящихся индивидуальных коттеджей.

В Европе с менее жарким климатом в большей степени используются одноцелевые тепловые насосы.

Например, в Швеции, климатические условия в которой более суровые, чем в средней полосе России, тепловые насосы обеспечивают 70% всего отопления. В этой стране эксплуатируются крупные теплонасосные установки мощностью 40 МВт в г. Мальмё, 39 МВт в г. Уппсала, 42 МВт в г. Эребру, 320 МВт в г. Стокгольме, использующие теплоту Балтийского моря и озер. В Финляндии за последние пять лет продажа тепловых насосов увеличилась в 2 раза, они устанавливаются в 10% новых домов.

В ряде стран использование тепловых насосов предусмотрено законодательством, например в США согласно федеральному законодательству для новых общественных зданий используются только тепловые насосы, в Германии предусмотрена дотация на установку тепловых насосов в 400 евро за каждый кВт мощности.

В 1986–1989 г. ВНИИхолодмашем разработаны тепловые насосы мощностью от 17 кВт до 11,5 МВт, и до 1992 г. их было выпущено около 3000. В настоящее время тепловые насосы выпускаются на базе заводов, производящих холодильные установки, а также рядом фирм (в г. Москве, Новосибирске, Нижнем Новгороде), специализирующихся только на тепловых насосах. Примеры использования тепловых насосов представлены в табл. 16.

Таблица 16

Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения

Наименование объекта	Источник низкопотенциальной теплоты	Мощность, кВт	Тип и производитель тепловых насосов
с. Большие Орлы Нижегородской области, отопление жилого дома площадью 200 м ²	Грунтовая вода, 5...10 °С	24	ТН-24, ЗАО «НПФ Тритон»
г. Нижний Новгород, отопление комплекса административных зданий, складов и гаража площадью 1200 м ²	Грунтовая вода, 5...10 °С	45	ТН-45, ЗАО «НПФ Тритон»
г. Нижний Новгород, горячее водоснабжение гостиничного комплекса площадью 7000 м ²	Грунтовая вода, 5...10 °С	600	ТН-600, ЗАО «НПФ Тритон»

г. Москва, здание пожарной части	Речная вода, 5...20 °С	16 ($\mu=3,4$)	фирма «Экип», г. Москва
----------------------------------	---------------------------	---------------------	----------------------------

Окончание табл. 16

Наименование объекта	Источник низкопотенциальной теплоты	Мощность, кВт	Тип и производитель тепловых насосов
г. Москва, плавательный бассейн	Сбросная вода душевых, 30...40 °С	Нет данных ($\mu=6,1$)	фирма «Экип», г. Москва
г. Москва, аквапарк	Сбросная вода, 20...30 °С	1500	ЗАО «Энергия»
Тюмень, отопление поселка	Питьевая вода из водозабора, 7...9 °С	3700	2 насоса НТ-3000, ЗАО «Энергия»
г. Карасук Новосибирской обл., отопление школы	Грунтовая вода, 24 °С	700	2 насоса НКТ-300, ЗАО «Энергия»
г. Горноалтайск, Отопление здания ЦСУ	Грунтовая вода, 7...9 °С	270	Насос НКТ-300, ЗАО «Энергия»
г. Елизово Камчатской обл., отопление здания	Питьевая вода из водозабора, 2...9 °С	270	Насос НКТ-300, ЗАО «Энергия»
п. «Мирный» Алтайского край, отопление поселка	Грунтовая вода, 23 °С	1000	3 насоса НКТ-300, ЗАО «Энергия»
Литва, г. Каунас, завод искусственного волокна, отопление цехов завода	Сбросная технологическая вода, 20 °С	3300	2 насоса НТ-3000, ЗАО «Энергия»
Курорт «Горячинск», Бурятия. Отопление курорта	Термальная вода, 51 °С	1000	2 насоса НКТ-300, ЗАО «Энергия»
п. Щербаки Новосибирской обл., отопление поселка	Грунтовая вода, 35 °С	1200	Насос НТ-1000, ЗАО «Энергия»
Новосибирск, горячее водоснабжение Академгородка	Вода Обского моря, 5...22 °С	1000	Насос НТ-1000, ЗАО «Энергия»

Высокая эффективность тепловых насосов имеет место при утилизации теплоты различных бытовых стоков [14].

1.8. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В последнее время в нашей стране много внимания уделяется применению ТНУ в системах централизованного теплоснабжения

[15–18]. Это обусловлено имеющимися на ТЭЦ источниками низкопотенциальной теплоты, которые в настоящее время теряются в системах охлаждения технической воды и составляют 20...25% от отпускаемой теплоты. Эти потери возрастают при снижении тепловой нагрузки в более теплые периоды года [5].

Использование тепловых насосов на ТЭЦ возможно двумя способами:

- замена градирен с утилизацией теряемой в них теплоты технической воды;
- догрев у потребителей горячей воды с использованием в качестве низкопотенциального источника обратной сетевой воды со снижением ее температуры до 20...25 °С. Это позволяет снижать потери в тепловых сетях, доставляющих теплоноситель до потребителя и уменьшать расход теплоносителя.

Другим способом использования тепловых насосов является замена водогрейных котлов. Но в системах отопления требуется варьирование тепловой нагрузки в зависимости от температуры наружного воздуха. Поэтому в наиболее холодные периоды тепловые насосы должны вырабатывать максимальную температуру горячего теплоносителя. Увеличивающийся температурный перепад между холодным и горячим теплоносителем значительно повышает затраты энергии в теплонасосной установке. Поэтому в системах теплоснабжения тепловые насосы обычно сочетают с пиковыми котельными [12]. Базовая часть тепловой нагрузки обеспечивается тепловым насосом, при повышении тепловой нагрузки вода догревается в котельной, установленной после теплового насоса (рис. 18).

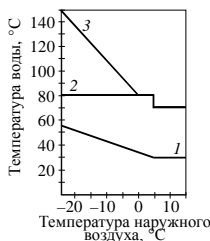


Рис. 18. Температура сетевой воды при работе теплового насоса с пиковой котельной [12]:

1 – обратная линия; 2 – после теплового насоса; 3 – после пиковой котельной

Также использование ТНУ с электроприводом и аккумуляторами теплоты, работающими только в ночное время, позволяет оптимизировать структуру электропотребления [19].

Экономически эффективней использовать для ТНУ большой мощности не электропривод, а газовые турбины или двигатели внутреннего сгорания, при этом себестоимость получаемой теплоты в несколько раз ниже, чем для ТЭЦ и котельных [20] и ТНУ может полностью заменить котельную.

Контрольные вопросы

1. Какие преимущества и недостатки имеет применение тепловых насосных установок для индивидуального теплоснабжения зданий и сооружений по сравнению с котельными установками и электроотоплением?

2. На чем основан принцип действия теплового насоса? Какие типы тепловых насосов существуют?

3. Принцип действия и схемы адсорбционного и идеального парокомпрессионного и тепловых насосов?

4. Какие процессы происходят в парокомпрессионном тепловом насосе? Как они изображаются в T , S - и p , h - диаграммах?

5. В чем отличие схем теплонасосных установок, применяемых для теплоснабжения? Как эти отличия отражаются на циклах в T , S - и p , h - диаграммах?

6. Назовите показатели энергетической эффективности работы теплового насоса

7. Как температуры испарения и конденсации хладагента влияют на эффективность работы теплового насоса?

8. В каком случае применение теплового насоса для теплоснабжения выгоднее с тепловой точки зрения, чем применение котельной установки?

9. Как производится подбор хладагента для теплового насоса?

10. Как фреоны разделяются по степени озонобезопасности?

11. Какие источники низкопотенциальной теплоты применяются в теплонасосных установках систем теплоснабжения?

12. От чего зависит эффективность работы теплового насоса, используемого для индивидуального теплоснабжения зданий?

13. Чем обосновано применение тепловых насосов в системах централизованного теплоснабжения?

2. МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО НАСОСА

2.1. ОБЩАЯ СХЕМА РАСЧЕТА

Выбор наиболее оптимальной конструкции теплового насоса требует сравнения множества вариантов по схемам насосов, фреонам, задаваемым температурным перепадам в теплообменниках. Расчет тепловых насосов традиционно проводится с помощью T, S или p, h – диаграмм рабочих тел (фреонов).

2.2. МЕТОДИКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЦИКЛОВ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Целью термодинамического расчета является определение показателей эффективности цикла теплового насоса. В разделе предлагается методика расчета теплонасосных циклов. Исходными данными для расчета являются:

- тепловая нагрузка $Q_{тн}$, кВт, или расход низкопотенциального теплоносителя $G_{пн}$, кг/с;
- температура низкопотенциального теплоносителя (холодной воды, антифриза или рассола) на входе в тепловой насос $t_{п1}$, °С;
- температура низкопотенциального теплоносителя (холодной воды, антифриза или рассола) после теплового насоса $t_{п2}$, °С;
- температура высокопотенциального теплоносителя (горячей воды) на входе в тепловой насос $t_{в1}$, °С;
- температура горячей воды после теплового насоса $t_{в2}$, °С;
- температура окружающей среды t_0 , °С;
- перепады температуры на выходе из теплообменников (обычно 3...5 °С) в испарителе $\Delta t_{исп}$, конденсаторе $\Delta t_{к}$, переохладителе $\Delta t_{по}$ (рис. 19);
- температура перегрева пара в промежуточном теплообменнике $\Delta t_{п}$, °С.

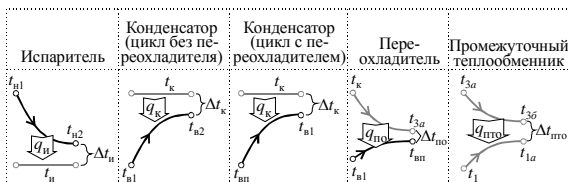


Рис. 19. Температурные схемы теплообменников

Расчет парокомпрессионного теплового насоса (схема № 1)

Схема и расчетный цикл в p, h -диаграмме парокомпрессионного теплового насоса представлены на рис. 6.

Порядок термодинамического расчета схемы следующий.

1. В испарителе теплота от низкопотенциального теплоносителя передается фреону, температура которого должна быть ниже. По температуре $t_{н2}$ и температурному перепаду Δt_n определяется температура испарения фреона:

$$t_n = t_{н2} - \Delta t_n.$$

2. По температуре испарения t_n на правой пограничной кривой p, h -диаграммы фреона (или по таблицам термодинамических свойств хладагента в состоянии насыщения) находится точка 1, для которой определяется энтальпия h_1 и давление испарения p_n .

3. В конденсаторе теплота передается от более горячего фреона к воде. По температуре воды на выходе $t_{в2}$ и температурном перепаде Δt_k определяется температура конденсации фреона:

$$t_k = t_{в2} + \Delta t_k.$$

4. По температуре конденсации t_k на правой пограничной кривой (или по таблицам термодинамических свойств хладагента в состоянии насыщения) находится точка 3, для которой определяется энтальпия h_3 и давление конденсации p_k .

5. На пересечении линии постоянной энтропии S_1 , проходящей через точку 1, и линии изобары p_k , проходящей через точку 3, определяются точка 2а, которая соответствует концу адиабатного сжатия. По диаграмме определяется энтальпия h_{2a} в точке 2а.

6. Адиабатный КПД компрессора η_a равен

$$\eta_a = \frac{h_{2a} - h_1}{h_2 - h_1}; \text{ отсюда } h_2 = h_1 + \frac{h_{2a} - h_1}{\eta_a}.$$

Адиабатный КПД компрессора может быть рассчитан по выражению

$$\eta_a = 0,98 \frac{273 + t_0}{273 + t_k}.$$

По значению энтальпии h_2 и давлению p_k определяется точка 2.

7. По значению энтальпии $h_3 = h_4$ и давлению p_n определяется точка 4.

8. Рассчитываются удельные тепловые нагрузки в узлах теплового насоса:

$$q_{\text{н}} = h_1 - h_4; \quad q_{\text{к}} = h_2 - h_3; \quad l_{\text{сж}} = h_2 - h_1.$$

Правильность расчета определяется проверкой теплового баланса

$$q_{\text{н}} + l_{\text{сж}} = q_{\text{к}}.$$

Дополнительно определяется тепловая нагрузка теплового насоса (теплота, передаваемая на отопление):

$$q_{\text{тн}} = q_{\text{к}},$$

и удельная энергия, потребляемая электродвигателем W :

$$W = \frac{l_{\text{сж}}}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}}}.$$

10. Определяются показатели энергетической эффективности теплового насоса:

– коэффициент преобразования теплоты

$$\mu = \frac{q_{\text{к}}}{l_{\text{сж}}};$$

– коэффициент преобразования электроэнергии:

$$\mu_{\text{э}} = \eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}} \mu;$$

– удельный расход первичной энергии

$$\text{ПЭ} = \frac{1}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{э.с}} \eta_{\text{пер}} \mu}.$$

11. Степень повышения давления в компрессоре

$$\varepsilon = \frac{p_{\text{к}}}{p_{\text{н}}}.$$

12. Производится эксергетический расчет схемы:

– эксергия $e_{\text{н}}$, отданная низкопотенциальным теплоносителем в испарителе:

$$e_{\text{н}} = \tau_{\text{н}} q_{\text{н}},$$

где $\tau_{\text{н}}$ – эксергетическая температура низкопотенциального теплоносителя (значение эксергетической температуры должно быть от 0 до 1):

$$\tau_{\text{н}} = \frac{T_{\text{ср. н}} - (t_0 + 273)}{T_{\text{ср. н}}};$$

средняя логарифмическая температура холодного теплоносителя

$$T_{\text{ср. н}} = \frac{t_{\text{н1}} - t_{\text{н2}}}{\ln \frac{t_{\text{н1}} + 273}{t_{\text{н2}} + 273}}.$$

– эксергия $e_{\text{в}}$, полученная высокопотенциальным теплоносителем в конденсаторе:

$$e_{\text{в}} = \tau_{\text{в}} q_{\text{к}},$$

где $\tau_{\text{в}}$ – эксергетическая температура высокопотенциального теплоносителя:

$$\tau_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ср. в}} - (t_0 + 273)}{T_{\text{ср. в}}};$$

средняя логарифмическая температура горячего теплоносителя

$$T_{\text{ср. в}} = \frac{t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}}{\ln \frac{t_{\text{в2}} + 273}{t_{\text{в1}} + 273}}.$$

– эксергия электроэнергии, потребляемой электродвигателем:

$$e_{\text{э}} = W = \frac{l_{\text{сж}}}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}}};$$

– эксергетический КПД $\eta_{\text{э}}$ теплового насоса определяется по суммарной эксергии входных $e_{\text{вх}}$ и выходных $e_{\text{вых}}$ потоков:

$$\eta_{\text{э}} = \frac{e_{\text{вых}}}{e_{\text{вх}}} = \frac{e_{\text{в}}}{e_{\text{н}} + e_{\text{э}}}$$

Расчет парокompрессионного теплового насоса с регенерацией теплоты (схема № 2)

Схема и расчетный цикл в p, h -диаграмме теплового насоса представлены на рис. 8. Отличия расчета этой схемы от идеальной – в дополнительном определении точек $1a$ и $3б$. По заданной температуре перегрева $\Delta t_{\text{п}}$ и температуре испарения $t_{\text{н}}$ рассчитывается температура фреона на входе в компрессор

$$t_{1a} = t_{\text{н}} + \Delta t_{\text{п}},$$

Точка 1a определяется по температуре t_{1a} и давлению $p_{\text{н}}$. Для этой точки находится значение энтальпии h_{1a} .

Уравнение теплового баланса промежуточного теплообменника имеет вид

$$h_3 - h_{3\delta} = h_{1a} - h_1, \text{ отсюда } h_{3\delta} = h_3 - (h_{1a} - h_1).$$

По значению энтальпии $h_{3\delta}$ и давлению $p_{\text{к}}$ определяется точка 4.

Также необходимо не забывать, что точка 2a находится на линии постоянной энтропии, проходящей через точку 1a, а не 1.

Расчет парокompрессионного теплового насоса с регенерацией теплоты и переохладителем (схема № 3)

Схема и расчетный цикл в p, h -диаграмме теплового насоса представлены на рис. 9. В этой схеме дополнительно к рассмотренным выше расчетам необходимо найти точку 3a и определить температуру нагреваемой воды $t_{\text{вп}}$ между переохладителем и конденсатором. Согласно заданному температурному перепаду в переохладителе $\Delta t_{\text{по}}$ на выходе из него должно выполняться условие

$$\Delta t_{\text{по}} = t_{3a} - t_{\text{вп}},$$

где $t_{\text{вп}}$ – температура нагреваемой воды между переохладителем и конденсатором.

Тепловой баланс переохладителя имеет следующий вид:

$$c_{\text{в}}(t_{\text{вп}} - t_{\text{в1}}) = c'_{\text{р3}}(t_{\text{к}} - t_{3a}),$$

где $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воды; $c'_{\text{р3}}$ – теплоемкость фреона.

Таким образом температура фреона после конденсатора

$$t_{3a} = \frac{c'_{\text{р3}} t_{\text{к}} + c_{\text{в}}(\Delta t_{\text{по}} + t_{\text{в1}})}{c'_{\text{р3}} + c_{\text{в}}}$$

по которой затем определяется температура $t_{\text{вп}}$.

Порядок расчета ТНУ с учетом вышеизложенной методики для трех схем представлена в табл. 17.

Таблица 17

**Термодинамический расчет схем
парокомпрессионного теплового насоса**

Параметр	Раз- мер- ность	Номер схемы		
		1	2	3
Температура испарения фреона $t_{и}$	°С	$t_{и} = t_{н2} - \Delta t_{и}$		
Энтальпия фреона после испарителя h_1	кДж/кг	Определяется по температуре $t_{и}$ и свойствам насыщенного пара фреона		
Давление фреона в испарителе $p_{и}$	Па	То же		
Температура конденсации фреона $t_{к}$	°С	$t_{к} = t_{в2} + \Delta t_{к}$		
Энтальпия фреона после конденсатора h_3	кДж/кг	Определяется по свойствам насыщенной жидкости при температуре $t_{к}$		
Давление конденсации фреона $p_{к}$	Па	То же		
Температура фреона на входе в компрессор $t_{1а}$	°С	–	$t_{1а} = t_{и} + \Delta t_{п}$	
Энтальпия фреона на входе в компрессор $h_{1а}$	кДж/кг	–	Определяется по свойствам перегретого пара фреона по температуре $t_{1а}$ и давлению $p_{и}$	
Энтальпия фреона после адиабатного сжатия $h_{2а}$	кДж/кг	Определяется по свойствам перегретого пара фреона по энтропии S_1 и давлению $p_{к}$	Определяется по свойствам перегретого пара фреона по энтропии $S_{1а}$ и давлению $p_{к}$	
Адиабатный КПД компрессора η_a	–	$\eta_a = 0,98 \frac{273 + t_0}{273 + t_{к}}$		
Энтальпия фреона после компрессора h_2	кДж/кг	$h_2 = h_1 + \frac{h_{2а} - h_1}{\eta_a}$	$h_2 = h_{1а} + \frac{h_{2а} - h_{1а}}{\eta_a}$	
Теплоемкость фреона после конденсатора c'_{p3}	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	–	–	Определяется по свойствам насыщенной жидкости и давлению $p_{к}$

Параметр	Размерность	Номер схемы		
		1	2	3
Температура фреона после конденсатора t_{3a}	°C	–	–	$t_{3a} = \frac{c'_{p3} t_k + c_b(\Delta t_{по} + t_{в1})}{c'_{p3} + c_b}$

Продолжение табл. 17

Параметр	Размерность	Номер схемы		
		1	2	3
Энтальпия фреона на входе в переохладитель h_{3a}	кДж/кг	–	–	Определяется по свойствам жидкого фреона по температуре t_{3a} и давлению p_k
Температура воды после переохладителя $t_{вп}$	°C	–	–	$t_{вп} = t_{3a} - \Delta t_{по}$
Энтальпия горячего фреона на входе в промежуточный теплообменник $h_{3б}$	кДж/кг	–	$h_{3б} = h_3 - (h_{1a} - h_1)$	$h_{3б} = h_{3a} - (h_{1a} - h_1)$
Температура горячего фреона после промежуточного теплообменника $t_{3б}$	°C	–	–	Определяется по свойствам жидкого фреона по энтальпии $h_{3б}$ и давлению p_k
Энтальпия фреона перед испарителем h_4	кДж/кг	$h_4 = h_3$	–	$h_4 = h_{3б}$
Удельная тепловая нагрузка испарителя $q_{и}$	кДж/кг	–	–	$q_{и} = h_1 - h_4$
Удельная тепловая нагрузка конденсатора q_k	кДж/кг	–	–	$q_k = h_2 - h_3$
Удельная тепловая нагрузка переохладителя $q_{по}$	кДж/кг	–	–	$q_{по} = h_3 - h_{3a}$
Удельная тепловая нагрузка теплового насоса $q_{тн}$	кДж/кг	–	–	$q_{тн} = q_k + q_{по}$

Параметр	Размерность	Номер схемы		
		1	2	3
Удельная тепловая нагрузка промежуточного теплообменника $q_{\text{пто}}$	кДж/кг	–	$q_{\text{пто}} = h_{1a} - h_1$	
Работа сжатия в компрессоре $l_{\text{сж}}$	кДж/кг	$l_{\text{сж}} = h_2 - h_1$	$l_{\text{сж}} = h_2 - h_{1a}$	

Продолжение табл. 17

Параметр	Размерность	Номер схемы		
		1	2	3
Удельная энергия, потребляемая электродвигателем W	кДж/кг	$W = \frac{l_{\text{сж}}}{\eta_{\text{эм}} \eta_{\text{э}}}$		
Проверка теплового баланса	–	$q_{\text{и}} + l_{\text{сж}} = q_{\text{к}}$	$q_{\text{и}} + l_{\text{сж}} = q_{\text{к}} + q_{\text{пто}}$	
Коэффициент сжатия ε	–	$\varepsilon = p_{\text{к}} / p_{\text{и}}$		
Коэффициент преобразования теплоты μ	–	$\mu = \frac{q_{\text{тн}}}{l_{\text{сж}}}$		
Коэффициент преобразования электроэнергии $\mu_{\text{э}}$	–	$\mu_{\text{э}} = \eta_{\text{эм}} \eta_{\text{э}} \mu$		
Удельный расход первичной энергии ПЭ	–	$\text{ПЭ} = \frac{1}{\eta_{\text{эм}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{э.с}} \eta_{\text{пер}}} \frac{1}{\mu}$		
Средняя температура низкопотенциального теплоносителя $T_{\text{ср. н}}$	К	$T_{\text{ср. н}} = \frac{t_{\text{н1}} - t_{\text{н2}}}{\ln \frac{t_{\text{н1}} + 273}{t_{\text{н2}} + 273}}$		
Термодинамическая температура низкопотенциального теплоносителя $\tau_{\text{н}}$	–	$\tau_{\text{н}} = 1 - \frac{t_0 + 273}{T_{\text{ср. н}}}$		
Эксергия, отданная низкопотенциальным теплоносителем $e_{\text{н}}$	кДж/кг	$e_{\text{н}} = \tau_{\text{н}} q_{\text{и}}$		

Параметр	Размерность	Номер схемы		
		1	2	3
Средняя температура высокопотенциального теплоносителя в конденсаторе $T_{\text{ср. н}}$	К	$T_{\text{ср. н}} = \frac{t_{\text{в}2} - t_{\text{в}1}}{\ln \frac{t_{\text{в}2} + 273}{t_{\text{в}1} + 273}}$		$T_{\text{ср. н}} = \frac{t_{\text{в}2} - t_{\text{вп}}}{\ln \frac{t_{\text{в}2} + 273}{t_{\text{вп}} + 273}}$
Термодинамическая температура высокопотенциального теплоносителя в конденсаторе $\tau_{\text{в}}$	–	$\tau_{\text{в}} = 1 - \frac{t_0 + 273}{T_{\text{ср. в}}}$		

Окончание табл. 17

Параметр	Размерность	Номер схемы		
		1	2	3
Эксергия, полученная высокопотенциальным теплоносителем в конденсаторе $e_{\text{в}}$	кДж/кг	$e_{\text{в}} = \tau_{\text{в}} q_{\text{к}}$		
Средняя температура высокопотенциального теплоносителя в переохладителе $T_{\text{ср. нп}}$	К	–	–	$T_{\text{ср. нп}} = \frac{t_{\text{вп}} - t_{\text{в}1}}{\ln \frac{t_{\text{вп}} + 273}{t_{\text{в}1} + 273}}$
Термодинамическая температура высокопотенциального теплоносителя в переохладителе $\tau_{\text{вп}}$	–	–	–	$\tau_{\text{вп}} = 1 - \frac{t_0 + 273}{T_{\text{ср. вп}}}$
Эксергия, полученная высокопотенциальным теплоносителем в переохладителе $e_{\text{вп}}$	кДж/кг	–	–	$e_{\text{вп}} = \tau_{\text{вп}} q_{\text{по}}$
Эксергия потребляемой электроэнергии, $e_{\text{э}}$	кДж/кг	$e_{\text{э}} = W$		
Эксергетический КПД $\eta_{\text{э}}$	–	$\frac{e_{\text{в}}}{e_{\text{н}} + e_{\text{э}}}$		$\frac{e_{\text{в}} + e_{\text{вп}}}{e_{\text{н}} + e_{\text{э}}}$

Расчет работы теплового насоса проводят по трем схемам с использованием различных фреонов. После расчета всех вариантов показатели энергетической эффективности сводятся в табл. 18 и выбирается лучший вариант. Выбор производится по термодинамическим показателям циклов или экономическим показателям ТНУ. Из расчета исключаются варианты, степень сжатия фреона в которых более 17 и не может обеспечиваться имеющимися компрессорами.

Удельная тепловая нагрузка теплового насоса $q_{\text{ТН}}$ характеризует расход фреона, а значит, влияет на стоимость компрессора и теплообменников. Степень сжатия в компрессоре определяет его стоимость. Коэффициент преобразования энергии и удельный расход первичной энергии характеризуют экономичность работы теплового насоса. Эксергетический КПД показывает термодинамическое совершенство процессов в тепловом насосе.

Таблица 18

**Показатели энергетической эффективности
рассчитанных вариантов**

Схема	Пароком- прессионная ТНУ (схема № 1)			Пароком- прессионная ТНУ с реге- нерацией теплоты (схема № 2)			Парокомпрес- сионная ТНУ с регенерацией теплоты и пере- охладителем (схема № 3)		
Наименование фреонов									
Удельная тепловая нагрузка теплового насоса $q_{\text{ТН}}$									
Удельная энергия, потребляемая электродвигателем W									
Степень сжатия в компрессоре ϵ									
Коэффициент преобразования теплоты μ									
Коэффициент преобразования электроэнергии $\mu_э$									
Удельный расход первичной энергии ПЭ									
Эксергетический КПД $\eta_э$									

Таким образом наилучший вариант будет с наибольшим μ . Для вариантов с близким μ наилучшим будет тот, который обеспечивает наименьшую степень сжатия ε и наибольшие эксергетический КПД η , и удельную тепловую нагрузку $q_{\text{тн}}$. Весь комплекс этих параметров учитывается в экономическом показателе ТНУ – его сроке окупаемости

$$\tau = (C_T - TЗ)/KЗ,$$

где C_T – стоимость теплоты, получаемой из системы теплоснабжения при отсутствии теплового насоса, руб./год; $TЗ$ – затраты на эксплуатацию теплового насоса, руб./год; $KЗ$ – стоимость теплового насоса и затраты на его монтаж, руб.

Для выбранной схемы рассчитываются тепловая нагрузка в узлах установки и эксергетический баланс теплонасосной установки.

Тепловая нагрузка теплонасосной установки $Q_{\text{тн}}$, Вт или кВт, – это количество теплоты, получаемой в установке горячим теплоносителем. Для установок теплоснабжения за счет использования теплоты окружающей среды тепловая нагрузка задается. Если тепловой насос используется для утилизации сбросной теплоты, то тепловая нагрузка определяется по заданному расходу теплоносителя и его температуре:

$$Q_{\text{тн}} = c_n(t_{n1} - t_{n2})G_n \frac{q_{\text{тн}}}{q_n}, \text{ Вт},$$

где c_n – теплоемкость низкопотенциального теплоносителя.

Массовый расход хладагента $G_{\text{ха}}$, кг/с, определяется по тепловой нагрузке установки (количестве теплоты, получаемой горячим теплоносителем), и удельной тепловой нагрузке:

$$G_{\text{ха}} = \frac{Q_{\text{тн}}}{q_{\text{тн}}}.$$

Полная нагрузка узлов теплового насоса составит:

– в компрессоре:

$$N = WG_{\text{ха}};$$

– в испарителе:

$$Q_{\text{и}} = q_{\text{и}} G_{\text{ха}};$$

– в конденсаторе:

$$Q_{\text{к}} = q_{\text{к}} G_{\text{ха}};$$

– в переохладителе:

$$Q_{\text{по}} = q_{\text{по}} G_{\text{ха}};$$

– в промежуточном теплообменнике:

$$Q_{\text{пто}} = q_{\text{пто}} G_{\text{х.а.}}$$

Оценка эффективности работы узлов теплового насоса производится на основании эксергетического расчета. Удельные эксергетические потери в компрессоре:

– внешние эксергетические потери в компрессоре и электродвигателе, вызванные механическим трением:

$$\Delta e_{\text{км}}^{\text{внеш}} = (W - I_{\text{сж}});$$

– внутренние эксергетические потери в компрессоре, вызванные необратимостью процесса сжатия хладагента:

$$\Delta e_{\text{км}}^{\text{внутр}} = T_0(S_2 - S_{1a});$$

Эксергетические потери в теплообменниках определяются по разности эксергии хладагента, определяемой по формуле $\Delta h - T_0\Delta S$, и эксергии, подведенной или отобранной у теплоносителя, равной τq . Таким образом

– эксергетические потери в испарителе:

$$\Delta e_{\text{и}} = \tau_{\text{и}} q_{\text{и}} - [(h_1 - h_4) - T_0(S_1 - S_4)] = e_{\text{и}} - [q_{\text{и}} - T_0(S_1 - S_4)];$$

– эксергетические потери в конденсаторе:

$$\Delta e_{\text{к}} = [(h_2 - h_3) - T_0(S_2 - S_3)] - \tau_{\text{к}} q_{\text{к}} = [q_{\text{к}} - T_0(S_2 - S_3)] - e_{\text{к}};$$

– эксергетические потери в переохладителе:

$$\Delta e_{\text{по}} = [(h_3 - h_{3a}) - T_0(S_3 - S_{3a})] - \tau_{\text{вп}} q_{\text{по}} = [q_{\text{по}} - T_0(S_3 - S_{3a})] - e_{\text{вп}}.$$

Эксергетические потери в промежуточном теплообменнике определяются по разности отданной эксергии горячим фреоном и полученной эксергии холодным фреоном. Для схемы без переохладителя они имеют вид:

$$\Delta e_{\text{пто}} = [(h_3 - h_{3\delta}) - T_0(S_3 - S_{3\delta})] - [(h_{1a} - h_1) - T_0(S_{1a} - S_1)],$$

или, так как $h_3 - h_{3\delta} = h_{1a} - h_1$,

$$\Delta e_{\text{пто}} = T_0(S_{1a} - S_1 - S_3 + S_{3б}).$$

Для схемы с переохладителем

$$\Delta e_{\text{пто}} = T_0(S_{1a} - S_1 - S_{3a} + S_{3б}).$$

Энтальпия фреона при дросселировании не изменяется, и эксергетические потери в дросселе:

$$\Delta e_{\text{д}} = T_0(S_4 - S_{3б}).$$

Сумма эксергетических потерь в тепловом насосе:

$$\Sigma \Delta e = \Delta e_{\text{км}}^{\text{внеш}} + \Delta e_{\text{км}}^{\text{внутр}} + \Delta e_{\text{н}} + \Delta e_{\text{к}} + \Delta e_{\text{по}} + \Delta e_{\text{пто}} + \Delta e_{\text{д}}.$$

Проверка расчета производится по равенству полученных эксергетических потерь и разности эксергии на входе и выходе теплового насоса:

$$\Sigma \Delta e = (e_{\text{н}} + e_{\text{э}}) - (e_{\text{в}} + e_{\text{вп}}).$$

Для оценки эксергетических потерь в узлах теплового насоса строится диаграмма, на которой в масштабе изображаются потоки эксергии (рис. 20).

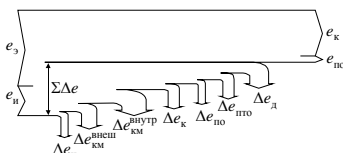


Рис. 20. Эксергетический баланс теплового насоса

Узлы, в которых эксергетические потери наибольшие, требуют совершенствования и повышения эффективности работы.

2.3. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Проектирование теплообменников необходимо для крупных ТНУ мощностью свыше 15...20 кВт. Для маломощных ТНУ систем индивидуального отопления могут быть использованы пластинчатые теплообменники, выбираемые по каталогам согласно рассчитанной полной нагрузке.

Испаритель, конденсатор, переохладитель и промежуточный теплообменник мощных ТНУ обычно представляют собой кожухотрубчатые теплообменники с шахматными пучками медных труб, на которые накатаны ребра. В испарителе, конденсаторе и переохладителе вода (рассол) движется по трубам, а фреон – в межтрубном пространстве. В промежуточном теплообменнике по трубам движется горячий жидкий фреон, в межтрубном пространстве – холодный пар. Оптимальная скорость низкопотенциального теплоносителя и фреона в трубах – 1...2,5 м/с. В межтрубном пространстве жидкий фреон движется со скоростью 2,5 м/с, парообразный – 5...10 м/с. Конструкция испарителя и конденсатора представлена на рис. 21, 22, а характеристики оребренных труб – в табл. 19 и на рис. 23.

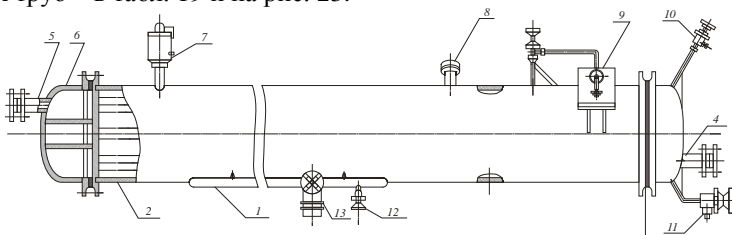


Рис. 21. Испаритель:

1 – коллектор жидкостный; 2 – кожух; 3 – перегородки; 4 – патрубок для входа теплоносителя; 5 – патрубок для выхода теплоносителя; 6 – крыша; 7 – клапан предохранительный; 8 – вход фреона; 9 – манометр; 10 – спуск воздуха; 11 – спуск теплоносителя; 12 – спуск масла; 13 – выход фреона

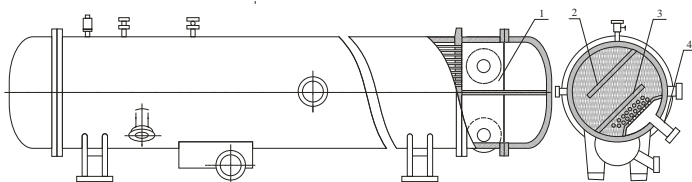


Рис. 22. Конденсатор:

1 – боковой патрубок; 2 – перегородка с отверстиями; 3 – перегородка; 4 – камера с патрубками

Таблица 19

Характеристики труб теплообменников

Наружный диаметр d_1 , мм	16	17,7	23
Внутренний диаметр d_2 , мм	13	14,7	20
Высота ребра h_p , мм	2,2	1,9	1,5
Наружный диаметр ребра d_p , мм	20,4	21,5	26

Толщина ребра δ_p , мм	0,5	0,5	0,5
Шаг между ребрами S_p , мм	2,04	2,03	2
Коэффициент ε_p	2,67	2,12	1,93
Площадь наружной оребренной поверхности трубы длиной 1 м F_1 , м ²	0,1769	0,1737	0,190
Площадь внутренней поверхности трубы длиной 1 м F_2 , м ²	0,0408	0,0462	0,068

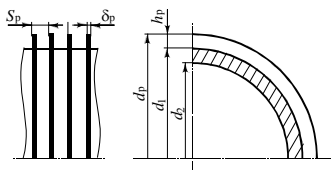


Рис. 23. Конструктивные размеры оребренных труб
В табл. 19 площадь внутренней поверхности трубы длиной 1 м:

$$F_2 = \pi d_2,$$

общая наружная площадь оребренной трубы:

$$F_1 = F_{1c} + F_{1p},$$

где площадь теплопередающей поверхности наружных труб, свободных от ребер:

$$F_{1c} = \pi d_1 \left(1 - \frac{\delta_p}{S_p} \right),$$

и площадь ребер:

$$F_{1p} = \frac{\pi d_p^2 - d_1^2}{2S_p} + \pi \frac{d_p \delta_p}{S_p}.$$

Расчет теплообменников производится согласно методикам и уравнениям, приведенных в работах [21–23].

