

*К 150-летию Научно-учебного комплекса
«Энергомашиностроение»*

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЕ



Редакционный совет

- А. А. Александров (председатель), д-р техн. наук
А. А. Жердев (зам. председателя), д-р техн. наук
В. Л. Бондаренко, д-р техн. наук
А. Ю. Вараксин, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН
К. Е. Демихов, д-р техн. наук
Ю. Г. Драгунов, д-р техн. наук, член-корреспондент РАН
Н. А. Иващенко, д-р техн. наук
В. И. Крылов, канд. техн. наук
М. К. Марахтанов, д-р техн. наук
С. Е. Семенов, канд. техн. наук
В. И. Хвесюк, д-р техн. наук
Д. А. Ягодников, д-р техн. наук

Ю.В. Пешти

Наземные системы обеспечения комфортной жизнедеятельности

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию в качестве
учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки 141200 «Холодильная,
криогенная техника и системы жизнеобеспечения»
и специальности 160401 «Проектирование, производство
и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов»*



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 5

УДК 629.7.048.3(075.8)

ББК 38.762.3

ПЗ1

Рецензенты:

кафедра «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы
Московского государственного университета инженерной
экологии (зав. кафедрой д-р техн. наук, профессор И.М. Калнинь),
д-р техн. наук, профессор *Б.Т. Маринюк*,
канд. техн. наук, профессор *В.Ф. Рожнов*

Пешти, Ю. В.

ПЗ1 Наземные системы обеспечения комфортной жизнедеятельности : учебник / Ю. В. Пешти. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 479, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4066-5

В учебнике дано описание технических средств для обеспечения комфортных условий жизнедеятельности человека в помещениях, обслуживающих ракетно-космическую отрасль. Для указанного характера выполняемой человеком работы (отдыха) или условий протекания производственных и технологических процессов рассмотрены системы кондиционирования воздуха с различными источниками энергии, вентиляции, а также системы обеспечения жизнедеятельности человека в агрессивной окружающей среде. Приведены системы кондиционирования воздуха с воздушными холодильными машинами — высокооборотными детандерами с газовой смазкой узлов трения, — используемые в авиации, специальном наземном транспорте и др. Все системы, машины и аппараты сопровождаются примерами расчета в энергосберегающем режиме работы.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения». Может быть полезен аспирантам и специалистам в области проектирования, производства и эксплуатации ракет и ракетно-космических комплексов.

УДК 629.7.048.3(075.8)

ББК 38.762.3

© Пешти Ю. В., 2015

© Оформление. Издательство

МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015

ISBN 978-5-7038-4066-5

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	8
Основные обозначения и сокращения	10
Введение	12
Глава 1. Атмосферный воздух	19
1.1. Влажный и сухой воздух	19
1.2. Диаграммы состояния влажного воздуха	36
Глава 2. Источники теплоты и влаги	52
2.1. Живые организмы как источники теплоты и влаги	52
2.2. Теплота, поступающая в помещение от оборудования и источников искусственного освещения	56
2.3. Поступление в помещение теплоты от продуктов сгорания и нагретых поверхностей	57
2.4. Поступление теплоты через ограждения и капитальные стены помещения	61
2.5. Поступление в помещение теплоты и влаги от нагретых открытых водных поверхностей	77
Глава 3. Вентиляция помещений	88
3.1. Естественная и принудительная вентиляция	88
3.2. Определение расхода приточного воздуха	91
3.3. Схемы распределения отверстий для подачи воздуха внутри помещения	94
3.4. Движение воздуха в помещении и магистральных сетях	104
3.5. Циклическая работа системы вентиляции	109
Глава 4. Использование природных возобновляемых источников энергии для кондиционирования воздуха	116
4.1. Наземные и подземные воды как источники энергии в системах кондиционирования воздуха	116
4.2. Энергия льда, замороженного в зимний период, используемая для кондиционирования воздуха	122
4.3. Энергия ночного холодного воздуха, используемая в дневное время суток	127
4.4. Использование солнечной энергии в системах кондицио- нирования воздуха	131

Глава 5. Процессы обработки воздуха в системах кондиционирования	134
5.1. Особенности и способы тепловлажностной обработки воздуха	134
5.2. Расчет тепломассообмена при непосредственном контакте воздуха с водой	143
5.3. Область возможного изменения состояния воздуха при его непосредственном контакте с водой	147
5.4. Очистка воды от вредных бактериологических примесей	167
Глава 6. Специальные процессы тепловлажностной обработки воздуха	171
6.1. Доувлажнение воздуха в помещениях. Увлажнители воздуха	171
6.2. Осушка воздуха в помещениях	187
Глава 7. Фильтры и другие технические устройства систем вентиляции и кондиционирования	221
7.1. Фильтры грубой очистки воздуха	221
7.2. Фильтры тонкой и особо тонкой очистки воздуха	236
7.3. Очистка воздуха от газовых, аэрозольных нежелательных и вредных примесей	244
7.4. Специальные устройства в системах кондиционирования воздуха	248
Глава 8. Аппараты систем кондиционирования для тепловлажностной обработки воздуха	254
8.1. Поверхностные теплообменные аппараты с гладкими трубками	254
8.2. Поверхностные теплообменные аппараты с оребренными трубками	261
8.3. Сухие рассольные теплообменные аппараты	273
8.4. Пластинчатые поверхностные теплообменные аппараты	279
8.5. Тепловые трубы	286
8.6. Форсуночные камеры	298
8.7. Тепломассообменные аппараты с орошаемой насыпной насадкой	303
8.8. Приточно-вытяжная система кондиционирования для утилизации теплоты удаляемого воздуха	308
Глава 9. Системы кондиционирования воздуха общего назначения ...	315
9.1. Центральные системы кондиционирования воздуха	315

9.2. Центральные-местные системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фанкойлами	326
9.3. Автономные системы кондиционирования воздуха	330
Глава 10. Системы кондиционирования с воздушными холодильными машинами	344
10.1. Наземные системы кондиционирования с воздушными холодильными машинами общего назначения	344
10.2. Шахтное кондиционирование воздуха	354
10.3. Системы прецизионного кондиционирования воздуха	360
Глава 11. Узлы трения с газовой смазкой машин систем кондиционирования воздуха	384
11.1. Характерные свойства газов как смазочных веществ	384
11.2. Принцип работы и конструктивные схемы узлов трения	388
11.3. Основные характеристики системы ротор — газовый подвес	399
11.4. Расчет и конструктивные схемы газовых подшипников и подвесов	404
Глава 12. Наземные замкнутые технические системы обеспечения жизнедеятельности	420
12.1. Экологическая система человек — микроатмосфера скафандра	420
12.2. Расчет автономной системы жизнеобеспечения	426
12.3. Системы обеспечения жизнедеятельности человека на морской глубине	439
Литература	443
Приложение 1	444
Приложение 2	476

Предисловие

В последнее время в связи с быстро изменяющимися и возрастающими требованиями к точности протекания различных, особенно новых, наукоемких технологических и промышленных процессов, в частности, при изготовлении космических комплексов и систем, а также в наземных системах управления ракетно-космическими комплексами возникает необходимость поддержания в помещениях с помощью технических средств искусственной атмосферы со стабильными длительные время параметрами, резко отличающимися от параметров окружающей среды. Например, в подводных лодках и домах, расположенных в зонах освоения континентального шельфа морей, при горячей обработке в инертной среде тугоплавких редкоземельных металлов, в случае техногенных катастроф (в частности, при разрывах магистральных газопроводов) и т. п. В то же время повсеместно на Земле ухудшается экологическая обстановка, особенно это касается крупных городов и помещений, где трудятся или отдыхают люди. Для улучшения и создания комфортной среды обитания человека и необходимых условий осуществления технологических процессов в этих помещениях применяют такие технические средства, как системы вентиляции, кондиционирования и обеспечения жизнедеятельности.

