

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	6
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.....	7
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	11
ВВЕДЕНИЕ.....	13
Глава 1. ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ХОЛОДА В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА	14
1.1. Классификация систем холодоснабжения. Использование естественных источников холода в системах кондиционирования воздуха	14
1.2. Системы кондиционирования воздуха с использованием прямого, непрямого (косвенного) и комбинированного испарительного охлаждения. Принципиальные схемы.....	18
1.3. Анализ факторов, определяющих продолжительность поддержания оптимальных параметров воздуха в помещениях при использовании испарительного охлаждения.....	22
Глава 2. ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ХОЛОДА В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА.....	25
2.1. Теоретические основы получения искусственного холода.....	25
2.2. Парокомпрессионные, абсорбционные и пароэжекторные холодильные машины. Принцип работы, схемы	26
Глава 3. ПАРОКОМПРЕССИОННЫЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ (ПКХМ).....	34
3.1. Холодильные агенты, требования к ним	34
3.2. Температурный режим работы парокомпрессионной холодильной машины.....	41
3.3. Теоретический и реальный циклы одноступенчатой паровой компрессионной машины в $lgP-i$ -диаграмме.....	43
3.4. Подбор парокомпрессионной холодильной машины. Режим теплового насоса	47
3.5. Коэффициенты преобразования энергии (COP, EER)	54
3.6. Классификация парокомпрессионных холодильных машин. Компрессоры, применяемые в холодильном оборудовании систем кондиционирования воздуха	57
Глава 4. НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ (ПРЯМОЕ) ОХЛАЖДЕНИЕ ВОЗДУХА В СИСТЕМЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА.....	65
4.1. Сплит-системы. Внутренние и наружные блоки. Подбор оборудования.....	65
4.2. Компрессорно-конденсаторные блоки. Подбор оборудования	75
4.3. Многозональные системы с переменным расходом хладагента VRF. Внутренние и наружные блоки. Расчет и проектирование	88
Глава 5. ОХЛАЖДЕНИЕ ВОЗДУХА В СИСТЕМЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СРЕДЫ — ХЛАДОНОСИТЕЛЯ	99
5.1. Водоохлаждающая холодильная машина — чиллер. Режимы работы чиллера	99
5.2. Испарители и конденсаторы чиллера. Устройства для регулирования параметров работы чиллера. Устройства для обеспечения надежной и безопасной работы чиллера. Подбор чиллера	102
5.3. Системы тепло- и холодоснабжения центральных кондиционеров и местных агрегатов. Основные положения выбора схем тепло- и холодоснабжения	115

5.4. Системы ходоснабжения поверхностных воздухоохладителей центральных кондиционеров	117
5.5. Схемы тепло- и ходоснабжения местных агрегатов водовоздушных систем кондиционирования воздуха: двухтрубные и четырехтрубные	118
5.6. Схемы обвязки местных агрегатов (фэнкойлов)	122
5.7. Расчет и подбор регулирующих клапанов	127
5.8. Гидравлический расчет труб системы тепло- и ходоснабжения. Арматура для балансировки	131
5.9. Оборудование систем тепло- и ходоснабжения в составе гидромодуля: насосы, расширительный бак, аккумуляторы теплоты и холода. Расчет и подбор.....	138
Глава 6. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ТЕПЛО- И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ.	
ОБОРОТНОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ	149
6.1. Нормативные документы в области систем ходоснабжения.....	149
6.2. Экономия энергии в системах тепло- и ходоснабжения	150
6.3. Повышение коэффициента преобразования энергии парокомпрессионной холодильной машины	151
6.4. Холодильные контуры, встроенные в центральный кондиционер	152
6.5. Аккумуляторы холода	153
6.6. Свободное охлаждение	155
6.7. Оборотное водоснабжение парокомпрессионных холодильных машин с водяным охлаждением конденсатора. Сухие и мокрые градирни	157
Библиографический список.....	170