Расчет испарителя

Схема теплообмена в испарителе представлена на рис. 24.

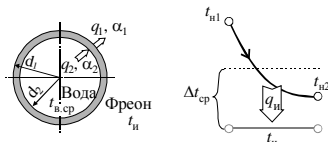


Рис. 24. Схема теплообмена в испарителе

Удельный тепловой поток q_2 от низкопотенциального теплоносителя к внутренним стенкам труб имеет вид

$$q_2 = \alpha_2 (t_{в,ср} - t_{ст}), \quad (1)$$

а удельный тепловой поток от наружных стенок к фреону, отнесенный к 1 м^2 внутренней поверхности трубы

$$q_1 = \alpha_1 (t_{ст} - t_{и}) \frac{F_1}{F_2}, \quad (2)$$

где $t_{в,ср}$ – средняя температура низкопотенциального теплоносителя; $t_{ст}$ – температура стенки; $t_{и}$ – температура испарения фреона; α_2 и α_1 – коэффициенты теплоотдачи соответственно от низкопотенциального теплоносителя к стенке и от стенки к фреону; F_1 и F_2 – площадь поверхности соответственно наружной оребренной и внутренней стенки.

В связи с законом сохранения энергии тепловые потоки должны быть равны друг другу. Расчет теплообменников заключается в решении уравнения $q_1 = q_2$ и нахождении неизвестной температуры стенки $t_{ст}$, и определении удельного теплового потока в испарителе $q_{и} = q_1 = q_2$. В расчетах термическим сопротивлением медной стенки можно пренебречь, так как оно составляет менее 1% от термического сопротивления теплообменников. Порядок расчета испарителя следующий.

Определяется среднелогарифмический температурный напор:

$$\Delta t_{ср} = \frac{(t_{н1} - t_{и}) - (t_{н2} - t_{и})}{\ln \frac{t_{н1} - t_{и}}{t_{н2} - t_{и}}}$$

и средняя температура низкопотенциального теплоносителя

$$t_{в,ср} = t_{и} + \Delta t_{ср}.$$

Из табл. 20 выбираются теплофизические свойства воды при температуре $t_{в,ср}$ или свойства антифриза.

Таблица 20

Теплофизические свойства воды и антифриза

Температура, °С	Кинематическая вязкость $\nu_{в} \cdot 10^6$, $\text{м}^2/\text{с}$	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{в} \cdot 10^2$, Вт/м·К	Критерий Прандтля, $\text{Pr}_{в}$	Плотность $\rho_{в}$, $\text{кг}/\text{м}^3$
Вода				
0	1,79	55,1	13,67	999,9
10	1,31	57,4	9,52	999,7
20	1,01	59,9	7,02	998,2
30	0,805	61,8	5,42	995,7
40	0,658	63,5	4,31	992,2
50	0,556	64,8	3,54	988,1

60	0,478	65,9	2,98	983,1
70	0,415	66,8	2,55	977,8
80	0,365	67,4	2,21	971,8
90	0,326	68,0	1,95	965,3
Антифриз марки 40				
20	4,4	41,9	8,48	1072

Примечание. Свойства воды могут быть рассчитаны по регрессионным уравнениям:

$$v_b = (1,717 - 0,03377t + 0,000200938t^2 + 0,00018055/(t+273)) \cdot 10^{-6};$$

$$\lambda_b = (55,179 + 0,2541t - 0,001237t^2 + 0,000265/(t+273)) \cdot 10^{-2};$$

$$Pr_b = 13,0104 - 0,28047t + 0,001728t^2 + 0,00018056/(t+273);$$

$$\rho_b = 1000,302 - 0,06479t - 0,003576t^2 + 0,00018059/(t+273),$$

где t – температура воды, °С.

Принимается скорость теплоносителя в трубах v_b (от 1 до 2,5 м/с). Коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к внутренним стенкам труб определяется по критериальному уравнению:

$$\alpha_2 = Nu \frac{\lambda_b}{d_2}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}, \quad (3)$$

где критерий Нуссельта

$$Nu = 0,021 \left(\frac{v_b d_2}{\nu_b} \right)^{0,8} Pr^{0,43}.$$

Коэффициент теплоотдачи от наружных стенок к фреону для вертикальных фреоновых испарителей описывается критериальным уравнением:

$$\alpha_1 = 2,53 q_1^{0,75} \left(0,14 + 2,2 \frac{p_n}{p_{кр}} \right) n_{тр.в}^{0,2}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}, \quad (4)$$

где $n_{тр.в}$ – число вертикальных труб в испарителе, от 5 до 15; p_n – давление фреона в испарителе; $p_{кр}$ – давление фреона в критической точке (прил. 2).

Подставляя выражение (4) в выражение (2) и выражая q_1 , получаем

$$q_1 = k(t_{ст} - t_n)^4, \quad (5)$$

где коэффициент

$$k = \left[2,53 \left(0,14 + 2,2 \frac{p_{и}}{p_{кр}} \right) n_{тр.в} \frac{F_1}{F_2} \right]^4.$$

Для горизонтальных испарителей критериальные уравнения теплообмена со стороны испаряющегося фреона приведены в работах [22, 24].

Температура стенки находится решением уравнения $q_1 = q_2$. Для этого при разных температурах стенки от $t_{и}$ до $t_{в.ср}$ рассчитываются несколько значений q_1 и q_2 по уравнениям (1) и (5), строятся зависимости $q_1(t_{ст})$ и $q_2(t_{ст})$, пересечение которых соответствует равенству тепловых потоков, а, значит, и искомой температуре стенки (рис. 25).

Температура стенки	$t_{и}$	...	...	...	...	$t_{в.ср}$
q_1	0	...	...	...	...	...
q_2	...	...	...	...	...	0

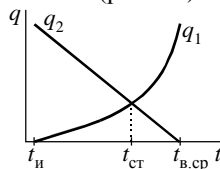


Рис. 25. Графическое определение температуры стенки

По найденной температуре стенки рассчитывается удельный тепловой поток в испарителе:

$$q_{и} = \alpha_2 (t_{в.ср} - t_{ст}), \text{ Вт/м}^2.$$

Теплоотдающая поверхность

$$F = \frac{Q_{и}}{q_{и}}, \text{ м}^2,$$

где $Q_{и}$ – тепловая нагрузка испарителя, Вт.

Число труб в теплообменнике должно обеспечивать принятую ранее скорость низкопотенциального теплоносителя (воды). Если его расход не задан, он рассчитывается по выражению

$$G_{н} = \frac{Q_{и}}{c_{н}(t_{н1} - t_{н2})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

где $c_{н}$ – теплоемкость.

Число труб в одном ходе, округленное до целого числа:

$$n = \frac{4G_{\text{н}}}{\pi d_2^2 v_{\text{в}} \rho_{\text{в}}}$$

Длина труб в одном ходе L_x

$$L_x = \frac{F}{\pi d_2 n m}$$

где m – число ходов, для упрощения конструкции теплообменника должно быть минимальным. Получаемая длина труб в одном ходе L_x должно быть от 2 до 6 м. Если изменением числа ходов m этого добиться невозможно, то задают другую скорость $v_{\text{в}}$ и повторяют расчет теплообмена и конструктивных параметров.

После определения числа труб согласно методике, изложенной в работе [23], производят компоновку трубок в сечении теплообменника и определяют размеры трубной решетки и диаметр теплообменника.

Размещение труб может быть ромбическое, по вершинам равносторонних треугольников, или по концентрическим окружностям (рис. 26). Шаг трубок S принимается равным $(1,3 \div 1,5)d_1$, но не менее $d_1 + 6$ мм.

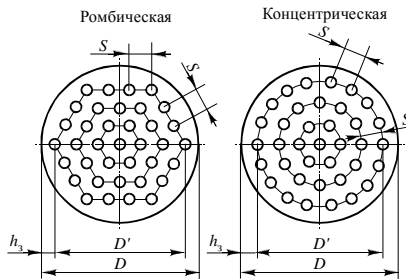


Рис. 26. Компоновка труб в теплообменнике

Для теплообменников с одним ходом расстояние D' между крайними трубами определяется по рис. 27. Размещение труб в многоходовом теплообменнике должно учитывать установку перегородок, поэтому компоновка и определение расстояния D' между крайними трубами для многоходовых теплообменников производится графическим путем.

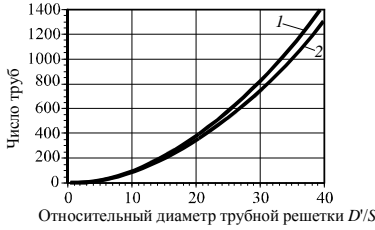


Рис. 27. Число труб при различном относительном диаметре трубной решетки для одноходовых теплообменников

Внутренний диаметр теплообменника D определяется по выражению

$$D = D' + d_1 + 2h_3,$$

где h_3 – зазор между трубами и корпусом, 6 мм и более.

Также для теплообменника рассчитываются диаметры входных и выходных патрубков для фреона и теплоносителя (по скорости теплоносителя в них).

Расчет конденсатора

В конденсаторе теплота передается от конденсирующейся на наружной стороне труб пленки фреона к воде, идущей в трубах. Схема теплообмена в конденсаторе представлена на рис. 28.

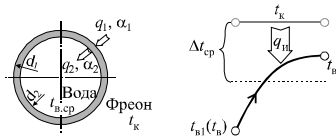


Рис. 28. Схема теплообмена в конденсаторе

Удельный тепловой поток q_2 от внутренних стенок труб к воде

$$q_2 = \alpha_2 (t_{ст} - t_{в,ср}), \tag{6}$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к воде.

Среднегарифмический температурный напор для конденсатора имеет вид:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{(t_{\text{в}2} - t_{\text{к}}) - (t_{\text{в}1} - t_{\text{к}})}{\ln \frac{t_{\text{в}2} - t_{\text{к}}}{t_{\text{в}1} - t_{\text{к}}}}, \text{ (для схемы без переохладителя);}$$

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{(t_{\text{в}2} - t_{\text{к}}) - (t_{\text{в}} - t_{\text{к}})}{\ln \frac{t_{\text{в}2} - t_{\text{к}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{к}}}}, \text{ (для схемы с переохладителем);}$$

а средняя температура воды

$$t_{\text{в.ср}} = t_{\text{к}} - \Delta t_{\text{cp}}.$$

Коэффициент теплоотдачи от стенок к воде α_2 рассчитывается по выражению (3) аналогично испарителю.

Температура пленки конденсата фреона на наружной поверхности труб определяется по выражению

$$t_{\text{пл}} = t_{\text{в.ср}} + \Delta t_{\text{к}}.$$

По температуре $t_{\text{пл}}$ определяется теплота парообразования фреона r и рассчитывается параметр B :

$$B = \left(\frac{9,8 \rho^2 \lambda^2}{\mu} \right)^{0,25}.$$

Тепловой поток от фреона к наружным стенкам труб имеет вид:

$$q_1 = 0,728 B \varepsilon_p \varepsilon \left(\frac{r}{d_1} \right)^{0,25} (t_{\text{к}} - t_{\text{ст}})^{0,75},$$

где коэффициент ε_p определяется по табл. 19; коэффициент ε – по рис. 29 или выражению

$$\varepsilon = (0,868 + 0,11677n)^{-1},$$

где n – число рядов труб по высоте.

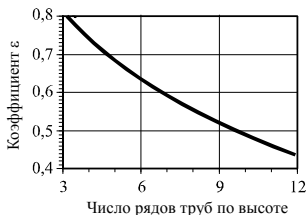


Рис. 29. Коэффициент ε

Температура стенки $t_{ст}$ определяется по уравнению $q_1 = q_2$. Для этого по выражениям (6) и (7) на интервале температур от $t_{в,ср}$ до t_k строятся графики тепловых потоков q_1 и q_2 и по точке их пересечения определяется температура стенки $t_{ст}$.

Далее аналогично испарителю производится расчет поверхности теплообмена и конструктивных параметров теплообменника.

Расчет переохладителя и промежуточного теплообменника

В переохладителе и промежуточном теплообменнике процессов испарения и конденсации пара нет. В переохладителе теплота передается от фреона, находящегося в жидком состоянии, к воде, идущей в трубах. В промежуточном теплообменнике теплота от более горячего жидкого фреона передается более холодному перегретому пару фреона. Схема теплообмена в переохладителе представлена на рис. 30, а в промежуточном теплообменнике – на рис. 31. Расчет теплообменников представлен в табл. 21.

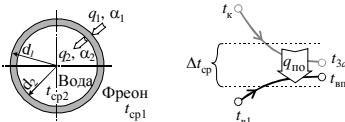


Рис. 30. Схема теплообмена в переохладителе

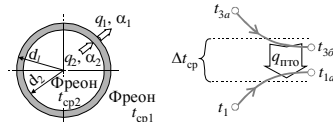


Рис. 31. Схема теплообмена в промежуточном теплообменнике

Таблица 21

Расчет переохладителя и промежуточного теплообменника

Наименование параметра	Расчет переохладителя	Расчет промежуточного теплообменника
Средняя температура теплоносителей	$t_{cp1} = 0,5(t_k + t_{3a})$ $t_{cp2} = 0,5(t_{в1} + t_{вн})$	$t_{cp1} = 0,5(t_1 + t_{1a})$ $t_{cp2} = 0,5(t_{3a} + t_{3б})$
Число ходов m	Принимается	
Вспомогательные параметры	$P = (t_{вн} - t_{в1}) / (t_k - t_{в1})$ $R = (t_k - t_{3a}) / (t_{вн} - t_{в1})$	$P = (t_{3б} - t_{3a}) / (t_1 - t_{3a})$ $R = (t_1 - t_{1a}) / (t_{3б} - t_{3a})$
Поправочный коэффициент для перекрестного хода	$\varphi = \frac{\lg \frac{1-P}{1-RP}}{m(1-R) \lg \left[1 + \frac{1}{R} 2,3 \lg \frac{R-1}{R \left(\frac{1-P}{1-RP} \right)^m - 1} \right]}$	

Наименование параметра	Расчет переохладителя	Расчет промежуточного теплообменника
Температурный напор для перекрестного тока	$\Delta t_{cp} = \varphi \frac{(t_k - t_{вп}) - (t_{3a} - t_{в1})}{\ln \frac{t_k - t_{вп}}{t_{3a} - t_{в1}}}$	$\Delta t_{cp} = \varphi \frac{(t_1 - t_{3б}) - (t_{1a} - t_{3a})}{\ln \frac{t_1 - t_{3б}}{t_{1a} - t_{3a}}}$
Скорость теплоносителя в трубах v_2 , м/с	$v_2 = 1 \dots 2,5$ м/с	$v_2 = 1 \dots 2,5$ м/с
Критерий Нуссельта для внутренних стенок труб Nu и коэффициент теплоотдачи для внутренних стенок труб α_2 , Вт/(м ² ·К)	$Nu = 0,021 \left(\frac{v_2 d_2}{\nu} \right)^{0,8} Pr^{0,43},$ $\alpha_2 = Nu \frac{\lambda}{d_2},$ (используются свойства теплоносителя при t_{cp2})	$Nu = 0,021 \left(\frac{v_2 d_2}{\nu} \right)^{0,8} Pr^{0,43},$ $\alpha_2 = Nu \frac{\lambda}{d_2},$ (используются свойства фреона при t_{cp2} и давлении p_k)

Окончание табл. 21

Наименование параметра	Расчет переохладителя	Расчет промежуточного теплообменника
Скорость теплоносителя в межтрубном пространстве v_1 , м/с	$v_1 = 2,5$ м/с	$v_1 = 5 \dots 10$ м/с
Коэффициент теплоотдачи для внешней поверхности оребренных труб α_1 , Вт/м ² ·К	$\alpha_1 = 0,136 \frac{\lambda}{S_p^{0,35}} Pr^{0,35} \left(\frac{S_p}{D} \right)^{0,54} \left(\frac{S_p}{h_p} \right)^{0,14} \left(\frac{v_1}{\nu} \right)^{0,65}$ (используются свойства фреона при t_{cp1} и давлении p_k)	(используются свойства перегретого пара фреона при t_{cp1} и давлении p_n)
Коэффициент теплопередачи через цилиндрическую стенку k , Вт/м ² ·К	$k = \left(\frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_{ст}} \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} \right),$ где $\lambda = 384$ Вт/м ² ·К – теплопроводность меди	
Поверхность теплообмена F , м ² ($Q_{по}$ и $Q_{пто}$ – тепловая нагрузка узлов, Вт)	$F = \frac{Q_{по}}{k\Delta t_{cp}}$	$F = \frac{Q_{пто}}{k\Delta t_{cp}}$

Наименование параметра	Расчет переохладителя	Расчет промежуточного теплообменника
Число труб в одном ходе n (округляется до целого числа)	$n = \frac{4G_{\text{н}}}{\pi d_2^2 v_2 \rho_{\text{в}}},$ <p>где $\rho_{\text{в}}$ – плотность теплоносителя</p>	$n = \frac{4G_{\text{за}}}{\pi d_2^2 v_2 \rho_{\text{ф}}},$ <p>где $\rho_{\text{ф}}$ – плотность фреона</p>
Длина труб одного хода L_x , м	$L_x = \frac{F}{\pi d_2 n m}$	

Получаемая длина труб в одном ходе L_x должна быть от 2 до 6, в противном случае изменяют число ходов m или скорость v_2 и повторяют расчет теплообмена и конструктивных параметров.

После определения числа труб согласно методике, изложенной для испарителя, производят компоновку трубок в сечении теплообменника, определяют размеры трубной решетки, диаметр теплообменника, диаметры штуцеров. На рис. 32 приведена компоновка ТНУ.

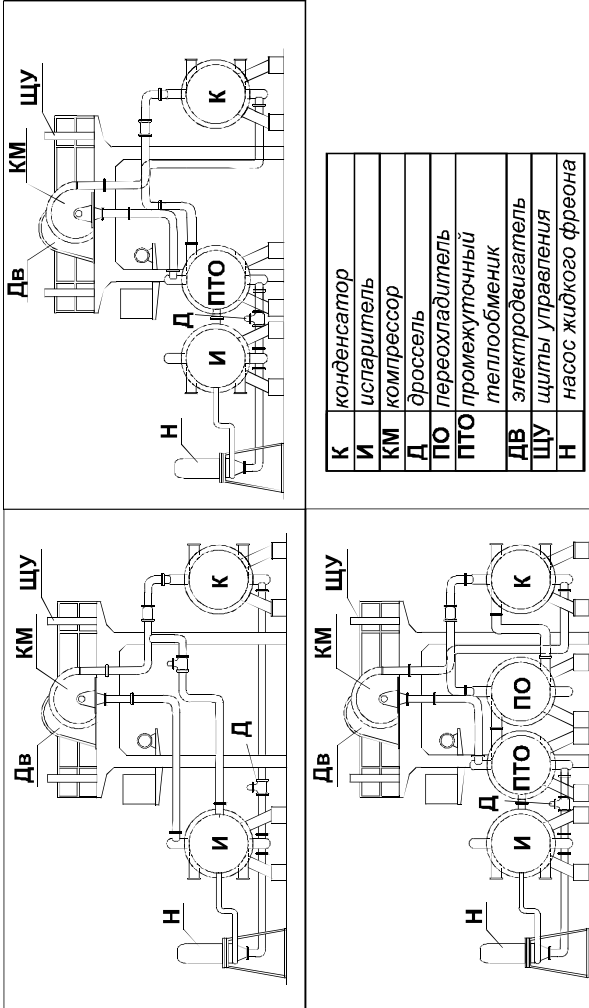


Рис. 32. Компоновка ТНУ

2.4. ПРИМЕР ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТНУ

Согласно методике, приведенной в подразделах 2.1–2.3 рассмотрим пример проектирования теплонасосной установки для отопления индивидуального жилого дома. В качестве источника низкопотенциальной теплоты используем грунт. Система отопления – водяной «теплый пол».

Исходные данные для расчета:

– тепловая нагрузка $Q_{тн}$	3 кВт
– температура низкопотенциального теплоносителя (рассола) на входе в тепловой насос $t_{н1}$	5 °С;
– температура низкопотенциального теплоносителя (рассола) после теплового насоса $t_{н2}$	–5 °С;
– температура высокопотенциального теплоносителя (горячей воды) на входе в тепловой насос $t_{в1}$	35 °С;
– температура горячей воды после теплового насоса $t_{в2}$	45 °С;
– температура окружающей среды t_0	–10 °С;
– перепады температуры на выходе из теплообменников: испарителя $\Delta t_{исп}$, конденсатора $\Delta t_{к}$, переохладителя $\Delta t_{по}$	5°С
– температура перегрева пара в промежуточном теплообменнике $\Delta t_{п}$	20 °С.

В качестве хладагента используется фреон R152a, относящийся к озонобезопасным.

Расчет парокompрессионного теплового насоса (схема № 1)

1. Температура испарения фреона:

$$t_{и} = t_{н2} - \Delta t_{и} = -5 - 5 = -10^{\circ}\text{C}.$$

2. По температуре испарения $t_{и} = -10^{\circ}\text{C}$ по таблицам термодинамических свойств хладагента R152a в состоянии насыщения (прил. 2) или по p , h -диаграмме (рис. 33) определяются параметры в точке 1 – энтальпия на правой пограничной кривой h'' и давление p :

$$h_1 = 500,15 \text{ кДж/кг};$$

$$p_{и} = 0,18152 \text{ МПа},$$

точка 1 отмечается на p , h -диаграмме.

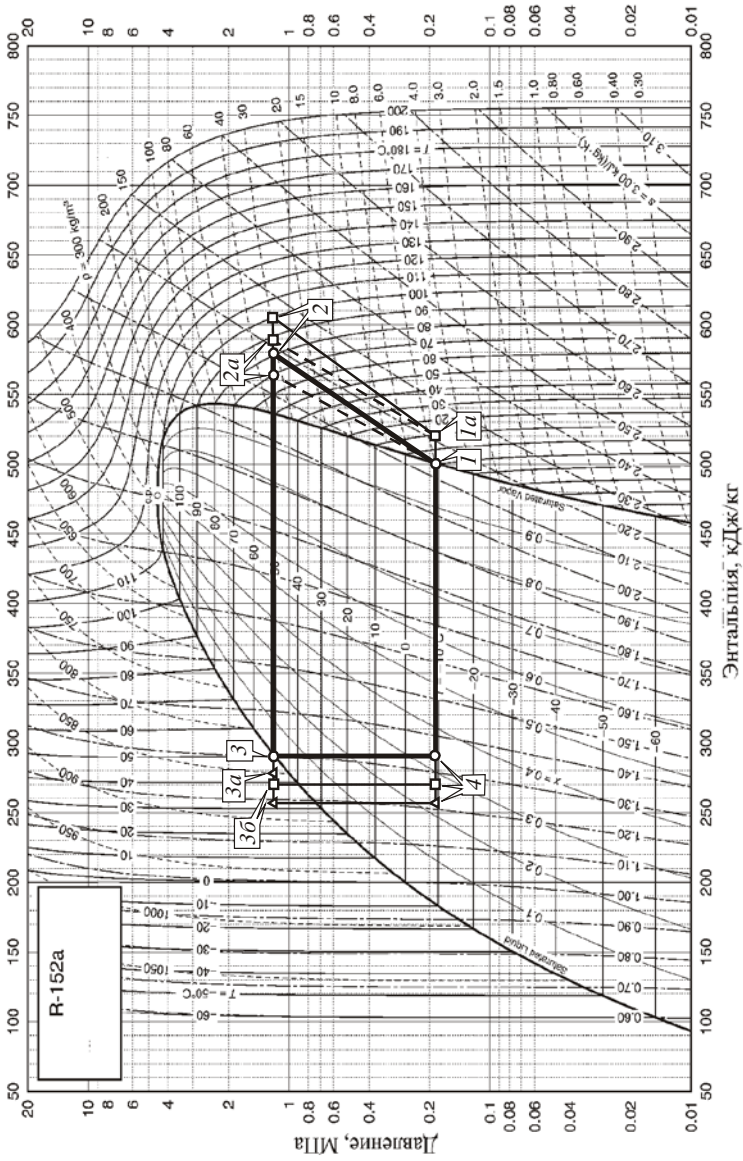


Рис. 33. Циклы ТНУ:

○ — схема №1; □ — схема №2; ▲ — схема №3

3. Температура конденсации фреона:

$$t_k = t_{в2} + \Delta t_k = 45 + 5 = 50^\circ\text{C}.$$

4. По температуре конденсации t_k по таблицам термодинамических свойств или по p, h -диаграмме определяются параметры в точке 3 – энтальпия на левой пограничной кривой h' и давление p :

$$h_3 = 290,5 \text{ кДж/кг};$$

$$p_k = 1,1774 \text{ МПа},$$

точка 3 отмечается на p, h -диаграмме.

5. На p, h -диаграмме на пересечении линии постоянной энтропии S_1 , проходящей через точку 1, и линии изобары p_k , проходящей через точку 3, определяются точка 2а, затем по диаграмме определяется энтальпия в этой точке:

$$h_{2a} = 564 \text{ кДж/кг}.$$

6. Адиабатный КПД компрессора η_a :

$$\eta_a = 0,98 \frac{273 + t_0}{273 + t_k} = 0,98 \frac{273 - 10}{273 + 50} = 0,80.$$

Энтальпия фреона после сжатия с учетом потерь:

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2a} - h_1}{\eta_a} = 500,15 + \frac{564 - 500,15}{0,80} = 580,0 \text{ кДж/кг}.$$

По значению энтальпии $h_2 = 598,7 \text{ кДж/кг}$ и давлению $p_k = 1,1774 \text{ МПа}$ на диаграмме отмечается точка 2. Температура в этой точке

$$t_2 = 81^\circ\text{C}.$$

7. По значению энтальпии $h_3 = h_4 = 290,5 \text{ кДж/кг}$ и давлению $p_n = 0,18152 \text{ МПа}$ на диаграмме отмечается точка 4.

8. Удельные тепловые нагрузки в узлах теплового насоса:

$$q_n = h_1 - h_4 = 500,15 - 290,5 = 209,65 \text{ кДж/кг};$$

$$q_k = h_2 - h_3 = 580,0 - 290,5 = 289,50 \text{ кДж/кг};$$

$$l_{сж} = h_2 - h_1 = 580,0 - 500,15 = 79,85 \text{ кДж/кг}.$$

Правильность расчета определяется проверкой теплового баланса

$$209,65 + 79,85 = 289,50 \text{ кДж/кг.}$$

Тепловая нагрузка теплового насоса:

$$q_{\text{тн}} = q_{\text{к}} = 289,50 \text{ кДж/кг.}$$

Энергия, потребляемая электродвигателем W :

$$W = \frac{l_{\text{сж}}}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}}} = 79,85 / (0,95 \cdot 0,8) = 105,07 \text{ кДж/кг.}$$

10. Показатели энергетической эффективности теплового насоса:
– коэффициент преобразования теплоты

$$\mu = \frac{q_{\text{к}}}{l_{\text{сж}}} = 289,5 / 79,85 = 3,63;$$

– коэффициент преобразования электроэнергии:

$$\mu_{\text{э}} = \eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}} \mu = 0,95 \cdot 0,8 \cdot 3,63 = 2,76;$$

– удельный расход первичной энергии:

$$\text{ПЭ} = \frac{1}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}} \eta_{\text{э.с}} \eta_{\text{пер}}} \cdot \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,95} \cdot \frac{1}{3,63} = 0,95.$$

Так как $\text{ПЭ} < 1$, то с энергетической точки зрения отопление с использованием теплового насоса выгоднее, чем при сжигании природного топлива, применяемого для производства электроэнергии.

11. Степень повышения давления в компрессоре

$$\varepsilon = \frac{p_{\text{к}}}{p_{\text{н}}} = 1,1774 / 0,18152 = 6,49.$$

12. Производится эксергетический расчет схемы:

– средняя логарифмическая температура холодного теплоносителя

$$T_{\text{ср. н}} = \frac{t_{\text{н1}} - t_{\text{н2}}}{\ln \frac{t_{\text{н1}} + 273}{t_{\text{н2}} + 273}} = \frac{5 - (-5)}{\ln \frac{5 + 273}{-5 + 273}} = 273 \text{ К;}$$

– эксергетическая температура низкопотенциального теплоносителя:

$$\tau_n = \frac{T_{\text{ср. н}} - (t_0 + 273)}{T_{\text{ср. н}}} = \frac{273 - (-10 + 273)}{273} = 0,0366;$$

– эксергия e_n , отданная низкопотенциальным теплоносителем в испарителе:

$$e_n = \tau_n q_n = 0,0366 \cdot 209,65 = 7,67 \text{ кДж/кг.}$$

– средняя логарифмическая температура горячего теплоносителя

$$T_{\text{ср. в}} = \frac{45 - 35}{\ln \frac{45 + 273}{35 + 273}} = \frac{t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}}{\ln \frac{t_{\text{в2}} + 273}{t_{\text{в1}} + 273}} = 313 \text{ К.}$$

– эксергетическая температура высокопотенциального теплоносителя:

$$\tau_v = \frac{T_{\text{ср. в}} - (t_0 + 273)}{T_{\text{ср. в}}} = \frac{313 - (-10 + 273)}{313} = 0,160;$$

– эксергия e_v , полученная высокопотенциальным теплоносителем в конденсаторе:

$$e_v = 0,160 \cdot 289,50 = 46,32 \text{ кДж/кг,}$$

– эксергия электроэнергии, потребляемой электродвигателем:

$$e_3 = W = \frac{l_{\text{сж}}}{\eta_{\text{э.м}} \eta_3} = \frac{79,85}{0,95 \cdot 0,8} = 105,07 \text{ кДж/кг;}$$

– эксергетический КПД η_3 теплового насоса:

$$\eta_3 = \frac{e_{\text{вых}}}{e_{\text{вх}}} = \frac{e_v}{e_n + e_3} = \frac{46,32}{7,67 + 105,07} = 0,411.$$

**Расчет парокompрессионного теплового насоса
с регенерацией теплоты (схема № 2) и с регенерацией теплоты
и переохладителем (схема № 3)**

Результаты проведенного выше расчета, а также расчет ТНУ для второй и третьей схемы схем представлены в табл. 22.

Таблица 22

**Термодинамический расчет схем
парокомпрессионного теплового насоса**

Параметр	Раз- мер- ность	Номер схемы		
		1	2	3
Температура испарения фреона $t_{и}$	°С	-10		
Энтальпия фреона после испарителя h_1	кДж/кг	500,15		
Давление фреона в испарителе $p_{и}$	МПа	0,18152		
Температура конденсации фреона $t_{к}$	°С	45 + 5 = 50		
Энтальпия фреона после конденсатора h_3	кДж/кг	290,5		
Давление конденсации фреона $p_{к}$	МПа	1,1774		
Температура фреона на входе в компрессор t_{1a}	°С	-	-10 + 20 = 10	
Энтальпия фреона на входе в компрессор h_{1a}	кДж/кг	-	521	
Энтальпия фреона после адиабатного сжатия h_{2a}	кДж/кг	564	589	
Адиабатный КПД компрессора η_a	-	0,80		
Энтальпия фреона после компрессора h_2	кДж/кг	580,0	606	
Теплоемкость фреона после конденсатора c'_{p3}	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	-	-	1,957
Температура холодного фреона после переохладителя t_{3a}	°С	-	-	[1,957·50 + 4,19(5 + 35)] / (1,957 + 4,19) = 43,2
Энтальпия холодного фреона после переохладителя h_{3a}	кДж/кг	-	-	278

Продолжение табл. 22

Параметр	Раз- мер- ность	Номер схемы		
		1	2	3
Температура воды после переохладителя $t_{вп}$	°С	–	–	$43,2 - 5 = 38,2$
Энтальпия горячего фреона на входе в промежуточный теплообменник $h_{3б}$	кДж/кг	–	$290,5 - (521 - 500,15) = 269,7$	$278 - (521 - 500,15) = 257,2$
Температура горячего фреона после промежуточного теплообменника $t_{3б}$ (по p, h -диаграмме)	°С	–	40	
Энтальпия фреона перед испарителем h_4	кДж/кг	290,5	269,7	257
Удельная тепловая нагрузка испарителя $q_и$	кДж/кг	209,65	$500,15 - 269,7 = 230,5$	$500,15 - 257,2 = 243$
Удельная тепловая нагрузка конденсатора $q_к$	кДж/кг	289,50	$606 - 290,5 = 315,5$	
Удельная тепловая нагрузка переохладителя $q_{по}$	кДж/кг	–	–	$290,5 - 278 = 12,5$
Удельная тепловая нагрузка теплового насоса $q_{тн}$	кДж/кг	289,50	315,5	$315,5 + 12,5 = 328,0$
Удельная тепловая нагрузка промежуточного теплообменника $q_{пто}$	кДж/кг	–	$521 - 500,15 = 20,9$	
Работа сжатия в компрессоре $l_{сж}$	кДж/кг	79,85	$606 - 521 = 85,0$	
Удельная энергия, потребляемая электродвигателем W	кДж/кг	105,07	$85 / (0,95 \cdot 0,8) = 125,0$	

Параметр	Раз- мер- ность	Номер схемы		
		1	2	3
Проверка теплового баланса	–	209,65 + 79,85 = 289,50	230,5 + 85,0 = = 315,5	243 + 85,0 = 315,5 + 12,5

Продолжение табл. 22

Параметр	Раз- мер- ность	Номер схемы		
		1	2	3
Коэффициент сжатия ε	–	6,49		
Коэффициент преобразования теплоты μ	–	3,63	315,5 / 85,0 = = 3,71	(315,5 + 12,5) / / 85,0 = 3,86
Коэффициент преобразования электроэнергии $\mu_э$	–	2,76	0,95·0,8·3,71 = = 2,82	0,95·0,8·3,86 = = 2,93
Удельный расход первичной энергии ПЭ	–	0,95	1/(0,95·0,8·0,4× ×0,95·3,71) = = 0,93	1/(0,95·0,8·0,4× ×0,95·3,86) = = 0,90
Средняя температура низкопотенциального теплоносителя $T_{ср. н}$	К	273		
Термодинамическая температура низкопотенциального теплоносителя τ_n	–	0,0366		
Эксергия, отданная низкопотенциальным теплоносителем e_n	кДж/кг	7,67	0,0366·230,5 = = 8,44	0,0366·243 = = 8,89
Средняя температура высокопотенциального теплоносителя в конденсаторе $T_{ср. в}$	К	313		$\frac{45 - 38,2}{\ln \frac{45 + 273}{38,2 + 273}} =$ = 314,6
Термодинамическая температура высокопотенциального теплоносителя в конденсаторе $\tau_в$	–	0,160		$1 - \frac{-10 + 273}{314,6} =$ = 0,164

Параметр	Раз- мер- ность	Номер схемы		
		1	2	3
Эксергия, полученная высокопотенциальным теплоносителем в конденсаторе e_v	кДж/кг	46,32	$= 0,160 \cdot 315,5 = 50,48$	$0,164 \cdot 315,5 = 51,74$

Окончание табл. 22

Параметр	Раз- мер- ность	Номер схемы		
		1	2	3
Средняя температура высокопотенциального теплоносителя в переохладителе $T_{ср.нп}$	К	–	–	$\frac{38,2 - 35}{\ln \frac{38,2 + 273}{35 + 273}} = 309,6$
Термодинамическая температура высокопотенциального теплоносителя в переохладителе $\tau_{вп}$	–	–	–	$1 - \frac{-10 + 273}{309,6} = 0,151$
Эксергия, полученная высокопотенциальным теплоносителем в переохладителе $e_{вп}$	кДж/кг	–	–	$0,151 \cdot 12,5 = 1,89$
Эксергия потребляемой электроэнергии, $e_э$	кДж/кг	105,07	125,0	
Эксергетический КПД $\eta_э$	–	0,411	$\frac{50,48}{8,44 + 125,0} = 0,378$	$\frac{51,74 + 1,89}{8,89 + 125} = 0,401$

Показатели энергетической эффективности сводятся в табл. 23. Как видно из таблицы, наивысший коэффициент преобразования теплоты и электроэнергии, а также наименьший расход первичного топлива – в схеме № 3. Но в схемах № 2 и 3 эксергетический КПД меньше, чем в схеме № 1. Это связано с тем, что удельная тепловая нагрузка теплового насоса в схемах № 2 и 3 повышается за счет подвода дополнительной энергии в процессе сжатия. Так, за счет увеличения потребляемой электроэнергии на 19,3 кДж/кг тепловая нагрузка в схемах № 2 и 3 увеличивается соответственно на 26 и 38,5 кДж/кг, что приводит к увеличению коэффициента преобразования теплоты μ . Так как эксергия электроэнергии равна величине электроэнергии, а эксергия

теплоносителя составляет только часть его теплоты, то это приводит к потерям эксергии и снижению эксергетического КПД.