Сохранение Россией научно-технического и производственного потенциала в области космонавтики на уровне наработок, сделанных в СССР, близких к мировым стандартам, и наметившаяся тенденция дальнейших исследований космического пространства, рост объема мирового рынка космических услуг — все это диктует необходимость формирования единого и нового подхода к подготовке специалистов (инженеров) в рассматриваемой области науки, в машиностроение и технологиях. Создание комфортных условий жизнедеятельности человека чрезвычайно важно не только на космических объектах и наземных сооружениях ракетно-космических комплексов, но и в повседневной жизни.

По мнению автора, материал, изложенный в учебнике, будет способствовать более качественной подготовке специалистов в рассматриваемой области науки и техники на современном этапе ее развития.

В основу книги положены лекции, читаемые автором в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана, а также многолетний опыт исследовательской и преподавательской работы на кафедре «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения». Приложение 1 написано канд. техн. наук И.В. Тищенко.

Автор глубоко признателен коллективу кафедры «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы Московского государственного университета инженерной экологии, возглавляемой д-ром техн. наук, профессором И.М. Калниным, д-ру техн. наук, профессору Б.Т. Маринюку, канд. техн. наук, профессору кафедры систем жизнеобеспечения и защиты ракетно-космических аппаратов Московского авиационного института (национального исследовательского университета) В.Ф. Рожнову за сделанные ими замечания и предложения при рецензировании рукописи. Автор выражает искреннюю благодарность канд. техн. наук, доценту Ю.Д. Фролову и всем, кто принимал участие в обсуждении и подготовке к изданию учебника.

Основные обозначения и сокращения

V	— объем, м ³
v	— объем удельный, м ³ /кг
T	— абсолютная температура, К
t	— температура, °С
p	— давление, Па
m	— масса, кг
M	— молярная масса, кг/моль
η	— вязкость динамическая, Па · с
ν	— вязкость кинематическая, м ² /с
φ	— влажность относительная
d	— влажность абсолютная, г/кг (с. в.)
C_i	— концентрация i -го компонента смеси, %
C	— концентрация массовая, кг/м ³
C_M	— концентрация молярная, моль
σ	— натяжение поверхностное, Н/м
v	— скорость движения среды, м/с
c	— теплоемкость, Дж/К
c_m	— теплоемкость удельная, Дж/(кг · К)
R	— универсальная газовая постоянная, $R = 8314,2$ Дж/(кмоль · К)
R_g	— газовая постоянная, Дж/(кг · К)
r	— теплота удельная, Дж/кг
τ	— время, с
Φ	— поток тепловой, Вт
q	— плотность теплового потока, Вт/м ²
F	— площадь поверхности, м ²
α	— коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² · К)
k	— коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² · К)
Q	— теплота, Дж
q_m	— расход массовый, кг/с
q_t	— расход объемный, м ³ /с
λ	— теплопроводность, Вт/(м · К)
a	— температуропроводность, м ² /с
ρ	— плотность, кг/м ³
H	— энтальпия, Дж/кг
W	— внешняя статическая нагрузка, Н
Q_0	— холодопроизводительность, Вт
K	— кратность воздухообмена

η	— коэффициент полезного действия
ω	— угловая скорость, рад/с
g	— ускорение свободного падения, м/с ²
Λ	— число сжимаемости для газодинамического подшипника
f	— частота колебаний, с ⁻¹
Ar	— число Архимеда
We	— число Вебера
Gr	— число Грасгофа
Lo	— число Ломоносова
Nu	— число Нуссельта
Pr	— число Прандтля
Re	— критерий Рейнольдса
Kn	— число Кнудсена
$a_{зв}$	— скорость звука, м/с
e	— эксцентриситет, м
A	— амплитуда колебаний, м
Π	— периметр, м
N_e	— мощность эффективная, Вт
P	— сила тяжести, Н
АСОЖ	— автономная система обеспечения жизнедеятельности
АЭС	— атомная электростанция
ВХМ	— воздушная холодильная машина
ГТУ	— газотурбинная установка
ПДК	— предельно допустимая концентрация
ПСКВ	— прецизионные системы кондиционирования воздуха
РЭТ	— радиационно-эффективная температура
СЖО	— система жизнеобеспечения
СКВ	— системы кондиционирования воздуха
СОЖ	— системы обеспечения жизнедеятельности
ЭЭТ	— эквивалентно-эффективная температура

Введение

Естественная нормальная среда обитания человека на Земле характеризуется наличием магнитного поля напряженностью 0,3...0,6 Гс; газовым составом атмосферы (~78 % азота N, ~21 % кислорода O₂, 0,03...0,04 % диоксида углерода CO₂); ускорением силы тяжести ($\approx 9,8 \text{ м/с}^2$); атмосферным давлением (0,1 МПа $\approx 760 \text{ мм рт. ст.}$); уровнем солнечной радиации; температурой атмосферы (– 50...+50 °С).

Среду обитания человека, которая длительное время не содержит раздражающих и возбуждающих факторов, препятствующих или ограничивающих физическую и умственную работу, а также отдых, называют *комфортной средой жизнедеятельности*. Это понятие также применимо к нормальному протеканию различных технологических и промышленных процессов.

Комфортной средой жизнедеятельности человека на Земле считают воздушную среду, определяемую приведенными ниже факторами.

1. Относительная влажность воздуха $\varphi_{\text{в}} = 40...70 \%$ (при $\varphi_{\text{в}} < 40 \%$ ощущается сухость во рту, выражающаяся в покашливании, при $\varphi_{\text{в}} > 70 \%$ — духота в помещении).

2. Скорость движения воздуха в помещении, где находится человек, $v_{\text{в}} = 0,15...0,3 \text{ м/с}$ (при $v_{\text{в}} \geq 0,1 \text{ м/с}$ ощущается духота в помещении, при $v_{\text{в}} \leq 0,3 \text{ м/с}$ — дискомфорт, связанный с разной степенью отвода или подвода теплоты с поверхности тела человека воздушным потоком, поэтому в зоне подачи воздуха необходимо периодически изменять направление его движения).

3. Температура воздуха, различающаяся по длине тела человека (голова — ноги), $t_{\text{в}} = 2...3 \text{ °С}$ (по поговорке «держи ноги в тепле, а голову в холоде»). При этом температура пола в помещениях, где люди находятся в движении, не должна превышать 25 °С, а при их пребывании в состоянии покоя — 28 °С.