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АБХМ — абсорбционная холодильная машина
ВИБ — внутренний испарительный блок
ГВС — горячее водоснабжение
ГРД — градирня
ГТСТ (GHP, Geothermal Heat Pumps) — геотермальные теплонасосные системы тепло- и хладоснабжения с использованием верхних слоев Земли (грунт, водоемы)
ГФО — гидрофторолефина
ИО — системы прямого (непосредственного) охлаждения
ИК — инфракрасный пульт управления кондиционером
КИЭ — коэффициент использования (преобразования) энергии
ККБ — компрессорно-конденсаторный блок
КПД — коэффициент полезного действия насоса, вентилятора
КЧ — компрессионный чиллер
МЗСКВ — мультизональная система кондиционирования воздуха типа VRV/VRF
МСК — мультисплит-кондиционер
НИО — системы непрямого (косвенного) испарительного охлаждения
НКПВ — нижний концентрационный предел воспламенения (паров хладагента)
ОРП (ODP, Ozone Depletion Potential) — озоноразрушающий потенциал
ПГП (GWP, Global Warming Potential) — потенциал глобального потепления хладагента по отношению к CO₂
ПДК — предельно допустимая концентрация токсического воздействия
ПКХМ — парокомпрессионная холодильная машина
ПЭХМ — пароэжекторная холодильная машина
СК — сплит-кондиционер
СКВ — система кондиционирования воздуха
СТИХ — система тепло- и холоснабжения
ТРВ — терmostатический расширительный вентиль
ХМ — холодильная машина
ЭРВ — электронный расширительный вентиль
BS-блок — блок распределения хладагента, применяется для изменения направления движения хладагента
BTU/h — британская единица мощности BTU/h (БТЕ/ч), часто применяется при обозначении тепло- и холодопроизводительности тепловых насосов, кондиционеров и холодильных установок, 1 Вт ≈ 3,412 BTU/h, 1 BTU/h ≈ 0,293 Вт, 1000 BTU/h ≈ 293 Вт
СОП (Coefficient of Performance) — коэффициент энергетической эффективности для теплового насоса
DB — температура сухого термометра, °C
ЕСМ — технология изменения числа оборотов электродвигателя постоянного тока путем переключения обмоток статора — электронная коммутация мотора
ЕЕР (Energy Efficiency Ratio) — коэффициент энергетической эффективности холодильной машины (холодильный коэффициент)
ЕМС — система электронного контроля и управления энергопотреблением, является комплексным инструментом, предназначенным для мониторинга и управления потреблением энергии в различных системах и оборудовании
ЕрР (Energy-related Products) — показатель соответствия изделия европейским нормам энергетической эффективности Ecodesign (директива Экодизайн 2009/125/ЕС)

ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) — европейский сезонный коэффициент энергетической эффективности

Eurovent (European Association of Air Handling and Refrigerating Equipment Manufacturers) — Европейская ассоциация производителей воздухообрабатывающего и холодильного оборудования, орган сертификации

SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) — сезонный коэффициент энергетической эффективности

IPLV (Integrated Energy Part Load Values) — интегральный показатель энергетической эффективности при частичной загрузке

LCC (Life Cycle Cost) — стоимость жизненного цикла

TC — полная холодопроизводительность, кВт

SHC — явная холодопроизводительность, кВт

TEWI (Total Equivalent Warming Impact) — полный эквивалентный вклад в парниковый эффект, является показателем для оценки парникового эффекта путем сочетания прямого вклада от выбросов хладагентов в атмосферу и косвенного вклада от выбросов углекислого газа и других газов, образующихся при выработке энергии, необходимой для работы холодильной системы в течение всего срока ее эксплуатации

VRF (Variable Refrigerant Flow) — система кондиционирования воздуха с переменным потоком (расходом) хладагента

VRV (Variable Refrigerant Volume) — система кондиционирования воздуха с переменным расходом хладагента (торговая марка Daikin)