Таблица 23

Показатели энергетической эффективности рассчитанных вариантов

№ схемы	1	2	3
Удельная тепловая нагрузка теплового насоса $q_{тн}$, кДж/кг	289,50	315,5	328,0
Удельная энергия, потребляемая электродвигателем W , кДж/кг	105,7	125,0	
Степень сжатия в компрессоре ε	6,49		
Коэффициент преобразования теплоты μ	3,63	3,71	3,86
Коэффициент преобразования электроэнергии $\mu_э$	2,76	2,82	2,93
Удельный расход первичной энергии ПЭ	0,95	0,93	0,90
Эксергетический КПД $\eta_э$	0,411	0,378	0,401

Для дальнейших расчетов выбираем схему № 3.

Массовый расход хладагента $G_{ха}$:

$$G_{ха} = \frac{Q_{тн}}{q_{тн}} = 3/328 = 0,00915 \text{ кг/с.}$$

Полная нагрузка узлов теплового насоса:

– в компрессоре:

$$N = W G_{ха} = 125 \cdot 0,00915 = 1,144 \text{ кВт;}$$

– в испарителе:

$$Q_{и} = q_{и} G_{ха} = 243 \cdot 0,00915 = 2,223 \text{ кВт;}$$

– в конденсаторе:

$$Q_{к} = q_{к} G_{ха} = 315,5 \cdot 0,00915 = 2,886 \text{ кВт;}$$

– в переохладителе:

$$Q_{по} = q_{по} G_{ха} = 12,5 \cdot 0,00915 = 0,114 \text{ кВт;}$$

– в промежуточном теплообменнике:

$$Q_{пто} = q_{пто} G_{ха} = 20,9 \cdot 0,00915 = 0,191 \text{ кВт.}$$

Удельные эксергетические потери в компрессоре:

– внешние эксергетические потери в компрессоре и электродвигателе, вызванные механическим трением:

$$\Delta e_{\text{км}}^{\text{внеш}} = (W - l_{\text{сж}}) = 125,0 - 85,0 = 40,0 \text{ кДж/кг};$$

– внутренние эксергетические потери в компрессоре, вызванные необратимостью процесса сжатия хладагента (энтропия определяется по p, h -диаграмме):

$$\Delta e_{\text{км}}^{\text{внутр}} = T_0(S_2 - S_{1a}) = 263 \cdot (2,26 - 2,21) = 13,15 \text{ кДж/кг};$$

Эксергетические потери в теплообменниках определяются по разности эксергии хладагента, определяемой по формуле $\Delta h - T_0\Delta S$, и эксергии, подведенной или отобранной у теплоносителя, равной τq . Таким образом, определив энтропии по таблицам свойств фреона в состоянии насыщения или по p, h -диаграмме, получаем:

– эксергетические потери в испарителе:

$$\begin{aligned} \Delta e_{\text{и}} &= e_{\text{и}} - [q_{\text{и}} - T_0(S_1 - S_4)] = 8,89 - [243 - 263(2,1421 - 1,22)] = \\ &= 8,40 \text{ кДж/кг}; \end{aligned}$$

– эксергетические потери в конденсаторе:

$$\begin{aligned} \Delta e_{\text{к}} &= [q_{\text{к}} - T_0(S_2 - S_3)] - e_{\text{в}} = [315,15 - 263(2,26 - 1,3003)] - 51,74 \\ &= \\ &= 11,01 \text{ кДж/кг}; \end{aligned}$$

– эксергетические потери в переохладителе:

$$\begin{aligned} \Delta e_{\text{по}} &= [q_{\text{по}} - T_0(S_3 - S_{3a})] - e_{\text{вп}} = [12,5 - 263(1,3003 - 1,26)] - 1,89 \\ &= \\ &= 0,01 \text{ кДж/кг}; \end{aligned}$$

Эксергетические потери в промежуточном теплообменнике

$$\begin{aligned} \Delta e_{\text{пто}} &= T_0(S_{1a} - S_1 - S_{3a} + S_{3b}) = 263(2,22 - 2,1421 - 1,26 + 1,20) = \\ &= 2,08 \text{ кДж/кг}. \end{aligned}$$

Энтальпия фреона при дросселировании не изменяется, и эксергетические потери в дросселе:

$$\Delta e_d = T_0(S_4 - S_{36}) = 263(1,22 - 1,20) = 5,26 \text{ кДж/кг.}$$

Сумма эксергетических потери в тепловом насосе:

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta e &= \Delta e_{\text{км}}^{\text{внеш}} + \Delta e_{\text{км}}^{\text{внутр}} + \Delta e_{\text{н}} + \Delta e_{\text{к}} + \Delta e_{\text{по}} + \Delta e_{\text{пто}} + \Delta e_d = \\ &= 40,0 + 13,15 + 8,40 + 11,01 + 0,01 + 2,08 + 5,26 = 79,91 \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

Проверка расчета производится по равенству полученных эксергетических потерь и разности эксергии на входе и выходе теплового насоса:

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta e &= (e_{\text{н}} + e_{\text{э}}) - (e_{\text{в}} + e_{\text{вп}}) = (8,89 + 125,0) - (51,74 + 1,89) = \\ &= 80,26 \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

Отличие эксергетических потерь (79,91 и 80,26 кДж/кг или 0,4%) обусловлено неточностью определения энтропии по p , h -диаграмме.

Наибольшие эксергетические потери происходят в компрессоре из-за необратимости процесса сжатия и в конденсаторе из-за необратимости процесса теплообмена. Поэтому для повышения эксергетического КПД необходимо приближаться к изотермическим условиям сжатия (то есть интенсивно охлаждать фреон в компрессоре) и снижать разность температур в конденсаторе (увеличивать его поверхность теплообмена).

Контрольные вопросы

1. Какие данные являются исходными для расчета циклов теплонасосных установок?
2. Какой показатель показывает термодинамическое совершенство работы теплового насоса?
3. Что является экономическим показателем работы теплонасосной установки?
4. Как производится оценка эффективности работы узлов теплового насоса?
5. Какие составные части входят в сумму эксергетических потерь в тепловом насосе?
6. Как определяется параметры фреона после сжатия?
7. Опишите схемы теплообмена в испарителе, конденсаторе, переохладителе и регенеративном теплообменнике.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТНУ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

3.1. ВЫБОР ТНУ для ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОДЪЕЗДА ЖИЛОГО ДОМА

Для проектирования выбрана система отопления одного подъезда 9-этажного панельного жилого дома. Поквартирное отопление не рассматривалось по следующим причинам:

– расположенный в квартире тепловой насос создает шум и вибрацию, а разделение его на две части наподобие «сплит»-систем кондиционирования приводит к ухудшению внешнего вида здания;

– в отдельной квартире реконструируемых или ремонтируемых старых домов нельзя отказаться от централизованного отопления, но перевод всего подъезда на поквартирное отопление вполне возможен;

– в условиях г. Белгорода значительная часть новых квартир покупается иногородними жителями, например работающими на севере, и от момента сдачи дома до заселения квартиры может пройти несколько лет. При этом зимой незаселенные квартиры не отапливаются, что вынуждает соседей нести повышенные расходы на отопление своих квартир;

– при расчете теплоты утилизации сточных вод и вытяжной вентиляции увеличение количества источников (квартир) приводит к более стабильному сбросу теплоты.

ТНУ для отопления всего дома также не рассматривалось из-за большой массы и габаритов такой установки (см. табл. 8), что вызывает трудности ее размещения без дополнения конструкции здания. Подъездное отопление также удобно для резервирования оборудования, в этом случае одна резервная ТНУ будет устанавливаться для нескольких подъездов дома, или при ремонте ТНУ одного подъезда отопление будет производиться частью мощности ТНУ других подъездов.

Три схемы теплового насоса рассматривались со следующим источником низкопотенциальной теплоты:

- а) грунтовый теплообменник (температура грунта 5 °С);
- б) подземные грунтовые воды (5 °С);
- в) бытовые стоки (30 °С);

г) воздух в вытяжной вентиляции (25 °С).

В качестве нагревательных приборов выбрана система «теплый пол», в соответствии с табл. 13 температура воды на выходе из теплового насоса задавалась 60 °С, температура возвратной воды – 50 °С.

Для выбора варианта производился термодинамический расчет цикла теплового насоса, определялся коэффициент преобразования энергии в нем μ (отношение теплоты, полученной горячим теплоносителем к энергии, затраченной приводом компрессора), производился конструктивный расчет теплообменников и компрессора, определялась стоимость теплонасонной установки и срок ее окупаемости (при этом стоимость 1 Гкал теплоты принималась в размере 390 руб. согласно действующим летом 2005 г. тарифам в г. Белгороде).

Полученные результаты представлены на рис. 34. Из рис. 34 видно, что выбор схемы и типа фреона оказывает значительное влияние на конечную эффективность варианта. Из рассмотренных схем наилучшей оказалась схема № 3 в связи с более высоким значением коэффициента μ в ней с фреоном R-22 (озонобезопасные аналоги R410A, R407C).

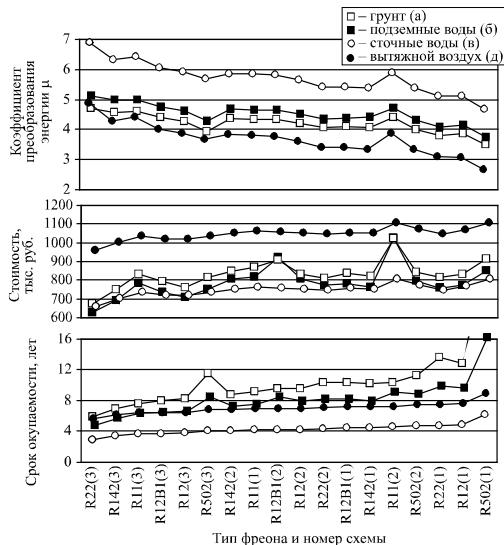


Рис 34. Сравнение эффективности вариантов при отопительной мощности 180 кВт

(номер после фреона соответствует номеру схемы)

Утилизация теплоты сточных вод, как и ожидалось, обеспечило самую эффективную систему теплоснабжения, значительно превосходящую остальные варианты. Утилизация теплоты вытяжного воздуха оказалась малоэффективной из-за высокой стоимости низкой эффективности и высокой стоимости теплообменника, устанавливаемого в вытяжной вентиляции. Из приведенных результатов видна возможность комплексной утилизации теплоты, когда промежуточный теплоноситель поочередно отбирает теплоту у сточных вод, вытяжной вентиляции и грунта.

Можно сделать вывод, что эффективность теплового насоса во многом зависит от условий его использования, что обязательно необходимо учитывать при проектировании теплонасосных установок или выборе готового оборудования.

3.2. СРАВНЕНИЕ ТНУ С АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ ОТОПЛЕНИЯ

При строительстве домов можно снизить стоимость дома, но потом из-за низкого термического сопротивления стен производить большие затраты на отопление. С другой стороны, увеличение толщины стен приводит к удорожанию дома. Предлагается снизить суммарные затраты на сооружение дома и отопление.

Для отопления рассмотрены четыре системы: 1) газовое с газовым котлом и конвективными радиаторами; 2) централизованное конвективными радиаторами; 3) электрическое – система теплый пол; 4) отопление с помощью теплового насоса и водяного теплого пола. В табл. 23 приведены затраты на монтаж этих систем и их эксплуатацию.


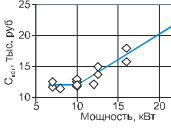
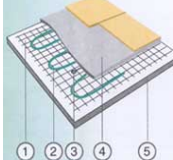

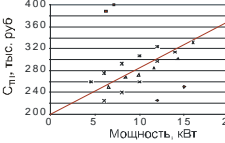
Таблица 24

Характеристики систем отопления

Тип	Затраты	
	Капитальные	Текущие

Централизованное	<p>Водяная система отопления с конвективными радиаторами</p> $IC_{от} = 1,2(A/2 \cdot C_{рад})$	<p>Стоимость теплоты</p> $P_{год.от} = \frac{Q_{год}^{от}}{4,186 \cdot 10^6} C_{Гкал}$
------------------	---	--

Окончание табл. 24

Тип	Затраты	
	Капитальные	Текущие
<p>Газовое</p> 	<p>Газовый отопительный котел и водяная система отопления с конвективными радиаторами</p> $IC_{от} = C_{кот} + 1,2(A/2 \cdot C_{рад})$ 	$P_{год.от} = \frac{Q_{год}^{от}}{Q_{п} \eta_{кот}} C_{пр.г}$
<p>Электрическое</p> 	<p>Система электрический теплый пол</p> $IC_{от} = C_{ЭТП} A$	$P_{год.от} = \frac{Q_{год}^{от}}{3600} C_{э.э}$
<p>Тепловой насос</p> 	<p>Теплонасосная установка и система «водяной теплый пол»</p> $IC_{от} = C_{ТН} + C_{ВТП} A$ 	$P_{год.от} = \frac{Q_{год}^{от}}{\mu 3600} C_{э.э}$

Обозначения: A – площадь дома, m^2 ; $C_{рад}$ – стоимость конвективного радиатора, руб.; $C_{кот}$ – стоимость котла, руб.; $Q_{год}^{от}$ – годовые затраты теплоты на отопление, кДж; $C_{Гкал}$ – стоимость Гкал, руб; $Q_{п}$ – теплота сгорания природного газа, кДж/м³; $C_{пр.г}$ – стоимость природного газа, руб/м³; $\eta_{кот}$ – КПД котла; $C_{ЭТП}$ – стоимость системы электрический теплый пол с монтажом, руб/м²; $C_{э.э}$ – стоимость электроэнергии, руб/Квт·ч; $C_{ТН}$ – стоимость теплонасосной установки, руб; $C_{ВТП}$ – стоимость системы водяной теплый пол с монтажом, руб/м²; μ – коэффициент преобразования энергии теплового насоса

Суммарные затраты на возведение жилого дома и его отопление (рис. 35) определялись с учетом инфляции и роста цен на энергоносители. Стоимость энергоносителей в t -м году C_t

$$C_t = C_0 (1 + k/100)^t$$

учитывала коэффициент увеличения стоимости k , %, принятый для природного газа 17, электроэнергии 12, централизованного теплоснабжения 15% в год.

Годовые дисконтированные затраты на отопление в t -м году

$$P_t = C_t Q_{\text{год}} / (1 + 0,01r)^t,$$

где r – ставка дисконтирования (индекс инфляции), 12%.

Суммарные затраты на строительство и отопление через N лет:

$$S = IC + \sum_{t=1}^N P_t.$$

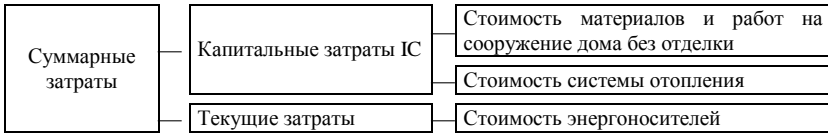


Рис. 35. Расчет суммарных затрат

Выбор оптимального варианта заключался в подборе материалов и толщины изоляции для обеспечения минимальных суммарных затрат через заданное количество лет.

В качестве энергосберегающего дома рассматривался такой, который обеспечивает минимальные суммарные затраты на сооружение и отопление. При выборе срока были сравнены суммарные затраты через 10, 20, 30, 40, 50 лет. Во всех случаях были получены близкие результаты. При увеличении срока немного увеличивалась стоимость дома и снижались затраты на отопление. Для дальнейших расчетов был выбран срок 30 лет. На рис. 36 приведены суммарные затраты на сооружение дома и отопления для четырех отопительных систем. Как видно из рис., электроотопление является самым затратным, а газовое – самым экономичным. Централизованное отопление по затратам находится между ними.

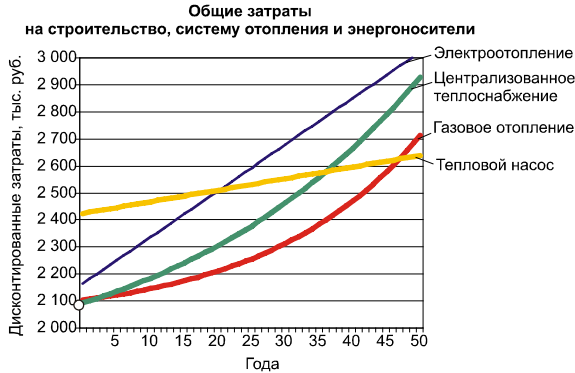


Рис. 36. Сравнение отопительных систем

Можно сделать вывод, что затраты на установку теплового насоса – самые большие. Но при этом он обеспечивает наименьшие затраты на отопление, а через 45 лет – самое экономичное отопление.

3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Одним из недостатков ТНУ является их высокая стоимость. Поэтому оптимизация узлов и, в частности, теплообменников, является актуальной задачей.

Тепловой режим работы теплообменников задается перепадом температур между теплоносителями на выходе из него. Снижение температурного перепада приводит к повышению площади поверхности теплообмена и увеличению стоимости теплообменника. Но при этом повышается коэффициент преобразования теплоты в тепловом насосе, так как снижается разница между температурами испарения и конденсации фреона. В программе при проектировании ТНУ определялся оптимальный температурный перепад для испарителя $\Delta t_{и}$, конденсатора $\Delta t_{к}$ и переохладителя $\Delta t_{по}$. При этом для комплексной оценки работы теплового насоса использовался интегральный экономический показатель – срок окупаемости.

Зависимость эффективности ТНУ от перепада температур в теплообменниках для одного из вариантов представлена на рис. 37.

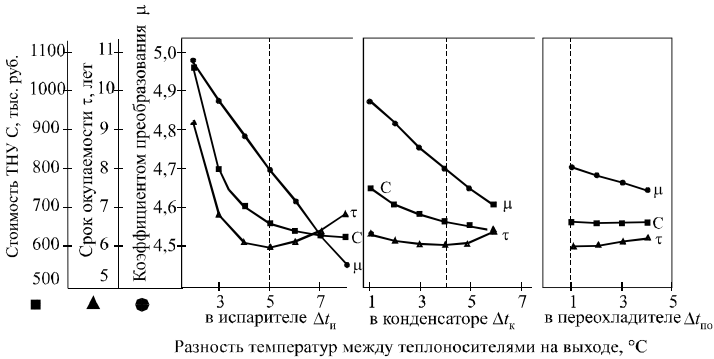


Рис. 37. Показатели эффективности ТНУ отопительной мощности 180 кВт с грунтовым теплообменником при изменении температурного напора в теплообменниках

В результате расчетов для рассматриваемых условий можно рекомендовать следующие температурные перепады:

- а) для ТНУ, использующего теплоту окружающей среды:
 - в испарителе 5 °C;
 - в конденсаторе 4 °C;
 - в переохладителе 1 °C;
- б) для ТНУ, утилизирующего сбросную теплоту:
 - в испарителе 7 °C;
 - в конденсаторе 6 °C;
 - в переохладителе 2 °C.

Можно сделать вывод, что оптимальное проектирование теплообменников ТНУ позволяет заметно снизить срок их окупаемости.

3.4. РАБОТА ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В НЕРАСЧЕТНЫХ УСЛОВИЯХ

Тепловые насосы предназначены для работы только в одном режиме. При отклонении параметров цикла теплового насоса от расчетных эффективность установки заметно снижается. Поэтому при проектировании теплонасосных установок обязательно должна оцениваться их работа при возможных отклонениях режимов, которые могут быть вызваны изменением: 1) тепловой мощности, отдаваемой потребителям; 2) требуемой температуры горячего теплоносителя; 3) температуры получаемого холодного теплоносителя.

Для расчета режимов работы ТНУ, отличающихся от номинальных, предлагается следующая методика. При проектировании теплового насоса по заданным температурам теплоносителей определяется площадь поверхности и конструктивные характеристики теплообменников. Расчет работы теплового насоса в других условиях заключается в определении неизвестных температур теплоносителей в теплообменниках при их известных характеристиках и производится в следующем порядке:

- 1) поверочный расчет теплообменников и определение температур конденсации и испарения рабочего агента;
- 2) расчет цикла рабочего агента;
- 3) определение коэффициентов μ и k .

В этом случае оптимизация режима работы теплового насоса (изменение скорости движения хладагента и теплоносителей) позволяет улучшить эффективность ТНУ при снижении нагрузки (табл. 25).

Таблица 25

Режимы работы теплового насоса при снижении нагрузки

Тепловая нагрузка		Коэффициент преобразования теплоты μ	Эксергетический КПД η_{Σ}	Коэффициент сжатия ε	Мощность, потребляемая электродвигателем $N_{\text{элв}}$	Перепад температур, °C	
% от номинальной	удельная q , кДж/кг					в конденсаторе Δt_k	в испарителе Δt_n
100	3613	4,00	0,57	6,55	1130	4	8
80	2890	4,19	0,60	6,07	861	2	5,5
60	2170	4,36	0,61	5,73	622	0,7	3,5
40	1450	4,49	0,63	5,51	404	0,1	1,7

Эти результаты не противоречат практике, так как ТНУ, рассчитанный на меньшую номинальную нагрузку имел бы лучшие показатели, чем более мощный ТНУ, работающий с меньшей нагрузкой.

Контрольные вопросы

1. Сравните существующие способы отопления по капитальным и текущим затратам.
2. Как перепад температур в теплообменнике влияет на эффективность и стоимость теплового насоса?

3. Чем могут быть вызваны отклонения параметров цикла работы теплонасосной установки от расчетных?

Заключение

В России, в отличие от ряда промышленно-развитых стран, применение тепловых насосов до настоящего времени не находит широкого применения. Основной причиной этого является существующая в России тарифная политика на энергоносители. Теплонасосные системы теплоснабжения уже сегодня успешно конкурируют с системами на электрических и жидкотопливных котлах. Экономическая эффективность энергосберегающих и экологически чистых теплонасосных систем будет возрастать по мере увеличения степени сбалансированности тарифов на энергоносители и ужесточения экологических требований.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ЗАДАНИЕ НА РГЗ

По исходным данным, приведенных в таблице, необходимо:

1. Рассчитать цикл идеального парокомпрессионного теплового насоса для четырех фреонов.
2. Рассчитать цикл парокомпрессионного теплового насоса с регенерацией теплоты для четырех фреонов.
3. Рассчитать цикл идеального парокомпрессионного теплового насоса с регенерацией теплоты им переохладителем для четырех фреонов.
4. Сравнить результаты расчета и выбрать наиболее эффективный вариант ТНУ.
5. Произвести расчет теплообменников для выбранного варианта.

Варианты исходных данных

№ п/п	Расход холодной воды G_n , кг/с	Температура холодной воды		Температура горячей воды		Температура окружающей среды t_0 , °C	Перегрев пара в промежуточном теплообменнике Δt_n , °C
		До теплового насоса t_{n1} , °C	После теплового насоса t_{n2} , °C	До теплового насоса t_{n1} , °C	После теплового насоса t_{n2} , °C		
1	10	25	10	46	61	5	3
2	15	26	11	47	62	6	4
3	20	26	11	48	63	6	5
4	25	26	11	49	64	6	2
5	30	27	12	50	65	7	3
6	35	27	12	51	66	7	4
7	40	27	12	52	67	7	5
8	45	28	13	53	68	8	2
9	50	28	13	54	69	8	3
10	5	28	13	45	60	8	4
11	10	29	14	46	61	9	5
12	15	29	14	47	62	9	2
13	20	29	14	48	63	9	3
14	25	30	15	49	64	10	4
15	30	30	15	50	65	10	5
16	35	30	15	51	66	10	2
17	40	31	16	52	67	11	3

Окончание прил. 1

№	Расход холодной воды G_n , кг/с	Температура холодной воды		Температура горячей воды		Температура окружающей среды t_0 , °C	Перегрев пара в промежуточном теплообменнике Δt_n , °C
		До теплого насоса t_{n1} , °C	После теплого насоса t_{n2} , °C	До теплого насоса t_{n1} , °C	После теплого насоса t_{n2} , °C		
18	45	31	16	53	68	11	4
19	50	31	16	54	69	11	5
20	5	32	17	45	60	12	2
21	10	32	17	46	61	12	3
22	15	32	17	47	62	12	4
23	20	33	18	48	63	13	5
24	25	33	18	49	64	13	2
25	30	33	18	50	65	13	3
26	35	34	19	51	66	14	4
27	40	34	19	52	67	14	5
28	45	34	19	53	68	14	2
29	50	35	20	54	69	15	3
30	5	35	20	45	60	15	4

Перепады температур в испарителе $\Delta t_{исп}$, конденсаторе Δt_k , переохладителе $\Delta t_{по}$:

группа №1 – $\Delta t_{исп} = \Delta t_k = \Delta t_{по} = 3$ °C;

группа №2 – $\Delta t_{исп} = \Delta t_k = \Delta t_{по} = 5$ °C.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФРЕОНОВ*

Условные обозначения:

 t – температура, °С; p – давление, МПа; ρ' – плотность жидкого фреона, кг/м³; v'' – удельный объем парообразного фреона, м³/кг; i' – энтальпия жидкого фреона, кДж/кг; i'' – энтальпия парообразного, кДж/кг; s' – энтропия жидкого фреона, кДж/(кг·К); s'' – энтропия парообразного фреона, кДж/(кг·К); c_p' – теплоемкость жидкого фреона, кДж/(кг·К); c_p'' – теплоемкость парообразного фреона, кДж/(кг·К); c_p/c_v – показатель адиабаты; μ' – динамический коэффициент вязкости жидкого фреона, мкПа·с; μ'' – динамический коэффициент вязкости пара, мкПа·с; λ' – коэффициент теплопроводности жидкого фреона, мВт/(м·К); λ'' – коэффициент теплопроводности пара, мВт/(м·К);

Верхние индексы:

 a – свойства в тройной точке; b – свойства при нормальном атмосферном давлении; c – свойства в критической точке.

* ASHARE Handbook Fundamentals [Электронное издание], 1997, 2001, 2005.

Фреон 11

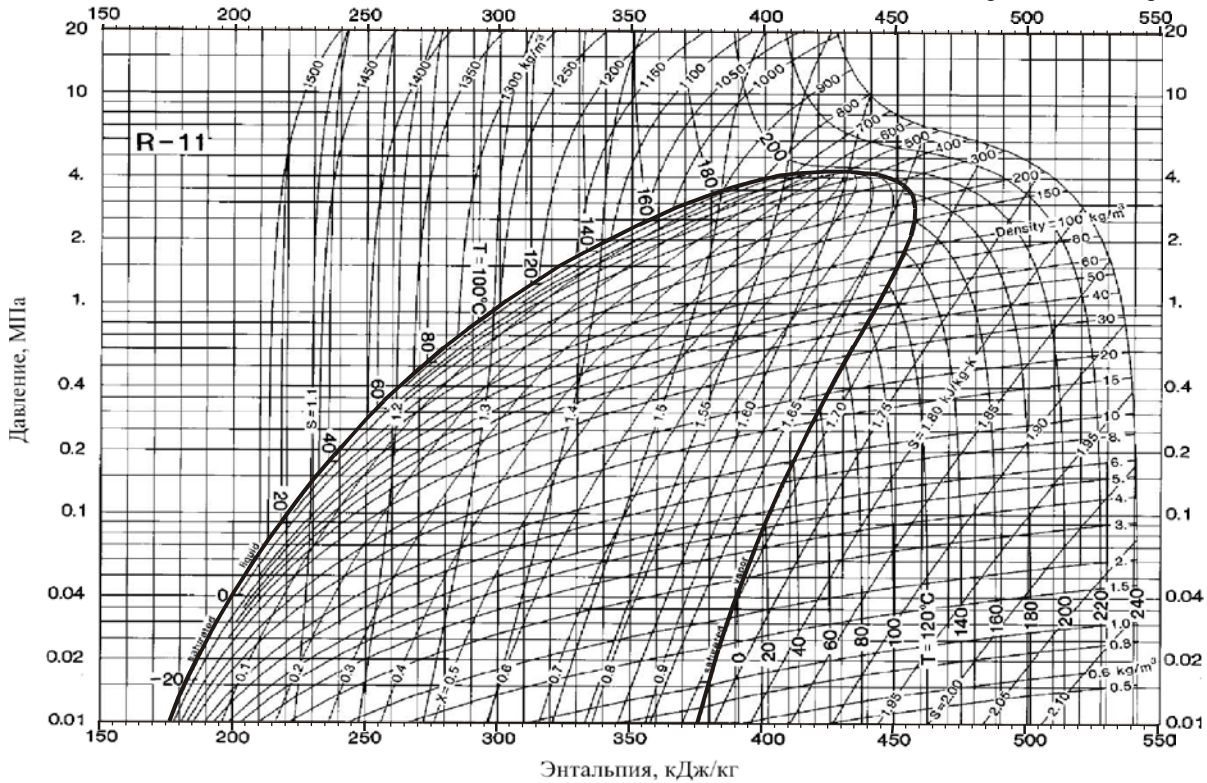
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-110,47a	0,00001	1768,5	1512,65	108,17	336,88	0,5694	1,9753	–	0,421	1,168	–	–	–	–
-110,00	0,00001	1767,6	1419,37	109,81	337,07	0,5795	1,9725	0,766	0,422	1,168	–	–	–	–
-100,00	0,00003	1747,4	402,55	117,55	341,36	0,6255	1,9181	0,781	0,437	1,161	–	–	–	–
-90,00	0,00008	1726,9	133,79	125,42	345,77	0,6697	1,8728	0,794	0,451	1,156	–	–	–	–
-80,00	0,00023	1706,2	50,774	133,41	350,31	0,7122	1,8351	0,804	0,465	1,151	–	–	–	–
-70,00	0,00057	1685,3	21,548	141,50	354,96	0,7530	1,8037	0,813	0,479	1,147	–	–	–	–
-60,00	0,00128	1664,3	10,055	149,66	359,71	0,7922	1,7777	0,820	0,493	1,144	–	–	–	–
-50,00	0,00265	1643,2	5,0875	157,89	364,56	0,8299	1,7561	0,826	0,507	1,141	–	–	–	–
-40,00	0,00509	1621,8	2,7595	166,19	369,48	0,8663	1,7382	0,832	0,521	1,138	–	–	–	–
-30,00	0,00919	1600,3	1,5892	174,54	374,48	0,9014	1,7236	0,838	0,535	1,137	789,6	–	–	–
-20,00	0,01573	1578,5	0,96383	182,96	379,53	0,9353	1,7118	0,845	0,548	1,136	710,7	9,48	100,7	–
-10,00	0,02567	1556,5	0,61141	191,44	384,64	0,9681	1,7023	0,852	0,562	1,135	636,1	9,82	98,2	–
0,00	0,04020	1534,1	0,40328	200,00	389,77	1,0000	1,6947	0,859	0,576	1,136	567,5	10,16	95,8	8,07
2,00	0,04377	1529,6	0,37264	201,72	390,80	1,0063	1,6935	0,861	0,578	1,136	554,5	10,23	95,3	8,13
4,00	0,04759	1525,0	0,34479	203,44	391,83	1,0125	1,6922	0,862	0,581	1,136	541,8	10,30	94,8	8,20
6,00	0,05167	1520,5	0,31943	205,17	392,86	1,0187	1,6911	0,864	0,584	1,136	529,3	10,37	94,3	8,26
8,00	0,05603	1515,9	0,29630	206,90	393,89	1,0249	1,6900	0,865	0,586	1,137	517,2	10,44	93,8	8,32
10,00	0,06068	1511,3	0,27518	208,64	394,92	1,0310	1,6889	0,867	0,589	1,137	505,2	10,51	93,4	8,39
12,00	0,06562	1506,7	0,25587	210,38	395,95	1,0371	1,6879	0,869	0,592	1,137	493,6	10,58	92,9	8,45
14,00	0,07088	1502,1	0,23819	212,12	396,99	1,0432	1,6870	0,871	0,595	1,138	482,2	10,65	92,4	8,52
16,00	0,07647	1497,4	0,22198	213,86	398,02	1,0492	1,6861	0,872	0,597	1,138	471,0	10,71	91,9	8,58

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
18,00	0,08240	1492,8	0,20710	215,61	399,05	1,0552	1,6853	0,874	0,600	1,138	460,2	10,78	91,4	8,65
20,00	0,08868	1488,1	0,19342	217,36	400,08	1,0612	1,6845	0,876	0,603	1,139	449,5	10,85	91,0	8,72
22,00	0,09534	1483,4	0,18083	219,12	401,10	1,0672	1,6838	0,878	0,606	1,139	439,1	10,93	90,5	8,78
23,71b	0,10132	1479,3	0,17086	220,62	401,98	1,0722	1,6832	0,880	0,608	1,140	430,5	10,99	90,1	8,84
24,00	0,10238	1478,6	0,16922	220,88	402,13	1,0731	1,6831	0,880	0,608	1,140	429,0	11,00	90,0	8,85
26,00	0,10982	1473,9	0,15852	222,64	403,16	1,0790	1,6824	0,882	0,611	1,141	419,1	11,07	89,5	8,92
28,00	0,11767	1469,1	0,14864	224,41	404,18	1,0849	1,6818	0,884	0,614	1,141	409,4	11,14	89,1	8,99
30,00	0,12596	1464,3	0,13950	226,19	405,21	1,0907	1,6813	0,886	0,617	1,142	400,0	11,21	88,6	9,06
32,00	0,13470	1459,5	0,13104	227,96	406,23	1,0965	1,6807	0,888	0,620	1,143	390,8	11,28	88,1	9,13
34,00	0,14389	1454,7	0,12320	229,74	407,25	1,1023	1,6803	0,890	0,622	1,144	381,9	11,36	87,6	9,20
36,00	0,15357	1449,8	0,11593	231,53	408,27	1,1081	1,6798	0,892	0,625	1,145	373,1	11,43	87,2	9,28
38,00	0,16374	1444,9	0,10918	233,32	409,28	1,1139	1,6794	0,894	0,628	1,146	364,6	11,50	86,7	9,35
40,00	0,17443	1440,0	0,10290	235,11	410,30	1,1196	1,6790	0,896	0,631	1,147	356,3	11,58	86,2	9,43
42,00	0,18564	1435,0	0,09706	236,91	411,31	1,1253	1,6787	0,899	0,634	1,148	348,2	11,65	85,8	9,50
44,00	0,19740	1430,0	0,09162	238,71	412,31	1,1310	1,6784	0,901	0,637	1,149	340,3	11,73	85,3	9,58
46,00	0,20973	1425,0	0,08656	240,52	413,32	1,1366	1,6781	0,903	0,640	1,150	332,6	11,80	84,8	9,66
48,00	0,22263	1420,0	0,08183	242,33	414,32	1,1423	1,6778	0,906	0,643	1,151	325,1	11,88	84,3	9,74
50,00	0,23614	1414,9	0,07741	244,15	415,32	1,1479	1,6776	0,908	0,646	1,152	317,8	11,96	83,9	9,82
55,00	0,27264	1402,1	0,06758	248,72	417,80	1,1618	1,6771	0,914	0,654	1,156	300,3	12,15	82,7	10,03
60,00	0,31329	1389,1	0,05924	253,32	420,25	1,1756	1,6767	0,921	0,662	1,160	283,9	12,35	81,5	10,24
65,00	0,35837	1375,9	0,05212	257,95	422,68	1,1893	1,6765	0,928	0,670	1,165	268,6	12,56	80,4	10,46
70,00	0,40818	1362,4	0,04601	262,62	425,08	1,2030	1,6764	0,935	0,679	1,170	254,2	12,76	79,2	10,70
75,00	0,46303	1348,7	0,04075	267,33	427,44	1,2165	1,6763	0,943	0,688	1,176	240,7	12,98	78,0	10,94