4. Температура воздуха в помещении $t_{\text{в,пом}}$, определяемая СНиП 2.04.05–91*, зависит от характера деятельности человека, его индивидуальных особенностей и *метеорологического фактора* — совместного действия на организм человека температуры, влажности и скорости движения воздуха в окружающей среде. Для оценки одновременного влияния этих параметров введена так

называемая *эквивалентно-эффективная температура* (ЭЭТ), которая не равна температуре окружающего воздуха. Эта величина является условной и определяет одинаковый отвод теплоты с поверхности тела человека при действии метеорологического фактора. Например, влажный воздух при низкой температуре и сухой воздух при более высокой температуре могут оказывать тождественное влияние на организм человека, что будет соответствовать одинаковой ЭЭТ. Чем выше температура воздуха, тем ниже должна быть его влажность, поскольку ослабление теплоотдачи конвекцией компенсируется массообменом, т. е. обильным потовыделением.

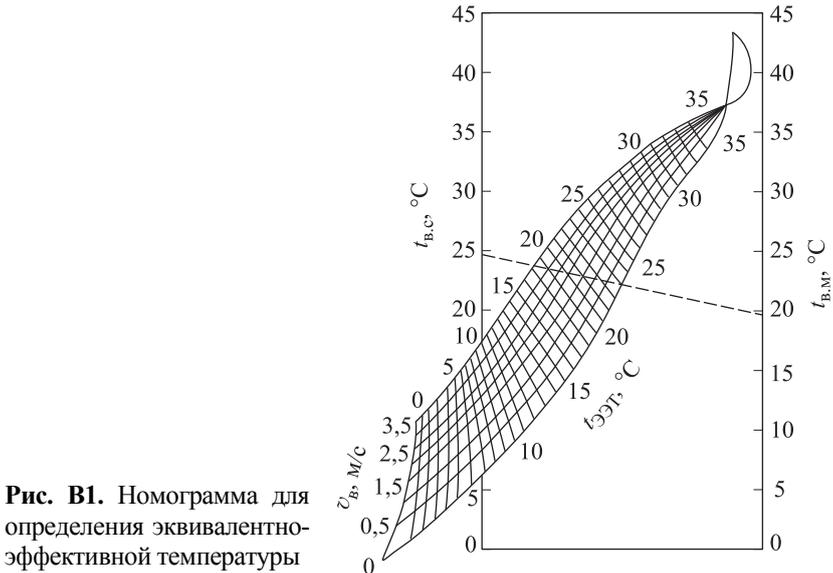


Рис. В1. Номограмма для определения эквивалентно-эффективной температуры

Для любого сочетания температуры, относительной влажности и скорости воздуха можно определить температуру неподвижного насыщенного воздуха, который создает такое же тепловое ощущение у человека, как и комбинация всех трех указанных параметров.

На рис. В1 приведена номограмма для определения ЭЭТ при различных сочетаниях температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в помещении без учета влияния на человека радиации от отопительных приборов. Иногда местное влияние на человека радиации от отопительных приборов оценивают условной радиационно-эквивалентной температурой (РЭТ). При

этом ЭЭТ находят в точке пересечения прямой, соединяющей температуру, измеренную сухим $t_{в,с}$ и мокрым $t_{в,м}$ термометрами (это соответствует определенной относительной влажности воздуха), с линиями постоянных скоростей движения воздуха.

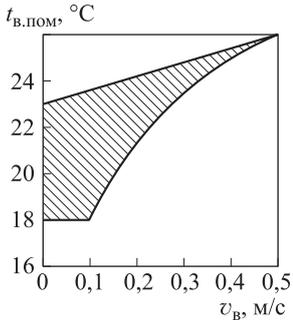


Рис. В2. Область комфортного состояния человека в зависимости от скорости обдува

На рис. В2 показана область комфортного состояния человека (заштрихована) в зависимости от температуры $t_{в,пом}$ и скорости $v_{в}$ перемещения воздуха.

5. Не должно быть постороннего запаха, раздражающего и угнетающего человека, в окружающей воздушной среде.

6. Уровень шума в среде обитания человека не должен превышать рекомендованного СНиП 2.04.05–91* значения для данного типа помещения.

7. Воздух среды обитания человека должен быть ионизирован. Как

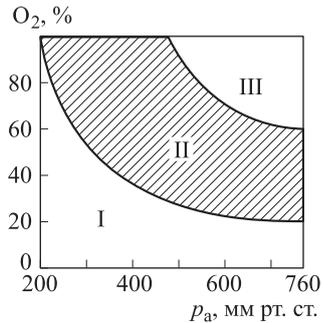
показали наблюдения, оптимальным является соотношение между отрицательно и положительно заряженными аэроионами, изменяющееся примерно в пределах от 1:1 до 5:1. Нарушение этого соотношения, особенно в сторону избытка положительных аэроионов, приводит к повышенной утомляемости человека, раздражительности, росту артериального давления и другим патологиям. Наиболее часто это наблюдается в крупных городах, а также в помещениях с большим количеством электроаппаратуры.

8. Минимальное парциальное давление кислорода в воздушной (или иной газовой) среде обитания человека при любом атмосферном давлении p_a , согласно проведенным исследованиям, не должно быть менее 97...110 мм рт. ст.

Примечание. Газообмен человеческого организма со средой обитания осуществляется через альвеолы — легочные бронхиальные ходы, заканчивающиеся пузырьками, окруженными мышечной тканью, пронизанной кровеносными сосудами. Стенки альвеол — полупроницаемые мембраны, проницаемые для компонентов воздуха и непроницаемые для крови, имеют общую площадь до 80 м^2 . Гидравлическое сопротивление альвеолярной ткани при дыхании человека равно минимальному парциальному давлению кислорода в воздухе, т. е. находится в диапазоне 97...110 мм рт. ст., что соответствует допустимой концентрации кислорода ($\sim 12 \%$).

Потребление человеком кислорода (около 1 кг в сутки) определяется разностью парциальных давлений кислорода в альвеолах и крови и зависит от биохимических особенностей организма каждого человека. На рис. В3 показано содержание кислорода O_2 в воздухе среды обитания человека при разном атмосферном давлении.

Рис. В3. Область низкого (I), высокого (II) давления и нормальной длительной жизнедеятельности (III) человека (по содержанию кислорода в земной атмосфере) в зависимости от атмосферного давления ($p_a = 760$ мм рт. ст. — давление на уровне Мирового океана)



9. Большое содержание кислорода в среде обитания человека также вредно, как и его недостаток (рис. В4). Кислород становится токсичным при парциальном давлении 191...282 мм рт. ст. При нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) вдыхание чистого кислорода поражает центральную нервную систему, что сопровождается тошнотой, головокружением, конвульсиями, обмороком. Давление в диапазоне 400...760 мм рт. ст. может вызвать бронхит, зуд, покалывание кожи, тошноту, а в диапазоне 200...400 мм рт. ст. — поражение кроветворных органов, почек, отек легких, разрушение красных кровяных телец в крови (на рис. В4 границы этих областей указаны приближенно).

10. Нормальная концентрация диоксида углерода в среде обитания человека составляет около 0,03 % (об.), предельно допустимая концентрация (ПДК) — 0,5...1,5 %. Человек обычно выделяет 1,15 кг диоксида углерода в сутки (патологическое влияние CO_2 на организм человека необратимо).