WB — температура мокрого термометра, °C

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

A_k — площадь теплопередающей поверхности конденсатора, м²

A_n — площадь теплопередающей поверхности испарителя, м²

c_w — удельная теплоемкость воды, кДж/кг·град

$c_{ж}$ — удельная теплоемкость жидкости, кДж/кг·К

c_x — удельная теплоемкость хладоносителя, кДж/кг·К

d — диаметр трубы, м

d_o — влагосодержание воздуха после блока адиабатного увлажнения, г/кг

d_n — влагосодержание приточного воздуха, г/кг

d_h — влагосодержание наружного воздуха, г/кг

$E_{ад}$ — коэффициент адиабатной эффективности блока увлажнения

G_h^{\min} — минимальный расход наружного воздуха, кг/ч

G_n — расход приточного воздуха, кг/ч

H — высота от уровня воды в расширительном баке до верхней точки системы тепло- и холодоснабжения, м

$H_{нac}$ — напор насоса, м

i_h — энталпия наружного воздуха, кДж/кг

i_b — энталпия воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещения, °C

i_n — энталпия приточного воздуха, °C

Δi_{cp} — среднелогарифмический перепад энталпий, °C

k_k — коэффициент теплопередачи конденсатора, Вт/(м²·К)

k_u — коэффициент теплопередачи испарителя, Вт/(м²·К)

k'_v, k_v — пропускная способность реулирующего клапана действительная и расчетная, м³/ч

k_{vs} — условная пропускная способность регулирующего клапана, шарового крана, дискового затвора, обратного клапана, сетчатого фильтра и т.п., м³/ч

k_s — коэффициент абсолютной эквивалентной шероховатости для труб, м

l — длина трубы, м

l_t — удельная теоретическая работа сжатия рабочего вещества в компрессоре, кДж/кг

\bar{l} — относительное перемещение затвора регулирующего клапана

M_x — массовый расход хладагента, кг/с

n — авторитет клапана (коэффициент управления, относительное сопротивление клапана)

N_t — теоретическая электрическая мощность компрессора, кВт

N_i — индикаторная электрическая мощность компрессора, кВт

$N_{эл}$ — электрическая мощность на валу электродвигателя компрессора, кВт

$N_{вент}$ — мощность, потребляемая вентиляторами холодильной машины, кВт

$N_{нас}$ — мощность, потребляемая насосами холодильной машины, кВт

P — давление, Па

$P_{вент}$ — полное давление, развиваемое вентилятором, Па

P_i — давление испарения, Па

P_k — давление конденсации, Па

$P_{нас}$ — давление, развиваемое насосом, кПа

$P_{пр}$ — абсолютное давление в баке до его подключения к системе, кПа, или давление предварительной настройки

P_{max} — абсолютное максимальное давление воды в расширительном баке, кПа

P_{min} — абсолютное минимальное давление в расширительном баке, кПа

ΔP — потери давления на регулирующем клапане при максимальном расходе жидкости через него, кПа

$\Delta P_{кл}$ — перепад давления на регулирующем клапане, Па

$\Delta P_{т.с}$ — перепад давления на остальных элементах технологической сети, Па