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p'/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
80,00	0,52323	1334,7	0,03620	272,08	429,76	1,2299	1,6764	0,951	0,698	1,183	228,1	13,20	76,9	11,19
85,00	0,58909	1320,4	0,03224	276,87	432,04	1,2432	1,6764	0,960	0,708	1,190	216,2	13,42	75,7	11,45
90,00	0,66094	1305,8	0,02879	281,70	434,27	1,2564	1,6766	0,969	0,719	1,199	205,1	13,65	74,6	11,72
95,00	0,73910	1290,9	0,02577	286,58	436,45	1,2696	1,6767	0,979	0,731	1,209	194,7	13,89	73,4	12,01
100,00	0,82390	1275,6	0,02312	291,50	438,57	1,2827	1,6769	0,989	0,744	1,219	185,0	14,14	72,3	12,30
105,00	0,91568	1259,9	0,02078	296,48	440,63	1,2958	1,6770	1,001	0,758	1,232	175,8	14,39	71,1	12,61
110,00	1,0148	1243,8	0,01870	301,51	442,63	1,3088	1,6771	1,013	0,773	1,246	167,2	14,65	70,0	12,93
115,00	1,1216	1227,2	0,01686	306,60	444,56	1,3218	1,6772	1,026	0,789	1,262	159,1	14,91	68,8	13,27
120,00	1,2364	1210,1	0,01522	311,75	446,40	1,3347	1,6772	1,041	0,807	1,280	151,5	15,19	67,6	13,61
125,00	1,3596	1192,4	0,01376	316,98	448,16	1,3477	1,6771	1,057	0,828	1,301	144,4	15,47	66,5	13,98
130,00	1,4916	1174,1	0,01244	322,27	449,82	1,3606	1,6770	1,075	0,851	1,325	137,7	15,77	65,3	14,36
135,00	1,6327	1155,1	0,01126	327,64	451,38	1,3735	1,6767	1,096	0,877	1,354	131,3	16,07	64,2	14,75
140,00	1,7834	1135,2	0,01019	333,10	452,81	1,3865	1,6763	1,119	0,907	1,388	125,4	16,38	63,0	15,16
145,00	1,9440	1114,4	0,00923	338,66	454,12	1,3995	1,6757	1,146	0,942	1,429	119,8	16,70	61,9	15,58
150,00	2,1151	1092,5	0,00835	344,33	455,26	1,4127	1,6748	1,178	0,985	1,478	–	–	–	–
155,00	2,2970	1069,3	0,00754	350,13	456,23	1,4259	1,6737	1,217	1,036	1,540	–	–	–	–
160,00	2,4903	1044,5	0,00681	356,08	456,99	1,4393	1,6722	1,266	1,100	1,618	–	–	–	–
165,00	2,6955	1017,9	0,00613	362,21	457,49	1,4529	1,6704	1,328	1,183	1,720	–	–	–	–
170,00	2,9131	988,7	0,00550	368,57	457,68	1,4668	1,6679	1,412	1,294	1,860	–	–	–	–
175,00	3,1440	956,3	0,00491	375,22	457,47	1,4812	1,6647	1,531	1,451	2,060	–	–	–	–
180,00	3,3888	919,3	0,00435	382,27	456,71	1,4963	1,6605	1,715	1,695	2,372	–	–	–	–
190,00	3,9250	820,6	0,00325	398,49	452,24	1,5303	1,6464	2,705	3,060	4,137	–	–	–	–
197,96c	4,4076	554,0	0,00181	428,64	428,64	1,5933	1,5933	∞	∞	∞	–	–	∞	∞



Фреон 12

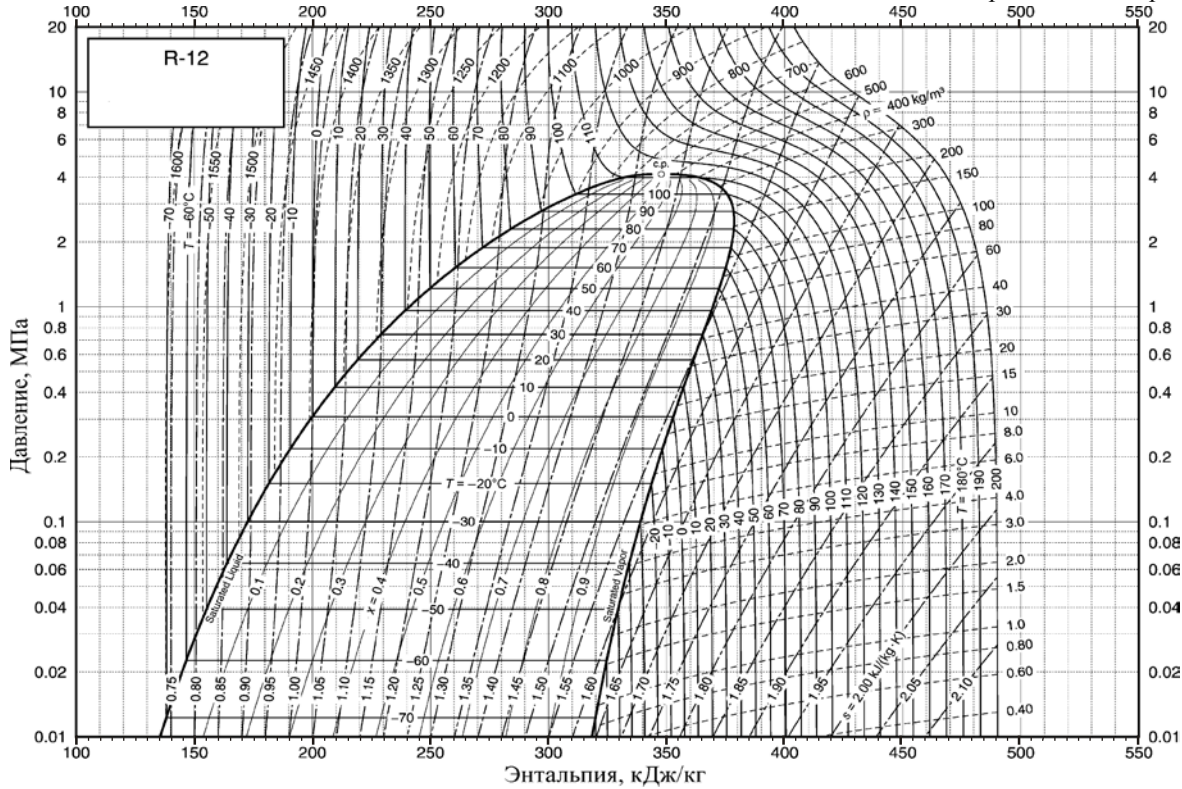
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-100	0,00119	1679,1	10,0040	113,32	306,09	0,6077	1,7210	0,819	0,449	1,182	1005,0	6,78	116,7	4,27
-90	0,00286	1652,8	4,3948	121,53	310,59	0,6538	1,6861	0,824	0,465	1,176	819,0	7,18	112,0	4,67
-80	0,00619	1626,3	2,1355	129,81	315,19	0,6978	1,6576	0,831	0,481	1,172	684,9	7,58	107,4	5,08
-70	0,01228	1599,5	1,1286	138,17	319,87	0,7400	1,6344	0,840	0,497	1,168	584,0	7,97	103,0	5,50
-60	0,02261	1572,3	0,63992	146,62	324,61	0,7806	1,6156	0,850	0,513	1,166	505,1	8,37	98,8	5,93
-50	0,03911	1544,7	0,38494	155,18	329,39	0,8197	1,6004	0,861	0,530	1,165	441,8	8,76	94,7	6,38
-40	0,06409	1516,5	0,24342	163,86	334,18	0,8577	1,5882	0,873	0,548	1,166	389,8	9,16	90,7	6,84
-30	0,10026	1487,7	0,16057	172,67	338,94	0,8946	1,5784	0,886	0,566	1,169	346,2	9,55	86,9	7,32
-29,75 ^b	0,10133	1487,0	0,15900	172,89	339,06	0,8955	1,5782	0,887	0,567	1,169	345,2	9,56	86,8	7,33
-28	0,10910	1481,9	0,14841	174,44	339,89	0,9019	1,5767	0,889	0,570	1,170	338,3	9,63	86,1	7,41
-26	0,11854	1476,0	0,13736	176,23	340,83	0,9091	1,5751	0,892	0,574	1,171	330,6	9,71	85,3	7,51
-24	0,12860	1470,1	0,12731	178,02	341,78	0,9163	1,5735	0,895	0,578	1,171	323,2	9,79	84,6	7,61
-22	0,13931	1464,1	0,11815	179,81	342,72	0,9234	1,5720	0,898	0,582	1,172	316,0	9,87	83,8	7,71
-20	0,15070	1458,1	0,10978	181,62	343,65	0,9305	1,5706	0,901	0,586	1,174	309,0	9,95	83,1	7,80
-18	0,16279	1452,1	0,10213	183,42	344,59	0,9376	1,5693	0,904	0,590	1,175	302,2	10,03	82,4	7,90
-16	0,17562	1446,1	0,09512	185,24	345,52	0,9447	1,5680	0,907	0,594	1,176	295,6	10,10	81,6	8,01
-14	0,18920	1440,0	0,08870	187,06	346,44	0,9517	1,5667	0,910	0,598	1,178	289,2	10,18	80,9	8,11
-12	0,20358	1433,8	0,08280	188,89	347,37	0,9587	1,5655	0,913	0,602	1,179	283,0	10,26	80,2	8,21
-10	0,21878	1427,6	0,07737	190,72	348,29	0,9656	1,5644	0,917	0,607	1,181	276,9	10,34	79,4	8,31
-8	0,23483	1421,4	0,07237	192,56	349,20	0,9726	1,5633	0,920	0,611	1,183	271,0	10,42	78,7	8,41
-6	0,25176	1415,1	0,06777	194,41	350,11	0,9795	1,5623	0,923	0,616	1,184	265,2	10,50	78,0	8,52
-4	0,26960	1408,8	0,06352	196,27	351,01	0,9863	1,5613	0,927	0,620	1,186	259,6	10,58	77,3	8,62

Продолжение прил. 2

t	p	p'	v''	i'	i''	s'	s''	cp'	cp''	cp/cv	μ'	μ''	λ'	λ''
-2	0,28839	1402,5	0,05959	198,13	351,91	0,9932	1,5603	0,930	0,625	1,189	254,1	10,66	76,6	8,73
0	0,30815	1396,1	0,05595	200,00	352,81	1,0000	1,5594	0,934	0,630	1,191	248,7	10,74	75,9	8,84
2	0,32891	1389,6	0,05258	201,88	353,69	1,0068	1,5586	0,938	0,635	1,193	243,5	10,82	75,1	8,95
4	0,35071	1383,1	0,04946	203,76	354,57	1,0136	1,5577	0,942	0,640	1,196	238,4	10,90	74,4	9,06
6	0,37358	1376,5	0,04656	205,65	355,45	1,0203	1,5569	0,946	0,645	1,199	233,4	10,98	73,7	9,17
8	0,39756	1369,9	0,04386	207,56	356,32	1,0270	1,5561	0,950	0,650	1,202	228,6	11,07	73,0	9,28
10	0,42267	1363,2	0,04135	209,46	357,18	1,0337	1,5554	0,954	0,656	1,205	223,8	11,15	72,3	9,39
12	0,44895	1356,5	0,03901	211,38	358,03	1,0404	1,5547	0,958	0,661	1,208	219,1	11,23	71,6	9,51
14	0,47643	1349,7	0,03683	213,31	358,88	1,0471	1,5540	0,962	0,667	1,211	214,6	11,31	70,9	9,62
16	0,50514	1342,8	0,03480	215,24	359,71	1,0537	1,5533	0,967	0,672	1,215	210,1	11,40	70,2	9,74
18	0,53513	1335,9	0,03290	217,18	360,54	1,0603	1,5527	0,971	0,678	1,219	205,7	11,48	69,6	9,86
20	0,56642	1328,9	0,03112	219,14	361,36	1,0669	1,5521	0,976	0,685	1,223	201,4	11,57	68,9	9,98
22	0,59905	1321,8	0,02946	221,10	362,17	1,0735	1,5515	0,981	0,691	1,228	197,2	11,65	68,2	10,10
24	0,63305	1314,6	0,02790	223,07	362,97	1,0801	1,5509	0,986	0,697	1,232	193,1	11,74	67,5	10,23
26	0,66846	1307,4	0,02643	225,05	363,76	1,0866	1,5503	0,991	0,704	1,237	189,0	11,83	66,8	10,36
28	0,70531	1300,1	0,02506	227,04	364,54	1,0932	1,5498	0,997	0,711	1,242	185,0	11,92	66,1	10,49
30	0,74365	1292,7	0,02377	229,04	365,31	1,0997	1,5492	1,002	0,718	1,248	181,1	12,01	65,4	10,62
32	0,78350	1285,2	0,02256	231,06	366,07	1,1062	1,5487	1,008	0,726	1,254	177,3	12,10	64,8	10,75
34	0,82491	1277,6	0,02142	233,08	366,81	1,1127	1,5481	1,014	0,734	1,260	173,5	12,19	64,1	10,89
36	0,86791	1269,9	0,02034	235,12	367,54	1,1192	1,5476	1,020	0,742	1,267	169,8	12,28	63,4	11,03
38	0,91253	1262,2	0,01933	237,16	368,26	1,1257	1,5470	1,026	0,750	1,274	166,1	12,38	62,7	11,18
40	0,95882	1254,3	0,01838	239,22	368,96	1,1322	1,5465	1,033	0,759	1,282	162,5	12,48	62,1	11,33
42	1,00680	1246,3	0,01748	241,29	369,65	1,1387	1,5459	1,040	0,768	1,290	159,0	12,57	61,4	11,48

Продолжение прил. 2

t	p	p'	v''	i'	i''	s'	s''	cp'	cp''	cp/cv	μ'	μ''	λ'	λ''
44	1,05660	1238,1	0,01662	243,38	370,33	1,1451	1,5454	1,048	0,778	1,299	155,5	12,67	60,7	11,63
46	1,10810	1229,9	0,01582	245,47	370,98	1,1516	1,5448	1,055	0,788	1,308	152,0	12,78	60,0	11,79
48	1,16140	1221,5	0,01505	247,59	371,62	1,1580	1,5443	1,063	0,798	1,318	148,6	12,88	59,4	11,96
50	1,21660	1213,0	0,01433	249,71	372,24	1,1645	1,5437	1,072	0,810	1,329	145,3	12,99	58,7	12,13
52	1,27370	1204,4	0,01365	251,85	372,85	1,1710	1,5431	1,081	0,821	1,340	141,9	13,10	58,0	12,31
54	1,33270	1195,6	0,01300	254,01	373,43	1,1774	1,5425	1,090	0,834	1,353	138,7	13,21	57,3	12,49
56	1,39380	1186,6	0,01238	256,18	373,99	1,1839	1,5418	1,100	0,847	1,366	135,4	13,33	56,7	12,68
58	1,45680	1177,5	0,01180	258,38	374,53	1,1904	1,5411	1,111	0,861	1,381	132,2	13,45	56,0	12,87
60	1,52190	1168,1	0,01124	260,58	375,05	1,1969	1,5404	1,122	0,876	1,397	129,1	13,57	55,3	13,08
62	1,58920	1158,6	0,01071	262,81	375,54	1,2033	1,5397	1,135	0,892	1,414	125,9	13,70	54,7	13,29
64	1,65860	1148,9	0,01021	265,06	376,00	1,2099	1,5389	1,148	0,910	1,433	122,8	13,83	54,0	13,51
66	1,73020	1139,0	0,00973	267,33	376,44	1,2164	1,5381	1,162	0,929	1,453	119,7	13,96	53,3	13,75
68	1,80410	1128,8	0,00927	269,62	376,84	1,2229	1,5372	1,177	0,949	1,476	116,7	14,11	52,6	13,99
70	1,88020	1118,3	0,00883	271,94	377,22	1,2295	1,5363	1,193	0,971	1,501	113,6	14,26	52,0	14,25
75	2,08110	1090,9	0,00782	277,84	377,99	1,2461	1,5337	1,241	1,037	1,576	106,1	14,66	50,3	14,96
80	2,29750	1061,4	0,00691	283,94	378,48	1,2629	1,5306	1,302	1,122	1,677	98,6	15,11	48,7	15,80
85	2,53040	1029,1	0,00608	290,27	378,64	1,2801	1,5268	1,384	1,239	1,817	91,1	15,65	47,2	16,82
90	2,78080	993,2	0,00533	296,91	378,35	1,2978	1,5220	1,501	1,410	2,026	83,4	16,29	45,9	18,11
95	3,05010	952,2	0,00463	303,95	377,45	1,3163	1,5159	1,679	1,683	2,362	75,6	17,11	45,1	19,81
100	3,33990	903,8	0,00396	311,58	375,60	1,3360	1,5076	1,996	2,192	2,990	67,3	18,20	45,7	22,27
105	3,65250	842,2	0,00330	320,24	372,08	1,3581	1,4952	2,754	3,458	4,544	58,1	19,87	51,7	26,34
110	3,99240	742,7	0,00252	331,82	363,95	1,3874	1,4712	7,81	11,440	14,140	46,3	23,46	113,7	39,46
111,97 ^c	4,13610	565,0	0,00177	347,76	347,76	1,4283	1,4283	∞	∞	∞	-	-	∞	∞



Фреон 22

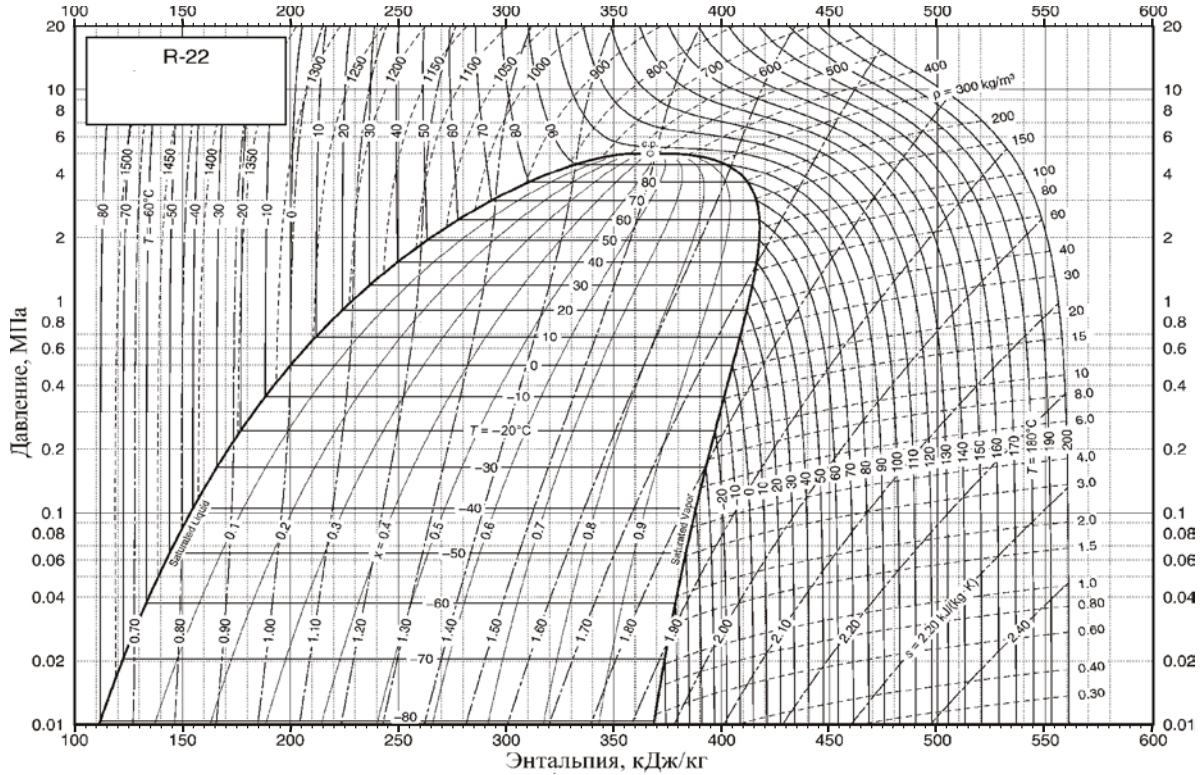
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p'/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-100	0,00201	1571,3	8,26600	90,71	358,97	0,5050	2,0543	1,061	0,497	1,243	845,8	7,25	143,1	4,46
-90	0,00481	1544,9	3,64480	101,32	363,85	0,5646	1,9980	1,061	0,512	1,237	699,4	7,67	137,8	4,84
-80	0,01037	1518,2	1,77820	111,94	368,77	0,6210	1,9508	1,062	0,528	1,233	591,0	8,09	132,6	5,25
-70	0,02047	1491,2	0,94342	122,58	373,70	0,6747	1,9108	1,065	0,545	1,231	507,6	8,52	127,6	5,68
-60	0,03750	1463,7	0,53680	133,27	378,59	0,7260	1,8770	1,071	0,564	1,230	441,4	8,94	122,6	6,12
-50	0,06453	1435,6	0,32385	144,03	383,42	0,7752	1,8480	1,079	0,585	1,232	387,5	9,36	117,8	6,59
-48	0,07145	1429,9	0,29453	146,19	384,37	0,7849	1,8428	1,081	0,589	1,233	377,8	9,45	116,9	6,69
-46	0,07894	1424,2	0,26837	148,36	385,32	0,7944	1,8376	1,083	0,594	1,234	368,6	9,53	115,9	6,79
-44	0,08705	1418,4	0,24498	150,53	386,26	0,8039	1,8327	1,086	0,599	1,235	359,6	9,62	115,0	6,89
-42	0,09580	1412,6	0,22402	152,70	387,20	0,8134	1,8278	1,088	0,603	1,236	351,0	9,70	114,0	6,99
-40,81b	0,10132	1409,2	0,21260	154,00	387,75	0,8189	1,8250	1,090	0,606	1,236	346,0	9,75	113,5	7,05
-40	0,10523	1406,8	0,20521	154,89	388,13	0,8227	1,8231	1,091	0,608	1,237	342,6	9,79	113,1	7,09
-38	0,11538	1401,0	0,18829	157,07	389,06	0,8320	1,8186	1,093	0,613	1,238	334,5	9,87	112,2	7,19
-36	0,12628	1395,1	0,17304	159,27	389,97	0,8413	1,8141	1,096	0,619	1,239	326,7	9,96	111,2	7,29
-34	0,13797	1389,1	0,15927	161,47	390,89	0,8505	1,8098	1,099	0,624	1,241	319,1	10,04	110,3	7,40
-32	0,15050	1383,2	0,14682	163,67	391,79	0,8596	1,8056	1,102	0,629	1,242	311,7	10,12	109,4	7,51
-30	0,16389	1377,2	0,13553	165,88	392,69	0,8687	1,8015	1,105	0,635	1,244	304,6	10,21	108,5	7,61
-28	0,17819	1371,1	0,12528	168,10	393,58	0,8778	1,7975	1,108	0,641	1,246	297,7	10,29	107,5	7,72
-26	0,19344	1365,0	0,11597	170,33	394,47	0,8868	1,7937	1,112	0,646	1,248	291,0	10,38	106,6	7,83
-24	0,20968	1358,9	0,10749	172,56	395,34	0,8957	1,7899	1,115	0,653	1,250	284,4	10,46	105,7	7,94
-22	0,22696	1352,7	0,09975	174,80	396,21	0,9046	1,7862	1,119	0,659	1,253	278,1	10,55	104,8	8,06
-20	0,24531	1346,5	0,09268	177,04	397,06	0,9135	1,7826	1,123	0,665	1,255	271,9	10,63	103,9	8,17
-18	0,26479	1340,3	0,08621	179,30	397,91	0,9223	1,7791	1,127	0,672	1,258	265,9	10,72	103,0	8,29
-16	0,28543	1334,0	0,08029	181,56	398,75	0,9311	1,7757	1,131	0,678	1,261	260,1	10,80	102,1	8,40

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-14	0,30728	1327,6	0,07485	183,83	399,57	0,9398	1,7723	1,135	0,685	1,264	254,4	10,89	101,1	8,52
-12	0,33038	1321,2	0,06986	186,11	400,39	0,9485	1,7690	1,139	0,692	1,267	248,8	10,98	100,2	8,65
-10	0,35479	1314,7	0,06527	188,40	401,20	0,9572	1,7658	1,144	0,699	1,270	243,4	11,06	99,3	8,77
-8	0,38054	1308,2	0,06103	190,70	401,99	0,9658	1,7627	1,149	0,707	1,274	238,1	11,15	98,4	8,89
-6	0,40769	1301,6	0,05713	193,01	402,77	0,9744	1,7596	1,154	0,715	1,278	233,0	11,24	97,5	9,02
-4	0,43628	1295,0	0,05352	195,33	403,55	0,9830	1,7566	1,159	0,722	1,282	227,9	11,32	96,6	9,15
-2	0,46636	1288,3	0,05019	197,66	404,30	0,9915	1,7536	1,164	0,731	1,287	223,0	11,41	95,7	9,28
0	0,49799	1281,5	0,04710	200,00	405,05	1,0000	1,7507	1,169	0,739	1,291	218,2	11,50	94,8	9,42
2	0,53120	1274,7	0,04424	202,35	405,78	1,0085	1,7478	1,175	0,748	1,296	213,5	11,59	93,9	9,56
4	0,56605	1267,8	0,04159	204,71	406,50	1,0169	1,7450	1,181	0,757	1,301	208,9	11,68	93,1	9,70
6	0,60259	1260,8	0,03913	207,09	407,20	1,0254	1,7422	1,187	0,766	1,307	204,4	11,77	92,2	9,84
8	0,64088	1253,8	0,03683	209,47	407,89	1,0338	1,7395	1,193	0,775	1,313	200,0	11,86	91,3	9,99
10	0,68095	1246,7	0,03470	211,87	408,56	1,0422	1,7368	1,199	0,785	1,319	195,7	11,96	90,4	10,14
12	0,72286	1239,5	0,03271	214,28	409,21	1,0505	1,7341	1,206	0,795	1,326	191,5	12,05	89,5	10,29
14	0,76668	1232,2	0,03086	216,70	409,85	1,0589	1,7315	1,213	0,806	1,333	187,3	12,14	88,6	10,45
16	0,81244	1224,9	0,02912	219,14	410,47	1,0672	1,7289	1,220	0,817	1,340	183,2	12,24	87,7	10,61
18	0,86020	1217,4	0,02750	221,59	411,07	1,0755	1,7263	1,228	0,828	1,348	179,2	12,33	86,8	10,77
20	0,91002	1209,9	0,02599	224,06	411,66	1,0838	1,7238	1,236	0,840	1,357	175,3	12,43	85,9	10,95
22	0,96195	1202,3	0,02457	226,54	412,22	1,0921	1,7212	1,244	0,853	1,366	171,5	12,53	85,0	11,12
24	1,01600	1194,6	0,02324	229,04	412,77	1,1004	1,7187	1,252	0,866	1,375	167,7	12,63	84,1	11,30
26	1,07240	1186,7	0,02199	231,55	413,29	1,1086	1,7162	1,261	0,879	1,385	163,9	12,74	83,2	11,49
28	1,13090	1178,8	0,02082	234,08	413,79	1,1169	1,7136	1,271	0,893	1,396	160,3	12,84	82,3	11,69
30	1,19190	1170,7	0,01972	236,62	414,26	1,1252	1,7111	1,281	0,908	1,408	156,7	12,95	81,4	11,89

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
32	1,25520	1162,6	0,01869	239,19	414,71	1,1334	1,7086	1,291	0,924	1,420	153,1	13,06	80,5	12,10
34	1,32100	1154,3	0,01771	241,77	415,14	1,1417	1,7061	1,302	0,940	1,434	149,6	13,17	79,6	12,31
36	1,38920	1145,8	0,01679	244,38	415,54	1,1499	1,7036	1,314	0,957	1,448	146,1	13,28	78,7	12,54
38	1,46010	1137,3	0,01593	247,00	415,91	1,1582	1,7010	1,326	0,976	1,463	142,7	13,40	77,8	12,77
40	1,53360	1128,5	0,01511	249,65	416,25	1,1665	1,6985	1,339	0,995	1,480	139,4	13,52	76,9	13,02
42	1,60980	1119,6	0,01433	252,32	416,55	1,1747	1,6959	1,353	1,015	1,498	136,1	13,64	76,0	13,28
44	1,68870	1110,6	0,01360	255,01	416,83	1,1830	1,6933	1,368	1,037	1,517	132,8	13,77	75,1	13,55
46	1,77040	1101,4	0,01291	257,73	417,07	1,1913	1,6906	1,384	1,061	1,538	129,5	13,90	74,1	13,83
48	1,85510	1091,9	0,01226	260,47	417,27	1,1997	1,6879	1,401	1,086	1,561	126,3	14,04	73,2	14,13
50	1,94270	1082,3	0,01163	263,25	417,44	1,2080	1,6852	1,419	1,113	1,586	123,1	14,18	72,3	14,45
52	2,03330	1072,4	0,01104	266,05	417,56	1,2164	1,6824	1,439	1,142	1,614	120,0	14,32	71,4	14,78
54	2,12700	1062,3	0,01048	268,89	417,63	1,2248	1,6795	1,461	1,173	1,644	116,9	14,47	70,4	15,14
56	2,22390	1052,0	0,00995	271,76	417,66	1,2333	1,6766	1,485	1,208	1,677	113,8	14,63	69,5	15,52
58	2,32400	1041,3	0,00944	274,66	417,63	1,2418	1,6736	1,511	1,246	1,714	110,7	14,80	68,6	15,92
60	2,42750	1030,4	0,00896	277,61	417,55	1,2504	1,6705	1,539	1,287	1,755	107,6	14,98	67,6	16,36
65	2,70120	1001,4	0,00785	285,18	417,06	1,2722	1,6622	1,626	1,413	1,881	100,0	15,46	65,3	17,61
70	2,99740	969,7	0,00685	293,10	416,09	1,2945	1,6529	1,743	1,584	2,056	92,4	16,02	62,9	19,16
75	3,31770	934,4	0,00595	301,46	414,49	1,3177	1,6424	1,913	1,832	2,315	84,6	16,70	60,6	21,16
80	3,66380	893,7	0,00512	310,44	412,01	1,3423	1,6299	2,181	2,231	2,735	76,6	17,55	58,6	23,87
85	4,03780	844,8	0,00434	320,38	408,19	1,3690	1,6142	2,682	2,984	3,532	68,1	18,71	57,4	27,82
90	4,44230	780,1	0,00356	332,09	401,87	1,4001	1,5922	3,981	4,975	5,626	58,3	20,48	59,3	34,55
95	4,88240	662,9	0,00262	349,56	387,28	1,4462	1,5486	17,31	25,29	26,43	44,4	24,76	83,5	59,15
96,15c	4,99000	523,8	0,00191	366,90	366,90	1,4927	1,4927	∞	∞	∞	—	—	∞	∞



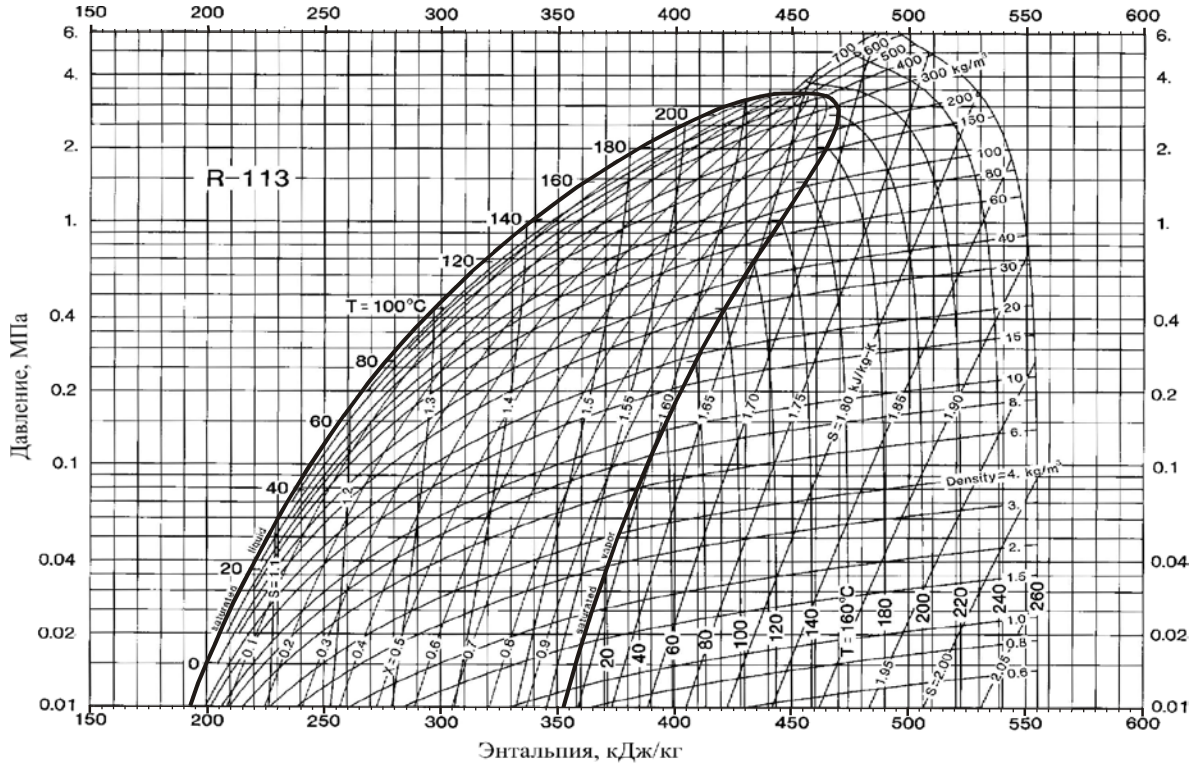
Фреон 113

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-30,00	0,00286	1685,7	3,7614	173,90	339,42	0,8989	1,5796	–	–	–	–	–	–	–
-25,00	0,00389	1674,7	2,8148	178,14	342,46	0,9161	1,5783	–	–	–	–	–	–	–
-20,00	0,00523	1663,7	2,1351	182,43	345,53	0,9332	1,5775	–	–	–	–	–	–	–
-15,00	0,00694	1652,6	1,6401	186,76	348,62	0,9502	1,5772	–	–	–	–	–	–	–
-10,00	0,00908	1641,5	1,2748	191,13	351,72	0,9669	1,5772	–	–	–	–	–	–	–
-8,00	0,01008	1637,0	1,1562	192,89	352,97	0,9736	1,5773	–	–	–	–	–	–	–
-6,00	0,01117	1632,5	1,0505	194,66	354,22	0,9802	1,5775	–	–	–	–	–	–	–
-4,00	0,01236	1628,0	0,95598	196,43	355,47	0,9869	1,5777	–	–	–	–	–	–	–
-2,00	0,01365	1623,5	0,87144	198,21	356,72	0,9934	1,5780	–	–	–	–	–	–	–
0,00	0,01505	1619,0	0,79563	200,00	357,97	1,0000	1,5783	0,921	–	–	954,8	8,16	81,9	7,69
2,00	0,01656	1614,5	0,72756	201,79	359,23	1,0065	1,5787	0,925	–	–	928,8	8,32	81,6	7,78
4,00	0,01820	1609,9	0,66631	203,59	360,49	1,0131	1,5792	0,928	–	–	903,6	8,47	81,2	7,88
6,00	0,01997	1605,4	0,61113	205,40	361,75	1,0195	1,5796	0,931	–	–	879,4	8,62	80,9	7,98
8,00	0,02187	1600,8	0,56132	207,21	363,01	1,0260	1,5802	0,934	–	–	855,9	8,76	80,5	8,07
10,00	0,02392	1596,2	0,51630	209,03	364,28	1,0325	1,5807	0,937	–	–	833,3	8,90	80,2	8,17
12,00	0,02613	1591,6	0,47554	210,86	365,54	1,0389	1,5813	0,940	–	–	811,4	9,04	79,8	8,26
14,00	0,02849	1587,0	0,43859	212,69	366,81	1,0453	1,5820	0,943	–	–	790,3	9,17	79,5	8,36
16,00	0,03103	1582,4	0,40503	214,53	368,08	1,0516	1,5827	0,945	–	–	769,9	9,29	79,1	8,45
18,00	0,03375	1577,8	0,37452	216,37	369,35	1,0580	1,5834	0,948	–	–	750,2	9,42	78,8	8,55
20,00	0,03666	1573,1	0,34673	218,22	370,62	1,0643	1,5842	0,950	–	–	731,1	9,53	78,4	8,64
22,00	0,03976	1568,5	0,32140	220,08	371,89	1,0706	1,5850	0,953	–	–	712,7	9,65	78,1	8,74