Ниже приведены сведения об ощущениях человека и степени влияния на него концентрации CO_2 , % (об.), в окружающей среде:

Сухость во рту	0,7...0,1
Тяжело находиться в помещении	0,3
Тошнота	0,5
Отключение сознания	2,0
Удушье	4,0
Летальный исход (через 1 ч)	5,0

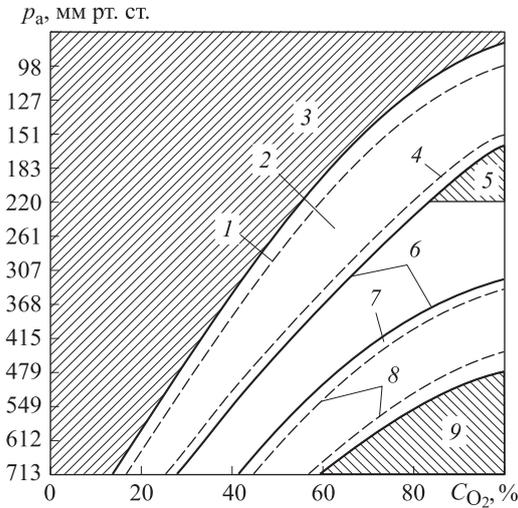


Рис. В4. Диаграмма изменения состояния человека при различных атмосферном давлении p_a и концентрации O_2 в атмосфере:

1, 2 — области кратковременного ($p_{O_2} = 97 \dots 110$ мм рт. ст.) и длительно-го ($p_{O_2} = 110 \dots 125$ мм рт. ст.) пребывания; 3 — зона возникновения острой гипоксии ($p_{O_2} < 97$ мм рт. ст.); 4, 5 — зоны появления высотной болезни ($p_{O_2} = 125 \dots 149$ мм рт. ст.); 6 — зона неограниченной во времени переносимости кислорода ($p_{O_2} = 150 \dots 300$ мм рт. ст.); 7 — допустимая, но ограниченная во времени зона ($p_{O_2} = 330 \dots 340$ мм рт. ст.); 8 — область кратковременного пребывания ($p_{O_2} = 340 \dots 405$ мм рт. ст.); 9 — зона токсического действия кислорода ($p_{O_2} > 405$ мм рт. ст.)

11. Наличие угарного газа (оксида углерода CO) в воздухе. Он ядовит, поскольку гемоглобин крови, содержащийся в красных кровяных тельцах, имеет гораздо большее сродство (растворимость) с оксидом углерода, чем с кислородом (в 250—300 раз). Если во вдыхаемом человеком воздухе есть CO , то кровь усваивает его вместо O_2 и по телу человека циркулирует карбоксигемоглобин (H_bCO) вместо оксигемоглобина (гемоглобин + $O_2 = H_bO_2$). При этом начинается кислородное голодание, которое при достаточном насыщении крови CO может привести к летальному исходу. Различают три степени острого (т. е. нехронического) отравления угарным газом: слабое (ощущается шум в ушах, головная боль, головокружение, сильное сердцебиение); тяжелое (ко всем выше-

перечисленным симптомам прибавляется потеря способности двигаться и притупляется сознание); смертельное (потеря сознания, судороги, смерть). Последствия вдыхания СО обычно необратимы! Степень отравления человека, находящегося в покое, зависит от следующих четырех категорий токсичных концентраций СО в воздухе:

никаких последствий или лишь слабые симптомы отравления через несколько часов — 0,2 мг/л;

слабое отравление после воздействия до 1 ч — 0,6 мг/л;

тяжелое отравление — 1,6 мг/л;

смертельное отравление — 5 мг/л.

В воздухе помещения ПДК СО должна быть не более 0,002 мг/л.

Следует отметить, что угарный газ в смеси с воздухом в концентрации 13–16...75 % самопроизвольно взрывается. Он легче воздуха, его плотность составляет 0,97 плотности воздуха.

12. Акролеин (акриловый альдегид) опасен для жизни человека. Он является продуктом сгорания и разложения (крекинга) смазочного масла. ПДК акролеина в воздухе помещения — 0,0007 мг/л.

13. Туман серной кислоты (H_2SO_4), выделяющийся в аккумуляторных помещениях, также токсичен для человека. ПДК сернокислотного тумана составляет 0,001 мг/л воздуха помещения.

Неизменность параметров комфортной среды жизнедеятельности человека на длительное время можно обеспечить только вентиляцией и кондиционированием воздуха.

Вентиляция — регулируемый воздухообмен в закрытых помещениях, благоприятный для человека, а также удаление излишков теплоты из помещения путем подачи вентилятором воздуха окружающей среды без изменения его состояния. Наличие вредных примесей в воздухе помещения лимитируется санитарными нормами, разными в каждой стране.

Системы кондиционирования воздуха (СКВ) предназначены для автоматического поддержания в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения).

Система жизнеобеспечения (СЖО) — автономная (замкнутая) техническая система, обеспечивающая длительно биологическое существование человека и других живых организмов в герметичном помещении, окруженном агрессивной окружающей средой.

Система обеспечения жизнедеятельности (СОЖ) — автономная (замкнутая) техническая система, обеспечивающая длительно комфортные условия биологическому существованию человека и позволяющая выполнять ему физическую и умственную работу в герметичном помещении, окруженном агрессивной средой.

Агрессивной окружающей средой называют среду, хотя бы один из параметров которой несовместим с жизнью человека (например, вакуум космоса или вода Мирового океана при нахождении человека в подводном доме, прорыв магистрального газопровода в жилом массиве и т. п.).

Глава 1

Атмосферный воздух

Физиологическое воздействие состава воздуха окружающей среды на организм человека огромно. Какова свежесть, чистота воздуха, душно, жарко или холодно человеку во многом зависит от инженерных систем, обеспечивающих параметры комфортной воздушной среды помещения, в котором происходит трудовая деятельность человека или какой-либо управляемый технологический процесс. В главе рассмотрены основные понятия и соотношения параметров воздуха, необходимые для создания механических систем, обеспечивающих комфортную воздушную среду.

1.1. Влажный и сухой воздух

Диаграмма состояния воды

Воздух окружающей нас атмосферы Земли называют *влажным воздухом*. Он представляет собой смесь сухого воздуха с водяным паром. Смесь, состоящую из сухого воздуха и перегретого водяного пара, называют *ненасыщенным влажным воздухом*, а смесь, состоящую из сухого воздуха и насыщенного водяного пара, — *насыщенным влажным воздухом*. Под *сухим воздухом* будем понимать газовую смесь, в которой отсутствуют водяные пары. Основные компоненты сухого воздуха приведены в табл. 1.1, а его параметры в зависимости от температуры при нормальном атмосферном давлении $p_a = 760$ мм рт. ст. — в табл. 1.2.

На p — t -диаграмме состояния воды H_2O , имеющей плоскую поверхность раздела фаз (рис. 1.1), равновесное состояние твердой и газообразной фаз обозначено кривой AC , жидкой и твердой — линией AB , а жидкой и паровой — кривой AD . Справа от кривой CAD расположена область газообразной фазы воды (водяной пар), между линиями AB и AD — жидкая фаза (вода), а слева от линии AB — твердая фаза (лед).

Глава 2

Источники теплоты и влаги

В помещениях жилых, общественных и промышленных зданий, наземных СОЖ и СКВ ракетных комплексов вследствие происходящих в них процессов в воздух выделяются теплота, влага (водяные пары), вредные и нежелательные газовые примеси, аэроионы, механические частицы и разного рода пыль, различные опасные производственные вещества, аэрозоли и т. п.