$\Delta P_{р.уч}$ — перепад давления на регулируемом участке, Па

$\Delta P_{уч}$ — потери давления на участке трубы, Па

q — объемный расход жидкости через клапан, м³/ч

q_x — удельная холодопроизводительность, кДж/кг

q_k — удельное количество теплоты, отводимое в конденсаторе, кДж/кг

Q — количество теплоты, которое обеспечивает перемещаемая жидкость, Вт

Q_k — тепловая нагрузка на конденсатор, кВт

Q_x — действительная холодопроизводительность холодильного агрегата, кВт

$Q_{x.ак}$ — количество холода, аккумулированного в баке, кВт

$Q_{пол}^{лет}$ — полная избыточная теплота в помещении в теплый период, Вт

$Q_{яв}^{лет}$ — явная избыточная теплота в помещении в теплый период, Вт

$Q_{x.ср}$ — среднечасовой расход холода за сутки, кВт

$Q_{x.сут}$ — общий расход холода за сутки, кДж

r_l — удельная теплота плавления льда, кДж/кг

s, s_y — действительный и условный ходы затвора клапана, мм

S — энтропия, кДж/кг

t_w — температура воды, °C

t_{w1} — температура воды на входе в теплообменник, °C

t_{w2} — температура воды на выходе из теплообменника, °C

$t_{\text{м.т}}$ — температура мокрого термометра, °C

t_h — температура наружного воздуха, °C

$t_{\text{ср.мес}}$ — среднемесячная температура самого жаркого месяца, °C

$t_{\text{абс. макс}}$ — температура абсолютного максимума для теплого периода, °C

t_b — температура внутреннего воздуха, °C

t_p — температура приточного воздуха, °C

t_y — температура удалаемого воздуха, °C

t_i — температура испарения, °C

t_k — температура конденсации, °C

$t_{l'}$ — температура всасывания паров рабочего вещества в компрессор, °C

t_3 — температура переохлаждения жидкого рабочего вещества, °C

$t_{x,\text{нач}}, t_{x,\text{кон}}$ — начальная и конечная температуры хладоносителя, °C

$t_{\text{ж. нач}}, t_{\text{ж. кон}}$ — температуры жидкости начальная и конечная, °C

T — абсолютная температура, K

Δt — изменение температуры воды от минимального до максимального значения в системе, °C

$\Delta t_m, \Delta t_b$ — соответственно меньший и больший перепады температур в теплообменнике между теплообменяющимися средами, °C

$\Delta t_{\text{ср}}$ — среднелогарифмический температурный перепад, °C

$\Delta t_{\text{ср}}^k$ — среднелогарифмический температурный перепад в конденсаторе, °C

$\Delta t_{\text{ср}}^u$ — среднелогарифмический температурный перепад в испарителе, °C

V_h — теоретическая подача компрессора, м³/с

V_k — фактическая подача компрессора (объемный расход рабочего вещества), м³/с

$V_{\text{ак}}$ — объем жидкостного бака-аккумулятора, м³

$V_{\text{рас.б}}$ — полезный объем закрытого расширительного бака, м³

$V_{\text{т/о}}$ — объем воды в элементах системы тепло- и холодоснабжения поверхностных теплообменников и фэнкойлов, м³

$V_{\text{тр}}$ — объем воды в трубах системы холодоснабжения, м³

w — скорость движения жидкости, м/с

$W_{\text{лет}}$ — влагопоступления в помещение в теплый период, кг/ч

ϵ — угловой коэффициент луча процесса изменения тепловлажностного состояния воздуха, кДж/кг влаги

ϵ_x — коэффициент преобразования энергии холодильной машины (холодильный коэффициент)

ϵ_t — коэффициент преобразования энергии теплового насоса

ξ — коэффициент местных сопротивлений

η_i — индикаторный коэффициент полезного действия

$\eta_{\text{мех}}$ — механический коэффициент полезного действия

$\eta_{\text{эл}}$ — коэффициент полезного действия электродвигателя

λ — коэффициент гидравлического трения

λ — коэффициент подачи компрессора

ν — кинематическая вязкость жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$ ($\text{см}^2/\text{с}$, $\text{мм}^2/\text{с}$)

ρ_w — плотность жидкости при температуре перемещаемой среды, $\text{кг}/\text{м}^3$

ρ_x — плотность хладоносителя, $\text{кг}/\text{м}^3$

σ — относительная пропускная способность регулирующего клапана

v_1' — удельный объем рабочего вещества в точке всасывания в компрессор, $\text{м}^3/\text{кг}$