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
24,00	0,04307	1563,8	0,29827	221,94	373,16	1,0769	1,5858	0,955	–	–	694,8	9,76	77,7	8,83
26,00	0,04660	1559,1	0,27712	223,81	374,43	1,0832	1,5867	0,958	–	–	677,6	9,86	77,4	8,93
28,00	0,05036	1554,4	0,25776	225,69	375,71	1,0894	1,5876	0,960	–	–	660,9	9,97	77,0	9,03
30,00	0,05436	1549,6	0,24001	227,57	376,98	1,0956	1,5885	0,962	–	–	644,7	10,07	76,7	9,12
32,00	0,05860	1544,9	0,22373	229,45	378,25	1,1018	1,5894	0,964	–	–	629,1	10,16	76,3	9,22
34,00	0,06310	1540,1	0,20877	231,34	379,53	1,1080	1,5904	0,966	–	–	613,9	10,26	75,9	9,32
36,00	0,06788	1535,3	0,19501	233,24	380,80	1,1141	1,5914	0,969	–	–	599,3	10,35	75,6	9,41
38,00	0,07293	1530,5	0,18233	235,14	382,08	1,1203	1,5925	0,971	–	–	585,1	10,43	75,2	9,51
40,00	0,07828	1525,7	0,17064	237,05	383,35	1,1264	1,5935	0,973	0,707	–	571,3	10,52	74,9	9,61
42,00	0,08393	1520,9	0,15986	238,97	384,62	1,1324	1,5946	0,975	0,712	–	558,0	10,60	74,5	9,70
44,00	0,08990	1516,0	0,14989	240,89	385,90	1,1385	1,5957	0,977	0,717	–	545,1	10,68	74,2	9,80
46,00	0,09619	1511,2	0,14067	242,81	387,17	1,1445	1,5969	0,979	0,721	–	532,6	10,76	73,8	9,90
47,56b	0,10132	1507,3	0,13397	244,31	388,16	1,1492	1,5978	0,980	0,724	–	523,1	10,81	73,6	9,98
48,00	0,10282	1506,3	0,13214	244,74	388,44	1,1505	1,5980	0,981	0,725	–	520,5	10,83	73,5	10,00
50,00	0,10981	1501,3	0,12423	246,68	389,72	1,1565	1,5992	0,983	0,729	–	508,8	10,90	73,1	10,10
55,00	0,12889	1489,0	0,10684	251,53	392,89	1,1714	1,6022	0,988	0,738	–	480,9	11,07	72,3	10,34
60,00	0,15045	1476,4	0,09235	256,43	396,07	1,1862	1,6053	0,993	0,745	–	455,1	11,23	71,4	10,59
65,00	0,17468	1463,7	0,08018	261,35	399,23	1,2008	1,6086	0,999	0,751	–	431,1	11,38	70,5	10,84
70,00	0,20181	1450,8	0,06992	266,30	402,39	1,2153	1,6119	1,004	0,757	–	408,9	11,52	69,6	11,10
75,00	0,23204	1437,8	0,06123	271,27	405,54	1,2296	1,6152	1,010	0,762	–	388,2	11,65	68,8	11,35
80,00	0,26559	1424,6	0,05381	276,28	408,67	1,2438	1,6187	1,016	0,768	–	368,9	11,78	67,9	11,61
85,00	0,30270	1411,1	0,04747	281,32	411,80	1,2579	1,6222	1,023	0,773	–	350,9	11,91	67,0	11,88
90,00	0,34358	1397,4	0,04201	286,38	414,90	1,2719	1,6258	1,030	0,780	–	334,2	12,03	66,1	12,14

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
95,00	0,38848	1383,5	0,03730	291,47	417,99	1,2857	1,6294	1,038	0,787	–	318,5	12,16	65,3	12,41
100,00	0,43764	1369,3	0,03321	296,59	421,07	1,2994	1,6330	1,047	0,795	–	303,8	12,29	64,4	12,68
105,00	0,49129	1354,9	0,02964	301,73	424,12	1,3130	1,6366	1,056	0,805	–	290,1	12,42	63,5	12,95
110,00	0,54969	1340,1	0,02653	306,91	427,14	1,3265	1,6403	1,067	0,817	–	277,3	12,56	62,6	13,23
115,00	0,61310	1325,0	0,02379	312,12	430,14	1,3399	1,6439	1,078	0,830	–	265,2	12,70	61,8	13,52
120,00	0,68177	1309,5	0,02138	317,36	433,11	1,3532	1,6476	1,090	0,847	–	253,9	12,86	60,9	13,80
125,00	0,75598	1293,5	0,01925	322,64	436,05	1,3664	1,6512	1,103	0,866	–	243,3	13,03	60,0	14,09
130,00	0,83600	1277,2	0,01736	327,96	438,95	1,3795	1,6548	1,118	0,888	–	233,3	13,21	59,2	14,39
135,00	0,92212	1260,3	0,01568	333,32	441,81	1,3925	1,6583	1,133	0,913	–	223,8	13,40	58,3	14,69
140,00	1,0146	1242,8	0,01418	338,73	444,61	1,4055	1,6618	1,150	0,942	–	215,0	13,62	57,4	15,00
145,00	1,1139	1224,7	0,01283	344,19	447,37	1,4184	1,6652	1,168	0,975	–	206,6	13,85	56,6	15,31
150,00	1,2201	1205,9	0,01162	349,71	450,06	1,4314	1,6685	1,188	1,012	–	198,7	14,10	55,7	15,62
155,00	1,3337	1186,3	0,01053	355,30	452,68	1,4443	1,6717	1,209	–	–	191,2	14,37	54,9	15,94
160,00	1,4550	1165,7	0,00954	360,97	455,21	1,4572	1,6748	1,231	–	–	184,2	14,67	54,0	16,27
165,00	1,5845	1144,0	0,00864	366,73	457,65	1,4701	1,6776	1,256	–	–	177,5	14,99	53,1	16,60
170,00	1,7224	1121,0	0,00782	372,60	459,97	1,4832	1,6803	1,282	–	–	171,2	15,34	52,3	16,94
175,00	1,8693	1096,4	0,00707	378,59	462,15	1,4963	1,6828	1,310	–	–	165,2	15,72	–	–
180,00	2,0256	1069,9	0,00637	384,75	464,17	1,5096	1,6849	1,339	–	–	–	16,13	–	–
185,00	2,1918	1040,9	0,00573	391,10	465,97	1,5232	1,6866	–	–	–	–	–	–	–
190,00	2,3685	1008,8	0,00513	397,71	467,49	1,5371	1,6878	–	–	–	–	–	–	–
200,00	2,7562	929,6	0,00401	412,08	469,26	1,5668	1,6876	–	–	–	–	–	–	–
210,00	3,1968	800,3	0,00286	430,26	466,91	1,6031	1,6789	–	–	–	–	–	–	–
214,40c	3,411	570,	0,00175	453,6	453,6	1,647	1,647	∞	∞	∞	–	–	∞	∞



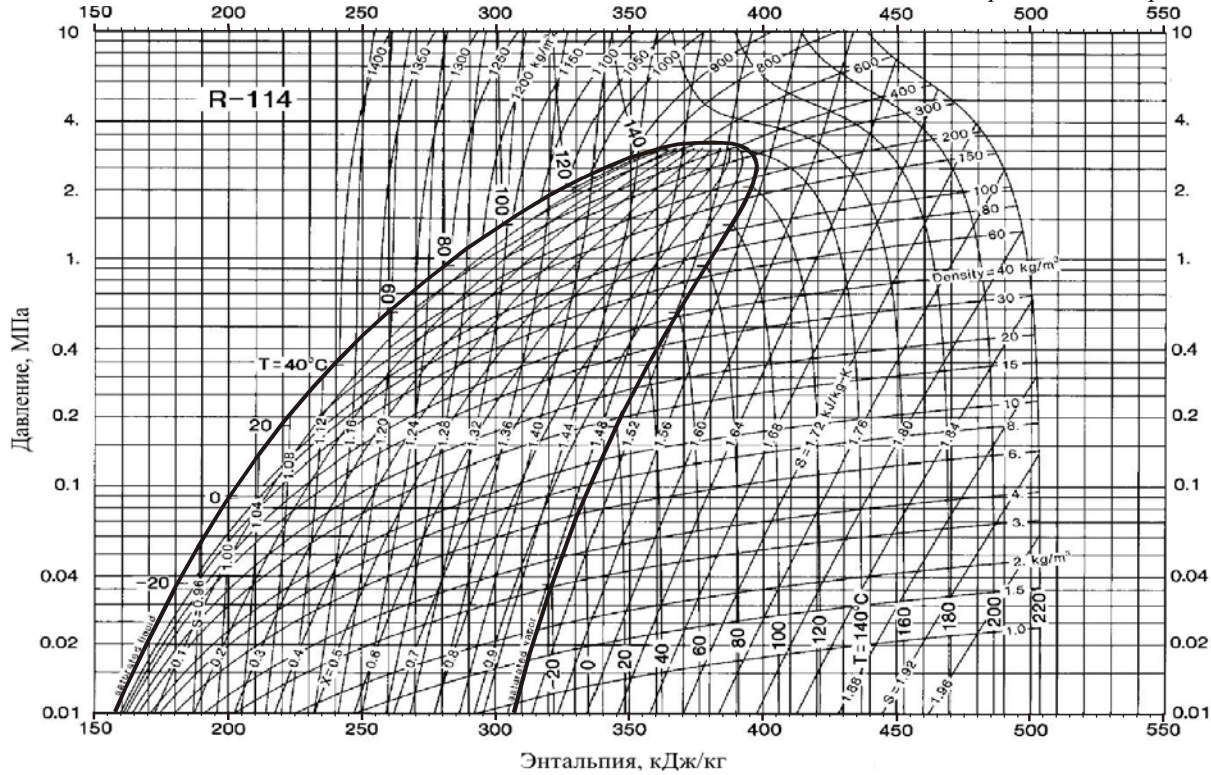
Фреон 114

t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p'/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-80,00	0,00077	1579,4	12,166	121,12	287,70	0,6572	1,5229	-	-	-	-	-	-	-
-75,00	0,00118	1577,1	8,1724	126,47	290,32	0,6845	1,5157	-	-	-	-	-	-	-
-70,00	0,00176	1574,6	5,6120	131,73	292,99	0,7108	1,5096	-	-	-	-	-	-	-
-65,00	0,00257	1572,0	3,9331	136,91	295,69	0,7360	1,5044	-	-	-	-	-	-	-
-60,00	0,00367	1569,1	2,8091	142,02	298,43	0,7602	1,5000	-	-	-	-	-	-	-
-55,00	0,00517	1566,0	2,0418	147,07	301,21	0,7836	1,4963	-	-	-	-	-	-	-
-50,00	0,00714	1562,6	1,5084	152,05	304,01	0,8062	1,4934	-	-	-	-	-	-	-
-45,00	0,00972	1558,9	1,1314	156,98	306,84	0,8280	1,4911	-	-	-	-	-	-	-
-40,00	0,01303	1554,9	0,86072	161,86	309,70	0,8492	1,4894	0,867	0,581	-	831,5	-	80,5	-
-35,00	0,01723	1550,5	0,66345	166,69	312,58	0,8697	1,4882	0,878	0,601	-	780,5	-	79,2	-
-30,00	0,02247	1545,7	0,51771	171,49	315,48	0,8896	1,4875	0,888	0,618	-	731,6	-	77,9	-
-28,00	0,02491	1543,7	0,47034	173,41	316,64	0,8974	1,4873	0,892	0,624	-	712,8	-	77,4	-
-26,00	0,02756	1541,5	0,42806	175,31	317,81	0,9052	1,4872	0,895	0,630	-	694,3	-	76,9	-
-24,00	0,03043	1539,4	0,39027	177,22	318,97	0,9129	1,4872	0,899	0,635	-	676,2	-	76,4	-
-22,00	0,03354	1537,1	0,35641	179,12	320,14	0,9204	1,4872	0,902	0,640	-	658,6	-	75,9	-
-20,00	0,03690	1534,7	0,32602	181,02	321,31	0,9280	1,4873	0,905	0,645	-	641,3	-	75,4	-
-18,00	0,04053	1532,2	0,29870	182,92	322,49	0,9354	1,4875	0,908	0,650	-	624,5	-	74,9	-
-16,00	0,04444	1529,7	0,27410	184,81	323,66	0,9428	1,4877	0,911	0,654	-	608,1	-	74,4	-
-14,00	0,04865	1527,1	0,25190	186,71	324,84	0,9501	1,4880	0,914	0,658	-	592,1	-	73,9	-
-12,00	0,05317	1524,3	0,23184	188,60	326,02	0,9574	1,4883	0,916	0,662	-	576,5	-	73,4	-
-10,00	0,05802	1521,4	0,21369	190,50	327,19	0,9646	1,4887	0,919	0,665	-	561,2	-	72,9	-
-8,00	0,06321	1518,5	0,19723	192,39	328,37	0,9718	1,4891	0,921	0,669	-	546,4	-	72,4	-
-6,00	0,06877	1515,4	0,18229	194,29	329,55	0,9789	1,4896	0,924	0,672	-	532,0	-	71,9	-

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p'/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-4,00	0,07470	1512,2	0,16871	196,19	330,73	0,9860	1,4901	0,926	0,675	-	518,0	-	71,4	-
-2,00	0,08103	1508,9	0,15633	198,09	331,91	0,9930	1,4907	0,929	0,677	-	504,3	-	70,9	-
0,00	0,08778	1505,4	0,14505	200,00	333,10	1,0000	1,4913	0,931	0,680	-	491,0	10,48	70,4	-
2,00	0,09496	1501,9	0,13474	201,91	334,28	1,0069	1,4919	0,933	0,683	-	478,1	10,57	70,0	-
3,68b	0,10132	1498,8	0,12679	203,51	335,27	1,0127	1,4925	0,935	0,685	-	467,5	10,65	69,6	-
4,00	0,10259	1498,1	0,12532	203,82	335,46	1,0139	1,4926	0,935	0,685	-	465,5	10,66	69,5	-
6,00	0,11069	1494,3	0,11669	205,74	336,64	1,0207	1,4934	0,938	0,688	-	453,3	10,75	69,0	-
8,00	0,11928	1490,3	0,10877	207,66	337,82	1,0276	1,4941	0,940	0,690	-	441,4	10,84	68,5	-
10,00	0,12837	1486,2	0,10151	209,59	339,00	1,0344	1,4949	0,942	0,692	-	429,9	10,92	68,1	-
12,00	0,13799	1481,9	0,09483	211,52	340,18	1,0412	1,4957	0,944	0,695	-	418,7	11,00	67,6	-
14,00	0,14816	1477,5	0,08868	213,46	341,36	1,0479	1,4966	0,946	0,697	-	407,8	11,08	67,1	-
16,00	0,15890	1472,9	0,08301	215,41	342,54	1,0547	1,4975	0,949	0,699	-	397,2	11,16	66,7	-
18,00	0,17022	1468,2	0,07778	217,36	343,71	1,0614	1,4984	0,951	0,702	-	386,9	11,24	66,2	-
20,00	0,18215	1463,3	0,07295	219,32	344,89	1,0680	1,4994	0,954	0,704	-	376,9	11,32	65,7	-
22,00	0,19470	1458,3	0,06848	221,29	346,06	1,0747	1,5003	0,956	0,706	-	367,3	11,40	65,3	-
24,00	0,20791	1453,1	0,06435	223,26	347,24	1,0813	1,5014	0,959	0,709	-	357,8	11,47	64,8	-
26,00	0,22178	1447,8	0,06051	225,24	348,41	1,0879	1,5024	0,961	0,712	-	348,7	11,55	64,3	-
28,00	0,23634	1442,4	0,05695	227,22	349,58	1,0945	1,5034	0,964	0,714	-	339,8	11,63	63,9	-
30,00	0,25161	1436,7	0,05365	229,22	350,74	1,1011	1,5045	0,967	0,717	-	331,2	11,70	63,4	-
32,00	0,26762	1431,0	0,05057	231,21	351,91	1,1076	1,5056	0,970	0,720	-	322,9	11,78	63,0	-
34,00	0,28438	1425,1	0,04771	233,22	353,07	1,1141	1,5067	0,973	0,724	-	314,7	11,85	62,5	-
36,00	0,30192	1419,1	0,04505	235,23	354,23	1,1206	1,5078	0,976	0,727	-	306,9	11,93	62,0	-
38,00	0,32026	1412,9	0,04256	237,24	355,39	1,1270	1,5090	0,979	0,731	-	299,2	12,00	61,6	-
40,00	0,33941	1406,6	0,04024	239,26	356,55	1,1335	1,5101	0,983	0,735	-	291,8	12,08	61,1	-
42,00	0,35941	1400,2	0,03807	241,28	357,70	1,1399	1,5113	0,987	0,739	-	284,6	12,16	60,6	-

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p'/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
44,00	0,38028	1393,7	0,03604	243,31	358,85	1,1462	1,5125	0,990	0,744	–	277,6	12,23	60,2	–
46,00	0,40204	1387,0	0,03414	245,35	359,99	1,1526	1,5137	0,994	0,748	–	270,8	12,31	59,7	–
48,00	0,42471	1380,3	0,03237	247,38	361,13	1,1589	1,5149	0,999	0,753	–	264,2	12,39	59,3	–
50,00	0,44831	1373,4	0,03070	249,42	362,27	1,1652	1,5161	1,003	0,759	–	257,8	12,47	58,8	–
55,00	0,51158	1355,8	0,02695	254,54	365,10	1,1807	1,5192	1,015	0,774	–	242,5	12,68	57,6	–
60,00	0,58122	1337,6	0,02374	259,69	367,89	1,1961	1,5223	1,028	0,791	–	228,4	12,89	56,5	–
65,00	0,65765	1318,8	0,02097	264,86	370,65	1,2114	1,5255	1,043	0,812	–	215,2	13,12	55,3	–
70,00	0,74126	1299,4	0,01857	270,06	373,36	1,2265	1,5286	1,060	0,835	–	203,0	13,36	54,1	–
75,00	0,83248	1279,3	0,01648	275,30	376,03	1,2414	1,5317	1,079	0,862	–	191,6	13,61	52,9	–
80,00	0,93176	1258,7	0,01465	280,59	378,64	1,2563	1,5348	1,100	0,892	–	181,0	13,89	51,7	–
85,00	1,0396	1237,3	0,01304	285,93	381,18	1,2710	1,5377	1,122	0,926	–	171,1	14,18	50,5	–
90,00	1,1564	1215,1	0,01161	291,34	383,65	1,2858	1,5406	1,148	0,964	–	161,9	14,49	49,2	–
95,00	1,2828	1191,9	0,01035	296,83	386,02	1,3005	1,5433	1,175	1,007	–	153,3	14,83	48,0	–
100,00	1,4193	1167,5	0,00922	302,42	388,27	1,3153	1,5457	1,206	1,055	–	145,3	15,20	46,7	–
105,00	1,5665	1141,7	0,00821	308,14	390,39	1,3302	1,5480	1,239	1,107	–	137,8	–	45,4	–
110,00	1,7250	1114,1	0,00729	313,99	392,34	1,3452	1,5499	1,275	1,165	–	130,8	–	44,1	–
115,00	1,8955	1084,2	0,00646	320,02	394,07	1,3604	1,5513	1,314	1,229	–	124,2	–	42,8	–
120,00	2,0787	1051,4	0,00571	326,27	395,53	1,3760	1,5522	1,357	1,298	–	–	–	41,4	–
125,00	2,2753	1014,5	0,00500	332,81	396,62	1,3920	1,5523	–	–	–	–	–	–	–
130,00	2,4863	971,5	0,00434	339,76	397,18	1,4088	1,5513	–	–	–	–	–	–	–
135,00	2,7124	918,5	0,00371	347,35	396,92	1,4269	1,5484	–	–	–	–	–	–	–
140,00	2,9546	844,6	0,00305	356,24	395,08	1,4479	1,5419	–	–	–	–	–	–	–
145,88c	3,261	557,	0,00180	380,2	380,2	1,504	1,504	∞	∞	∞	–	–	∞	∞



Фреон 123

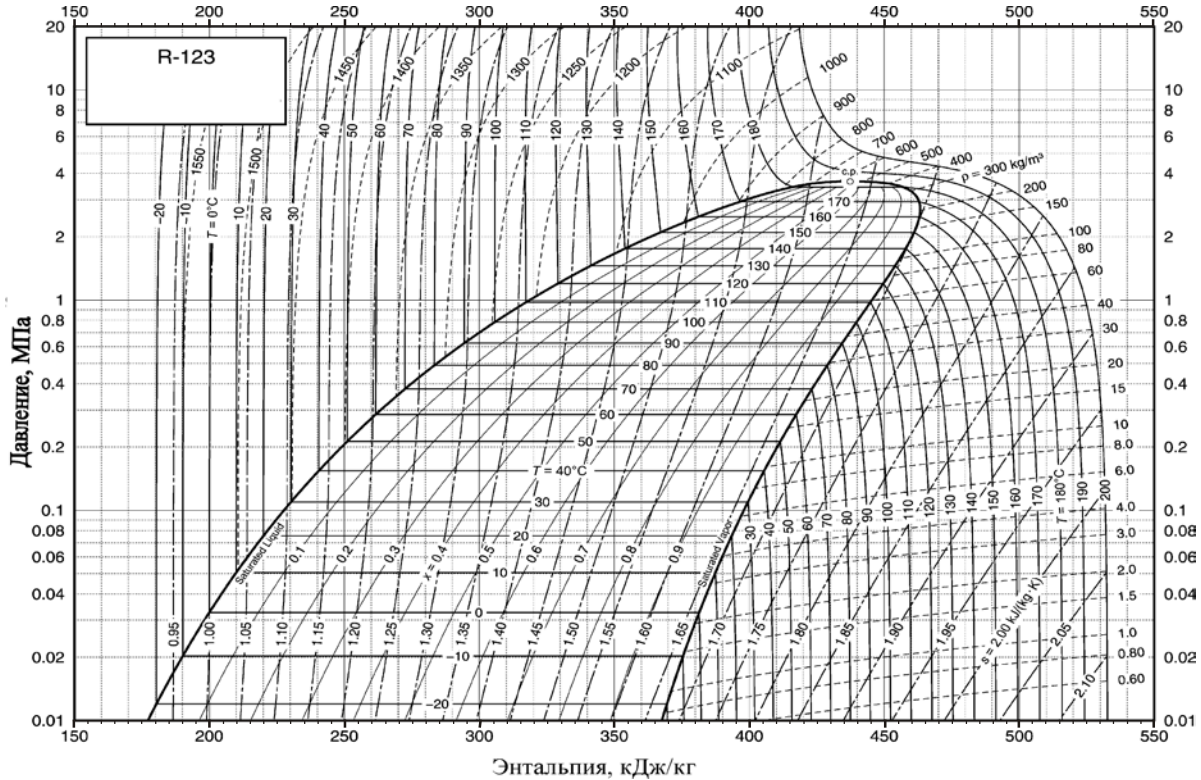
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-80,00	0,00013	1709,6	83,6670	123,92	335,98	0,6712	1,7691	0,924	0,520	1,117	2093,0	6,68	107,4	3,22
-70,00	0,00034	1687,4	32,8420	133,17	341,25	0,7179	1,7422	0,927	0,537	1,113	1680,0	7,09	104,8	3,79
-60,00	0,00081	1665,1	14,3330	142,46	346,66	0,7625	1,7206	0,932	0,553	1,110	1383,0	7,50	102,0	4,35
-50,00	0,00177	1642,6	6,84600	151,81	352,21	0,8054	1,7034	0,939	0,569	1,107	1160,0	7,91	99,1	4,92
-40,00	0,00358	1620,0	3,53190	161,25	357,88	0,8468	1,6901	0,948	0,585	1,105	986,4	8,31	96,1	5,49
-30,00	0,00675	1597,0	1,94700	170,78	363,65	0,8868	1,6800	0,958	0,601	1,103	848,0	8,70	93,0	6,05
-20,00	0,01200	1573,8	1,13640	180,41	369,52	0,9256	1,6726	0,968	0,617	1,102	735,4	9,09	89,8	6,61
-10,00	0,02025	1550,1	0,69690	190,15	375,45	0,9633	1,6675	0,979	0,634	1,102	642,4	9,47	86,7	7,18
0,00	0,03265	1526,1	0,44609	200,00	381,44	1,0000	1,6642	0,990	0,651	1,102	564,6	9,84	83,7	7,74
2,00	0,03574	1521,3	0,40991	201,98	382,64	1,0072	1,6638	0,993	0,654	1,103	550,6	9,91	83,1	7,86
4,00	0,03907	1516,4	0,37720	203,97	383,84	1,0144	1,6634	0,995	0,658	1,103	537,0	9,99	82,5	7,97
6,00	0,04264	1511,5	0,34759	205,97	385,05	1,0216	1,6631	0,997	0,661	1,103	523,8	10,06	81,9	8,08
8,00	0,04647	1506,6	0,32075	207,96	386,25	1,0287	1,6628	0,999	0,665	1,103	511,1	10,13	81,3	8,20
10,00	0,05057	1501,6	0,29637	209,97	387,46	1,0358	1,6626	1,002	0,668	1,104	498,8	10,20	80,7	8,31
12,00	0,05495	1496,7	0,27420	211,97	388,66	1,0428	1,6625	1,004	0,672	1,104	486,8	10,28	80,1	8,43
14,00	0,05963	1491,7	0,25401	213,99	389,87	1,0499	1,6624	1,006	0,675	1,104	475,3	10,35	79,5	8,54
16,00	0,06463	1486,7	0,23559	216,00	391,08	1,0569	1,6623	1,009	0,679	1,105	464,0	10,42	79,0	8,66
18,00	0,06995	1481,7	0,21877	218,02	392,29	1,0638	1,6623	1,011	0,682	1,105	453,2	10,49	78,4	8,77
20,00	0,07561	1476,6	0,20338	220,05	393,49	1,0707	1,6624	1,014	0,686	1,106	442,6	10,56	77,8	8,89
22,00	0,08163	1471,5	0,18929	222,08	394,70	1,0776	1,6625	1,016	0,690	1,106	432,4	10,63	77,3	9,01
24,00	0,08802	1466,4	0,17637	224,12	395,91	1,0845	1,6626	1,018	0,693	1,107	422,4	10,70	76,7	9,12
26,00	0,09480	1461,3	0,16451	226,16	397,12	1,0913	1,6628	1,021	0,697	1,107	412,8	10,77	76,1	9,24

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
27,82b	0,10133	1456,6	0,15453	228,03	398,22	1,0975	1,6630	1,023	0,701	1,108	404,2	10,84	75,6	9,35
28,00	0,10198	1456,2	0,15360	228,21	398,32	1,0981	1,6630	1,023	0,701	1,108	403,4	10,84	75,6	9,36
30,00	0,10958	1451,0	0,14356	230,26	399,53	1,1049	1,6633	1,026	0,705	1,109	394,3	10,91	75,0	9,48
32,00	0,11762	1445,8	0,13431	232,31	400,73	1,1116	1,6635	1,028	0,709	1,109	385,4	10,98	74,5	9,60
34,00	0,12611	1440,6	0,12577	234,38	401,93	1,1183	1,6639	1,031	0,712	1,110	376,8	11,05	74,0	9,72
36,00	0,13507	1435,4	0,11789	236,44	403,14	1,1250	1,6642	1,033	0,716	1,111	368,4	11,12	73,4	9,84
38,00	0,14452	1430,1	0,11060	238,51	404,34	1,1317	1,6646	1,036	0,720	1,112	360,3	11,19	72,9	9,96
40,00	0,15447	1424,8	0,10385	240,59	405,54	1,1383	1,6651	1,038	0,724	1,113	352,4	11,26	72,4	10,08
42,00	0,16495	1419,4	0,09759	242,67	406,73	1,1449	1,6655	1,041	0,728	1,114	344,7	11,33	71,8	10,20
44,00	0,17597	1414,1	0,09179	244,76	407,93	1,1515	1,6660	1,044	0,732	1,115	337,2	11,40	71,3	10,32
46,00	0,18755	1408,7	0,08641	246,86	409,12	1,1581	1,6665	1,046	0,736	1,116	329,9	11,46	70,8	10,45
48,00	0,19971	1403,3	0,08140	248,95	410,31	1,1646	1,6670	1,049	0,741	1,117	322,8	11,53	70,3	10,57
50,00	0,21246	1397,8	0,07674	251,06	411,50	1,1711	1,6676	1,052	0,745	1,119	315,9	11,60	69,8	10,70
52,00	0,22584	1392,3	0,07240	253,17	412,69	1,1776	1,6682	1,055	0,749	1,120	309,1	11,67	69,3	10,82
54,00	0,23985	1386,8	0,06836	255,28	413,87	1,1840	1,6688	1,058	0,753	1,121	302,6	11,74	68,8	10,95
56,00	0,25451	1381,2	0,06458	257,41	415,05	1,1905	1,6694	1,060	0,758	1,123	296,2	11,80	68,3	11,08
58,00	0,26985	1375,6	0,06106	259,53	416,23	1,1969	1,6701	1,063	0,762	1,124	289,9	11,87	67,8	11,21
60,00	0,28589	1370,0	0,05777	261,67	417,40	1,2033	1,6707	1,066	0,767	1,126	283,9	11,94	67,3	11,34
62,00	0,30264	1364,3	0,05469	263,81	418,57	1,2096	1,6714	1,069	0,771	1,127	277,9	12,01	66,8	11,47
64,00	0,32013	1358,6	0,05180	265,95	419,73	1,2160	1,6721	1,072	0,776	1,129	272,1	12,07	66,3	11,61
66,00	0,33838	1352,8	0,04910	268,10	420,89	1,2223	1,6728	1,076	0,781	1,131	266,5	12,14	65,9	11,74
68,00	0,35740	1347,0	0,04656	270,26	422,05	1,2286	1,6735	1,079	0,785	1,133	261,0	12,21	65,4	11,88
70,00	0,37722	1341,2	0,04418	272,42	423,20	1,2349	1,6743	1,082	0,790	1,135	255,6	12,28	64,9	12,01

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
72,00	0,39787	1335,3	0,04195	274,60	424,35	1,2411	1,6750	1,085	0,795	1,137	250,4	12,35	64,5	12,15
74,00	0,41936	1329,3	0,03985	276,77	425,50	1,2474	1,6758	1,089	0,800	1,139	245,2	12,42	64,0	12,29
76,00	0,44171	1323,4	0,03787	278,96	426,63	1,2536	1,6766	1,092	0,806	1,142	240,2	12,49	63,5	12,44
78,00	0,46494	1317,3	0,03601	281,15	427,77	1,2598	1,6774	1,096	0,811	1,144	235,3	12,55	63,1	12,58
80,00	0,48909	1311,2	0,03426	283,35	428,89	1,2660	1,6781	1,100	0,816	1,147	230,5	12,63	62,6	12,73
82,00	0,51416	1305,1	0,03261	285,55	430,01	1,2722	1,6789	1,103	0,822	1,150	225,9	12,70	62,2	12,87
84,00	0,54019	1298,9	0,03105	287,77	431,13	1,2783	1,6797	1,107	0,827	1,152	221,3	12,77	61,7	13,02
86,00	0,56720	1292,6	0,02958	289,99	432,23	1,2845	1,6806	1,111	0,833	1,156	216,8	12,84	61,3	13,17
88,00	0,59520	1286,3	0,02819	292,22	433,33	1,2906	1,6814	1,115	0,839	1,159	212,5	12,91	60,8	13,33
90,00	0,62423	1279,9	0,02687	294,45	434,43	1,2967	1,6822	1,120	0,845	1,162	208,2	12,98	60,4	13,48
92,00	0,65430	1273,5	0,02563	296,70	435,51	1,3028	1,6830	1,124	0,851	1,166	204,0	13,06	59,9	13,64
94,00	0,68544	1266,9	0,02445	298,95	436,59	1,3089	1,6838	1,129	0,858	1,169	199,9	13,14	59,5	13,80
96,00	0,71768	1260,3	0,02334	301,21	437,66	1,3150	1,6846	1,133	0,864	1,173	195,9	13,21	59,1	13,96
98,00	0,75103	1253,7	0,02228	303,49	438,72	1,3211	1,6854	1,138	0,871	1,177	191,9	13,29	58,6	14,13
100,00	0,78553	1246,9	0,02128	305,77	439,77	1,3271	1,6862	1,143	0,878	1,182	188,1	13,37	58,2	14,29
110,00	0,97603	1211,9	0,01697	317,32	444,88	1,3572	1,6902	1,172	0,917	1,208	169,9	13,80	56,0	15,17
120,00	1,19900	1174,4	0,01361	329,15	449,67	1,3872	1,6938	1,207	0,964	1,243	153,4	14,29	53,9	16,14
130,00	1,45780	1133,6	0,01094	341,32	454,07	1,4173	1,6969	1,254	1,026	1,294	138,1	14,89	51,7	17,22
140,00	1,75630	1088,3	0,00879	353,92	457,94	1,4475	1,6992	1,318	1,111	1,369	123,8	15,65	49,5	18,44
150,00	2,09870	1036,8	0,00703	367,10	461,05	1,4782	1,7003	1,415	1,240	1,493	110,2	16,68	47,2	19,87
160,00	2,49010	975,7	0,00555	381,13	463,01	1,5101	1,6991	1,584	1,473	1,726	96,8	18,19	44,8	21,63
170,00	2,93720	896,9	0,00425	396,61	462,89	1,5443	1,6939	1,979	2,033	2,309	82,7	20,71	42,3	24,05
183,68c	3,66180	550,0	0,00182	437,39	437,39	1,6325	1,6325	∞	∞	∞	–	–	∞	∞