Источниками выделения в окружающую среду теплоты (энергии) могут служить человек, животное, технологическое оборудование, поверхности резервуаров и водоемов при нагревании и испарении, различные вещества при их сгорании и охлаждении, воздух окружающей среды, солнечная радиация, проникающие через ограждения помещения за счет инфильтрации*, осветительные приборы и др. Соответственно тепловой поток (поток энергии), переносимый в процессе теплообмена в окружающую среду,

$$\Phi = \Phi_{\text{чел}} + \Phi_{\text{жив}} + \Phi_{\text{об}} + \Phi_{\text{нагр}} + \Phi_{\text{исп}} + \Phi_{\text{сг}} + \Phi_{\text{охл}} + \Phi_{\text{инф}} + \Phi_{\text{осв}} + \dots$$

Источниками выделения влаги в окружающую среду могут быть человек и животное, технологическое оборудование промышленных предприятий, смоченные поверхности, открытые водные резервуары (при испарении), воздух окружающей среды за счет инфильтрации и т. д. Следовательно, массовый расход влаги

$$q_m = q_{m\text{чел}} + q_{m\text{жив}} + q_{m\text{об}} + q_{m\text{см}} + q_{m\text{исп}} + q_{m\text{инф}} + \dots$$

2.1. Живые организмы как источники теплоты и влаги

Выделение живыми организмами теплоты и влаги, образующихся в результате их жизнедеятельности, зависит от характера физической нагрузки и метеорологических параметров окружа-

* Под инфильтрацией в данном случае понимают просачивание теплоты или влаги в помещение через щели окон и дверей из смежных помещений или окружающей среды.

Вентиляция помещений

Простейший способ повышения качества воздушной среды в помещении — воздухообмен. С его помощью в некоторых случаях можно поддерживать на заданном уровне химический состав и физическое состояние воздуха в помещениях, где выделяются различные газообразные вредные или нежелательные вещества и находятся люди, либо обеспечивать нормальное протекание технологических процессов. В помещении все эти вещества переносятся воздушными струями различного происхождения. Так, при наличии нагретых поверхностей или коммуникаций воздух помещения, соприкасаясь с ними, нагревается, его плотность становится меньше плотности окружающего воздуха и он поднимается вверх. Образование струй охлажденного воздуха происходит у поверхностей, имеющих температуру ниже температуры воздуха в помещении, но при этом струи охлажденного воздуха, имея большую плотность, опускаются вниз. Происходит конвективный теплообмен.

3.1. Естественная и принудительная вентиляция

Струйное течение воздуха может образовываться вследствие движения подъемно-транспортных механизмов, вращения деталей оборудования и других устройств. В зимний период года струи холодного воздуха попадают в помещение при открывании наружных ворот, фрамуг, через неплотности ограждения помещений.

В результате взаимодействия воздушных струй различной плотности в воздухе происходит формирование температурных полей и зон с вредными примесями. Вредные и нежелательные газовые примеси распространяются также в процессе диффузии, при которой происходит молекулярный обмен в струях вследствие различия их парциальных давлений. Однако этот массообмен можно практически не принимать во внимание, так как скорость струйного перемещения вредных веществ в помещении во много раз превышает скорость диффузии газов.

Глава 4

Использование природных возобновляемых источников энергии для кондиционирования воздуха

Для кондиционирования воздуха в помещении используют естественные (природные возобновляемые) безмашинные и искусственные машинные источники энергии, а также энергию солнечного излучения.

К *естественным источникам энергии* относят артезианские воды, глубинные воды Мирового океана, воды истоков горных рек, холод в зонах вечной мерзлоты, ночной холод, водяной лед, замороженный зимой.

Искусственными источниками энергии служат парокompрессионные воздушные холодильные машины, тепловые насосы (абсорбционные холодильные машины), парожетторные холодильные машины.

Энергию солнечного излучения используют для кондиционирования воздуха в холодное время года непосредственно в момент ее получения или аккумулируют в целях ее применения в ночное время суток.

4.1. Наземные и подземные воды как источники энергии в системах кондиционирования воздуха

Артезианские воды (от названия французской провинции Артуа (лат. Artesium), где эти воды издавна использовались) — напорные подземные воды, заключенные между водоупорными слоями. Главным образом залегают в доантропогенных отложениях, в пределах геологических структур, образуя артезианские бассейны.

В отличие от грунтовых вод, участвующих в водообмене с поверхностью земли, химический состав подземных вод обычно отражает геологические условия формирования земных недр. Каждый крупный артезианский бассейн включает в себя подземные воды различного химического состава: от высокоминерализованных растворов хлоридного типа до пресных слабоминерализованных

Глава 5

Процессы обработки воздуха в системах кондиционирования

Кондиционирование воздуха является высшей степенью длительного поддержания техническими средствами комфортного состояния воздушной среды в помещениях, где находятся люди или должны быть обеспечены определенные параметры воздуха для нормального протекания различных технологических процессов.

В главе рассмотрена только тепловлажностная обработка приточного воздуха.

5.1. Особенности и способы тепловлажностной обработки воздуха

Тепловлажностная обработка воздуха

Для круглогодичного поддержания в кондиционируемых помещениях постоянных температуры и влажности воздуха необходимы разные подходы в летнее и зимнее время года к обработке атмосферного приточного воздуха перед его подачей в кондиционируемое помещение. Так, в летнее время года атмосферный приточный (наружный) воздух обычно имеет более высокие влажность и температуру, чем воздух в кондиционируемом помещении. Поэтому требуются дополнительные осушка и охлаждение воздуха перед его подачей в помещение, чтобы обеспечить заданную температуру и влажность воздуха на весь летний период года.

Процесс, при котором приточный воздух поступает снаружи (рециркуляция воздуха отсутствует), показан на $H-d$ -диаграмме (рис. 5.1, *a*). Здесь точка n соответствует состоянию наружного воздуха, а точка m — состоянию воздуха в помещении. При таком взаимном положении точек n и m наружный воздух имеет более высокую температуру и влажность, чем воздух в помещении. Следовательно, чтобы параметры приточного воздуха были такими, как в точке m , его необходимо подвергнуть тепловлажностной обработке, т. е. осушить (d_n-d_m) и охладить (H_n-H_m) наружный воздух. Линия

Глава 6

Специальные процессы теповлажностной обработки воздуха

Существует ряд промышленных предприятий, в некоторых помещениях которых постоянно требуется поддерживать высокую относительную влажность в сочетании с повышенной температурой воздуха или необходимо обеспечивать минимальную влажность в помещении.

6.1. Доувлажнение воздуха в помещениях. Увлажнители воздуха

Доувлажнение воздуха в больших по площади помещениях

Доувлажнение воздуха применяют в больших по площади производственных помещениях, например, таких как прядильные цеха в текстильной промышленности, где для нормального протекания технологического процесса (прядение эластичной пряжи без обрывов нити) необходимо поддерживать относительную влажность воздуха, близкую к 90...95 %, при температуре в помещении 32...38 °С. На хлебозаводах в бродильных камерах относительная влажность должна составлять около 90 % при температуре окружающего воздуха 32 °С, при хранении некоторых видов боеприпасов ракет подземного базирования относительную влажность необходимо снижать до 20...40 %. В таких случаях основную обработку воздуха проводят в центральных кондиционерах, откуда он с относительной влажностью 90...95 % поступает в производственное помещение, в котором выделяется значительное количество явной теплоты при весьма малом содержании влаги. Вследствие этого температура воздуха в помещении повышается, а относительная влажность становится ниже технологического предела. Поэтому заданное в соответствии с технологией производства значение относительной влажности

Глава 7

Фильтры и другие технические устройства систем вентиляции и кондиционирования

Воздух, попадающий в помещение, может содержать механические частицы (пыль) и вредные для человека или протекания технологических процессов газовые, аэрозольные и бактериологические примеси, наличие которых в помещении недопустимо или нежелательно. Очистка воздуха от этих частиц происходит в *воздушных фильтрах*, располагаемых как в приточных, так и в вытяжных воздуховодах. Конструкция фильтра определяется характером загрязнений воздуха или требуемой чистотой отфильтрованного воздуха.