τ — продолжительность работы чиллера в сутки, с

φ_v — относительная влажность внутреннего воздуха, %

ψ — коэффициент, учитывающий влияние вязкости жидкости

Re — число Рейнольдса

θ_{1t} — температурный коэффициент эффективности теплообменника для греющей среды, для системы с промежуточным теплоносителем, общий температурный коэффициент эффективности

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник предназначен для подготовки обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство. Содержание учебника соответствует рабочей программе согласно требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Дисциплина «Холодоснабжение» является обязательной основной профессиональной образовательной программы специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция», в которую входят: «Техническая термодинамика и тепломассообмен», «Гидравлика». Она тесно связана с дисциплинами «Кондиционирование воздуха», «Насосы, вентиляторы, компрессоры», «Автоматизация и управление процессами теплогазоснабжения и вентиляции».

Целью учебника «Холодоснабжение» является формирование компетенций обучающегося в области проектирования, наладки и эксплуатации систем тепло- и холодоснабжения как составной части систем кондиционирования воздуха (СКВ) зданий разного назначения.

Учебная дисциплина «Холодоснабжение» формирует такие компетенции, как:

– выбор нормативно-технических документов, регламентирующих технические решения и определяющих требования для проектирования систем холодоснабжения в составе систем кондиционирования воздуха;

– расчет термодинамических и тепломассообменных процессов в оборудовании систем холодоснабжения, расчет теплотехнических параметров оборудования систем холодоснабжения;

– выбор компоновочных решений систем тепло- и холодоснабжения (СТИХ);

– выбор технических решений элементов и узлов систем и отдельных узлов систем холодоснабжения согласно требованиям нормативно-технических документов и техническому заданию, выполнение гидравлического расчета систем холодоснабжения, выбор оборудования и арматуры для систем холодоснабжения;

– расчет потребности в холода и электрической энергии систем холодоснабжения, оценка основных технико-экономических показателей систем холодоснабжения;

– выбор нормативно-технических документов, регламентирующих санитарную, пожарную и экологическую безопасность функционирования систем холодоснабжения, и оценка соответствия систем холодоснабжения требованиям санитарной, пожарной и экологической безопасности.

Учебная дисциплина «Холодоснабжение» формирует знания и навыки:

– выбора принципиальных решений системы тепло- и холодоснабжения зданий различного назначения в зависимости от особенностей объекта на основе нормативно-технических документов РФ, определяющих требования для проектирования СКВ зданий различного назначения;

– построения цикла изменения состояния хладагента в парокомпрессионной холодильной машине (ПКХМ), определения удельных характеристик цикла, подбора элементов холодильного контура: компрессор, испаритель, конденсатор, электронный регулирующий вентиль и т.п.;

– расчета теплообменников разного типа в системе тепло- и холодоснабжения: водоводяных, фреоно-водяных, фреоно-воздушных;

– гидравлического расчета контура системы тепло- и холодоснабжения с учетом особенностей: зависимости коэффициента трения от температуры, теплофизических свойств перемещаемой жидкости и т.п., гидравлического расчета труб с хладагентом;

– выбора оборудования системы тепло- и холодоснабжения с требуемыми техническими характеристиками и показателями энергоэффективности, отвечающего требованиям технических регламентов, ГОСТ, сводов правил при проектировании СКВ для выполнения требований энергосбережения;

– определения электрической мощности, потребляемой компрессором холодильной машины, в целом холодильными машинами (ХМ): чиллерами, системой VRF, насосами отдельных контуров системы тепло- и холодоснабжения;

– размещения оборудования системы тепло- и холодоснабжения: холодильных машин, насосов, теплообменников, внутренних и наружных блоков СКВ внутри и снаружи зданий различного назначения.

В существующих учебных пособиях по кондиционированию воздуха уделяется недостаточно внимания системам холодоснабжения как части систем кондиционирования воздуха. Последние учебные пособия «Холодоснабжение», «Холодильные машины и установки» были изданы в 2004 и 2007 годах соответственно. С тех пор произошли значительные изменения в холодильной технике для СКВ.