Фреон 124

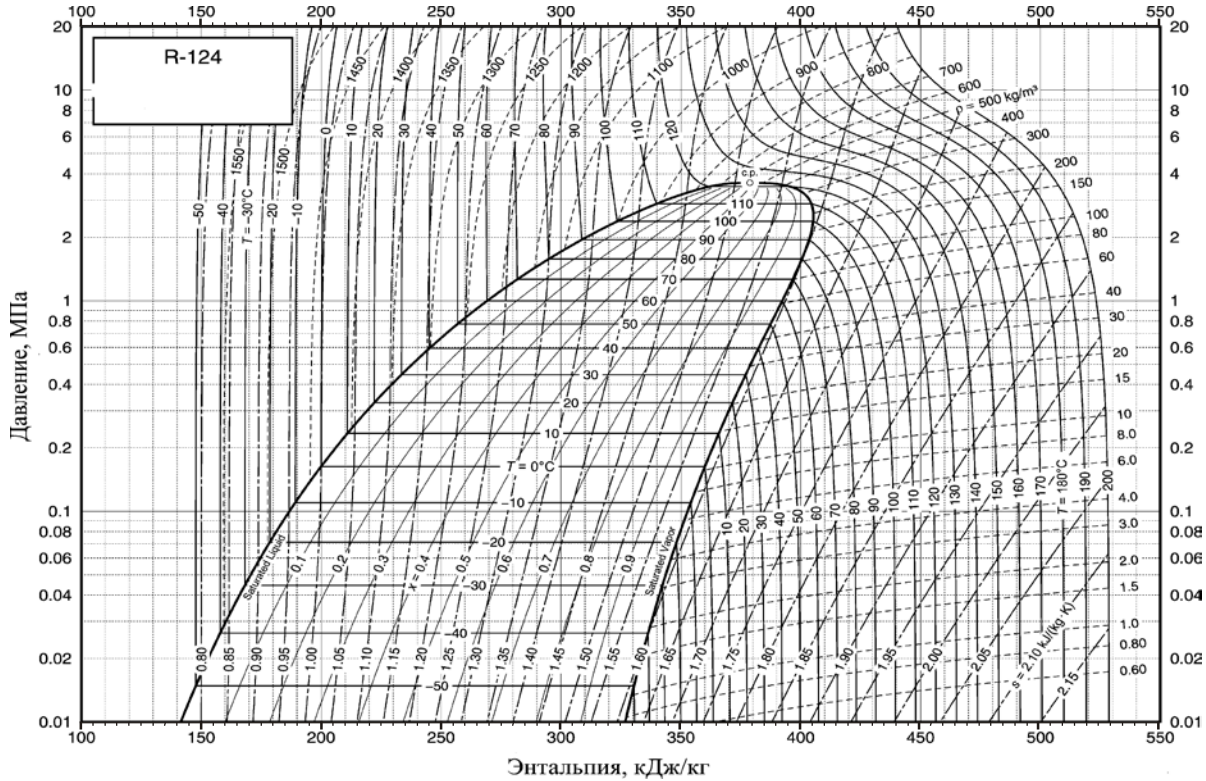
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-100	0,00024	1714,6	44,37500	98,87	302,29	0,5417	1,7165	0,953	0,534	1,129	1964,0	6,66	111,8	4,81
-90	0,00067	1688,6	16,53100	108,45	307,68	0,5954	1,6832	0,962	0,551	1,125	1521,0	7,05	108,7	5,26
-80	0,00169	1662,3	6,96450	118,13	313,21	0,6469	1,6569	0,972	0,569	1,122	1215,0	7,45	105,4	5,74
-70	0,00379	1635,9	3,25230	127,91	318,86	0,6962	1,6362	0,983	0,586	1,119	994,1	7,84	101,9	6,23
-60	0,00779	1609,1	1,65600	137,80	324,62	0,7437	1,6202	0,995	0,605	1,117	829,0	8,23	98,5	6,74
-50	0,01482	1582,0	0,90713	147,81	330,46	0,7896	1,6081	1,007	0,624	1,116	701,6	8,62	94,9	7,27
-40	0,02642	1554,3	0,52863	157,95	336,36	0,8340	1,5993	1,020	0,644	1,116	600,9	9,01	91,3	7,82
-30	0,04452	1526,1	0,32470	168,23	342,29	0,8772	1,5930	1,034	0,665	1,118	519,4	9,39	87,7	8,39
-20	0,07145	1497,3	0,20856	178,66	348,23	0,9191	1,5890	1,049	0,688	1,120	452,4	9,78	84,1	8,98
-218	0,07813	1491,4	0,19180	180,76	349,42	0,9274	1,5884	1,052	0,693	1,121	440,4	9,86	83,4	9,10
-16	0,08529	1485,5	0,17665	182,87	350,61	0,9356	1,5879	1,056	0,698	1,122	428,8	9,93	82,7	9,22
-14	0,09296	1479,6	0,16293	184,99	351,79	0,9438	1,5874	1,059	0,703	1,123	417,6	10,01	82,0	9,34
-12	0,10117	1473,6	0,15048	187,11	352,97	0,9519	1,5870	1,062	0,708	1,124	406,8	10,09	81,2	9,46
-11,96b	0,10133	1473,5	0,15026	187,15	352,99	0,9521	1,5870	1,062	0,708	1,124	406,6	10,09	81,2	9,46
-10	0,10993	1467,6	0,13917	189,24	354,15	0,9600	1,5867	1,065	0,713	1,125	396,3	10,16	80,5	9,59
-8	0,11928	1461,6	0,12888	191,38	355,33	0,9681	1,5864	1,069	0,718	1,126	386,2	10,24	79,8	9,71
-6	0,12923	1455,5	0,11950	193,52	356,51	0,9761	1,5862	1,072	0,723	1,127	376,4	10,32	79,1	9,84
-4	0,13983	1449,4	0,11093	195,68	357,68	0,9841	1,5860	1,076	0,729	1,128	366,9	10,40	78,4	9,96
-2	0,15108	1443,2	0,10310	197,83	358,86	0,9921	1,5859	1,079	0,734	1,129	357,7	10,47	77,7	10,09
0	0,16303	1437,0	0,09593	200,00	360,02	1,0000	1,5858	1,083	0,740	1,131	348,8	10,55	77,0	10,22
2	0,17570	1430,8	0,08936	202,17	361,19	1,0079	1,5858	1,087	0,746	1,132	340,2	10,63	76,3	10,35
4	0,18911	1424,5	0,08333	204,35	362,35	1,0158	1,5858	1,090	0,751	1,134	331,8	10,71	75,6	10,49

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
6	0,20331	1418,1	0,07779	206,54	363,51	1,0236	1,5859	1,094	0,757	1,135	323,7	10,79	74,9	10,62
8	0,21830	1411,8	0,07268	208,74	364,67	1,0314	1,5860	1,098	0,763	1,137	315,8	10,87	74,2	10,75
10	0,23414	1405,3	0,06798	210,94	365,82	1,0392	1,5861	1,102	0,769	1,139	308,2	10,95	73,5	10,89
12	0,25084	1398,9	0,06364	213,15	366,97	1,0469	1,5863	1,106	0,776	1,141	300,8	11,03	72,8	11,03
14	0,26844	1392,3	0,05964	215,37	368,11	1,0546	1,5865	1,110	0,782	1,143	293,5	11,11	72,1	11,17
16	0,28696	1385,7	0,05593	217,60	369,25	1,0623	1,5868	1,114	0,788	1,145	286,5	11,19	71,4	11,31
18	0,30644	1379,1	0,05250	219,84	370,38	1,0700	1,5870	1,119	0,795	1,148	279,7	11,28	70,8	11,46
20	0,32692	1372,4	0,04932	222,09	371,51	1,0776	1,5873	1,123	0,802	1,150	273,1	11,36	70,1	11,61
22	0,34842	1365,6	0,04636	224,34	372,63	1,0852	1,5876	1,128	0,809	1,153	266,6	11,44	69,4	11,75
24	0,37097	1358,8	0,04362	226,60	373,75	1,0928	1,5880	1,132	0,816	1,156	260,3	11,53	68,7	11,91
26	0,39462	1351,9	0,04107	228,88	374,85	1,1004	1,5883	1,137	0,823	1,159	254,2	11,61	68,1	12,06
28	0,41938	1345,0	0,03870	231,16	375,96	1,1079	1,5887	1,142	0,830	1,162	248,2	11,70	67,4	12,22
30	0,44530	1337,9	0,03648	233,45	377,05	1,1154	1,5891	1,147	0,838	1,165	242,4	11,79	66,8	12,38
32	0,47241	1330,8	0,03442	235,75	378,14	1,1229	1,5895	1,152	0,845	1,169	236,7	11,88	66,1	12,54
34	0,50075	1323,7	0,03249	238,07	379,22	1,1304	1,5900	1,157	0,853	1,172	231,2	11,97	65,5	12,71
36	0,53034	1316,4	0,03069	240,39	380,29	1,1379	1,5904	1,163	0,861	1,176	225,8	12,06	64,8	12,88
38	0,56123	1309,1	0,02901	242,72	381,36	1,1453	1,5909	1,168	0,870	1,180	220,5	12,16	64,2	13,05
40	0,59345	1301,6	0,02743	245,07	382,41	1,1528	1,5913	1,174	0,878	1,185	215,4	12,25	63,5	13,23
42	0,62704	1294,1	0,02596	247,43	383,45	1,1602	1,5918	1,180	0,887	1,189	210,4	12,35	62,9	13,41
44	0,66202	1286,5	0,02457	249,79	384,49	1,1676	1,5923	1,187	0,897	1,194	205,5	12,45	62,3	13,59
46	0,69845	1278,8	0,02327	252,17	385,51	1,1750	1,5928	1,193	0,906	1,199	200,7	12,55	61,7	13,79
48	0,73635	1271,0	0,02205	254,56	386,52	1,1824	1,5933	1,200	0,916	1,205	196,0	12,66	61,0	13,98
50	0,77577	1263,1	0,02090	256,97	387,53	1,1897	1,5937	1,207	0,926	1,211	191,4	12,77	60,4	14,18

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
52	0,81675	1255,1	0,01982	259,39	388,51	1,1971	1,5942	1,214	0,937	1,217	187,0	12,88	59,8	14,39
54	0,85931	1247,0	0,01880	261,82	389,49	1,2044	1,5947	1,221	0,948	1,224	182,6	12,99	59,2	14,61
56	0,90350	1238,7	0,01784	264,26	390,45	1,2118	1,5951	1,229	0,959	1,231	178,3	13,11	58,6	14,83
58	0,94937	1230,3	0,01693	266,73	391,39	1,2191	1,5956	1,238	0,971	1,239	174,1	13,27	58,0	15,08
60	0,99695	1221,8	0,01607	269,20	392,33	1,2265	1,5960	1,246	0,984	1,247	169,9	13,40	57,5	15,32
62	1,04630	1213,2	0,01527	271,69	393,24	1,2338	1,5965	1,255	0,997	1,256	165,9	13,53	56,9	15,57
64	1,09740	1204,3	0,01450	274,20	394,14	1,2411	1,5969	1,265	1,011	1,266	161,9	13,67	56,3	15,83
66	1,15040	1195,4	0,01378	276,72	395,01	1,2485	1,5972	1,275	1,026	1,276	158,0	13,82	55,7	16,10
68	1,20520	1186,2	0,01309	279,27	395,87	1,2558	1,5976	1,286	1,042	1,287	154,2	13,97	55,2	16,38
70	1,26200	1176,9	0,01244	281,83	396,71	1,2631	1,5979	1,297	1,058	1,299	150,4	14,12	54,6	16,68
72	1,32070	1167,4	0,01183	284,41	397,52	1,2705	1,5982	1,310	1,076	1,313	146,7	14,28	54,1	16,98
74	1,38150	1157,6	0,01124	287,01	398,31	1,2779	1,5985	1,323	1,095	1,327	143,0	14,45	53,5	17,30
76	1,44430	1147,7	0,01069	289,63	399,08	1,2852	1,5987	1,337	1,115	1,343	139,4	14,63	53,0	17,64
78	1,50930	1137,5	0,01016	292,28	399,81	1,2926	1,5989	1,352	1,137	1,360	135,8	14,82	52,5	17,99
80	1,57640	1127,0	0,00965	294,95	400,52	1,3001	1,5990	1,368	1,160	1,379	132,3	15,01	51,9	18,36
85	1,75400	1099,6	0,00849	301,75	402,14	1,3187	1,5990	1,415	1,229	1,436	123,7	15,54	50,6	19,39
90	1,94620	1070,1	0,00746	308,74	403,51	1,3376	1,5986	1,475	1,318	1,513	115,2	16,16	49,4	20,58
95	2,15420	1037,8	0,00653	315,97	404,56	1,3568	1,5975	1,554	1,437	1,618	106,9	16,88	48,2	22,00
100	2,37870	1001,8	0,00569	323,50	405,20	1,3766	1,5955	1,665	1,607	1,773	98,4	17,75	47,0	23,73
105	2,62120	960,8	0,00492	331,44	405,26	1,3971	1,5923	1,835	1,873	2,022	89,8	18,85	46,0	25,94
110	2,88310	912,1	0,00419	339,99	404,46	1,4188	1,5870	2,135	2,357	2,478	80,8	20,30	45,1	28,94
115	3,16620	849,5	0,00347	349,58	402,13	1,4428	1,5782	2,837	3,513	3,576	70,7	22,45	45,0	33,62
122,28c	3,62430	560,0	0,00179	378,79	378,79	1,5156	1,5156	∞	∞	∞	–	–	∞	∞



Фреон 134а

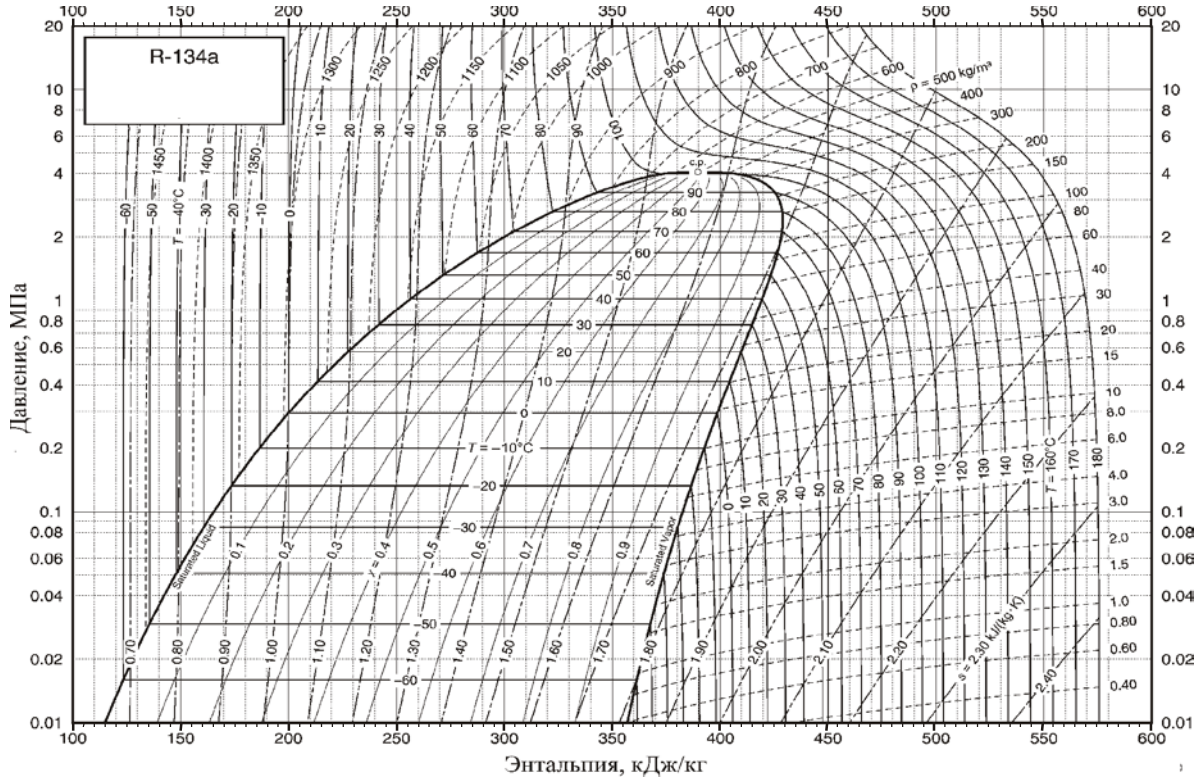
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-103,3а	0,00039	1591,1	35,4960	71,46	334,94	0,4126	1,9639	1,184	0,585	1,164	2175,0	6,46	145,2	3,08
-100,00	0,00056	1582,4	25,1930	75,36	336,85	0,4354	1,9456	1,184	0,593	1,162	1893,0	6,60	143,2	3,34
-90,00	0,00152	1555,8	9,7698	87,23	342,76	0,5020	1,8972	1,189	0,617	1,156	1339,0	7,03	137,3	4,15
-80,00	0,00367	1529,0	4,2682	99,16	348,83	0,5654	1,8580	1,198	0,642	1,151	1018,0	7,46	131,5	4,95
-70,00	0,00798	1501,9	2,0590	111,20	355,02	0,6262	1,8264	1,210	0,667	1,148	809,2	7,89	126,0	5,75
-60,00	0,01591	1474,3	1,0790	123,36	361,31	0,6846	1,8010	1,223	0,692	1,146	663,1	8,30	120,7	6,56
-50,00	0,02945	1446,3	0,60620	135,67	367,65	0,7410	1,7806	1,238	0,720	1,146	555,1	8,72	115,6	7,36
-40,00	0,05121	1417,7	0,36108	148,14	374,00	0,7956	1,7643	1,255	0,749	1,148	472,2	9,12	110,6	8,17
-30,00	0,08438	1388,4	0,22594	160,79	380,32	0,8486	1,7515	1,273	0,781	1,152	406,4	9,52	105,8	8,99
-28,00	0,09270	1382,4	0,20680	163,34	381,57	0,8591	1,7492	1,277	0,788	1,153	394,9	9,60	104,8	9,15
-26,07b	0,10133	1376,7	0,19018	165,81	382,78	0,8690	1,7472	1,281	0,794	1,154	384,2	9,68	103,9	9,31
-26,00	0,10167	1376,5	0,18958	165,90	382,82	0,8694	1,7471	1,281	0,794	1,154	383,8	9,68	103,9	9,32
-24,00	0,11130	1370,4	0,17407	168,47	384,07	0,8798	1,7451	1,285	0,801	1,155	373,1	9,77	102,9	9,48
-22,00	0,12165	1364,4	0,16006	171,05	385,32	0,8900	1,7432	1,289	0,809	1,156	362,9	9,85	102,0	9,65
-20,00	0,13273	1358,3	0,14739	173,64	386,55	0,9002	1,7413	1,293	0,816	1,158	353,0	9,92	101,1	9,82
-18,00	0,14460	1352,1	0,13592	176,23	387,79	0,9104	1,7396	1,297	0,823	1,159	343,5	10,01	100,1	9,98
-16,00	0,15728	1345,9	0,12551	178,83	389,02	0,9205	1,7379	1,302	0,831	1,161	334,3	10,09	99,2	10,15
-14,00	0,17082	1339,7	0,11605	181,44	390,24	0,9306	1,7363	1,306	0,838	1,163	325,4	10,17	98,3	10,32
-12,00	0,18524	1333,4	0,10744	184,07	391,46	0,9407	1,7348	1,311	0,846	1,165	316,9	10,25	97,4	10,49
-10,00	0,20060	1327,1	0,09959	186,70	392,66	0,9506	1,7334	1,316	0,854	1,167	308,6	10,33	96,5	10,66
-8,00	0,21693	1320,8	0,09242	189,34	393,87	0,9606	1,7320	1,320	0,863	1,169	300,6	10,41	95,6	10,83
-6,00	0,23428	1314,3	0,08587	191,99	395,06	0,9705	1,7307	1,325	0,871	1,171	292,9	10,49	94,7	11,00

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-4,00	0,25268	1307,9	0,07987	194,65	396,25	0,9804	1,7294	1,330	0,880	1,174	285,4	10,57	93,8	11,17
-2,00	0,27217	1301,4	0,07436	197,32	397,43	0,9902	1,7282	1,336	0,888	1,176	278,1	10,65	92,9	11,34
0,00	0,29280	1294,8	0,06931	200,00	398,60	1,0000	1,7271	1,341	0,897	1,179	271,1	10,73	92,0	11,51
2,00	0,31462	1288,1	0,06466	202,69	399,77	1,0098	1,7260	1,347	0,906	1,182	264,3	10,81	91,1	11,69
4,00	0,33766	1281,4	0,06039	205,40	400,92	1,0195	1,7250	1,352	0,916	1,185	257,6	10,90	90,2	11,86
6,00	0,36198	1274,7	0,05644	208,11	402,06	1,0292	1,7240	1,358	0,925	1,189	251,2	10,98	89,4	12,04
8,00	0,38761	1267,9	0,05280	210,84	403,20	1,0388	1,7230	1,364	0,935	1,192	244,9	11,06	88,5	12,22
10,00	0,41461	1261,0	0,04944	213,58	404,32	1,0485	1,7221	1,370	0,945	1,196	238,8	11,15	87,6	12,40
12,00	0,44301	1254,0	0,04633	216,33	405,43	1,0581	1,7212	1,377	0,956	1,200	232,9	11,23	86,7	12,58
14,00	0,47288	1246,9	0,04345	219,09	406,53	1,0677	1,7204	1,383	0,967	1,204	227,1	11,32	85,9	12,77
16,00	0,50425	1239,8	0,04078	221,87	407,61	1,0772	1,7196	1,390	0,978	1,209	221,5	11,40	85,0	12,95
18,00	0,53718	1232,6	0,03830	224,66	408,69	1,0867	1,7188	1,397	0,989	1,214	216,0	11,49	84,1	13,14
20,00	0,57171	1225,3	0,03600	227,47	409,75	1,0962	1,7180	1,405	1,001	1,219	210,7	11,58	83,3	13,33
22,00	0,60789	1218,0	0,03385	230,29	410,79	1,1057	1,7173	1,413	1,013	1,224	205,5	11,67	82,4	13,53
24,00	0,64578	1210,5	0,03186	233,12	411,82	1,1152	1,7166	1,421	1,025	1,230	200,4	11,76	81,6	13,72
26,00	0,68543	1202,9	0,03000	235,97	412,84	1,1246	1,7159	1,429	1,038	1,236	195,4	11,85	80,7	13,92
28,00	0,72688	1195,2	0,02826	238,84	413,84	1,1341	1,7152	1,437	1,052	1,243	190,5	11,95	79,8	14,13
30,00	0,77020	1187,5	0,02664	241,72	414,82	1,1435	1,7145	1,446	1,065	1,249	185,8	12,04	79,0	14,33
32,00	0,81543	1179,6	0,02513	244,62	415,78	1,1529	1,7138	1,456	1,080	1,257	181,1	12,14	78,1	14,54
34,00	0,86263	1171,6	0,02371	247,54	416,72	1,1623	1,7131	1,466	1,095	1,265	176,6	12,24	77,3	14,76
36,00	0,91185	1163,4	0,02238	250,48	417,65	1,1717	1,7124	1,476	1,111	1,273	172,1	12,34	76,4	14,98
38,00	0,96315	1155,1	0,02113	253,43	418,55	1,1811	1,7118	1,487	1,127	1,282	167,7	12,44	75,6	15,21
40,00	1,0166	1146,7	0,01997	256,41	419,43	1,1905	1,7111	1,498	1,145	1,292	163,4	12,55	74,7	15,44

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
42,00	1,0722	1138,2	0,01887	259,41	420,28	1,1999	1,7103	1,510	1,163	1,303	159,2	12,65	73,9	15,68
44,00	1,1301	1129,5	0,01784	262,43	421,11	1,2092	1,7096	1,523	1,182	1,314	155,1	12,76	73,0	15,93
46,00	1,1903	1120,6	0,01687	265,47	421,92	1,2186	1,7089	1,537	1,202	1,326	151,0	12,88	72,1	16,18
48,00	1,2529	1111,5	0,01595	268,53	422,69	1,2280	1,7081	1,551	1,223	1,339	147,0	13,00	71,3	16,45
50,00	1,3179	1102,3	0,01509	271,62	423,44	1,2375	1,7072	1,566	1,246	1,354	143,1	13,12	70,4	16,72
52,00	1,3854	1092,9	0,01428	274,74	424,15	1,2469	1,7064	1,582	1,270	1,369	139,2	13,24	69,6	17,01
54,00	1,4555	1083,2	0,01351	277,89	424,83	1,2563	1,7055	1,600	1,296	1,386	135,4	13,37	68,7	17,31
56,00	1,5282	1073,4	0,01278	281,06	425,47	1,2658	1,7045	1,618	1,324	1,405	131,6	13,51	67,8	17,63
58,00	1,6036	1063,2	0,01209	284,27	426,07	1,2753	1,7035	1,638	1,354	1,425	127,9	13,65	67,0	17,96
60,00	1,6818	1052,9	0,01144	287,50	426,63	1,2848	1,7024	1,660	1,387	1,448	124,2	13,79	66,1	18,31
62,00	1,7628	1042,2	0,01083	290,78	427,14	1,2944	1,7013	1,684	1,422	1,473	120,6	13,95	65,2	18,68
64,00	1,8467	1031,2	0,01024	294,09	427,61	1,3040	1,7000	1,710	1,461	1,501	117,0	14,11	64,3	19,07
66,00	1,9337	1020,0	0,00969	297,44	428,02	1,3137	1,6987	1,738	1,504	1,532	113,5	14,28	63,4	19,50
68,00	2,0237	1008,3	0,00916	300,84	428,36	1,3234	1,6972	1,769	1,552	1,567	109,9	14,46	62,6	19,95
70,00	2,1168	996,2	0,00865	304,28	428,65	1,3332	1,6956	1,804	1,605	1,607	106,4	14,65	61,7	20,45
72,00	2,2132	983,8	0,00817	307,78	428,86	1,3430	1,6939	1,843	1,665	1,653	102,9	14,85	60,8	20,98
74,00	2,3130	970,8	0,00771	311,33	429,00	1,3530	1,6920	1,887	1,734	1,705	99,5	15,07	59,9	21,56
76,00	2,4161	957,3	0,00727	314,94	429,04	1,3631	1,6899	1,938	1,812	1,766	96,0	15,30	59,0	22,21
78,00	2,5228	943,1	0,00685	318,63	428,98	1,3733	1,6876	1,996	1,904	1,838	92,5	15,56	58,1	22,92
80,00	2,6332	928,2	0,00645	322,39	428,81	1,3836	1,6850	2,065	2,012	1,924	89,0	15,84	57,2	23,72
85,00	2,9258	887,2	0,00550	332,22	427,76	1,4104	1,6771	2,306	2,397	2,232	80,2	16,67	54,9	26,22
90,00	3,2442	837,8	0,00461	342,93	425,42	1,4390	1,6662	2,756	3,121	2,820	70,9	17,81	52,8	29,91
101,06с	4,0593	511,9	0,00195	389,64	389,64	1,5621	1,5621	∞	∞	∞	–	–	∞	∞



Фреон 141b

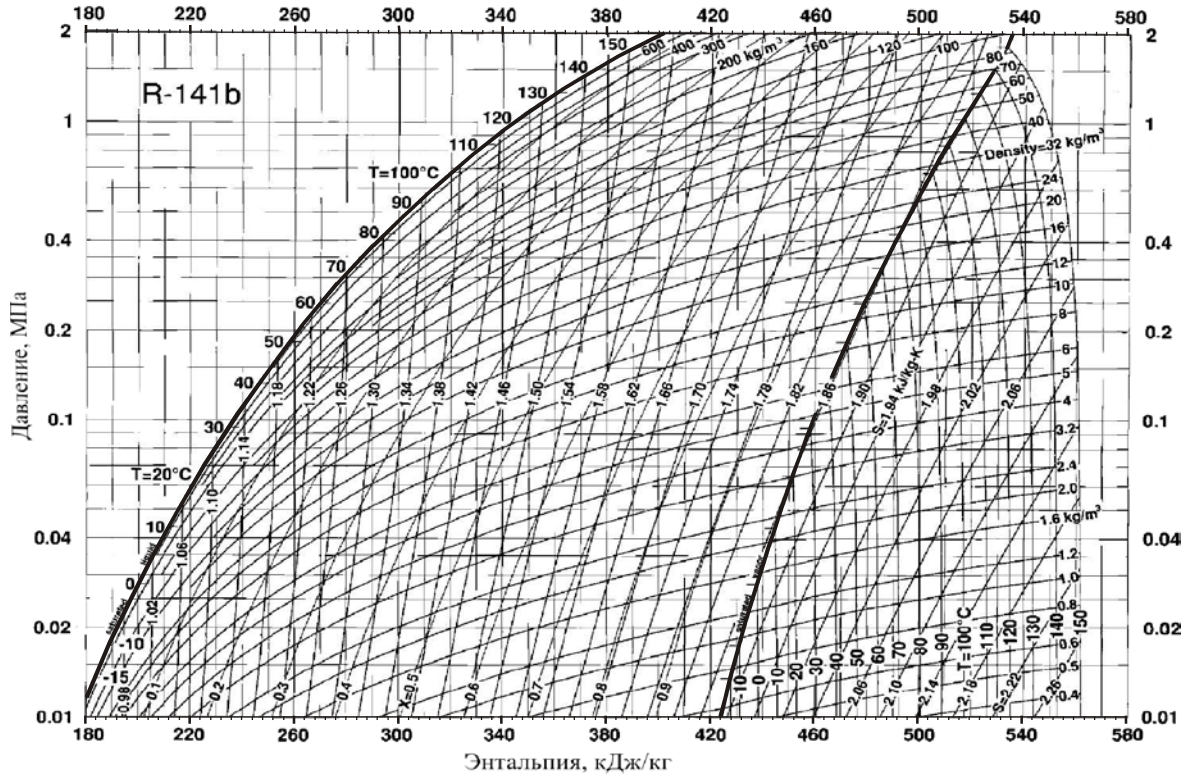
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p'/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-20,00	0,01036	1312,4	1,7237	178,25	424,39	0,9174	1,8898	–	0,689	1,120	731,0	–	108,7	–
-18,00	0,01155	1308,8	1,5586	180,22	425,72	0,9252	1,8874	–	0,692	1,120	709,8	–	107,9	–
-16,00	0,01284	1305,1	1,4118	182,26	427,05	0,9331	1,8851	–	0,696	1,119	689,6	–	107,1	–
-14,00	0,01425	1301,5	1,2811	184,36	428,38	0,9413	1,8829	–	0,700	1,119	670,4	–	106,3	–
-12,00	0,01578	1297,8	1,1646	186,51	429,72	0,9495	1,8808	–	0,703	1,119	652,1	–	105,5	–
-10,00	0,01745	1294,2	1,0604	188,70	431,06	0,9579	1,8789	–	0,707	1,119	634,6	–	104,7	–
-8,00	0,01926	1290,5	0,96724	190,92	432,40	0,9663	1,8770	–	0,711	1,119	617,9	–	103,9	–
-6,00	0,02122	1286,9	0,88369	193,16	433,75	0,9747	1,8753	–	0,714	1,119	602,0	–	103,1	–
-4,00	0,02334	1283,2	0,80866	195,43	435,10	0,9832	1,8736	–	0,718	1,119	586,7	–	102,3	–
-2,00	0,02564	1279,5	0,74116	197,71	436,45	0,9916	1,8720	–	0,722	1,119	572,1	–	101,5	–
0,00	0,02811	1275,8	0,68033	200,00	437,80	1,0000	1,8706	–	0,726	1,119	558,2	–	100,7	–
2,00	0,03076	1272,1	0,62543	202,30	439,15	1,0084	1,8692	–	0,729	1,119	544,8	–	100,0	–
4,00	0,03362	1268,4	0,57579	204,60	440,51	1,0167	1,8679	–	0,733	1,119	531,9	–	99,2	–
6,00	0,03669	1264,7	0,53085	206,90	441,87	1,0250	1,8667	–	0,737	1,119	519,5	–	98,4	–
8,00	0,03998	1261,0	0,49008	209,21	443,22	1,0332	1,8655	–	0,741	1,119	507,6	–	97,6	–
10,00	0,04350	1257,3	0,45305	211,51	444,58	1,0414	1,8645	–	0,745	1,119	496,2	–	96,9	–
12,00	0,04726	1253,5	0,41936	213,82	445,94	1,0494	1,8635	–	0,749	1,119	485,1	–	96,1	–
14,00	0,05128	1249,8	0,38867	216,12	447,31	1,0575	1,8626	–	0,753	1,119	474,5	–	95,4	–
16,00	0,05557	1246,0	0,36067	218,42	448,67	1,0655	1,8618	–	0,757	1,120	464,2	–	94,6	–
18,00	0,06014	1242,2	0,33508	220,72	450,03	1,0734	1,8610	–	0,761	1,120	454,3	–	93,8	–
20,00	0,06500	1238,4	0,31167	223,02	451,40	1,0812	1,8603	–	0,765	1,120	444,7	–	93,1	–

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
22,00	0,07016	1234,6	0,29022	225,32	452,76	1,0890	1,8596	–	0,769	1,121	435,4	–	92,3	–
24,00	0,07565	1230,8	0,27055	227,61	454,12	1,0968	1,8590	–	0,773	1,121	426,3	–	91,6	–
26,00	0,08147	1226,9	0,25248	229,91	455,49	1,1045	1,8585	–	0,777	1,121	417,6	–	90,9	–
28,00	0,08764	1223,1	0,23586	232,21	456,85	1,1121	1,8580	–	0,782	1,122	409,1	–	90,1	–
30,00	0,09417	1219,2	0,22055	234,51	458,22	1,1197	1,8576	–	0,786	1,122	400,8	–	89,4	–
32,00	0,10108	1215,3	0,20644	236,82	459,58	1,1273	1,8573	–	0,790	1,123	392,7	–	88,7	–
32,07b	0,10132	1215,2	0,20598	236,90	459,63	1,1275	1,8573	–	0,790	1,123	392,5	–	88,6	–
34,00	0,10838	1211,5	0,19342	239,13	460,94	1,1348	1,8570	–	0,795	1,124	384,9	–	87,9	–
36,00	0,11608	1207,5	0,18139	241,44	462,31	1,1423	1,8567	–	0,799	1,124	377,2	–	87,2	–
38,00	0,12421	1203,6	0,17026	243,76	463,67	1,1497	1,8565	–	0,803	1,125	369,7	–	86,5	–
40,00	0,13277	1199,7	0,15996	246,09	465,03	1,1572	1,8563	–	0,808	1,126	362,4	–	85,8	–
42,00	0,14179	1195,7	0,15041	248,42	466,39	1,1646	1,8562	–	0,812	1,126	355,3	–	85,0	–
44,00	0,15127	1191,7	0,14155	250,76	467,75	1,1719	1,8561	–	0,817	1,127	348,2	–	84,3	–
46,00	0,16124	1187,7	0,13332	253,11	469,10	1,1793	1,8561	–	0,822	1,128	341,4	–	83,6	–
48,00	0,17171	1183,7	0,12567	255,47	470,46	1,1866	1,8561	–	0,826	1,129	334,6	–	82,9	–
50,00	0,18270	1179,6	0,11855	257,83	471,81	1,1940	1,8561	–	0,831	1,130	328,0	–	82,2	–
52,00	0,19422	1175,6	0,11192	260,21	473,17	1,2012	1,8562	–	0,836	1,131	321,4	–	81,5	–
54,00	0,20630	1171,5	0,10573	262,59	474,52	1,2085	1,8563	–	0,841	1,132	315,0	–	80,8	–
56,00	0,21893	1167,4	0,09996	264,99	475,87	1,2158	1,8565	–	0,846	1,133	308,7	–	80,1	–
58,00	0,23216	1163,2	0,09458	267,39	477,21	1,2230	1,8566	–	0,851	1,134	302,4	–	79,4	–
60,00	0,24598	1159,1	0,08954	269,80	478,56	1,2303	1,8569	–	0,856	1,135	296,3	–	78,7	–
62,00	0,26043	1154,9	0,08483	272,23	479,90	1,2375	1,8571	–	0,861	1,136	290,2	–	78,0	–
64,00	0,27551	1150,7	0,08042	274,66	481,24	1,2447	1,8574	–	0,866	1,138	284,2	–	77,3	–

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
66,00	0,29124	1146,5	0,07629	277,10	482,58	1,2518	1,8577	–	0,872	1,139	278,2	–	76,6	–
68,00	0,30765	1142,2	0,07241	279,55	483,91	1,2590	1,8580	–	0,877	1,140	272,3	–	76,0	–
70,00	0,32475	1137,9	0,06877	282,01	485,24	1,2662	1,8584	–	0,883	1,142	266,5	–	75,3	–
72,00	0,34255	1133,6	0,06536	284,48	486,57	1,2733	1,8588	–	0,888	1,143	260,7	–	74,6	–
74,00	0,36108	1129,2	0,06215	286,95	487,90	1,2804	1,8592	–	0,894	1,145	255,0	–	74,0	–
76,00	0,38035	1124,8	0,05912	289,44	489,22	1,2875	1,8597	–	0,900	1,147	249,3	–	73,3	–
78,00	0,40038	1120,4	0,05628	291,93	490,54	1,2946	1,8601	–	0,906	1,148	243,7	–	72,6	–
80,00	0,42120	1116,0	0,05360	294,43	491,86	1,3016	1,8606	–	0,911	1,150	238,1	–	72,0	–
82,00	0,44282	1111,5	0,05108	296,94	493,17	1,3086	1,8611	–	0,918	1,152	–	–	71,3	–
84,00	0,46525	1107,0	0,04869	299,46	494,48	1,3156	1,8617	–	0,924	1,154	–	–	70,6	–
86,00	0,48853	1102,5	0,04644	301,98	495,78	1,3226	1,8622	–	0,930	1,156	–	–	70,0	–
88,00	0,51266	1097,9	0,04432	304,51	497,08	1,3296	1,8628	–	0,936	1,158	–	–	69,3	–
90,00	0,53767	1093,2	0,04231	307,05	498,38	1,3365	1,8634	–	0,943	1,160	–	–	68,7	–
92,00	0,56358	1088,6	0,04041	309,60	499,67	1,3435	1,8640	–	0,950	1,162	–	–	68,1	–
94,00	0,59041	1083,9	0,03861	312,15	500,95	1,3504	1,8646	–	0,956	1,165	–	–	67,4	–
96,00	0,61818	1079,1	0,03690	314,71	502,24	1,3573	1,8653	–	0,963	1,167	–	–	66,8	–
98,00	0,64690	1074,3	0,03528	317,28	503,51	1,3641	1,8659	–	0,970	1,170	–	–	66,1	–
100,00	0,67661	1069,5	0,03375	319,86	504,78	1,3710	1,8666	–	0,978	1,172	–	–	65,5	–
105,00	0,75532	1057,2	0,03024	326,35	507,94	1,3881	1,8682	–	0,997	1,180	–	–	63,9	–
110,00	0,84065	1044,5	0,02715	332,91	511,04	1,4051	1,8700	–	1,017	1,188	–	–	62,4	–
115,00	0,93295	1031,5	0,02441	339,56	514,10	1,4221	1,8718	–	1,038	1,197	–	–	60,9	–
120,00	1,0326	1018,2	0,02198	346,31	517,10	1,4391	1,8736	–	1,062	1,208	–	–	59,4	–
130,00	1,2556	990,1	0,01785	360,28	522,88	1,4736	1,8770	–	1,117	1,235	–	–	–	–
140,00	1,5129	959,9	0,01449	375,13	528,24	1,5094	1,8800	–	1,188	1,275	–	–	–	–
150,00	1,8080	926,9	0,01168	391,45	532,88	1,5477	1,8819	–	1,294	1,344	–	–	–	–



Фреон 142b

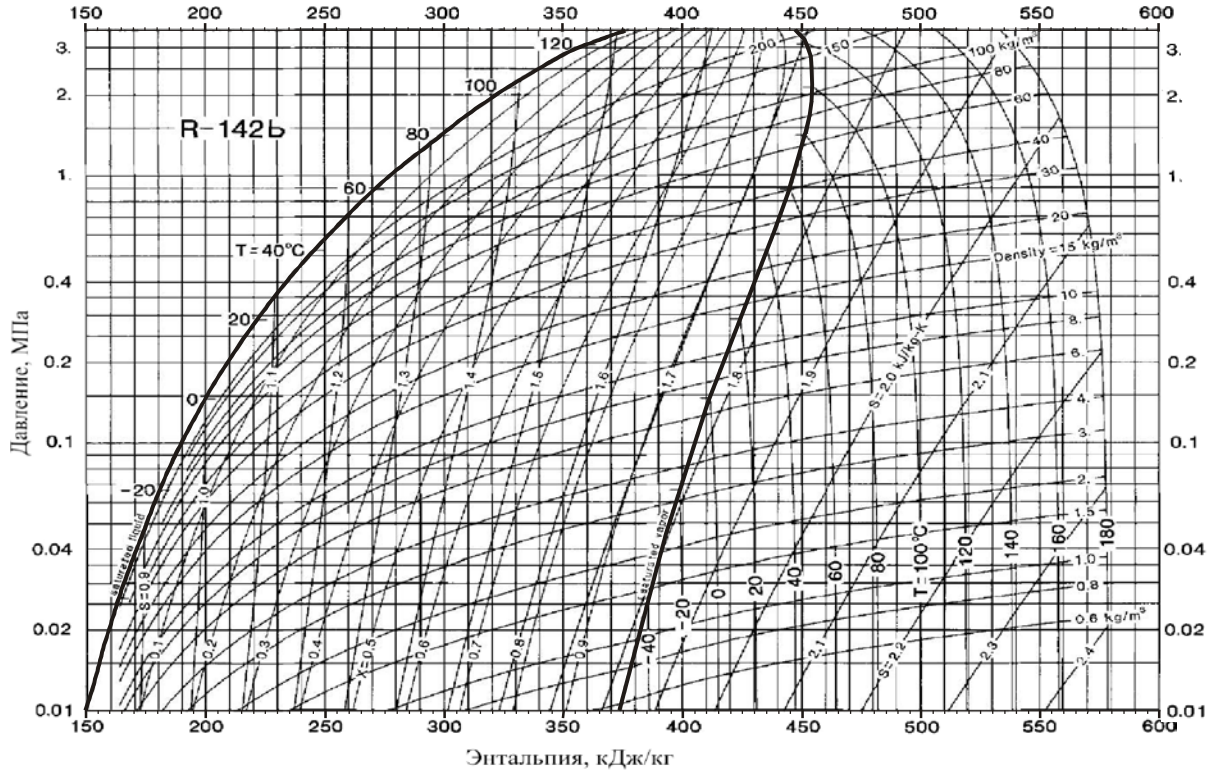
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-50,00	0,01565	1283,3	1,16772	155,64	378,81	0,8220	1,8220	–	0,682	1,144	–	–	–	–
-45,00	0,02045	1272,6	0,91112	159,50	382,08	0,8391	1,8147	–	0,692	1,143	–	–	–	–
-40,00	0,02643	1261,8	0,71849	163,48	385,38	0,8563	1,8080	–	0,702	1,142	–	–	–	–
-35,00	0,03379	1251,0	0,57219	167,58	388,68	0,8736	1,8021	–	0,712	1,142	–	–	–	–
-30,00	0,04276	1240,0	0,45988	171,80	391,99	0,8912	1,7968	–	0,723	1,142	–	–	–	–
-25,00	0,05360	1229,0	0,37278	176,16	395,31	0,9089	1,7920	–	0,733	1,142	–	–	–	–
-20,00	0,06660	1217,9	0,30460	180,65	398,62	0,9267	1,7878	–	0,744	1,143	–	–	96,7	–
-18,00	0,07247	1213,4	0,28154	182,48	399,94	0,9339	1,7862	–	0,749	1,144	–	–	96,0	–
-16,00	0,07875	1208,9	0,26053	184,34	401,26	0,9412	1,7847	–	0,753	1,144	–	–	95,2	–
-14,00	0,08547	1204,3	0,24136	186,22	402,58	0,9484	1,7833	–	0,758	1,145	–	–	94,5	–
-12,00	0,09264	1199,8	0,22384	188,12	403,89	0,9557	1,7819	–	0,762	1,145	–	–	93,7	–
-10,00	0,10030	1195,2	0,20782	190,04	405,20	0,9630	1,7806	–	0,767	1,146	–	–	93,0	–
-9,74b	0,10132	1194,6	0,20584	190,29	405,37	0,9640	1,7805	–	0,767	1,146	–	–	92,9	–
-8,00	0,10845	1190,6	0,19314	191,99	406,51	0,9704	1,7794	–	0,771	1,147	–	–	92,2	–
-6,00	0,11713	1186,0	0,17968	193,96	407,81	0,9777	1,7782	–	0,776	1,148	–	–	91,5	–
-4,00	0,12637	1181,3	0,16731	195,95	409,11	0,9851	1,7771	–	0,781	1,149	–	–	90,7	–
-2,00	0,13617	1176,6	0,15595	197,96	410,40	0,9925	1,7760	–	0,786	1,150	–	–	90,0	–
0,00	0,14658	1171,9	0,14549	200,00	411,69	1,0000	1,7750	1,248	0,791	1,152	–	9,70	89,3	–
2,00	0,15761	1167,2	0,13585	202,06	412,97	1,0075	1,7740	1,253	0,796	1,153	–	9,77	88,5	–
4,00	0,16930	1162,4	0,12697	204,14	414,25	1,0150	1,7731	1,258	0,801	1,155	–	9,84	87,8	–
6,00	0,18167	1157,6	0,11876	206,25	415,51	1,0225	1,772	1,263	0,806	1,156	–	9,91	87,1	–
8,00	0,19474	1152,8	0,11117	208,38	416,77	1,0301	1,7713	1,268	0,811	1,158	–	9,98	86,3	–
10,00	0,20856	1147,9	0,10416	210,53	418,03	1,0377	1,7705	1,273	0,816	1,160	–	10,05	85,6	–

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
12,00	0,22313	1143,0	0,09766	212,71	419,27	1,0453	1,7697	1,278	0,822	1,162	–	10,11	84,9	–
14,00	0,23850	1138,1	0,09163	214,91	420,50	1,0529	1,7689	1,283	0,827	1,164	–	10,18	84,2	–
16,00	0,25470	1133,1	0,08604	217,13	421,73	1,0606	1,7682	1,288	0,833	1,167	–	10,24	83,4	–
18,00	0,27175	1128,0	0,08085	219,37	422,94	1,0682	1,7674	1,293	0,839	1,169	–	10,31	82,7	–
20,00	0,28968	1123,0	0,07603	221,63	424,14	1,0759	1,7668	1,299	0,845	1,172	–	10,37	82,0	–
22,00	0,30854	1117,9	0,07154	223,92	425,33	1,0837	1,7661	1,304	0,851	1,175	–	10,43	81,3	–
24,00	0,32833	1112,7	0,06736	226,23	426,51	1,0914	1,7654	1,309	0,857	1,178	–	10,50	80,6	–
26,00	0,34911	1107,5	0,06346	228,56	427,68	1,0992	1,7648	1,314	0,863	1,181	–	10,56	79,9	–
28,00	0,37090	1102,3	0,05983	230,91	428,83	1,1069	1,7641	1,320	0,870	1,185	–	10,62	79,1	–
30,00	0,39374	1097,0	0,05643	233,28	429,96	1,1147	1,7635	1,325	0,876	1,189	–	10,69	78,4	–
32,00	0,41766	1091,6	0,05326	235,67	431,09	1,1225	1,7629	1,331	0,883	1,193	–	10,75	77,7	–
34,00	0,44269	1086,2	0,05030	238,08	432,19	1,1303	1,7623	1,337	0,890	1,197	–	10,81	77,0	–
36,00	0,46886	1080,7	0,04753	240,51	433,28	1,1381	1,7616	1,343	0,898	1,202	–	10,88	76,3	–
38,00	0,49622	1075,2	0,04493	242,96	434,36	1,1459	1,7610	1,349	0,905	1,207	–	10,94	75,6	–
40,00	0,52479	1069,6	0,04250	245,43	435,41	1,1537	1,7604	1,355	0,913	1,212	–	11,01	74,9	–
42,00	0,55461	1063,9	0,04022	247,92	436,45	1,1616	1,7598	1,361	0,921	1,218	–	11,07	74,2	–
44,00	0,58572	1058,2	0,03808	250,43	437,46	1,1694	1,7591	1,367	0,930	1,224	–	11,14	73,5	–
46,00	0,61815	1052,4	0,03607	252,95	438,46	1,1772	1,7585	1,374	0,939	1,230	–	11,21	72,8	–
48,00	0,65194	1046,5	0,03418	255,49	439,44	1,1851	1,7578	1,381	0,948	1,237	–	11,28	72,2	–
50,00	0,68713	1040,5	0,03240	258,05	440,39	1,1929	1,7572	1,387	0,957	1,244	–	11,35	71,5	–
52,00	0,72374	1034,5	0,03073	260,62	441,33	1,2007	1,7565	1,394	0,967	1,252	–	11,43	70,8	–
54,00	0,76182	1028,3	0,02916	263,21	442,24	1,2086	1,7558	1,402	0,977	1,260	–	11,50	70,1	–
56,00	0,80141	1022,1	0,02768	265,82	443,12	1,2164	1,7551	1,409	0,988	1,269	–	11,58	69,4	–
58,00	0,84254	1015,8	0,02628	268,44	443,98	1,2242	1,7543	1,416	0,999	1,278	–	11,66	68,7	–
60,00	0,88524	1009,4	0,02497	271,07	444,82	1,2320	1,7535	1,424	1,011	1,288	–	11,74	68,1	–

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
62,00	0,92956	1002,8	0,02372	273,72	445,62	1,2398	1,7527	1,432	1,024	1,299	–	11,82	67,4	–
64,00	0,97554	996,2	0,02255	276,38	446,40	1,2476	1,7519	1,440	1,037	1,310	–	11,91	66,7	–
66,00	1,0232	989,4	0,02144	279,05	447,16	1,2553	1,7510	1,449	1,050	1,323	–	11,99	66,0	–
68,00	1,0726	982,5	0,02039	281,74	447,88	1,2631	1,7501	1,458	1,065	1,336	–	12,09	65,4	–
70,00	1,1238	975,5	0,01940	284,44	448,57	1,2708	1,7491	1,466	1,080	1,350	–	12,18	64,7	–
72,00	1,1767	968,4	0,01846	287,15	449,24	1,2786	1,7482	1,476	1,096	1,364	–	12,28	64,0	–
74,00	1,2315	961,1	0,01758	289,87	449,87	1,2862	1,7471	1,485	1,113	1,380	–	12,38	63,4	–
76,00	1,2882	953,6	0,01673	292,61	450,46	1,2939	1,7461	1,495	1,130	1,397	–	12,48	62,7	–
78,00	1,3468	946,0	0,01594	295,36	451,03	1,3016	1,7449	–	1,149	1,415	–	12,59	–	–
80,00	1,4074	938,2	0,01518	298,11	451,56	1,3093	1,7437	–	1,169	1,435	–	12,71	–	–
82,00	1,4700	930,2	0,01447	300,88	452,05	1,3169	1,7425	–	1,190	1,456	–	12,83	–	–
84,00	1,5346	922,1	0,01379	303,67	452,51	1,3245	1,7412	–	1,213	1,478	–	12,95	–	–
86,00	1,6012	913,7	0,01314	306,46	452,93	1,3321	1,7399	–	1,237	1,502	–	13,08	–	–
88,00	1,6700	905,1	0,01252	309,28	453,31	1,3397	1,7385	–	1,263	1,528	–	13,21	–	–
90,00	1,7409	896,3	0,01194	312,10	453,64	1,3473	1,7371	–	1,290	1,556	–	13,35	–	–
92,00	1,8140	887,2	0,01138	314,95	453,94	1,3549	1,7355	–	1,319	1,586	–	13,49	–	–
94,00	1,8894	877,8	0,01086	317,81	454,20	1,3625	1,7340	–	1,350	1,618	–	13,64	–	–
96,00	1,9670	868,2	0,01035	320,70	454,41	1,3701	1,7323	–	1,384	1,652	–	13,80	–	–
98,00	2,0469	858,2	0,00987	323,61	454,58	1,3777	1,7306	–	1,420	1,690	–	13,96	–	–
100,00	2,1291	847,9	0,00941	326,55	454,69	1,3853	1,7287	–	1,459	1,731	–	14,13	–	–
105,00	2,3451	820,4	0,00835	334,07	454,76	1,4047	1,7238	–	1,572	1,849	–	14,59	–	–
110,00	2,5766	789,9	0,00740	341,92	454,46	1,4245	1,7183	–	1,714	2,001	–	15,10	–	–
120,00	3,0880	716,2	0,00572	359,66	452,22	1,4685	1,7039	–	2,195	2,524	–	–	–	–



Фреон 152а

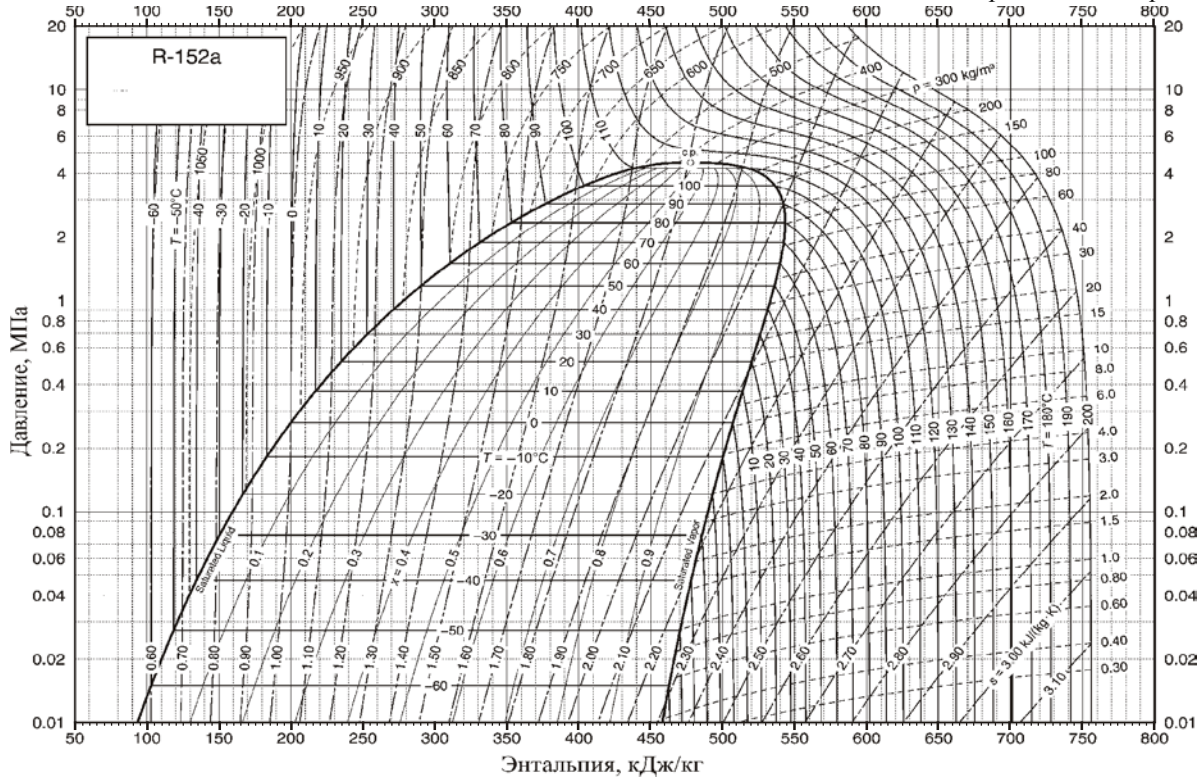
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-118,59a	0,00006	1192,9	303,290	13,79	419,32	0,1119	2,7357	1,477	0,699	1,220	2025,0	5,20	176,3	0,10
-110	0,00019	1177,1	107,740	26,62	425,38	0,1927	2,6368	1,505	0,717	1,214	1528,0	5,48	170,2	0,94
-100	0,00058	1158,7	37,6170	41,75	432,59	0,2827	2,5399	1,518	0,740	1,207	1153,0	5,81	163,4	1,91
-90	0,00153	1140,1	15,0520	56,96	439,97	0,3681	2,4593	1,524	0,763	1,201	904,0	6,14	156,9	2,89
-80	0,00359	1121,3	6,74380	72,23	447,48	0,4492	2,3920	1,530	0,789	1,196	730,2	6,47	150,7	3,86
-70	0,00765	1102,4	3,31970	87,57	455,08	0,5266	2,3357	1,539	0,816	1,192	603,5	6,80	144,7	4,84
-60	0,01500	1083,2	1,76820	103,02	462,74	0,6009	2,2885	1,551	0,845	1,190	507,4	7,14	139,0	5,82
-50	0,02742	1063,7	1,00640	118,62	470,40	0,6723	2,2487	1,567	0,877	1,189	432,5	7,47	133,5	6,81
-40	0,04721	1043,8	0,60583	134,40	478,02	0,7414	2,2152	1,587	0,913	1,190	372,5	7,80	128,2	7,80
-30	0,07718	1023,5	0,38242	150,39	485,55	0,8085	2,1868	1,610	0,952	1,193	323,6	8,14	123,1	8,80
-28	0,08469	1019,4	0,35056	153,62	487,04	0,8216	2,1817	1,615	0,960	1,194	314,8	8,21	122,1	9,01
-26	0,09276	1015,3	0,32186	156,86	488,52	0,8348	2,1767	1,620	0,968	1,195	306,4	8,27	121,2	9,21
-24,02b	0,10133	1011,2	0,29622	160,07	489,98	0,8477	2,1719	1,625	0,977	1,196	298,4	8,34	120,2	9,41
-24	0,10142	1011,1	0,29595	160,11	490,00	0,8478	2,1719	1,625	0,977	1,196	298,3	8,34	120,2	9,41
-22	0,11072	1006,9	0,27253	163,37	491,47	0,8608	2,1672	1,630	0,985	1,197	290,5	8,41	119,2	9,62
-20	0,12068	1002,7	0,25131	166,64	492,94	0,8737	2,1627	1,635	0,994	1,199	282,9	8,48	118,2	9,82
-18	0,13133	998,5	0,23206	169,92	494,40	0,8866	2,1583	1,641	1,003	1,200	275,6	8,54	117,3	10,03
-16	0,14271	994,2	0,21457	173,21	495,85	0,8994	2,1541	1,647	1,013	1,202	268,6	8,61	116,3	10,23
-14	0,15484	989,9	0,19865	176,52	497,29	0,9122	2,1500	1,653	1,022	1,203	261,7	8,68	115,4	10,44
-12	0,16777	985,6	0,18414	179,83	498,72	0,9249	2,1460	1,658	1,032	1,205	255,1	8,75	114,5	10,65
-10	0,18152	981,3	0,17090	183,16	500,15	0,9375	2,1421	1,665	1,041	1,207	248,7	8,82	113,5	10,86
-8	0,19614	976,9	0,15879	186,50	501,56	0,9501	2,1383	1,671	1,051	1,209	242,6	8,88	112,6	11,07
-6	0,21166	972,5	0,14770	189,86	502,96	0,9627	2,1347	1,677	1,062	1,211	236,6	8,95	111,7	11,28
-4	0,22812	968,1	0,13754	193,22	504,36	0,9752	2,1311	1,684	1,072	1,213	230,8	9,02	110,8	11,50

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-2	0,24555	963,6	0,12821	196,61	505,74	0,9876	2,1277	1,690	1,083	1,215	225,1	9,09	109,8	11,71
0	0,26399	959,1	0,11963	200,00	507,11	1,0000	2,1243	1,697	1,094	1,218	219,7	9,16	108,9	11,93
2	0,28349	954,6	0,11174	203,41	508,47	1,0124	2,1211	1,704	1,105	1,221	214,4	9,23	108,0	12,14
4	0,30407	950,0	0,10447	206,83	509,82	1,0247	2,1179	1,711	1,116	1,224	209,2	9,30	107,1	12,36
6	0,32578	945,4	0,09776	210,27	511,16	1,0370	2,1148	1,719	1,128	1,227	204,2	9,37	106,2	12,58
8	0,34867	940,8	0,09156	213,72	512,48	1,0492	2,1118	1,726	1,139	1,230	199,4	9,44	105,4	12,80
10	0,37277	936,1	0,08583	217,19	513,78	1,0614	2,1089	1,734	1,152	1,233	194,7	9,51	104,5	13,03
12	0,39812	931,3	0,08052	220,67	515,08	1,0736	2,1060	1,742	1,164	1,237	190,1	9,58	103,6	13,25
14	0,42476	926,6	0,07560	224,17	516,36	1,0857	2,1032	1,750	1,177	1,240	185,6	9,65	102,7	13,48
16	0,45275	921,8	0,07104	227,69	517,62	1,0978	2,1005	1,759	1,190	1,244	181,3	9,73	101,8	13,71
18	0,48211	916,9	0,06680	231,22	518,86	1,1098	2,0978	1,768	1,203	1,249	177,1	9,80	101,0	13,95
20	0,51291	912,0	0,06286	234,77	520,09	1,1219	2,0952	1,776	1,217	1,253	173,0	9,87	100,1	14,18
22	0,54517	907,0	0,05919	238,34	521,30	1,1339	2,0926	1,786	1,231	1,258	169,0	9,95	99,3	14,42
24	0,57894	902,0	0,05577	241,93	522,50	1,1459	2,0901	1,795	1,246	1,263	165,1	10,02	98,4	14,66
26	0,61428	896,9	0,05258	245,53	523,67	1,1578	2,0876	1,805	1,261	1,268	161,3	10,10	97,5	14,91
28	0,65122	891,8	0,04960	249,16	524,83	1,1698	2,0852	1,815	1,277	1,274	157,6	10,18	96,7	15,16
30	0,68982	886,6	0,04682	252,80	525,96	1,1817	2,0828	1,826	1,293	1,280	154,0	10,26	95,9	15,41
32	0,73012	881,4	0,04422	256,47	527,07	1,1936	2,0804	1,837	1,309	1,286	150,4	10,34	95,0	15,67
34	0,77216	876,0	0,04179	260,16	528,16	1,2055	2,0780	1,848	1,326	1,293	147,0	10,42	94,2	15,93
36	0,81600	870,7	0,03951	263,86	529,23	1,2174	2,0757	1,860	1,344	1,300	143,6	10,50	93,3	16,20
38	0,86169	865,2	0,03737	267,60	530,27	1,2292	2,0734	1,872	1,362	1,307	140,3	10,58	92,5	16,47
40	0,90927	859,7	0,03536	271,35	531,28	1,2411	2,0711	1,885	1,381	1,315	137,1	10,66	91,7	16,74
42	0,95879	854,1	0,03348	275,13	532,27	1,2529	2,0689	1,898	1,401	1,324	134,0	10,75	90,8	17,03

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
44	1,01030	848,4	0,03170	278,93	533,23	1,2648	2,0666	1,912	1,421	1,333	130,9	10,84	90,0	17,32
46	1,06390	842,6	0,03004	282,76	534,16	1,2766	2,0643	1,926	1,443	1,342	127,9	11,21	89,2	17,60
48	1,11960	836,7	0,02846	286,62	535,06	1,2884	2,0620	1,941	1,465	1,353	125,0	11,32	88,4	17,90
50	1,17740	830,8	0,02699	290,50	535,93	1,3003	2,0598	1,957	1,489	1,364	122,1	11,42	87,5	18,22
52	1,23740	824,7	0,02559	294,41	536,77	1,3121	2,0575	1,974	1,513	1,375	119,2	11,53	86,7	18,54
54	1,29970	818,6	0,02427	298,35	537,56	1,3240	2,0552	1,992	1,539	1,388	116,5	11,64	85,9	18,87
56	1,36430	812,3	0,02303	302,33	538,32	1,3358	2,0528	2,010	1,566	1,402	113,7	11,76	85,1	19,21
58	1,43130	805,9	0,02185	306,34	539,04	1,3477	2,0504	2,030	1,595	1,416	111,1	11,88	84,2	19,56
60	1,50070	799,4	0,02074	310,38	539,72	1,3596	2,0480	2,051	1,626	1,432	108,4	12,00	83,4	19,92
62	1,57260	792,7	0,01968	314,45	540,35	1,3716	2,0456	2,073	1,658	1,450	105,8	12,12	82,6	20,30
64	1,64710	785,9	0,01868	318,57	540,94	1,3835	2,0431	2,097	1,693	1,468	103,3	12,26	81,8	20,70
66	1,72420	779,0	0,01774	322,72	541,47	1,3955	2,0405	2,122	1,730	1,488	100,8	12,39	80,9	21,11
68	1,80390	771,9	0,01684	326,92	541,95	1,4076	2,0379	2,150	1,769	1,511	98,3	12,53	80,1	21,54
70	1,88640	764,6	0,01598	331,16	542,37	1,4196	2,0351	2,179	1,812	1,535	95,9	12,68	79,3	22,00
72	1,97170	757,2	0,01517	335,45	542,73	1,4318	2,0323	2,211	1,859	1,562	93,5	12,83	78,5	22,48
74	2,05990	749,5	0,01440	339,79	543,02	1,4440	2,0294	2,245	1,909	1,591	91,1	12,99	77,6	22,98
76	2,15100	741,6	0,01366	344,18	543,24	1,4562	2,0264	2,283	1,964	1,624	88,7	13,16	76,8	23,51
78	2,24520	733,5	0,01296	348,63	543,38	1,4686	2,0232	2,324	2,025	1,661	86,4	13,34	76,0	24,08
80	2,34240	725,2	0,01228	353,15	543,43	1,4810	2,0198	2,370	2,092	1,702	84,1	13,52	75,2	24,69
90	2,87800	678,5	0,00933	376,87	542,06	1,5451	2,0000	2,703	2,586	2,016	72,6	14,64	71,0	28,54
100	3,50500	618,5	0,00686	403,59	536,28	1,6151	1,9707	3,495	3,776	2,805	60,7	16,35	67,0	35,03
110	4,24320	517,4	0,00446	439,22	517,31	1,7058	1,9096	9,260	12,220	8,530	45,6	20,19	67,5	53,48
113,26c	4,51680	368,0	0,00272	477,55	477,55	1,8037	1,8037	∞	∞	∞	–	–	∞	∞



Фреон 500

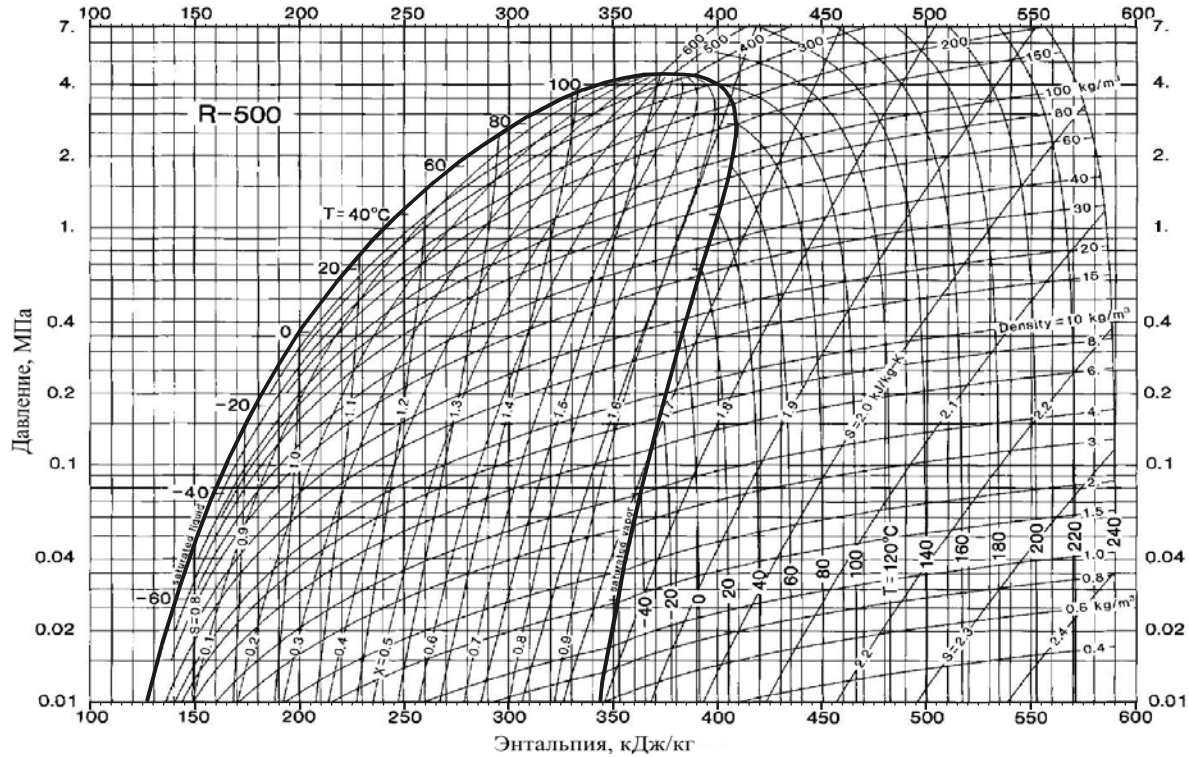
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p'/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-70,00	0,01490	1427,7	1,1277	132,22	346,69	0,7162	1,7719	1,031	0,591	–	571,3	–	112,1	–
-68,00	0,01688	1422,6	1,0045	133,92	347,77	0,7245	1,7669	1,026	0,596	–	554,3	–	111,3	–
-66,00	0,01906	1417,6	0,89695	135,63	348,85	0,7328	1,7621	1,021	0,600	–	537,9	–	110,5	–
-64,00	0,02148	1412,5	0,80283	137,36	349,92	0,7411	1,7574	1,017	0,605	–	522,3	–	109,7	–
-62,00	0,02414	1407,5	0,72024	139,10	351,00	0,7494	1,7529	1,013	0,610	–	507,2	–	108,9	–
-60,00	0,02706	1402,4	0,64758	140,85	352,07	0,7576	1,7486	1,009	0,614	–	492,8	–	108,1	–
-58,00	0,03027	1397,2	0,58351	142,62	353,15	0,7659	1,7444	1,006	0,619	–	479,0	–	107,3	–
-56,00	0,03379	1392,1	0,52687	144,40	354,22	0,7741	1,7404	1,002	0,623	–	465,7	–	106,5	–
-54,00	0,03762	1386,9	0,47669	146,19	355,30	0,7823	1,7365	1,000	0,628	–	453,0	–	105,7	–
-52,00	0,04181	1381,7	0,43213	148,00	356,37	0,7905	1,7327	0,997	0,633	–	440,7	–	104,9	–
-50,00	0,04637	1376,5	0,39248	149,82	357,44	0,7987	1,7291	0,995	0,638	–	429,0	–	104,1	–
-48,00	0,05132	1371,3	0,35712	151,65	358,51	0,8068	1,7256	0,994	0,642	–	417,7	–	103,3	–
-46,00	0,05669	1366,1	0,32553	153,50	359,58	0,8150	1,7222	0,992	0,647	–	406,8	–	102,6	–
-44,00	0,06250	1360,8	0,29724	155,36	360,64	0,8231	1,7190	0,991	0,652	–	396,3	–	101,8	–
-42,00	0,06878	1355,5	0,27186	157,24	361,70	0,8313	1,7158	0,990	0,657	–	386,3	–	101,0	–
-40,00	0,07556	1350,1	0,24905	159,13	362,76	0,8394	1,7128	0,990	0,662	–	376,6	–	100,2	–
-38,00	0,08286	1344,8	0,22852	161,03	363,82	0,8475	1,7099	0,990	0,667	–	367,2	–	99,4	–
-36,00	0,09071	1339,4	0,21000	162,95	364,87	0,8556	1,7070	0,990	0,672	–	358,2	–	98,7	–
-34,00	0,09915	1334,0	0,19326	164,89	365,92	0,8637	1,7043	0,991	0,677	–	349,6	–	97,9	–
-33,51b	0,10132	1332,7	0,18937	165,37	366,17	0,8657	1,7036	0,991	0,679	–	347,5	–	97,7	–
-32,00	0,10819	1328,6	0,17811	166,83	366,96	0,8718	1,7017	0,992	0,683	–	341,2	–	97,1	–
-30,00	0,11787	1323,1	0,16438	168,80	368,00	0,8799	1,6991	0,994	0,688	–	333,1	–	96,3	–

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p'/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-28,00	0,12823	1317,6	0,15191	170,77	369,04	0,8879	1,6967	0,996	0,694	-	325,4	-	95,6	-
-26,00	0,13929	1312,1	0,14057	172,76	370,07	0,8960	1,6943	0,998	0,699	-	317,9	-	94,8	-
-24,00	0,15108	1306,5	0,13024	174,77	371,10	0,9040	1,6920	1,000	0,705	-	310,6	-	94,0	-
-22,00	0,16364	1300,9	0,12082	176,79	372,12	0,9121	1,6898	1,003	0,711	-	303,6	-	93,2	-
-20,00	0,17700	1295,3	0,11222	178,83	373,14	0,9201	1,6877	1,007	0,717	-	296,9	-	92,5	-
-18,00	0,19120	1289,6	0,10434	180,88	374,15	0,9281	1,6856	1,010	0,723	-	290,3	-	91,7	-
-16,00	0,20627	1283,9	0,09713	182,94	375,16	0,9361	1,6836	1,015	0,729	-	284,0	-	90,9	-
-14,00	0,22225	1278,1	0,09052	185,02	376,16	0,9441	1,6817	1,019	0,736	-	277,9	-	90,2	-
-12,00	0,23916	1272,3	0,08444	187,11	377,15	0,9521	1,6798	1,024	0,742	-	272,0	-	89,4	-
-10,00	0,25705	1266,5	0,07886	189,22	378,14	0,9601	1,6780	1,029	0,749	-	266,3	-	88,6	-
-8,00	0,27596	1260,6	0,07371	191,35	379,12	0,9681	1,6763	1,035	0,756	-	260,8	-	87,9	-
-6,00	0,29591	1254,7	0,06897	193,49	380,10	0,9761	1,6746	1,041	0,763	-	255,4	-	87,1	-
-4,00	0,31695	1248,8	0,06459	195,64	381,07	0,9841	1,6730	1,047	0,771	-	250,2	-	86,3	-
-2,00	0,33912	1242,8	0,06055	197,81	382,03	0,9920	1,6714	1,054	0,778	-	245,2	-	85,5	-
0,00	0,36246	1236,7	0,05680	200,00	382,98	1,0000	1,6699	1,062	0,786	-	240,4	-	84,8	-
2,00	0,38699	1230,6	0,05334	202,20	383,93	1,0080	1,6684	1,069	0,794	-	235,6	-	84,0	-
4,00	0,41277	1224,4	0,05012	204,42	384,87	1,0159	1,6670	1,077	0,802	-	231,1	-	83,2	-
6,00	0,43982	1218,2	0,04714	206,65	385,80	1,0239	1,6656	1,086	0,810	-	226,6	-	82,5	-
8,00	0,46820	1212,0	0,04437	208,90	386,72	1,0318	1,6643	1,095	0,819	-	222,3	-	81,7	-
10,00	0,49793	1205,6	0,04179	211,16	387,63	1,0397	1,6630	1,104	0,828	-	218,2	-	80,9	-
12,00	0,52907	1199,2	0,03939	213,44	388,53	1,0477	1,6617	1,114	0,837	-	214,1	-	80,1	-
14,00	0,56165	1192,8	0,03716	215,74	389,43	1,0556	1,6605	1,124	0,846	-	210,2	-	79,3	-
16,00	0,59571	1186,3	0,03507	218,05	390,31	1,0635	1,6593	1,135	0,856	-	206,4	-	78,6	-

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p'/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
18,00	0,63129	1179,7	0,03312	220,38	391,19	1,0714	1,6581	1,146	0,866	–	202,7	–	77,8	–
20,00	0,66844	1173,0	0,03130	222,73	392,05	1,0794	1,6570	1,157	0,876	–	199,1	–	77,0	–
22,00	0,70719	1166,3	0,02959	225,09	392,90	1,0873	1,6558	1,169	0,887	–	195,6	–	76,2	–
24,00	0,74759	1159,4	0,02800	227,47	393,74	1,0952	1,6548	1,181	0,897	–	192,2	–	75,4	–
26,00	0,78968	1152,5	0,02650	229,87	394,57	1,1031	1,6537	1,194	0,908	–	188,9	–	74,6	–
28,00	0,83350	1145,6	0,02510	232,28	395,38	1,1110	1,6526	1,207	0,920	–	185,7	–	73,9	–
30,00	0,87911	1138,5	0,02379	234,71	396,18	1,1189	1,6516	1,221	0,931	–	182,6	–	73,1	–
32,00	0,92653	1131,3	0,02255	237,16	396,97	1,1269	1,6506	1,235	0,943	–	179,5	–	72,3	–
34,00	0,97581	1124,0	0,02139	239,63	397,75	1,1348	1,6496	1,250	0,955	–	176,6	–	71,5	–
36,00	1,0270	1116,7	0,02029	242,12	398,50	1,1427	1,6486	1,265	0,968	–	173,7	–	70,7	–
38,00	1,0802	1109,2	0,01926	244,62	399,25	1,1506	1,6476	1,280	0,981	–	170,9	–	69,9	–
40,00	1,1353	1101,6	0,01829	247,15	399,97	1,1586	1,6466	1,296	0,994	–	168,2	–	69,1	–
45,00	1,2822	1082,0	0,01609	253,56	401,71	1,1784	1,6441	1,338	1,029	–	161,6	–	67,0	–
50,00	1,4426	1061,6	0,01418	260,10	403,31	1,1984	1,6415	1,383	1,066	–	155,5	–	65,0	–
55,00	1,6173	1040,2	0,01251	266,79	404,77	1,2184	1,6389	1,430	1,105	–	149,8	–	62,9	–
60,00	1,8071	1017,6	0,01104	273,64	406,06	1,2385	1,6360	1,481	1,147	–	–	–	60,8	–
65,00	2,0129	993,6	0,00974	280,68	407,15	1,2589	1,6329	–	–	–	–	–	–	–
70,00	2,2355	967,8	0,00859	287,93	407,98	1,2795	1,6293	–	–	–	–	–	–	–
75,00	2,4760	939,9	0,00756	295,44	408,50	1,3004	1,6252	–	–	–	–	–	–	–
80,00	2,7357	909,2	0,00663	303,29	408,63	1,3220	1,6202	–	–	–	–	–	–	–
90,00	3,3180	835,0	0,00499	320,50	407,07	1,3679	1,6063	–	–	–	–	–	–	–
100,00	3,9986	721,7	0,00347	342,64	400,12	1,4248	1,5788	–	–	–	–	–	–	–
105,60c	4,426	498,	0,00201	378,6	378,6	1,512	1,512	∞	∞	∞	–	–	∞	∞



Фреон 600

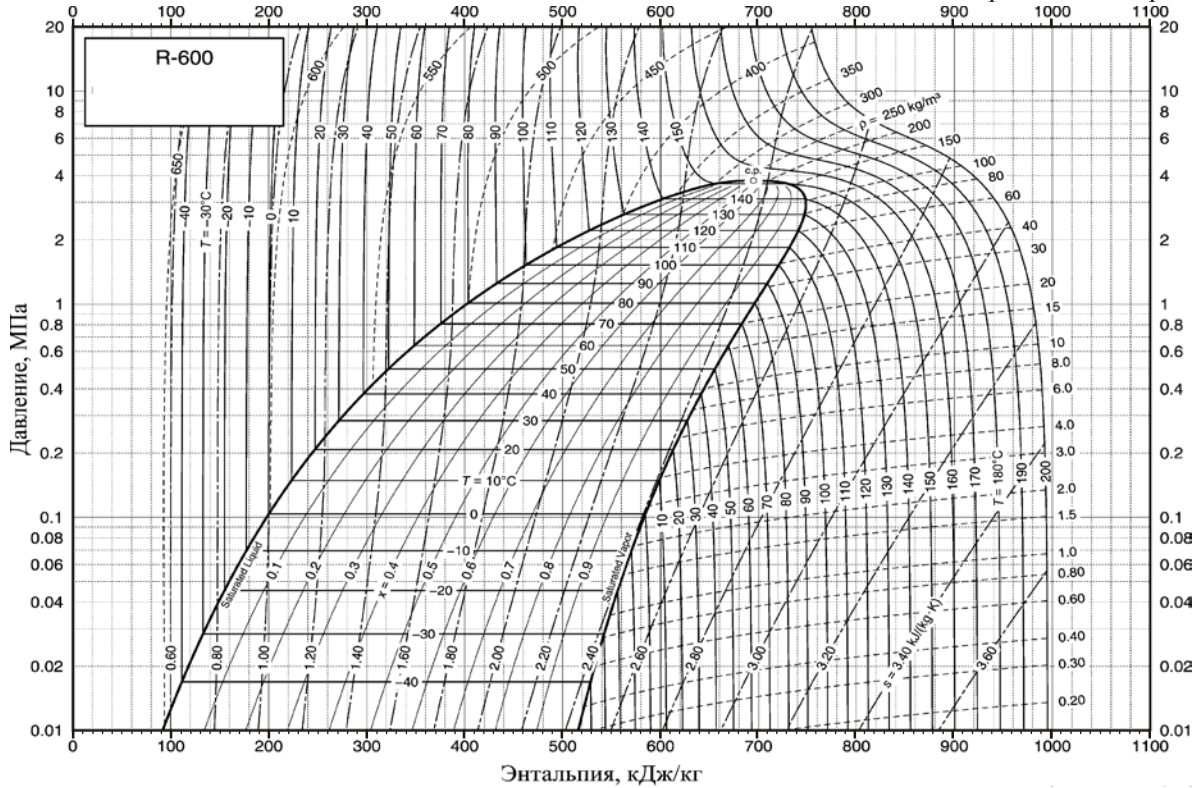
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-100	0,00017	699,1	147,50000	-12,63	450,30	0,0363	2,7099	2,010	1,232	1,132	789,6	4,30	161,5	6,83
-95	0,00028	694,4	89,97600	-2,56	456,48	0,0936	2,6703	2,016	1,247	1,130	716,5	4,43	159,2	7,12
-90	0,00046	689,7	56,65400	7,54	462,72	0,1495	2,6348	2,024	1,263	1,128	653,6	4,55	157,0	7,43
-85	0,00073	684,9	36,72100	17,68	469,03	0,2042	2,6031	2,032	1,280	1,127	599,0	4,68	154,7	7,73
-80	0,00113	680,2	24,44000	27,86	475,41	0,2576	2,5747	2,040	1,296	1,125	551,3	4,81	152,4	8,05
-75	0,00170	675,5	16,66700	38,09	481,86	0,3098	2,5494	2,050	1,313	1,124	509,2	4,93	150,1	8,38
-70	0,00249	670,7	11,62200	48,36	488,36	0,3610	2,5269	2,060	1,331	1,123	471,9	5,06	147,7	8,71
-65	0,00359	666,0	8,27260	58,69	494,93	0,4113	2,5070	2,071	1,349	1,121	438,7	5,18	145,4	9,05
-60	0,00506	661,2	6,00060	69,08	501,55	0,4606	2,4895	2,083	1,368	1,120	408,8	5,31	143,0	9,40
-55	0,00700	656,4	4,42890	79,53	508,23	0,5090	2,4742	2,096	1,387	1,119	382,0	5,43	140,7	9,75
-50	0,00954	651,5	3,32190	90,05	514,96	0,5567	2,4608	2,110	1,407	1,119	357,7	5,55	138,3	10,11
-45	0,01278	646,7	2,52880	100,64	521,74	0,6036	2,4493	2,125	1,428	1,118	335,6	5,68	135,9	10,48
-40	0,01689	641,8	1,95160	111,31	528,57	0,6498	2,4395	2,141	1,449	1,117	315,5	5,80	133,6	10,86
-35	0,02202	636,8	1,52540	122,06	535,44	0,6954	2,4312	2,157	1,472	1,117	297,1	5,92	131,3	11,25
-30	0,02834	631,8	1,20640	132,89	542,36	0,7404	2,4244	2,175	1,495	1,117	280,2	6,04	128,9	11,64
-25	0,03606	626,8	0,96449	143,82	549,31	0,7848	2,4188	2,193	1,519	1,117	264,6	6,16	126,6	12,05
-20	0,04539	621,7	0,77895	154,84	556,29	0,8287	2,4145	2,213	1,544	1,117	250,3	6,28	124,3	12,46
-15	0,05654	616,6	0,63502	165,97	563,31	0,8722	2,4114	2,233	1,570	1,118	237,0	6,41	122,0	12,88
-10	0,06977	611,4	0,52220	177,20	570,36	0,9152	2,4092	2,255	1,597	1,118	224,7	6,53	119,8	13,30
-5	0,08533	606,1	0,43291	188,54	577,43	0,9578	2,4080	2,277	1,625	1,119	213,2	6,65	117,6	13,74
0	0,10349	600,8	0,36159	200,00	584,52	1,0000	2,4077	2,300	1,653	1,120	202,6	6,77	115,3	14,19
-0,56b	0,10132	601,4	0,36880	198,71	583,73	0,9953	2,4077	2,298	1,650	1,120	203,7	6,75	115,6	14,14

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
2	0,11155	598,6	0,33714	204,62	587,36	1,0168	2,4078	2,310	1,665	1,121	198,5	6,82	114,5	14,37
4	0,12008	596,4	0,31467	209,25	590,20	1,0335	2,4081	2,320	1,677	1,122	194,5	6,87	113,6	14,55
6	0,12912	594,3	0,29402	213,91	593,05	1,0502	2,4084	2,330	1,689	1,122	190,7	6,91	112,7	14,74
8	0,13867	592,1	0,27500	218,59	595,90	1,0669	2,4089	2,340	1,702	1,123	186,9	6,96	111,9	14,93
10	0,14877	589,9	0,25746	223,29	598,75	1,0834	2,4095	2,350	1,714	1,124	183,2	7,01	111,0	15,11
12	0,15942	587,6	0,24128	228,00	601,60	1,1000	2,4102	2,360	1,727	1,124	179,6	7,06	110,1	15,31
14	0,17065	585,4	0,22632	232,74	604,45	1,1165	2,4110	2,371	1,740	1,125	176,2	7,11	109,3	15,50
16	0,18248	583,2	0,21249	237,51	607,30	1,1329	2,4118	2,382	1,753	1,126	172,7	7,16	108,4	15,69
18	0,19493	580,9	0,19967	242,29	610,15	1,1494	2,4128	2,393	1,766	1,127	169,4	7,21	107,6	15,89
20	0,20802	578,6	0,18779	247,10	613,01	1,1657	2,4139	2,404	1,779	1,128	166,2	7,26	106,8	16,09
22	0,22177	576,3	0,17676	251,93	615,86	1,1821	2,4151	2,415	1,793	1,129	163,0	7,31	105,9	16,29
24	0,23620	574,0	0,16652	256,78	618,71	1,1984	2,4164	2,427	1,807	1,130	159,9	7,36	105,1	16,49
26	0,25134	571,7	0,15698	261,65	621,56	1,2146	2,4177	2,438	1,821	1,132	156,9	7,41	104,3	16,70
28	0,26721	569,3	0,14811	266,55	624,41	1,2309	2,4192	2,450	1,835	1,133	153,9	7,47	103,5	16,90
30	0,28383	567,0	0,13984	271,47	627,26	1,2471	2,4207	2,462	1,849	1,134	151,0	7,52	102,7	17,11
32	0,30122	564,6	0,13213	276,42	630,11	1,2632	2,4223	2,475	1,864	1,136	148,2	7,57	101,9	17,33
34	0,31940	562,2	0,12493	281,39	632,95	1,2794	2,4239	2,487	1,879	1,137	145,4	7,62	101,1	17,54
36	0,33840	559,7	0,11820	286,39	635,79	1,2955	2,4256	2,500	1,894	1,139	142,7	7,68	100,3	17,76
38	0,35824	557,3	0,11190	291,42	638,63	1,3115	2,4274	2,513	1,909	1,141	140,1	7,73	99,5	17,98
40	0,37895	554,8	0,10601	296,47	641,46	1,3276	2,4293	2,526	1,925	1,142	137,5	7,79	98,7	18,21
42	0,40054	552,3	0,10048	301,54	644,29	1,3436	2,4312	2,539	1,940	1,144	134,9	7,84	97,9	18,43
44	0,42304	549,8	0,09530	306,64	647,11	1,3596	2,4332	2,553	1,957	1,146	132,4	7,90	97,1	18,67
46	0,44648	547,3	0,09044	311,77	649,93	1,3756	2,4352	2,566	1,973	1,148	130,0	7,95	96,4	18,90
48	0,47088	544,7	0,08588	316,93	652,74	1,3916	2,4373	2,580	1,990	1,151	127,6	8,01	95,6	19,14

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	ν''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
50	0,49626	542,2	0,08158	322,12	655,55	1,4076	2,4394	2,595	2,007	1,153	125,2	8,07	94,9	19,38
55	0,56417	535,6	0,07192	335,20	662,53	1,4474	2,4448	2,632	2,051	1,159	119,5	8,22	93,0	20,00
60	0,63877	528,9	0,06359	348,48	669,45	1,4871	2,4505	2,671	2,097	1,167	114,1	8,38	91,2	20,64
65	0,72046	522,0	0,05637	361,95	676,31	1,5267	2,4564	2,712	2,146	1,175	108,9	8,54	89,4	21,32
70	0,80963	514,9	0,05008	375,62	683,08	1,5664	2,4624	2,755	2,198	1,185	103,9	8,71	87,7	22,03
75	0,90672	507,5	0,04459	389,50	689,76	1,6060	2,4684	2,801	2,254	1,196	99,0	8,89	86,0	22,77
80	1,01210	500,0	0,03976	403,61	696,32	1,6456	2,4745	2,851	2,315	1,209	94,4	9,08	84,3	23,56
85	1,12640	492,1	0,03551	417,95	702,74	1,6853	2,4805	2,905	2,381	1,225	89,9	9,29	82,7	24,40
90	1,24980	484,0	0,03175	432,55	709,00	1,7251	2,4863	2,965	2,455	1,243	85,6	9,51	81,2	25,29
95	1,38300	475,5	0,02841	447,42	715,06	1,7650	2,4920	3,030	2,537	1,265	81,3	9,75	79,6	26,24
100	1,52630	466,7	0,02542	462,59	720,89	1,8051	2,4973	3,105	2,630	1,291	77,2	10,01	78,1	27,26
105	1,68050	457,3	0,02275	478,10	726,44	1,8455	2,5022	3,191	2,739	1,324	73,2	10,29	76,7	28,38
110	1,84590	447,5	0,02034	493,97	731,65	1,8862	2,5066	3,292	2,868	1,365	69,2	10,61	75,2	29,60
115	2,02320	436,9	0,01817	510,28	736,44	1,9275	2,5101	3,414	3,025	1,417	65,2	10,96	73,8	30,95
120	2,21310	425,5	0,01618	527,08	740,70	1,9693	2,5127	3,567	3,225	1,487	61,3	11,36	72,4	32,49
125	2,41630	413,1	0,01437	544,48	744,29	2,0121	2,5139	3,768	3,489	1,583	57,3	11,82	71,0	34,26
130	2,63350	399,2	0,01268	562,64	746,98	2,0561	2,5133	4,046	3,863	1,723	53,3	12,37	69,7	36,38
135	2,86590	383,4	0,01110	581,81	748,41	2,1019	2,5101	4,468	4,441	1,947	49,1	13,05	68,3	39,04
140	3,11450	364,5	0,00959	602,44	747,92	2,1505	2,5026	5,211	5,476	2,356	44,7	13,93	67,1	42,71
145	3,38120	340,1	0,00806	625,60	743,96	2,2044	2,4875	6,969	7,942	3,344	39,7	15,22	66,5	48,69
150	3,66920	299,8	0,00625	655,98	730,18	2,2745	2,4498	18,030	22,690	9,290	32,8	17,80	72,0	65,22
151,98c	3,79600	227,8	0,00439	694,91	694,91	2,3651	2,3651	∞	∞	∞	–	–	∞	∞



Фреон 600a

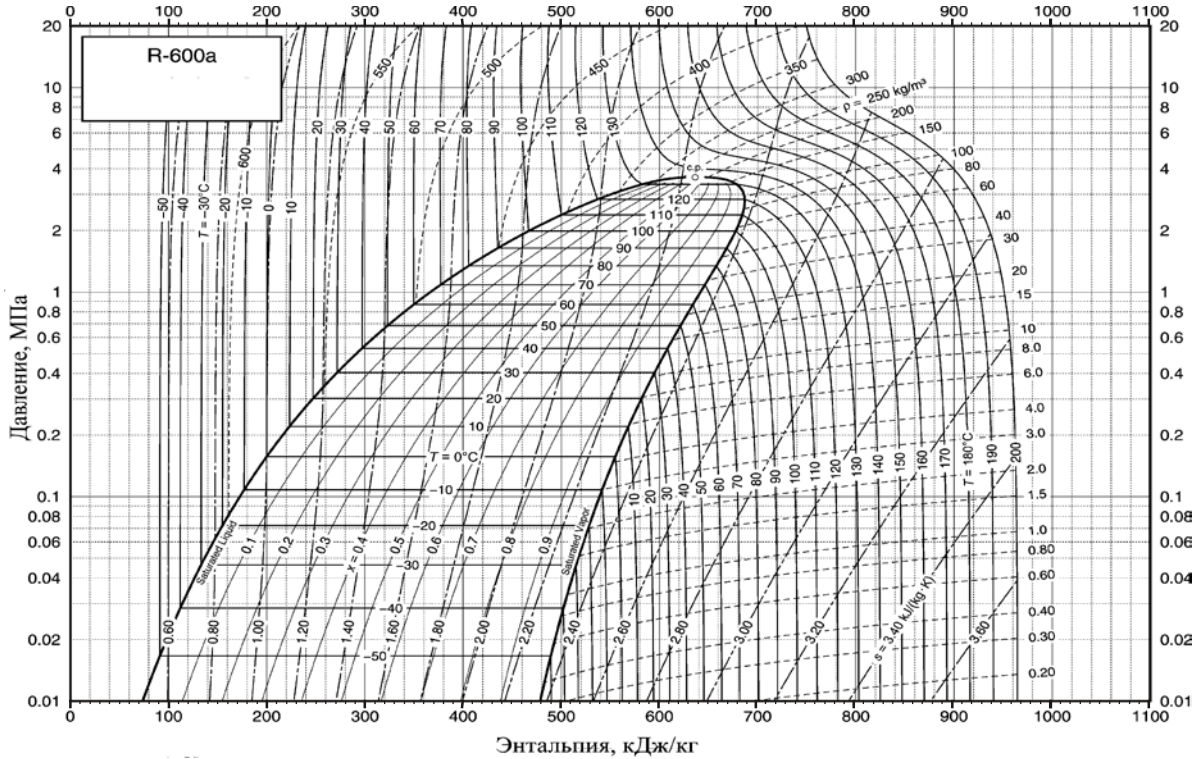
t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p'/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-100	0,00037	684,2	66,74200	-6,95	429,13	0,0648	2,5834	1,879	1,131	1,145	941,8	4,40	140,2	6,03
-95	0,00061	679,5	41,95500	2,49	434,80	0,1186	2,5452	1,895	1,151	1,143	842,4	4,53	138,3	6,39
-90	0,00096	674,7	27,17300	12,00	440,56	0,1712	2,5111	1,911	1,171	1,140	758,1	4,65	136,3	6,76
-85	0,00149	669,8	18,08600	21,60	446,40	0,2229	2,4807	1,927	1,192	1,138	686,0	4,78	134,3	7,13
-80	0,00223	665,0	12,34100	31,28	452,32	0,2737	2,4535	1,944	1,213	1,136	623,7	4,91	132,2	7,50
-75	0,00328	660,1	8,61640	41,04	458,32	0,3236	2,4294	1,962	1,234	1,134	569,4	5,03	130,1	7,88
-70	0,00471	655,1	6,14310	50,90	464,39	0,3727	2,4081	1,980	1,256	1,132	521,9	5,16	128,0	8,27
-65	0,00663	650,2	4,46500	60,85	470,54	0,4211	2,3893	1,998	1,278	1,130	480,0	5,28	125,9	8,67
-60	0,00916	645,2	3,30330	70,89	476,75	0,4687	2,3728	2,017	1,300	1,129	442,9	5,41	123,8	9,06
-55	0,01245	640,1	2,48400	81,03	483,02	0,5157	2,3585	2,037	1,324	1,128	409,8	5,53	121,7	9,47
-50	0,01664	635,0	1,89630	91,27	489,36	0,5621	2,3460	2,057	1,347	1,127	380,1	5,65	119,5	9,88
-45	0,02193	629,8	1,46780	101,61	495,75	0,6079	2,3354	2,078	1,372	1,126	353,4	5,78	117,4	10,29
-40	0,02849	624,6	1,15080	112,06	502,19	0,6532	2,3264	2,100	1,397	1,126	329,2	5,90	115,3	10,72
-35	0,03656	619,4	0,91298	122,63	508,68	0,6979	2,3190	2,122	1,424	1,125	307,3	6,02	113,1	11,14
-30	0,04636	614,0	0,73228	133,31	515,21	0,7422	2,3129	2,145	1,451	1,125	287,4	6,14	111,0	11,57
-25	0,05814	608,6	0,59331	144,10	521,78	0,7861	2,3081	2,169	1,479	1,126	269,2	6,26	108,9	12,01
-20	0,07217	603,2	0,48524	155,02	528,38	0,8296	2,3044	2,194	1,508	1,126	252,6	6,38	106,8	12,45
-15	0,08874	597,6	0,40031	166,07	535,01	0,8727	2,3019	2,219	1,538	1,127	237,3	6,50	104,7	12,90
-11,67b	0,10133	593,9	0,35372	173,50	539,44	0,9012	2,3007	2,236	1,558	1,128	227,8	6,58	103,3	13,21
-10	0,10813	592,0	0,33290	177,24	541,67	0,9154	2,3003	2,245	1,569	1,128	223,3	6,62	102,7	13,36

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p'/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
-5	0,13065	586,3	0,27891	188,55	548,34	0,9579	2,2996	2,272	1,601	1,130	210,3	6,74	100,6	13,83
0	0,15664	580,5	0,23529	200,00	555,03	1,0000	2,2998	2,299	1,634	1,132	198,4	6,86	98,6	14,30
2	0,16808	578,1	0,22021	204,62	557,71	1,0168	2,3001	2,310	1,648	1,132	193,8	6,91	97,8	14,49
4	0,18014	575,7	0,20631	209,26	560,40	1,0335	2,3005	2,322	1,661	1,133	189,4	6,96	97,0	14,68
6	0,19286	573,4	0,19346	213,92	563,08	1,0502	2,3010	2,333	1,675	1,134	185,1	7,01	96,2	14,88
8	0,20624	571,0	0,18159	218,61	565,76	1,0668	2,3016	2,345	1,690	1,135	181,0	7,06	95,4	15,08
10	0,22033	568,6	0,17059	223,32	568,44	1,0835	2,3023	2,357	1,704	1,137	177,0	7,11	94,7	15,27
12	0,23513	566,1	0,16041	228,06	571,13	1,1000	2,3031	2,369	1,719	1,138	173,1	7,16	93,9	15,47
14	0,25067	563,7	0,15095	232,82	573,81	1,1166	2,3041	2,381	1,733	1,139	169,3	7,21	93,1	15,68
16	0,26698	561,2	0,14218	237,60	576,49	1,1331	2,3051	2,393	1,748	1,141	165,6	7,26	92,4	15,88
18	0,28407	558,7	0,13401	242,41	579,17	1,1495	2,3062	2,405	1,764	1,142	162,0	7,31	91,6	16,09
20	0,30198	556,2	0,12642	247,25	581,85	1,1660	2,3074	2,418	1,779	1,144	158,5	7,37	90,8	16,29
22	0,32072	553,7	0,11934	252,10	584,53	1,1824	2,3087	2,431	1,795	1,145	155,1	7,42	90,1	16,50
24	0,34032	551,1	0,11274	256,99	587,20	1,1988	2,3100	2,444	1,811	1,147	151,8	7,47	89,4	16,72
26	0,36080	548,6	0,10657	261,90	589,87	1,2151	2,3114	2,457	1,827	1,149	148,6	7,52	88,6	16,93
28	0,38219	546,0	0,10082	266,84	592,54	1,2314	2,3129	2,470	1,844	1,151	145,4	7,58	87,9	17,15
30	0,40451	543,4	0,09543	271,80	595,20	1,2477	2,3145	2,483	1,860	1,153	142,4	7,63	87,2	17,37
32	0,42779	540,8	0,09039	276,79	597,86	1,2640	2,3161	2,497	1,877	1,155	139,4	7,69	86,5	17,60
34	0,45205	538,1	0,08567	281,81	600,51	1,2802	2,3178	2,511	1,895	1,157	136,5	7,74	85,8	17,82
36	0,47732	535,4	0,08124	286,86	603,15	1,2964	2,3196	2,525	1,913	1,160	133,7	7,80	85,1	18,06
38	0,50362	532,7	0,07708	291,93	605,79	1,3126	2,3214	2,539	1,931	1,162	130,9	7,85	84,4	18,29

Продолжение прил. 2

t	p	ρ'	v''	i'	i''	s'	s''	c_p'	c_p''	c_p/c_v	μ'	μ''	λ'	λ''
40	0,53099	530,0	0,07317	297,03	608,43	1,3288	2,3232	2,553	1,949	1,165	128,2	7,91	83,7	18,53
42	0,55943	527,2	0,06950	302,16	611,05	1,3450	2,3251	2,568	1,968	1,168	125,6	7,97	83,0	18,77
44	0,58899	524,5	0,06604	307,32	613,66	1,3611	2,3270	2,583	1,987	1,171	123,0	8,03	82,3	19,02
46	0,61968	521,7	0,06279	312,51	616,27	1,3773	2,3290	2,598	2,007	1,174	120,5	8,09	81,7	19,27
48	0,65154	518,8	0,05972	317,73	618,86	1,3934	2,3310	2,614	2,027	1,178	118,1	8,15	81,0	19,52
50	0,68459	516,0	0,05683	322,98	621,45	1,4095	2,3331	2,630	2,048	1,182	115,7	8,22	80,4	19,78
55	0,77260	508,7	0,05028	336,23	627,85	1,4496	2,3383	2,671	2,102	1,192	109,9	8,38	78,8	20,46
60	0,86866	501,2	0,04459	349,69	634,15	1,4898	2,3436	2,714	2,160	1,204	104,5	8,56	77,2	21,17
65	0,97322	493,5	0,03961	363,36	640,35	1,5298	2,3490	2,761	2,224	1,218	99,3	8,74	75,7	21,93
70	1,08670	485,6	0,03525	377,25	646,40	1,5699	2,3543	2,812	2,293	1,234	94,3	8,94	74,3	22,74
75	1,20970	477,4	0,03140	391,38	652,29	1,6101	2,3595	2,869	2,370	1,254	89,6	9,16	72,9	23,61
80	1,34270	468,8	0,02799	405,77	657,97	1,6503	2,3645	2,932	2,456	1,278	85,0	9,39	71,6	24,56
85	1,48620	459,9	0,02495	420,45	663,41	1,6907	2,3691	3,005	2,556	1,307	80,6	9,65	70,2	25,60
90	1,64070	450,5	0,02224	435,46	668,56	1,7314	2,3733	3,091	2,673	1,343	76,3	9,95	69,0	26,75
95	1,80700	440,5	0,01980	450,84	673,33	1,7724	2,3768	3,194	2,814	1,390	72,0	10,28	67,8	28,04
100	1,98570	429,8	0,01760	466,66	677,66	1,8140	2,3795	3,325	2,990	1,451	67,8	10,66	66,6	29,51
105	2,17750	418,1	0,01560	483,02	681,40	1,8564	2,3810	3,495	3,219	1,534	63,6	11,10	65,4	31,22
110	2,38320	405,1	0,01376	500,05	684,39	1,8998	2,3809	3,729	3,532	1,651	59,3	11,64	64,3	33,26
120	2,84020	372,7	0,01047	537,11	686,86	1,9922	2,3731	4,643	4,754	2,134	49,9	13,14	62,3	39,10
130	3,36580	319,9	0,00732	582,88	678,46	2,1033	2,3404	9,320	10,960	4,670	38,3	16,13	63,5	52,31
134,67c	3,64000	224,4	0,00446	636,38	636,38	2,2327	2,2327	∞	∞	∞	–	–	∞	∞



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Калнинь, И. М.** Энергосберегающие, экологически чистые технологии теплоснабжения производственных и жилых помещений / И. М. Калнинь, Л. Я. Лазарев, А. И. Савицкий (www.ekip-tnu.ru).
2. **Bouma, J.** The market of heat pumps in Europe / J. Bouma // VI conference of the international power Agency on heat pumps. – Berlin, 1999.
3. **Калнинь, И. М.** Энергосберегающие теплонасосные технологии / И. М. Калнинь (www.ekip-tnu.ru).
4. **Rybach, L.** Status and prospects of geothermal heat pumps (GHP) in Europe and worldwide; sustainability aspects of GHPs. / L. Rybach // International course of geothermal heat pumps, 2002.
5. **Проценко, В. П.** Проблемы использования теплонасосных установок в системах централизованного теплоснабжения / В. П. Проценко // Энергетическое строительство. – 1994. – № 2.
6. **Васильев, Г. П.** Теплонасосные системы теплоснабжения (ТСТ) для потребителей тепловой энергии в сельской местности / Г. П. Васильев // Теплоэнергетика. – 1997. – № 4. – С. 24–27.
7. **Михайлов-Вагнер, А.** Современные энергосберегающие технологии и возможность их применения в цементной промышленности России / А. Михайлов-Вагнер // Цемент и его применение. – 1997. – № 4. – С. 9–14.
8. Холодильные компрессоры: справочник. – М.: Легк. и пищ. промышленность, 1981. – 280 с.
9. Промышленные фторорганические продукты: справ. изд. / Б. Н. Максимов, В. Г. Барабанов, И. Л. Серушкин и др. – Л.: Химия, 1990. – 464 с.
10. **Максимов, Б. Н.** Озонобезопасные хладоны в России / Б. Н. Максимов // Fluorine Notes. – 2002. – V. 2(21).
11. **Васильев, Г. П.** Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных установках / Г. П. Васильев, Н. В. Шилкин // АВОК. – 2003. – № 2. – С. 52–60.
12. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник / под общ. ред. чл.-кор. РАН А. В. Клименко, проф. В. М. Зорина. – 3-е изд., перераб. и дополн. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 632 с. (серия «Теплоэнергетика и теплотехника»; Кн. 4)
13. СНиП 2.04.01–85. Внутренний водопровод и канализация зданий.
14. **Шилкин, Н. В.** Утилизация тепла канализационных стоков / Н. В. Шилкин // Сантехника. – 2003. – № 1. – С. 12–13.
15. Анализ эффективности использования тепловых насосов в централизованных системах горячего водоснабжения / В. П. Фролов, С. Н. Щербаков, М. В. Фролов, А. Я. Шелгинский // Энергосбережение. – 2004. – № 2.

16. **Андрюшенко, А. И.** Сравнительная эффективность применения тепловых насосов для централизованного теплоснабжения / А. И. Андрюшенко // Промышленная энергетика. – 1997. – № 6. – С. 2–4.
17. **Везиришвилли, О. Ш.** Энергосберегающие теплонасосные системы тепло- и хладоснабжения / О. Ш. Везиришвилли, Н. В. Меладзе. – М.: МЭИ, 1994.
18. **Данилов, В. В.** Повышение эффективности системы централизованного теплоснабжения на основе применения технологии тепловых насосов / В. В. Данилов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2000. – № 2. – С. 5–14.
19. **Пустовалов, Ю. В.** Экономические вопросы развития теплонасосных станций / Ю. В. Пустовалов // Теплоэнергетика. – 1986. – № 3. – С. 24–28.
20. **Николаев, Ю. Е.** Основы повышения эффективности теплоснабжающих комплексов городов: дис. ... д-ра техн. наук / Ю. Е. Николаев. – Саратов: Гос. техн. ун-т, 2003.
21. **Кутателадзе, С. С.** Справочник по теплопередаче / С. С. Кутателадзе, В. М. Боришанский. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 415 с.
22. **Кутателадзе, С. С.** Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие / С. С. Кутателадзе. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.
23. **Лебедев, П. Д.** Теплообменные, сушильные и холодильные установки: Учебник для студентов технических вузов / П. Д. Лебедев. – 2-е изд., перераб. – М.: «Энергия», 1972. – 320 с.
24. Справочник по теплообменникам. Т. 1: Пер. с англ.; Под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шикова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.

Учебное издание

Трубаев Павел Алексеевич

Гришко Борис Михайлович

Тепловые насосы

Учебное пособие

Подписано в печать . . .10. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 8,4. Уч.-изд.л. 9,0
Тираж 75 экз. Заказ Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46