Дискомфортные условия создает также работающее машинное оборудование, шум от которого передается по металлическим конструкциям воздуховодов в рабочие помещения. Для обеспечения звукоизоляции в воздуховодах устанавливают *секции шумоглушения*. Чтобы не было уноса движущимся воздухом капельной влаги из мокрых аппаратов, за ними по ходу движения воздуха устанавливают *секции (или отбойники) капельной влаги*. Для регулирования расхода проходящего по воздуховодам воздуха, а также полного или частичного перекрытия воздуховодов применяют *хорошо уплотняющие клапаны*.

7.1. Фильтры грубой очистки воздуха

Согласно европейским стандартам, воздушные фильтры в зависимости от размеров улавливаемых частиц подразделяют на три класса: фильтры грубой, тонкой, особо тонкой (прецизионной) очистки (табл. 7.1).

При грубой очистке воздуха в фильтрах задерживаются механические частицы размером более 10 мкм, при тонкой — более 1 мкм, при особо тонкой — более 0,1 мкм.

Фильтры грубой очистки применяют в помещениях с большой концентрацией пыли в воздухе и невысокими требованиями к подаваемому воздуху. Такие фильтры бывают двух типов: со смачиваемой жидкостью насадкой и сухие. В фильтрах со смачиваемой

Глава 8

Аппараты систем кондиционирования для тепловлажностной обработки воздуха

Как отмечалось ранее (см. гл. 5), воздух в кондиционерах проходит тепловлажностную обработку (осушку или увлажнение) как в сухих (поверхностных), так и мокрых (контактных) и смешанного типа аппаратах. Сухие аппараты, предназначенные для такой обработки воздуха, выполняют с гладкими, оребренными трубками, орошаемыми и в виде тепловых труб.

8.1. Поверхностные теплообменные аппараты с гладкими трубками

Наиболее распространенные *поверхностные теплообменные аппараты* применяют для предварительного охлаждения и осушения влажного воздуха при его высокой начальной относительной влажности. В них воздух отдает теплоту рабочему веществу, кипящему внутри трубок, воде или водному раствору солей (рассолу), протекающему по ним. Отметим, что аппараты с гладкими трубками используют реже, поскольку их размеры превышают размеры аппаратов с оребренными трубками и требуется большее число трубок (приведены в данном разделе для сравнения с другими типами аппаратов).

Теплообменный аппарат с гладкими поверхностями трубок (рис. 8.1) состоит из змеевиков, образованных трубками *б*, соединенными последовательно *U*-образными «калачами» *4*. При этом трубки *б* завальцованы в трубные доски *5* и вся конструкция заключена в общий металлический кожух-корпус *13*, в нижней части которого расположен поддон *3* для слива водяного конденсата по трубе *12* в канализацию. Движение воздуха *11* через аппарат обеспечивается вентиляторами *9* (обычно центробежного типа). Направление движения воздуха и жидкого теплоносителя в впускном и выпускном коллекторах показано стрелками.

Для расчета поверхностных теплообменных аппаратов с гладкими трубками предварительно строят процесс теплообмена на

Глава 9

Системы кондиционирования воздуха общего назначения

Ряд характерных особенностей различных СКВ позволяет подразделить их на следующие три группы: центральные, центрально-местные с водоохлаждающими машинами (чиллерами) и местными кондиционерами-доводчиками (фанкойлами), автономные СКВ.

Центральные СКВ — системы, в которых воздух централизованно проходит обработку по всем параметрам (доводится до требуемой потребителем кондиции) и по воздуховодам направляется в помещения. Обычно такие СКВ расположены в отдельно стоящем здании, подвальном помещении или на крыше здания.

Центрально-местные СКВ с чиллерами и фанкойлами — центральные системы с предварительным охлаждением воздуха водой, подготовленной в водоохлаждающей машине. Чиллер обычно располагается на крыше здания, и из него жидкий тепло- или хладоноситель (вода или водный раствор этиленгликоля — антифриз) по трубопроводам подается в сухие теплообменные аппараты центрального кондиционера и фанкойлы.

Автономные СКВ — системы, устанавливаемые непосредственно в кондиционируемых помещениях или вблизи них (за стенкой в смежном помещении или на чердаке здания). Такие системы имеют собственные (обычно в корпусе аппарата) источники теплоты и холода.

В рассмотренных СКВ общего назначения в качестве источника холода или теплоты чаще всего используют парокомпрессионные холодильные машины. Системы кондиционирования воздуха могут быть летними и круглогодичными.

9.1. Центральные системы кондиционирования воздуха

Центральные воздушные СКВ, в свою очередь, можно подразделить на две группы — прямооточные и рециркуляционные.

Центральные прямооточные СКВ (рис. 9.1) применяют в тех случаях, когда воздух внутри помещения содержит нежелательные

Глава 10

Системы кондиционирования с воздушными холодильными машинами

В СКВ с воздушными холодильными машинами (ВХМ) атмосферный воздух одновременно является и хладоносителем, и рабочим телом. ВХМ охлаждает и перемещает воздух (вентиляционный или технологический), а также выполняет санитарно-гигиеническую функцию.

Принцип действия ВХМ основан на использовании эффекта охлаждения воздуха при его расширении с отдачей внешней работы. В детандере (пневмодвигателе) энергия, высвобождающаяся при расширении воздуха, отводится на его вал, а от него потребителю, например, на колеса вентилятора, компрессора, жидкостного насоса или электродвигателя, электрогенератора и т. п. Процесс расширения воздуха в детандерах происходит со сравнительно небольшими потерями энергии и близок к обратимому, т. е. протекает при постоянной энтропии. Процесс расширения называют изотропийным.

В процессе адиабатического расширения в детандере воздух, не вступая в теплообмен с окружающей средой, в то же время отдает ей производимую им механическую работу. Эта работа совершается только за счет внутренней энергии воздушного потока, т. е. за счет понижения его энтальпии. Перепад энтальпий воздуха в детандере эквивалентен передаваемой на вал работе.

10.1. Наземные системы кондиционирования с воздушными холодильными машинами общего назначения

Из различных типов существующих в настоящее время детандеров в СКВ используют радиальные центробежные (для средних расходов) и радиально-осевые (для малых расходов) турбодетандеры, поскольку они имеют малую массу и габариты и не загрязняют воздух маслом и продуктами его распада (крекинга).

Глава 11

Узлы трения с газовой смазкой машин систем кондиционирования воздуха

В последнее время усилилась конкуренция между фирмами, выпускающими СКВ холодопроизводительностью до 12 кВт (обычно это бытовые комнатные и офисные кондиционеры). В таких СКВ чаще всего используют холодильные машины, работающие по парокомпрессионному циклу, а в некоторых случаях — СКВ с ВХМ (авиация, внедорожные транспортные средства, железнодорожный транспорт, пересекающий в течение одного рейса разные климатические зоны).

В СКВ с парокомпрессионными холодильными машинами в качестве компрессоров применяют поршневые, роторные и спиральные машины и редко — турбомашин из-за отсутствия узлов трения (подшипников), надежно работающих при высоких оборотах роторов. Однако с созданием надежно работающих подшипников с газовой смазкой эта проблема решается, что приводит к улучшению массогабаритных характеристик компрессоров холодильных машин, снижению шума и вибраций, повышению надежности, отказу от масляной смазки трущихся деталей компрессора. Кроме того, используют магнитные подшипники, если для этого созданы все необходимые условия.

В СКВ с ВХМ газовую смазку узлов трения в высокоскоростных турбомашин хотя и применяют, но проблема не решена полностью: отсутствует надежная методика расчета газодинамических лепестковых подшипников.

11.1. Характерные свойства газов как смазочных веществ

Назначение смазки любого вида состоит в отделении скользящих одна относительно другой поверхностей тонким слоем какого-либо вещества, в котором происходит сдвиг слоев, при этом поверхности не имеют контакта и не изнашиваются. При определенных сочетаниях физических параметров газа и геометрических

Наземные замкнутые технические системы обеспечения жизнедеятельности

Современный человек, используя технические средства, может длительно не только существовать в агрессивной окружающей среде, но и выполнять определенную работу. Как известно, параметры комфортной воздушной среды можно поддерживать продолжительное время только с помощью вентиляции и кондиционирования воздуха в разомкнутых относительно окружающей среды системах.

В замкнутых системах, которые не сообщаются с агрессивной окружающей средой, контроль за быстро изменяющимися параметрами среды обитания человека должен быть непрерывным и поддерживаться системами жизнеобеспечения (СЖО). Обычно это скафандры с СЖО, работающие автономно. От космических скафандров они отличаются тем, что их используют на поверхности земли в экстремальных условиях, несовместимых с жизнью человека: при разрыве магистрального газопровода в результате природных (например, сели или землетрясения) или техногенных катастроф (радиоактивные выбросы в атмосферу во время аварий на АЭС); на крупных пожарах с большим количеством выделяющегося в атмосферу угарного газа (СО); в производственных цехах с инертной газовой средой или вакуумом, при обслуживании подводных домов, расположенных на морском дне в районах освоения континентального шельфа и т. п.

12.1. Экологическая система человек — микроатмосфера скафандра

С термодинамической точки зрения человек — незамкнутая система, которая обменивается с окружающей средой массой, теплотой и работой. Окружающей средой в данном случае (человек в герметичном скафандре) является воздушная микроатмосфера во внутреннем объеме скафандра. В земных условиях человек, находящийся в скафандре, обычно выполняет работу с тяжелой физической нагрузкой не более чем 3...4 ч в смену, затем его заменяют,

Литература

Воронин Г.И. Конструирование машин и агрегатов систем кондиционирования. М.: Машиностроение, 1978. 542 с.

Вытесняющая вентиляция в непроизводственных зданиях / Х. Скистад, Э. Мундт, П. Нильсен и др. М.: АВОК-Пресс, 2003. 99 с.

Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещениях. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2004. 320 с.

Зеликов В.В. Справочник инженера по отоплению, вентиляции и кондиционированию. Тепловой и воздушный баланс зданий. М.: Инфра – Инженерия, 2011. 620 с.

Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

Кокорин О.Я. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха. М.: ООО «ЛЭС», 2007. 255 с.

Ливчак И.Ф., Наумов А.Л. Вентиляция многоэтажных жилых зданий. М.: АВОК-Пресс, 2005. 134 с.

Общий курс процессов и аппаратов химической технологии / В.Г. Айнштейн и др.: Учебник: в 2 кн. М.: Логос; Высш. шк., 2002. Кн. 2. 872 с.

Пешти Ю.В. Газовая смазка. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993. 382 с.

Прохоров В.И. Системы кондиционирования воздуха с воздушными холодильными машинами. М.: Стройиздат, 1980 г. 162 с.

Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев, Л.Н. Балуева, А.Д. Гальперин и др. М.: Евроклимат, 2000. 416 с.

Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2005. 399 с.

Таранов А.И., Филиппова И.А. Серебряная вода: метод Гаранова. М.; СПб.: Диля, 2004. 160 с.

Уйт В. Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации. М.: Клинрум, 2002. 300 с.

Методика расчета газового подвеса поршня

Условные обозначения

$N_{\text{тр}}$	— мощность, затрачиваемая на трение возвратно-поступательно движущихся и вращающихся деталей механизма движения компрессора, Вт
N_e	— эффективная мощность на валу компрессора, Вт
$N_{\text{тр.пост}}$	— мощность трения возвратно-поступательно движущихся частей компрессора, Вт
$N_{\text{тр.вр}}$	— мощность трения вращающихся частей компрессора, Вт
$N_{\text{тр.кол}}$	— мощность трения поршневых колец и поршня о стенки цилиндра, Вт
$N_{\text{тр.пал}}$	— мощность трения в подшипнике поршневого пальца, Вт
$N_{\text{тр.ш.ш}}$	— мощность трения шатунных шеек коленчатого вала в подшипнике головки шатуна, Вт
$N_{\text{тр.к.п}}$	— мощность трения шеек коленчатого вала в коренных подшипниках, Вт
e	— эксцентриситет между продольной осью цилиндра и поршня, м
H_0	— радиальный зазор между поршнем и цилиндром, м (при относительном эксцентриситете $\varepsilon = 0$)
H	— зазор между цилиндром компрессора и поршнем, м
H_m	— зазор между цилиндром компрессора и поршнем (H_n и H_b), м
$H_n = H_0(1 - \varepsilon)$	— наименьший зазор, м
$H_b = H_0(1 + \varepsilon)$	— наибольший зазор, м
$d_{\text{др}}$	— диаметр дросселей, м
p_s	— давление наддува газовой смазки, Па
p_{mi}	— давление газа после дросселей в зазоре H_n или H_b (i — номер ряда дросселей; $i = 1$ — ряд дросселей со стороны рабочей полости цилиндра, $i = 2$ — со стороны картера), Па

Литература

П1. *Болитянский А.П., Белый В.Д., Дорошевич С.Э.* Компрессоры с газостатическим центрированием поршня. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. 406 с.

П2. *Пеити Ю.В., Тищенко И.В.* Газовый подвес поршня в цилиндре холодильного компрессора // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2002. Специальный выпуск. С. 97–106.

П3. *Пеити Ю.В.* Газовая смазка. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993. 381 с.

П4. *Пластинин П.И., Автономова И.В.* Динамические расчеты и уравновешивание поршневых компрессоров. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1991. 125 с.

П5. *Пластинин П.И.* Поршневые компрессоры. Т. 1. Теория и расчет. М.: Колос, 2000. 456 с.

П6. *Феодосьев В.И.* Сопrotивление материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 592 с.

П7. *Фотин Б.С., Прилуцкий И.К.* Поршневые компрессоры. Л.: Машиностроение, 1987. 372 с.

П8. *Френкель М.И.* Поршневые компрессоры. Л.: Машиностроение, 1969. 743 с.

Из истории кондиционирования воздуха

Первые попытки кондиционирования воздуха были предприняты в Персии тысячи лет назад. Устройства охлаждения воздуха основывались на способности воды сильно охлаждаться при испарении. Так называемый кондиционер того времени представлял собой специальную шахту, улавливающую дуновение ветра, в которой размещались пористые сосуды с водой или протекала вода из источника. Воздух в шахте охлаждался и насыщался влагой, а затем подавался в помещение. Устройство было сравнительно эффективным для жаркого и сухого климата.

В Индии летом в качестве двери использовали каркас, оббитый стволами индийской кокосовой пальмы — татти. Сверху двери устанавливали резервуар, который медленно заполнялся водой за счет капиллярного эффекта в тканях татти. Когда уровень воды достигал определенного значения, резервуар опрокидывался, орошая водой дверь, и возвращался в исходное состояние. Такой цикл многократно повторялся, пока пальма оставалась живой и получала достаточно света.

Остановимся на основных этапах развития кондиционирования воздуха:

1815 г. — француз Жан Шабаннес получил британский патент на метод кондиционирования воздуха и регулирования температуры в жилых и других зданиях.

1834 г. — в здании парламента Англии была смонтирована первая установка круглогодичного кондиционирования воздуха.

1893 г. — в жилом доме во Франкфурте-на-Майне (Германия) впервые была применена установка кондиционирования воздуха с аммиачной холодильной машиной.

1899 г. — в медицинском колледже Корнелия в Нью-Йорке была смонтирована установка с компрессионной аммиачной холодильной машиной и рассольным поверхностным воздухоохладителем.

1902 г. — американский инженер-изобретатель Уиллис Кэрриер собрал промышленную холодильную машину для типогра-

фии Бруклина в Нью-Йорке для борьбы с влажностью, ухудшающей качество печати.

1903 г. — в Кёльнском театре появилась установка с рассольным аккумулятором холода, что позволило сократить потребную холодопроизводительность машины в 4—5 раз. Первичное охлаждение воздуха осуществлялось с помощью артезианской воды, используемой затем для охлаждения конденсаторов (применяется до сих пор в современных установках).

1903 г. — была изобретена форсуночная оросительная камера, которая без существенных изменений до сих пор служит основным теплообменным аппаратом в установках кондиционирования воздуха.

1911 г. — У. Кэрриер опубликовал психрометрическую диаграмму влажного воздуха, что упростило расчеты процессов обработки влажного воздуха.

1918 г. — русский инженер Л.К. Рамзин предложил $J-d$ -диаграмму влажного воздуха.

1923 г. — фирмой «Кэррьер» был разработан турбокомпрессионный холодильный агрегат на дихлорэтилене, что существенно уменьшило габариты холодильных установок.

1924 г. — центральная система кондиционирования воздуха установлена в одном из универмагов Детройта (США) и имела водоохлаждающие аппараты (современные чиллеры) с внутренними блоками — доводчиками воздуха до требуемой кондиции (современные фанкойлы).

1929 г. — компанией General Electric (США) изготовлен первый комнатный раздельный кондиционер (прообраз современной сплит-системы), в котором теплые блоки были вынесены на улицу (компрессор и конденсатор), поскольку в качестве хладагента использовался небезопасный для здоровья человека аммиак.

1931 г. — американцем Мидглеем изобретен хладагент фреон-12.

1933 г. — изобретен подоконный автономный кондиционер в моноблочном исполнении, в котором все узлы и агрегаты кондиционера собраны в одном корпусе.

1946 г. — появились бромисто-литиевые абсорбционные холодильные машины, которые позволили использовать в летнее время теплоту от теплоэлектростанций.

1946 г. — в США начат серийный выпуск оконных кондиционеров.

1956 г. — в СССР НИИСтройтехники разработал, а Харьковский машиностроительный завод «Кондиционер» начал серийный выпуск центральных кондиционеров из типовых секций производительностью 10, 20, 40 и 60 м³/ч, а также местных агрегатов нескольких типоразмеров производительностью от 0,5 до 3,5 тыс. м³/ч.

1958 г. — в СССР Бакинским заводом бытовых кондиционеров начат серийный выпуск оконных кондиционеров марки «Азербайджан» холодопроизводительностью 1 624 Вт и производительностью по воздуху 470 м³/ч (выпуск: 1958 г. — 270 шт., 1960 г. — 4 500 шт., 1971 г. — 16 000 шт., 1975 г. — 23 000 шт.). С 1976 г. выпуск кондиционеров этой марки прекращен.

1961 г. — японская компания Toshiba запустила в серийное производство сплит-систему.

1969 г. — японская компания Daikin выпустила кондиционер — сплит-систему, в которой с одним внешнем блоком работало сразу несколько внутренних. Так появились мультисплит-системы.

1975 г. — московскому предприятию «Агрегатный завод «Наука» Правительством СССР было поручено разработать отечественный бытовой кондиционер на базе всех имеющихся в распоряжении завода зарубежных моделей бытовых кондиционеров (порядка 10 образцов). В рекордно короткие сроки (за 2 месяца) было спроектировано и изготовлено несколько образцов кондиционера марки «Прохлада» холодопроизводительностью 1 740 Вт, потребляемой мощностью 1,1 кВт, уровнем шума 67 дБ (у зарубежных аналогов он тогда был равен 72 дБ), весом 65 кг, объемом 116 л.

Для серийного производства кондиционер был передан на Северный завод в Ленинград, где было изготовлено порядка 300 кондиционеров, но уже под маркой «Нева», а затем их выпуск из-за нерентабельности был прекращен. В этом же году с японской фирмой Mitsubishi-Mitsui был подписан контракт на строительство в Баку завода бытовых кондиционеров. В декабре 1975 г. завод был построен и начал серийно выпускать бытовые оконные кондиционеры марки БК-1500 (в 1978 г. выпущено 200 000 шт., в 1981 г. достигнута проектная мощность в 400 000 шт. кондиционеров в год), БК-2500, сплит-систему на базе БК-2500.

1981 г. — японская компания Toshiba предложила впервые плавно регулировать в сплит-системе холодопроизводительность.

1982 г. — компания Daikin предложила интеллектуальные центральные сплит-системы типа VRV, отличительной особенно-

стью которых являлись удаленные от внутренних на расстояние до 150 метров наружные блоки, причем 50 из них по вертикали;

1990 г. — компания Matsushita Electric Industrial Co., Ltd (торговая марка Panasonic) начала производство кондиционеров со спиральными компрессорами;

1991 г. — компанией Daikin разработана система VRV Heat Reclaim, предусматривающая одновременную способность охлаждения одних и нагрев других внутренних блоков, подключенных к одному и тому же наружному контуру циркуляции хладагента.

2003 г. — компания Daikin начала серийное производство кондиционеров с генератором кислорода.

Сегодня рынок климатической техники представляет собой мощную индустрию, в которую вовлечены огромные финансовые, научные и людские ресурсы.

Учебное издание

Пешти Юрий Викторович

**Наземные системы обеспечения
комфортной жизнедеятельности**

Редактор *Г.А. Нилова*

Технический редактор *Э.А. Кулакова*

Художник *А.С. Ключева*

Корректоры *Р.В. Царева, Л.В. Забродина*

Компьютерная графика *О.В. Левашовой*

Компьютерная верстка *А.Ю. Ураловой*

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты Студи Артемия Лебедева

Подписано в печать 26.05.2015. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 30,0. Тираж 500 экз. *3/ " / "3/372+"Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1.
E-mail: press@bmstu.ru
www.baumanpress.ru

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1.
baumanprint@gmail.com