В данном учебнике даны примеры применения естественных источников холода в системах кондиционирования воздуха, изложены основы получения искусственного холода, сказано об основных типах холодильных машин, применяемых в СКВ, показаны принципиальные схемы систем холодоснабжения и даны основные принципы проектирования этих систем как составной части систем кондиционирования воздуха, методы расчета и подбора холодильных машин в СКВ, уделено внимание энергосбережению в системах холодоснабжения.

Содержание учебника отражает определенную систему научно-предметных знаний, составляющих ядро сведений о холодоснабжении систем кондиционирования воздуха, необходимых и достаточных для овладения профессией и применения в конкретной области.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность рецензентам учебника: доктору технических наук, профессору кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета В.М. Уляшевой, доктору технических наук, научному руководителю группы инновационных компаний «ИНСОЛАР» Г.П. Васильеву, кандидату технических наук, доценту кафедры теплогазоснабжения и вентиляции НИУ МГСУ А.К. Аксенову за ценные советы и замечания, сделанные при рецензировании рукописи учебника.

ВВЕДЕНИЕ

В состав системы кондиционирования воздуха зданий и сооружений разного назначения входят системы холодоснабжения, которые применяются для охлаждения воздуха преимущественно в теплое время года. Данная учебная дисциплина посвящена изучению систем холодоснабжения в системах кондиционирования воздуха зданий разного назначения, дисциплина имеет научную и практическую значимость, так как системы холодоснабжения обеспечивают в составе систем кондиционирования воздуха требуемые параметры воздуха в помещениях с целью создания комфортных условий для людей и нормального протекания технологических процессов.

Целесообразно в системах кондиционирования воздуха использовать природные и искусственные источники холода в разных комбинациях, что позволяет экономить электроэнергию, затрачиваемую на выработку холода в холодильных машинах. Перспективным является использование испарительного охлаждения прямого, непрямого (косвенного) и комбинированного, а также массива грунта для поглощения избыточной теплоты.

Курс «Холодоснабжение» посвящен изучению способов получения природного и искусственного холода, различных типов и конструкций холодильных машин, применяемых в системах кондиционирования воздуха, работающих в области высоких температур охлаждения. Для переноса теплоты в холодильных машинах используются рабочие вещества, называемые *хладагентами*. Различают системы непосредственного охлаждения и с использованием промежуточной среды.

Все большее значение приобретает уровень подготовки специалистов по теплогазоснабжению и вентиляции по курсу «Холодоснабжение». Предметом указанного курса являются теоретические основы проектирования систем холодоснабжения, решение практических задач, связанных с расчетом, подбором холодильных машин (ХМ), кондиционеров, оборудования систем холодоснабжения, выбором схем системы холодоснабжения.

В данном учебнике изложены теоретические основы работы парокомпрессионных холодильных машин, принципы работы и конструктивные особенности оборудования холодильных контуров холодильных машин для систем кондиционирования воздуха в системах непосредственного охлаждения и в системах с промежуточным хладоносителем. Представлены схемы систем холодоснабжения, рассмотрены вопросы, связанные с их проектированием и эксплуатацией.

Современные проблемы, которые возникают перед наукой и техникой, вызывают необходимость решать все более сложные задачи, связанные с энергосбережением в системах кондиционирования воздуха и системах холодоснабжения — основных потребителей электроэнергии на выработку искусственного холода. В учебнике рассмотрены вопросы, связанные с энергосбережением в системах холодоснабжения: критерии оценки — коэффициенты преобразования энергии, требования нормативных документов, отдельные способы экономии энергии.

Целью курса являются повышение уровня подготовки бакалавров, обучение методам расчета и подбора холодильного оборудования, методам оптимального проектирования холодильных установок, подготовка к профессиональной деятельности.

Необходимые условия для освоения дисциплины — знание математики, физики, термодинамики, гидравлики, владение навыками работы с персональным компьютером.

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru