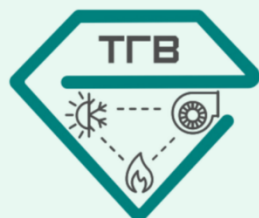


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова
Инженерно-технический институт
Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»



СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М. К. АММОСОВА
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА «ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ»

Л.М. Баишева, В.Н. Иванов, А.В. Иванова

МЕТОДОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТА СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Учебное пособие

Издательство «Мир науки»
2025



УДК 697
ББК 38.762.3
Б 189

Утверждено учебно-методическим советом СВФУ

Рецензенты:

А.Я. Никифоров, к.т.н., доцент кафедры ПСиТ ИТИ СВФУ,
С.К. Степанова, начальник Управления проектных работ и имущественных отношений
филиала «Дирекция строящихся объектов» ГУП «ЖКХ РС (Я)»

Баишева Л.М., Иванов В.Н., Иванова А.В.

Методология и технология расчета систем кондиционирования воздуха: учебное пособие / Л.М. Баишева, В.Н. Иванов, А.В. Иванова. – М.: Мир науки, 2025. – Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/10MNNPU25.pdf> – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-907891-53-1

DOI: 10.15862/10MNNPU25

В учебном пособии представлены методология и технология расчета систем кондиционирования воздуха (СКВ) с использованием I-d-диаграммы. Рассмотрены теоретические основы и принципы работы СКВ. Приведены примеры расчетов, схемы и иллюстративные материалы для эффективного освоения дисциплины «Кондиционирование воздуха». Для самостоятельной работы и более углубленного изучения дисциплины предлагаются дополнительные рекомендации и материалы. Предназначено для студентов направления подготовки «Строительство», профиль «Теплогасоснабжение и вентиляция».

ISBN 978-5-907891-53-1

© Баишева Л.М., Иванов В.Н., Иванова А.В., 2025
© ООО Издательство «Мир науки», 2025



Оглавление

Введение.....	5
Требования к оформлению расчетно-графических работ	6
1. Общие сведения и понятия СКВ	7
1.1. История возникновения техники кондиционирования воздуха	7
1.2. Определение кондиционирования воздуха. Главное его отличие от вентиляции воздуха.....	9
1.3. Комфортное и технологическое кондиционирование воздуха	11
1.4. Принципиальная схема кондиционирования воздуха	12
1.5. Структурная схема кондиционирования воздуха.....	13
1.6. Требования к системам кондиционирования воздуха	15
1.7. Классификация систем кондиционирования воздуха	16
1.8. Возможности современных кондиционеров.....	19
1.9. Принцип работы кондиционера	22
1.10. Основные типы кондиционеров.....	23
1.11. Особенности систем кондиционирования воздуха в условиях низких температур наружного воздуха	28
2. Исходные данные для расчета СКВ	33
2.1. Выбор параметров наружного и внутреннего воздуха	33
2.2. Расчет теплоступлений и вредных выделений в помещении	36
2.3. Расчет теплотерь в помещении и составление теплового баланса	40
3. Общие сведения о воздухе	42
3.1. Определение температуры удаляемого и приточного воздуха	42
3.2. Определение параметров влажного воздуха на I-d-диаграмме	45
4. Расчеты при построении процессов СКВ на I-d-диаграмме.....	48
4.1. Процесс нагрева и охлаждения воздуха на I-d-диаграмме.....	48
4.2. Процесс смешения воздуха на I-d-диаграмме	53
4.3. Процессы увлажнения и осушения воздуха водой	54
4.4. Построение луча процесса	57
4.5. Прямоточная схема кондиционирования воздуха для теплого периода	59
4.6. Прямоточная схема кондиционирования воздуха для холодного периода	63
4.7. Схема кондиционирования воздуха с первой рециркуляцией для теплого периода	66
4.8. Схема кондиционирования воздуха с первой рециркуляцией для холодного периода	70

4.9. Схема кондиционирования воздуха с первой и второй рециркуляцией для теплого периода	73
4.10. Схема кондиционирования воздуха с первой и второй рециркуляцией для холодного периода.....	77
4.11. Схема многоступенчатой системы обработки воздуха в СКВ.....	81
5. Рекомендации по самостоятельной работе по заданным темам.....	84
Список литературы	104
Глоссарий	106
Приложение	108
Приложение 1	108
Приложение 2	109
Приложение 3	109
Приложение 4	110
Приложение 5	110
Приложение 6	110
Приложение 7	111
Приложение 8	111
Приложение 9	112

Введение

Дисциплина «Кондиционирование воздуха» является частью цикла «Инженерные системы зданий и сооружений» и относится к обязательным дисциплинам профиля «Теплогазоснабжение и вентиляция». Изучение данной дисциплины направлено на формирование у студентов общепрофессиональных и профессиональных компетенций, необходимых для успешной работы в области проектирования, монтажа и эксплуатации систем кондиционирования воздуха (*далее – СКВ*). Рассматриваются вопросы проектирования СКВ для работы в условиях низких температур, с акцентом на особенности, актуальные для региона Якутии.

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- различные типологии систем кондиционирования, их конструктивные особенности и области применения;
- характерные процессы изменения состояния влажного воздуха и их построение на I-d-диаграмме влажного воздуха;
- принципиальные и структурные схемы СКВ с приточной и рециркуляционной обработкой воздуха.

Уметь:

- определять нагрузки на СКВ, расход приточного воздуха в СКВ;
- выбирать технологическую схему обработки воздуха в СКВ с учетом особенностей здания в соответствии с исходными данными и принципами энергосбережения;
- выполнять расчеты, связанные с процессами кондиционирования воздуха, включая расчет тепловой нагрузки, необходимой для подбора оборудования;
- строить и анализировать процессы на I-d-диаграмме влажного воздуха, что позволяет визуализировать изменения параметров состояния воздуха в процессе его обработки.

Владеть:

- методами работы с каталогами центральных кондиционеров, приемами работы с диаграммой влажного воздуха;
- способностью применения полученных теоретических знаний и практических навыков при проектировании, монтаже, эксплуатации СКВ;
- способностью к анализу и совершенствованию энергетической эффективности систем кондиционирования.

Настоящее учебное пособие, разработанное с акцентом на профессиональную ориентацию, предлагает теоретическое обоснование и методологические техники, необходимые для решения типовых задач и выполнения расчетно-графических работ (*далее – РГР*) в рамках практических занятий. Каждый раздел содержит примеры задач и расчетов, предназначенные для использования на практических занятиях. Основная цель пособия – формирование у студентов практических навыков выполнения инженерных расчетов, необходимых для проектирования СКВ в общественных зданиях, и применение полученных знаний в реальных задачах.

Объект выполнения РГР – одно помещение большого объема общественного здания (например, зрительный или актовый зал), в котором необходимо обеспечить оптимальные параметры воздуха (кондиционирование воздуха второго класса). Данное пособие призвано помочь студентам уверенно ориентироваться в вопросах проектирования систем

кондиционирования воздуха и применять полученные знания для создания комфортных и энергоэффективных решений, в том числе с учетом специфики климатических условий Якутии.

Требования к оформлению расчетно-графических работ

Расчет выполняется в соответствии с индивидуальным заданием/вариантом (прил.8).

Рекомендуется придерживаться следующей структуры РГР:

- Титульный лист.
- Индивидуальное задание.
- Содержание.
- Введение.
- Теоретическая и практическая части.
- Заключение.
- Список литературы.
- Приложения.

Соблюдение четкой структуры обеспечит целостность и последовательность изложения материала, а также логичность и взаимосвязанность всех частей работы.

РГР состоит из нескольких задач, каждая из которых направлена на закрепление определенной темы и развитие практических навыков. При решении задач необходимо:

- ознакомиться с необходимыми теоретическими сведениями, формулами и определениями, относящимися к задаче;
- внимательно изучить представленный пример решения, обратить внимание на логическую последовательность действий, использование формул, оформление вычислений и интерпретацию полученных результатов;
- после изучения примера выполнить аналогичную задачу, используя индивидуальные данные, указанные в варианте задания.

Необходимо учитывать, что недостаточно просто использовать шаблон и подставлять свои данные. Важно осознавать смысл материала, демонстрировать понимание задачи, анализировать ее, корректно применять формулы и четко излагать процесс решения.

Работа должна быть выполнена аккуратно, четко и разборчиво. Обязательно наличие иллюстраций, необходимых для решения задач, включая схему с указанием всех параметров и схему на I-d-диаграмме.

При подготовке работы необходимо использовать учебники, учебные пособия, нормативные и справочные материалы, указанные в списке литературы.

Данное пособие разработано на основе фундаментальных исследований, общепризнанных методов расчета и трудов ведущих ученых, методических указаний, учебников и других авторитетных источников.

1. Общие сведения и понятия СКВ

1.1. История возникновения техники кондиционирования воздуха

История развития систем кондиционирования воздуха является отражением эволюции человеческой цивилизации и ее индустриальных достижений. Развитие технологий поддержания микроклимата в зданиях тесно связано с изменениями в архитектурных стилях. Несмотря на то, что первые прототипы кондиционеров появились в конце XIX столетия в передовых странах, таких как Англия, Франция, Германия и США, их активное совершенствование и внедрение началось в XX веке. Развитие кондиционирования воздуха было простимулировано потребностями быстрорастущих отраслей промышленности, в частности, полиграфической и текстильной, где поддержание стабильных климатических условий являлось критически важным для производственных процессов.

XIX век подготовил фундамент для создания современных систем кондиционирования благодаря изобретению холодильных установок, вентиляторов и электрических двигателей. В XX веке произошел значительный прорыв в этой области, ознаменованный множеством технических инноваций. Прогресс шел по нескольким направлениям одновременно: улучшение устройств, генерирующих искусственный холод, оптимизация оборудования для обработки и перемещения воздушных и жидких сред, а также разработка теоретической базы, необходимой для понимания законов тепло- и массопереноса и автоматического управления климатическими системами.

Издревле, в жарких странах, использовались такие методы охлаждения, как лед и испарения. В древних цивилизациях, таких как Египет и Индия, строили ледники, а испарительное охлаждение применялось как в архитектуре зданий, так и непосредственно. Эти методы демонстрировали раннее понимание необходимости контроля температуры и влажности, хоть и в ограниченном масштабе (рис. 1.1). Естественные системы вентиляции, такие как башни ветра в Персии, также служили для охлаждения зданий за счет циркуляции воздуха.



Рис. 1.1. Сооружение для испарительного охлаждения в Древнем Египте

В период индустриализации, начиная с 1930-х годов, в Советском Союзе получили распространение системы кондиционирования воздуха на промышленных предприятиях. До 1955 года производство климатического оборудования осуществлялось по индивидуальным заказам, после чего был налажен выпуск серийных, унифицированных моделей. 1960-е годы ознаменовались значительным подъемом кондиционерной отрасли: были введены в

эксплуатацию новые заводы, объемы производства значительно возросли, а себестоимость продукции снизилась. В постсоветский период, в 1995 году, компания ООО «Веза» внесла заметный вклад в дальнейшее развитие отрасли. Данные этапы развития отражают характерную для советской эпохи стратегию массового производства и стандартизации, ориентированную на обеспечение потребностей индустриального сектора (рис. 1.2).

В области совершенствования теоретических основ кондиционирования воздуха в XIX веке большим вкладом стало применение термина «кондиционирование воздуха» во французском патенте Жанны Шабаннеса в 1815 году. Основополагающий вклад в эту науку также внес М. Ломоносов. Его работы в области термодинамики и теплопередачи стали важной теоретической базой для дальнейших разработок в области климатической техники. Эксперименты и исследования, проводимые учеными того времени, заложили фундамент для понимания физических процессов, лежащих в основе кондиционирования.



Рис. 1.2. Развитие отечественной индустрии кондиционирования воздуха

В период середины XX века с широким распространением электрической энергии и активным прогрессом промышленных нормативов, сфера кондиционирования воздуха пережила существенный скачок в развитии. Архитектурные тенденции городов требовали от систем кондиционирования не просто охлаждения, но и комплексного создания благоприятного микроклимата в помещениях. В различных странах получили широкое распространение централизованные системы кондиционирования, устанавливаемые в высотных зданиях и крупных общественных местах. Такой подход стимулировал создание комплексных автоматизированных систем управления климатом, способных удерживать стабильные параметры температуры и влажности в больших по объему пространствах.

Значимым прорывом в теоретической области стало широкое применение компьютерных технологий, что позволило создавать более продвинутые и действенные проекты систем кондиционирования (рис. 1.3). Разработка новых материалов и технологий обработки при низких температурах привела к повышению энергоэффективности и экологической безопасности кондиционеров. Значительное внимание стало уделяться вопросам защиты окружающей среды: использованию экологически безопасных хладагентов и снижению объема вредных выбросов. Одновременно разрабатывались системы рекуперации тепла и применения возобновляемых источников энергии, нацеленные на снижение потребления энергии и уменьшение загрязнения атмосферного воздуха.



Рис. 1.3. Современные системы кондиционирования воздуха

В начале XXI века кондиционирование воздуха интегрировалось в умные дома и автоматизированные здания. Сегодня это ключевой элемент энергоэффективности, ориентированный на возобновляемые источники и комплексное управление зданием. В перспективе ожидается развитие интеллектуальных систем, адаптирующихся к потребностям пользователей и условиям среды. Нанотехнологии и новые материалы могут создать компактные, эффективные и экологичные системы кондиционирования, основанные на инновационных принципах [5, 26].

Вопросы для самоконтроля

- 1) *Опишите, как потребности каких отраслей промышленности способствовали развитию систем кондиционирования воздуха в XX веке? Приведите конкретные примеры и объясните, почему поддержание оптимального микроклимата было важно для этих отраслей.*
- 2) *Сравните методы охлаждения, применяемые в древних цивилизациях (например, в Египте или Персии), с первыми системами кондиционирования воздуха, появившимися в XIX веке. Какие принципиальные отличия и сходства вы можете выделить?*
- 3) *Каковы основные тенденции развития индустрии кондиционирования воздуха на рубеже XX и XXI веков, и какие факторы оказали наибольшее влияние на эти тенденции? Рассмотрите технологические, экологические и экономические аспекты.*

1.2. Определение кондиционирования воздуха.

Главное его отличие от вентиляции воздуха

Кондиционирование воздуха – автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты и скорости движения) с целью обеспечения главным образом оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, обеспечения сохранности ценностей [23].

Кондиционирование воздуха следует осуществлять:

- для обеспечения параметров микроклимата и чистоты воздуха, требуемых для технологического процесса по заданию на проектирование; при экономическом обосновании или в соответствии с требованиями специальных нормативных документов;

- для обеспечения параметров микроклимата в пределах оптимальных норм (всех или отдельных параметров) по заданию на проектирование;
- для обеспечения необходимых параметров микроклимата в пределах допустимых норм, когда они не могут быть обеспечены вентиляцией в теплый период года (*далее – ТП*) без применения искусственного охлаждения воздуха.

При кондиционировании скорость движения воздуха допускается принимать в обслуживаемой или рабочей зоне помещений (на постоянных и непостоянных рабочих местах) в пределах допустимых значений [23].

Кондиционирование осуществляется комплексом технических средств, называемым системой кондиционирования воздуха. В состав СКВ входят технические средства приготовления, перемещения и распределения воздуха, приготовления холода, а также средства хладо- и теплоснабжения, автоматически, дистанционного управления и контроля. СКВ больших общественных и производственных зданий должны обслуживаться комплексными автоматизированными системами управления (рис. 1.4).

В единый блок, обеспечивающий подготовку и направленное перемещение воздушных масс, интегрировано ключевое оборудование, образующее кондиционер. В ряде конфигураций кондиционер включает в себя полный комплекс технических средств, необходимых для кондиционирования воздуха [26].

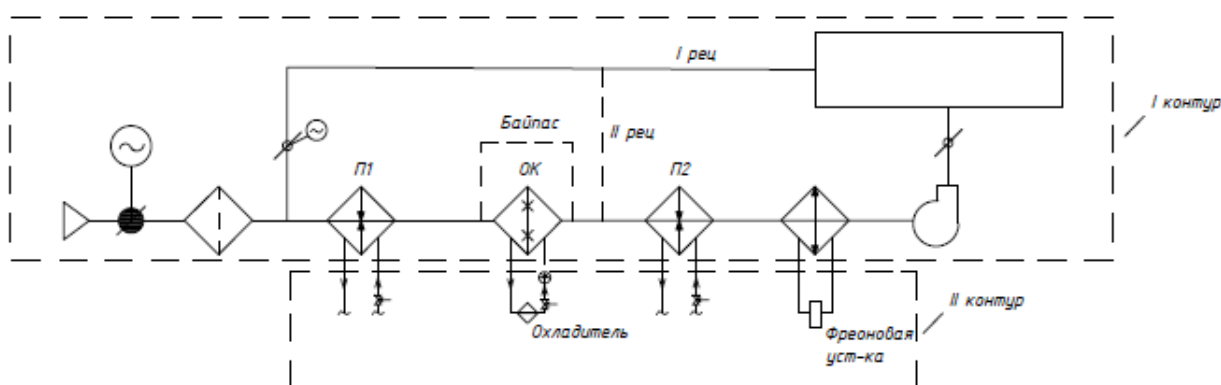


Рис. 1.4. Схема комплексной СКВ

Чем кондиционирование отличается от вентиляции?

Вентиляция – это обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги и других веществ для обеспечения допустимого микроклимата и качества воздуха в обслуживаемой и рабочей зоне при средней необеспеченности 400 ч/год при круглосуточной работе и 300 ч/год при односменной работе в дневное время [11].

Система вентиляции отличается от системы кондиционирования целью создания, т. е. назначением:

- назначение вентиляции – это организация воздухообмена – приток/вытяжка, для ассимиляции вредных веществ и поддержания допустимых условий микроклимата – обязательно обеспечивается количество воздуха;
- назначение системы кондиционирования – это автоматическое поддержание одного или всех параметров внутреннего воздуха на заданном уровне для обеспечения оптимальных условий микроклимата – обязательно обеспечивается качество воздуха.

Так как обе эти системы обеспечивают воздушный комфорт, то практически всегда они связаны между собой и представляют единое целое, но при этом система кондиционирования всегда представляет из себя технически более сложную систему [26].

Вопросы для самоконтроля

- 1) В чем заключается основное отличие между системами кондиционирования воздуха и вентиляции, и как это различие влияет на требования к каждой системе?
- 2) В каких случаях необходимо осуществлять кондиционирование воздуха? Приведите примеры.
- 3) Опишите основные компоненты СКВ и объясните, какую роль играет кондиционер в этой системе. В каких случаях понятия СКВ и кондиционера становятся эквивалентными?

1.3. Комфортное и технологическое кондиционирование воздуха

Кондиционирование воздуха подразделяется на комфортное и технологическое.

Комфортное кондиционирование предназначено для создания и автоматического поддержания температуры, относительной влажности, чистоты и скорости движения воздуха, отвечающих оптимальным санитарно-гигиеническим требованиям.

Технологические СКВ предназначены для обеспечения параметров воздуха, в максимальной степени отвечающих требованиям производства.

Технологическое кондиционирование в помещениях, где находятся люди, осуществляется с учетом санитарно-гигиенических требований.

Основные санитарно-гигиенические требования регламентируются ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»; ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»; СП 56.13330.2021 «Производственные здания»; СП 118.13330.2022 «Общественные здания и сооружения» и другими материалами.

Технология одних производств выдвигает требования точного поддержания температуры воздуха в помещении (прецизионные цеха, инструментальные, лаборатории контроля качества и т.д.). В других производственных помещениях требуется заданное поддержание относительной влажности воздуха (текстильные производства, изготовление фотокиноплёнки, полиграфическое дело и т.д.). Производство таких пищевых продуктов, как пиво, вино, хлеб, кондитерские изделия, молоко, мясо, рыба и т.д. требует поддержание комплекса параметров температуры, относительной влажности воздуха. Технология особых производств (фармакология, производство продуктов питания, электронных микросхем и т.д.) предполагает высокую чистоту воздуха.

Особое значение имеет поддержание температуры и относительной влажности воздуха в музеях, архивах, библиотеках для сохранения памятников культуры, старинной мебели, ценных книг, рукописей, тканей и т.д. [5].

Вопросы для самоконтроля

- 1) Какие два основных типа кондиционирования воздуха выделяются в тексте, и в чем заключается принципиальное различие между ними?
- 2) Какие параметры воздуха контролируются при комфортном кондиционировании?

- 3) Приведите примеры производств или помещений, где технологическое кондиционирование играет важную роль, и укажите, какие параметры воздуха могут быть критичными для каждого примера.

1.4. Принципиальная схема кондиционирования воздуха

Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха представлена на рис. 1.5. Приточный воздух выполняет функцию регулирующего воздействия на тепловлажностное состояние помещения. Изменяется также температура и относительная влажность наружного воздуха, поэтому воздуху, прежде чем подать его в помещение, необходимо придать определенное состояние (заданные кондиции). Его необходимо очистить, охладить и осушить летом, нагреть и увлажнить зимой. Тепловлажностная обработка воздуха является основным процессом.

Наружный воздух забирают через воздухозаборное устройство (рис. 1.5). В кондиционере он очищается в фильтрах, смешивается, если это целесообразно, с рециркуляционным воздухом, проходит регулирующую тепловлажностную обработку в специальных секциях. По пути в помещение он может проходить дополнительную обработку в доводчиках. Воздух поступает в помещение через воздухораспределительные устройства, обеспечивающие его требуемую подвижность в обслуживаемой или рабочей зоне помещения. Приточный кондиционированный воздух выполняет в помещении свои регулирующие функции и замещает отработанный воздух. Воздух через вытяжные устройства удаляется из помещения вытяжным вентилятором в атмосферу, а частично направляется на рециркуляцию в кондиционер [5-7].

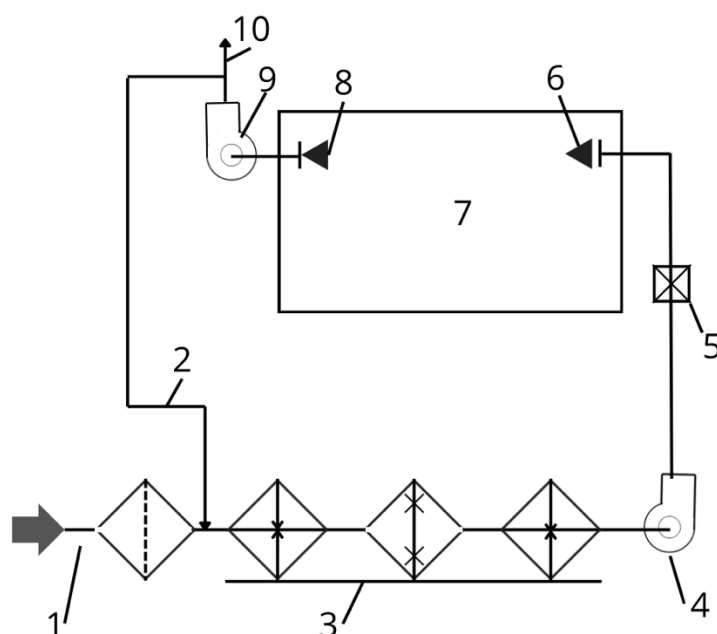


Рис. 1.5. Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха:

- 1 – воздухозаборное устройство; 2 – рециркуляционный воздуховод;
3 – установка кондиционирования воздуха; 4 – приточный вентилятор;
5 – доводчик, 6 – система распределения воздуха; 7 – помещение;
8 – система удаления воздуха; 9 – вытяжной вентилятор;
10 – канал для выброса воздуха

Вопросы для самоконтроля

- 1) Какие основные процессы тепловлажностной обработки воздуха происходят в системе кондиционирования, и с какой целью они выполняются в летний и зимний периоды.
- 2) Опишите путь воздуха в системе кондиционирования, начиная от воздухозаборного устройства и заканчивая удалением воздуха из помещения. Укажите основные элементы системы и их функции.
- 3) Какова роль приточного кондиционированного воздуха в помещении, и что происходит с отработанным воздухом?

1.5. Структурная схема кондиционирования воздуха

Основными элементами схемы СКВ (рис. 1.6) являются воздухозаборное устройство, установка кондиционирования воздуха, система подачи и распределения воздуха в помещении и система удаления и рециркуляции воздуха. Обслуживающие и дополнительные системы и устройства – это системы теплоснабжения, холодоснабжения, водоснабжения (водоподготовки и дренажа), электроснабжения.

Отличительной особенностью СКВ является то, что она имеет автоматизированную систему, обеспечивающую режим ее работы и регулирование. В современных условиях СКВ, как правило, включает систему утилизации тепла, холода, использования нетрадиционных источников энергии. Вся эта сложная совокупность устройств для поддержания режима работы с заданной обеспеченностью при минимальном расходе энергии должна иметь систему автоматизированного управления [13].

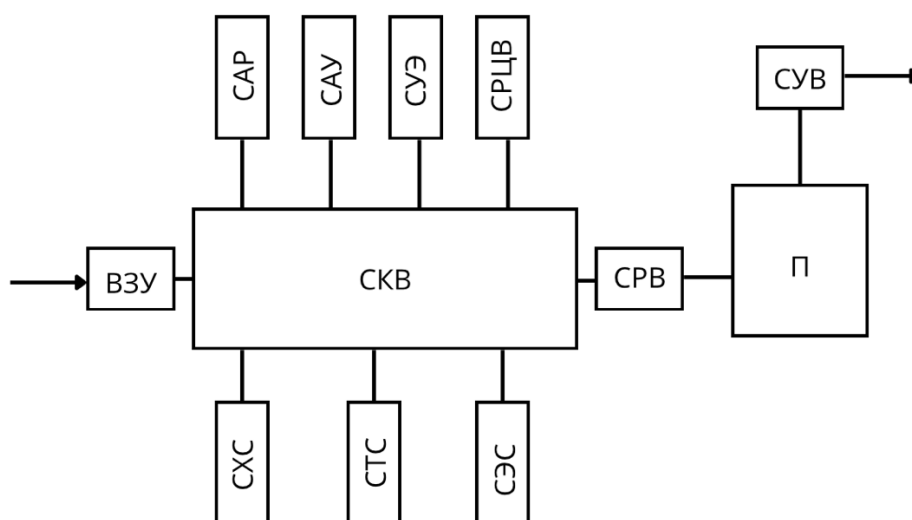


Рис. 1.6. Структурная схема системы кондиционирования воздуха:

ВЗУ – воздухозаборное устройство; П – помещение; САР – система автоматического регулирования; САУ – система автоматического управления; СРВ – система распределения воздуха; СРЦВ – система рециркуляции воздуха; СТС – система теплоснабжения; СУВ – система удаления воздуха; СУЭ – система утилизации энергии; СХС – система холодоснабжения; СЭС – система энергоснабжения; СКВ – система кондиционирования воздуха

Из рассмотренных принципиальной и структурной схем СКВ следует, что весь комплекс технических устройств можно представить в виде двух взаимосвязанных контуров (рис. 1.7).

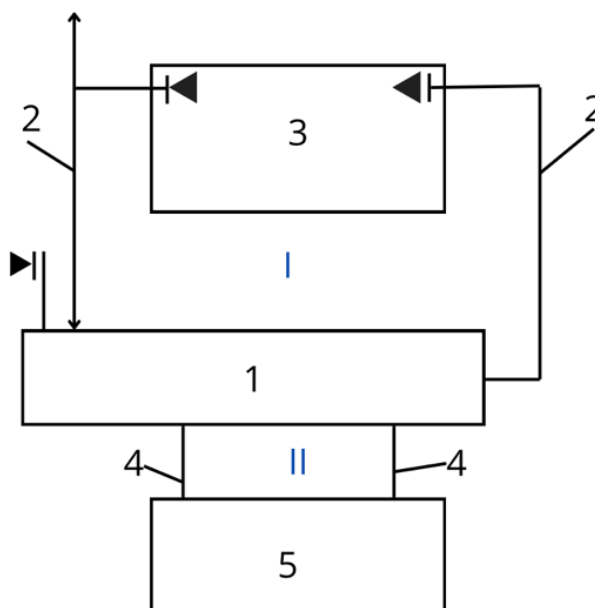


Рис. 1.7. Главный I и дополнительный II контуры системы кондиционирования воздуха:

- 5- установка кондиционирования воздуха; 2 – система воздуховодов и устройств для забора, распределения, удаления и рециркуляции воздуха;
- 3 – помещение; 4 – распределительные сети СХС, СВС, СТС, СЭС;
- 5 – генераторы тепла и холода, системы подачи воды и электроэнергии

Главный контур I, в котором обрабатывается и перемещается кондиционируемый воздух, состоит из трех основных элементов установки кондиционирования (тепловлажностной обработки) воздуха; системы воздуховодов и устройств для забора, распределения, удаления и рециркуляции воздуха; помещения как объекта регулирования.

Дополнительный контур II (система тепло- и холодоснабжения), в свою очередь, состоит также из трех основных элементов той же установки тепловлажностной обработки воздуха; распределительной системы тепло- и холодоснабжения; источников тепла и холода (теплообменники, холодильная установка). Установка тепловлажностной обработки воздуха является одновременно элементом и главного, и дополнительного контуров [1].

Вопросы для самоконтроля

- 1) Опишите структуру главного контура СКВ (контур I) и объясните роль каждого из его трех основных элементов. Как эти элементы взаимодействуют для обеспечения кондиционирования воздуха?
- 2) Перечислите основные обслуживающие и дополнительные системы, необходимые для работы СКВ. Какую роль играет система автоматизированного управления в обеспечении эффективной работы этих систем и поддержании заданных параметров микроклимата?

- 3) *Установка тепловлажностной обработки воздуха является общим элементом для главного и дополнительного контуров СКВ. Объясните, каким образом она функционирует в каждом из этих контуров, выполняя различные задачи?*

1.6. Требования к системам кондиционирования воздуха

СКВ должны отвечать комплексу требований, обеспечивающих комфортные и безопасные условия в обслуживаемых помещениях, а также экономичную и надежную эксплуатацию. Эти требования можно разделить на несколько основных категорий: санитарно-гигиенические, строительно-монтажные и архитектурные, эксплуатационные, экономические и технические.

Санитарно-гигиенические требования. В соответствии с санитарными нормами, СКВ должны обеспечивать поддержание в помещениях заданных параметров микроклимата, включая температуру, влажность, газовый состав, чистоту и подвижность воздуха. Важным аспектом является организация воздухообмена, которая должна исключать образование застойных зон и зон с избыточной циркуляцией воздуха, а также обеспечивать равномерное распределение температуры и влажности в рабочей зоне. Направление воздушных потоков должно быть организовано таким образом, чтобы воздух перемещался из помещений с более строгими санитарными требованиями в помещения с менее строгими. Необходимо также соблюдать допустимые уровни шума, производимого работающим оборудованием.

Строительно-монтажные и архитектурные требования. При проектировании и монтаже СКВ необходимо учитывать строительные и архитектурные особенности здания. Это включает в себя минимизацию площади, занимаемой оборудованием СКВ, интеграцию элементов системы в интерьер помещений, сокращение времени монтажа и наладки, а также возможность поэтапного ввода в эксплуатацию. Важно обеспечить координацию работ по возведению здания и монтажу СКВ, а также предусмотреть звуко- и виброизоляцию и противопожарные меры. Размещение основных и вспомогательных элементов СКВ должно учитываться на этапе планировки здания, разработки дизайна интерьеров и оформления фасадов. Необходимо учитывать строительный объем, занимаемый оборудованием и инженерными коммуникациями (воздуховодами, трубопроводами, электропроводкой), а также обеспечивать доступность оборудования для обслуживания. Видимые элементы СКВ (воздухораспределители, внутренние блоки, фанкойлы и т.д.) должны увязываться с интерьером и не создавать излишнего шума. Внешние элементы (чиллеры, конденсаторы, воздухозаборные устройства и т.д.) должны соответствовать общему архитектурному стилю здания. Важно учитывать статические и динамические нагрузки от оборудования, чтобы они не превышали допустимых значений для несущих конструкций. Кроме того, габариты оборудования должны соответствовать размерам монтажных проемов.

Эксплуатационные требования. К эксплуатационным требованиям относятся удобство переключения между режимами работы, включая оптимизацию функционирования, возможность блокировки системы при выходе из строя отдельных компонентов, поддержание индивидуальных параметров микроклимата в каждом помещении, размещение оборудования в минимальном количестве мест, удобство обслуживания и ремонта, модульность конструкции для адаптации к реконструкции зданий и изменениям технологических процессов, а также герметичность воздуховодов и других компонентов. Одним из ключевых аспектов является надежность и управляемость системы, особенно важная для технологического

кондиционирования, где отказ системы недопустим. Для повышения надежности предусматривается резервирование оборудования.

Экономические требования. При проектировании СКВ необходимо учитывать экономическую целесообразность системы. Затраты делятся на единовременные (стоимость СКВ, источников тепла и холода, систем водоподготовки, тепло- и холодоснабжения, электроснабжения, автоматического регулирования, строительного объема) и эксплуатационные (стоимость электроэнергии и тепла, топлива, воды и водоподготовки, ремонта и обслуживания, амортизации оборудования, обслуживания). Использование энергосберегающих технологий (вентиляторы, чиллеры, насосы, рекуперация теплоты, использование наружного климата, тепловые насосы, аккумуляторы теплоты) может привести к увеличению единовременных затрат, но снижает эксплуатационные расходы.

Технические требования. Система должна соответствовать заданной производительности по воздуху, теплу и холоду, обеспечивая требуемые параметры микроклимата. Важна согласованная работа СКВ с другими инженерными системами (источниками тепла, холода, воды, электроэнергии, освещения, отопления, горячего водоснабжения). Производительность системы должна определяться точным расчетом при максимальных нагрузках, и должна быть предусмотрена возможность гибкого изменения производительности при изменяющихся нагрузках. При выборе типа системы необходимо учитывать требования по экологии и пожарной безопасности [26].

Вопросы для самоконтроля

- 1) Как система кондиционирования воздуха должна обеспечивать комфортные и безопасные условия в обслуживаемых помещениях с точки зрения температуры, влажности, газового состава и чистоты воздуха? Опишите требования к организации воздухообмена и допустимому уровню шума.*
- 2) Какие аспекты необходимо учитывать при планировке здания и разработке интерьера в связи с установкой системы кондиционирования воздуха? Приведите примеры, как элементы СКВ могут влиять на эстетику и конструкцию здания.*
- 3) Почему надежность работы системы кондиционирования воздуха особенно важна при технологическом кондиционировании? Какие меры можно предпринять для повышения надежности системы кондиционирования воздуха и какие эксплуатационные требования к системе предъявляются?*

1.7. Классификация систем кондиционирования воздуха

Ввиду разнообразия конструктивных решений, технических параметров и специфики кондиционируемых помещений, единая общепринятая классификация СКВ на данный момент отсутствует. Тем не менее, современные СКВ могут быть систематизированы по ряду признаков:

1) Функциональность:

- Охлаждающие: поддерживают заданную температуру в помещении исключительно в теплый период года.
- Охлаждающе-обогревающие: обеспечивают круглогодичное поддержание заданной температуры, оснащены дополнительным нагревательным элементом.

- Полной климатизации: обеспечивают комплексную обработку воздуха, включая вентиляцию, обогрев, охлаждение и регулирование влажности.
- 2) Расположение относительно обслуживаемого помещения:**
 - Центральные: размещены вне обслуживаемых помещений и требуют подвода энергии в виде холода, тепла и электричества.
 - Местные: устанавливаются непосредственно в обслуживаемых помещениях.
- 3) Наличие собственного источника тепла/холода:**
 - Автономные: требуют только электропитания и имеют встроенные холодильные агрегаты (например, сплит-системы).
 - Неавтономные: нуждаются в электроэнергии, а также в подводе воздуха и воды (например, центральные кондиционеры).
- 4) Принцип действия:**
 - Прямоточные: используют исключительно наружный воздух.
 - Рециркуляционные: работают без притока наружного воздуха.
 - Комбинированные: используют смесь наружного и рециркуляционного воздуха в различных пропорциях.
- 5) Степень обеспечения метеорологических условий:**
 - 1 класс: обеспечивают параметры, строго соответствующие требованиям технологического процесса, определенным нормативной документацией.
 - 2 класс: поддерживают оптимальные санитарно-гигиенические или требуемые технологические параметры.
 - 3 класс: обеспечивают допустимые нормы, если вентиляция не справляется с поддержанием комфортных условий в теплый период без искусственного охлаждения.
- 6) Количество обслуживаемых зон:**
 - Однозональные: подходят для больших помещений с равномерным распределением тепло- и влаговывделений.
 - Многозональные: используются для небольших помещений или крупных объектов с неравномерным распределением тепловой нагрузки.
- 7) Давление, создаваемое вентиляторами:**
 - Низкого давления: до 1 кПа.
 - Среднего давления: от 1 до 3 кПа.
 - Высокого давления: выше 3 кПа.
- 8) Способ регулирования выходных параметров воздуха:**
 - Качественное регулирование: обработанный воздух подается в помещение по одному каналу.
 - Количественное регулирование: в помещение подаются два потока воздуха – холодный и теплый, а температура регулируется изменением их соотношения.
- 9) Масштаб применения:**
 - Бытовые: малой и средней мощности (до 7 кВт), предназначенные для небольших помещений.
 - Полупромышленные: мощностью от 7 до 25 кВт, применяются в коттеджах, квартирах, офисах, магазинах и на предприятиях.
 - Промышленные: высокой мощности, для охлаждения больших площадей.

10) Конструктивное исполнение:

- Моноблочные: состоят из одного блока (оконные, мобильные кондиционеры и т.д.).
- Сплит-системы: состоят из двух и более блоков (настенные, канальные, кассетные, VRF-системы и т.д.).

11) Надежность: показатель, отражающий процент безотказной работы установленных кондиционеров в течение гарантийного периода. Например, выход из строя 2 кондиционеров из 100 установленных означает надежность 98%.

Элитные кондиционеры (первая группа).

В первую (элитную) группу входят кондиционеры наиболее высокотехнологичных компаний. Большинство кондиционеров первой группы имеют не только отличные потребительские характеристики, но и развитые системы самодиагностики и защиты. Кондиционеры первой группы достаточно дороги, но обладают многими преимуществами.

Первое преимущество – это высокая надежность и долговечность. В течение гарантийного срока заводские дефекты обычно не проявляются.

Второе преимущество – это широкий набор функций и возможностей. Такие кондиционеры часто оснащены инверторными технологиями, обеспечивающими плавное регулирование мощности и экономичное энергопотребление. Они также могут иметь системы очистки воздуха, ионизации, увлажнения и другие полезные функции.

Третье преимущество – это стильный дизайн и высокое качество материалов. Элитные кондиционеры изготавливаются из современных, экологически чистых материалов, что гарантирует их безопасность и долговечность.

К элитным брендам относят Daikin, Mitsubishi Electric, Fujitsu General, Hitachi, Panasonic (топовые модели). Эти производители вкладывают значительные средства в разработку новых технологий и улучшение качества своей продукции.

Средний класс кондиционеров (вторая группа).

Во вторую группу входят кондиционеры, которые сочетают в себе хорошее качество, функциональность и доступную цену. Они не так технологичны, как элитные модели, но вполне надежны и способны обеспечить комфортные условия в помещении. Кондиционеры среднего класса – это оптимальный выбор для тех, кто ценит соотношение цены и качества.

Преимущества кондиционеров среднего класса:

- Доступная цена.
- Хорошее качество и надежность.
- Достаточный набор функций.
- Простота в эксплуатации.

К брендам среднего класса можно отнести LG, Samsung, Gree, Midea, Haier. Эти производители предлагают широкий ассортимент моделей с различными характеристиками и ценами.

Бюджетные кондиционеры (третья группа).

В третью группу входят кондиционеры бюджетного сегмента. Они отличаются низкой ценой, но могут уступать в качестве, надежности и функциональности. Кондиционеры эконом-класса – это подходящий вариант для тех, кому нужен кондиционер для небольшого помещения и кто не готов переплачивать за дополнительные функции.

Недостатки кондиционеров эконом-класса:

- Более низкое качество материалов и сборки.
- Меньший срок службы.

- Ограниченный набор функций.
- Менее экономичное энергопотребление.

К брендам эконом-класса можно отнести Supra, Ballu, Lessar, Roda. При выборе кондиционера эконом-класса следует внимательно изучить отзывы покупателей и обратить внимание на гарантийный срок.

Важно отметить, что классификация кондиционеров по группам достаточно условна и может меняться в зависимости от региона и продавца. При выборе кондиционера следует учитывать свои потребности, бюджет и особенности помещения. Рекомендуется проконсультироваться со специалистом, который поможет подобрать оптимальный вариант.

Помимо вышеперечисленных признаков, СКВ можно классифицировать по типу используемого хладагента (R-22, R-410A, R-32 и др.), по наличию или отсутствию инверторного управления, по типу компрессора (поршневой, роторный, спиральный), по уровню шума, по классу энергоэффективности и другим параметрам [1, 5, 6, 17].

Вопросы для самоконтроля

- 1) *Опишите как минимум три различных критерия, по которым можно классифицировать современные СКВ, и приведите примеры для каждого критерия.*
- 2) *Сравните и противопоставьте автономные и неавтономные СКВ. Приведите примеры каждого типа.*
- 3) *Какие классы СКВ выделяются по степени обеспечения метеорологических условий в помещении? Опишите различия между первым, вторым и третьим классами СКВ.*

1.8. Возможности современных кондиционеров

а) Охлаждение воздуха

Основная функция кондиционера заключается в охлаждении воздуха. Несмотря на то, что существуют иные устройства, способные нагревать, осушать и очищать воздушные массы, именно кондиционер является наиболее эффективным и зачастую единственным способом достижения желаемой прохлады. Важно отметить экономичность этого процесса: кондиционер преобразует один киловатт потребляемой электроэнергии примерно в три киловатта холода. Это возможно благодаря тому, что энергия расходуется не на создание прохлады, а на ее перемещение извне внутрь помещения. Эта особенность восприятия температуры широко используется в системах вентиляции и кондиционирования, позволяя достигать комфортных условий при меньших затратах энергии. Современные инверторные модели кондиционеров позволяют более плавно регулировать мощность охлаждения, обеспечивая более стабильную температуру и снижая энергопотребление. Они также способны поддерживать заданную температуру с высокой точностью, избегая резких перепадов и создавая более комфортные условия для пребывания в помещении. Помимо этого, некоторые модели оснащаются датчиками присутствия, которые автоматически регулируют температуру в зависимости от наличия людей в комнате, что позволяет дополнительно экономить электроэнергию.

б) Нагрев воздуха

Многие современные модели кондиционеров обладают функцией обогрева воздуха. Реализация этой возможности достигается, как правило, одним из двух способов. Наиболее распространенный метод основан на принципе теплового насоса. Фактически, речь идет не о

физическом насосе, а о режиме работы, при котором кондиционер отбирает тепло из наружного воздуха (даже холодного) и передает его в помещение. При температуре окружающей среды выше -10°C такой обогрев может быть довольно экономичным, обеспечивая 2,5–3,5 кВт тепла на каждый киловатт потребленной электроэнергии. Однако эффективность этой системы снижается с понижением температуры на улице. Кроме того, эксплуатация кондиционера в режиме обогрева при низких температурах значительно повышает риск поломок, включая выход из строя компрессора, повреждение лопастей вентилятора наружного блока или перегорание электродвигателя вентилятора.

Альтернативой является использование кондиционеров с электрическим нагревателем. В любом случае, следует учитывать ограничения, связанные не только с температурой внешнего воздуха, но и с мощностью самого устройства. Не все кондиционеры способны эффективно обогревать большие помещения, особенно в условиях сильного холода. Перед использованием кондиционера для отопления необходимо удостовериться, что данная модель предназначена для работы в зимних условиях и обладает достаточной мощностью для обогрева конкретной площади. Важно также не забывать о регулярном техническом обслуживании, чтобы предотвратить поломки и обеспечить оптимальную производительность кондиционера в режиме обогрева.

в) Осушка воздуха

Современные кондиционеры, помимо функций охлаждения и обогрева, обладают способностью снижать уровень влажности в помещении. Этот эффект достигается за счет понижения температуры воздуха, что приводит к конденсации и удалению избыточной влаги. Высокая влажность затрудняет дыхание и усиливает ощущение жары. Многие современные модели кондиционеров оснащены специальным режимом «осушение», который позволяет эффективно снижать влажность воздуха практически без изменения его температуры. Этот режим особенно полезен в регионах с высокой влажностью или в периоды повышенной влажности, например, после дождя. Снижение влажности воздуха помогает предотвратить появление плесени и грибка, а также улучшает общее состояние здоровья. Кондиционеры с функцией осушения могут использоваться как дополнение к отоплению в зимний период, так как сухой воздух быстрее нагревается и создает более комфортные условия. Важно помнить, что при работе в режиме осушения необходимо регулярно очищать или заменять фильтры кондиционера, так как они собирают влагу и могут стать источником бактерий и неприятных запахов.

г) Вентиляция помещения

В режиме вентиляции кондиционер не изменяет температуру воздуха, а лишь обеспечивает его циркуляцию и фильтрацию внутри помещения. При этом наружный блок кондиционера не задействуется, компрессор и вентилятор выключены, а вентилятор внутреннего блока работает в установленном режиме. Использование вентиляции способствует более равномерному распределению температуры в комнате и помогает избежать возникновения зон с застоявшимся воздухом. В ряде моделей предусмотрена функция притока воздуха с улицы, что в дополнение к циркуляции позволяет насыщать помещение кислородом и освежать воздух. Регулярное использование режима вентиляции помогает снизить концентрацию вредных веществ и аллергенов в воздухе, а также улучшить общее самочувствие. Однако следует учитывать, что при работе в режиме вентиляции кондиционер не очищает воздух так эффективно, как в режиме охлаждения или обогрева, так как фильтры работают только на внутренний воздух.

д) Очистка воздуха

Современные бытовые кондиционеры, как правило, оснащены лишь одним фильтром – механическим, предназначенным для очистки воздуха. Этот фильтр задерживает крупные частицы пыли, предохраняя от загрязнения не только воздушное пространство в помещении, но и теплообменник внутреннего блока устройства. Более эффективные фильтры, способные улавливать микроскопическую пыль, цветочную пыльцу, нежелательные запахи и табачный дым, обычно не включены в базовую комплектацию и приобретаются отдельно. Зачастую такие фильтры изготавливаются на основе активированного угля, благодаря чему их называют угольными или дезодорирующими. В условиях сильного загрязнения воздуха целесообразнее использовать специализированные воздухоочистители. Помимо угольных фильтров, существуют также электростатические фильтры, которые притягивают пыль и другие загрязнения с помощью электростатического заряда, и НЕРА-фильтры, которые способны задерживать до 99,97% частиц размером до 0,3 микрон. Выбор фильтра зависит от степени загрязнения воздуха и индивидуальных потребностей. Регулярная замена или очистка фильтров кондиционера является важным условием для поддержания чистоты воздуха в помещении и обеспечения эффективной работы кондиционера.

е) Ионизация воздуха.

Наличие отрицательно заряженных молекул кислорода, часто называемых аэроионами, определяет степень ионизации воздуха в замкнутом пространстве. В сравнении с природными условиями, такими как парки или сады, концентрация этих отрицательных ионов в помещениях, как правило, значительно ниже. Подтверждено, что повышенное содержание аэроионов оказывает положительное воздействие на здоровье человека. С учетом этого ряд современных кондиционеров оснащаются специальными устройствами – ионизаторами воздуха. Известно, что отрицательные ионы способствуют улучшению настроения, повышению работоспособности и укреплению иммунитета. Однако эффективность ионизации воздуха до сих пор является предметом научных дискуссий. Тем не менее, многие пользователи отмечают положительное влияние ионизированного воздуха на самочувствие и общее состояние здоровья. При использовании кондиционера с ионизатором важно регулярно проветривать помещение, чтобы обеспечить приток свежего воздуха и избежать накопления положительных ионов [15-18].

Вопросы для самоконтроля

- 1) *«Современные кондиционеры, работающие в режиме нагрева с использованием теплового насоса, могут эффективно обогревать помещение при любой температуре наружного воздуха». Соответствует ли это утверждение информации, представленной в тексте? Объясните, почему да или почему нет, и какие факторы влияют на эффективность обогрева кондиционером.*
- 2) *В тексте упоминается режим «осушение» и режим обычной работы с охлаждением. В чем принципиальное отличие работы кондиционера в режиме «осушение» от режима охлаждения, и в каких ситуациях режим «осушение» может быть более предпочтительным?*
- 3) *Опишите, как использование функции вентиляции в кондиционере может способствовать созданию более комфортной и здоровой атмосферы в помещении, и какие ограничения имеет эта функция по сравнению с полноценной системой вентиляции.*

1.9. Принцип работы кондиционера

В основе принципа действия любого кондиционера лежит физическое свойство жидкостей: при испарении они поглощают тепло, а при конденсации – выделяют его. Чтобы разобраться в механизме работы, можно рассмотреть схему сплит-системы (рис. 1.8). Ключевыми компонентами любого кондиционера являются:

Компрессор – сжимает фреон и поддерживает его движение по холодильному контуру.

Конденсатор – представляет собой радиатор, обычно расположенный во внешнем блоке кондиционера. В конденсаторе происходит переход фреона из газообразного состояния в жидкое, то есть процесс конденсации, отсюда и название узла.

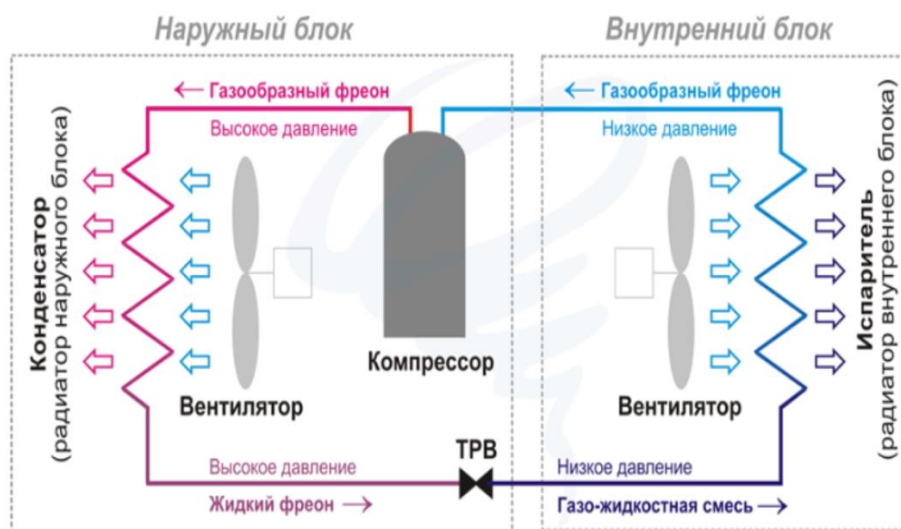


Рис. 1.8. Движение хладагента

Важной составляющей частью системы кондиционирования является замкнутый холодильный контур, образованный соединенными медными трубками и заполненный циркулирующей смесью фреона и небольшого количества масла для компрессора. Основные элементы этого контура – испаритель, терморегулирующий вентиль (ТРВ), компрессор и конденсатор.

Испаритель: расположенный во внутреннем блоке, испаритель представляет собой радиатор, в котором фреон меняет свое агрегатное состояние, переходя из жидкого в газообразное.

ТРВ: этот компонент отвечает за снижение давления фреона, поступающего в испаритель.

Вентиляторы: обеспечивают интенсивный обдув испарителя и конденсатора, повышая эффективность теплообмена с окружающим воздухом.

Компрессор: газообразный фреон под низким давлением (3–5 атмосфер) и температурой 10–20°C поступает в компрессор из испарителя. Компрессор сжимает фреон, поднимая давление до 15–25 атмосфер, что приводит к нагреву фреона до 70–90°C. Затем горячий фреон направляется в конденсатор.

Конденсатор: обдув конденсатора способствует охлаждению фреона и его переходу из газообразного состояния в жидкое, при этом выделяется тепло, нагревающее воздух, проходящий через конденсатор. На выходе из конденсатора фреон находится в жидком

состоянии, под высоким давлением и с температурой на 10–20°C выше температуры окружающей среды.

Далее теплый жидкий хладагент проходит через ТРВ, часто выполненный в виде капиллярной трубки. В ТРВ давление и температура фреона резко снижаются, что может привести к частичному испарению фреона.

После ТРВ смесь жидкого и газообразного фреона при низком давлении поступает в испаритель, где жидкий фреон испаряется, поглощая тепло из воздуха, который, следовательно, охлаждается. Газообразный фреон с низким давлением возвращается в компрессор, и цикл повторяется.

Описанный процесс является базовым для всех типов кондиционеров, независимо от их модели или производителя. Важно отметить, что попадание жидкого фреона в компрессор может привести к его поломке, поскольку жидкость несжимаема. Это может произойти, если фреон не успевает полностью испариться в испарителе, например, из-за загрязненных фильтров (ухудшение теплообмена) или включения кондиционера при отрицательных температурах.

В режиме охлаждения кондиционер выполняет функцию отвода тепла из помещения и его переноса во внешнюю среду [13, 8, 18].

Вопросы для самоконтроля

- 1) *Опишите основные этапы цикла работы кондиционера, начиная с поступления фреона в компрессор и заканчивая его возвращением в компрессор. Укажите, какие изменения происходят с фреоном (давление, температура, фазовое состояние) на каждом этапе.*
- 2) *Объясните, какую роль играют конденсатор и испаритель в процессе охлаждения воздуха в помещении. Что происходит с фреоном в каждом из этих элементов, и как это влияет на температуру воздуха?*
- 3) *Почему попадание жидкого фреона в компрессор может привести к его поломке? Какие причины могут вызвать неполное испарение фреона в испарителе?*

1.10. Основные типы кондиционеров

Кондиционеры сплит-систем. В сфере кондиционирования воздуха для жилых и коммерческих помещений широкое распространение получили сплит-системы. Их конструкция включает два основных блока: внешний (компрессорно-конденсаторный) и внутренний (испарительный). Внешний блок, содержащий компрессор, конденсатор и вентилятор, размещается вне помещения, где обеспечивается обдув горячего конденсатора атмосферным воздухом. Варианты размещения включают стены зданий, крыши, чердаки или подсобные помещения.

Внутренний блок, устанавливаемый непосредственно в кондиционируемом помещении, отвечает за охлаждение или нагрев воздуха, его фильтрацию, а также за обеспечение циркуляции воздуха. Связь между блоками осуществляется посредством двух медных трубок в теплоизоляции, которые обычно скрываются за подвесными потолками, панелями или декоративными коробами. Сплит-системы эффективно применяются для кондиционирования помещений площадью от 15 до 140 м².



Рис. 1.9. Кондиционеры сплит-систем

Основное преимущество сплит-систем заключается в их относительно простой конструкции, что обеспечивает доступную стоимость и упрощает установку (рис. 1.9). Однако, существенным недостатком является отсутствие возможности подачи свежего воздуха, за исключением мощных моделей настенно-потолочного типа, которые могут обеспечить приток небольшого количества свежего воздуха (до 10%).

Наиболее распространены настенные кондиционеры, где один внутренний блок соединен с одним наружным. Для кондиционирования нескольких смежных комнат применяются **мультисплит-системы**, в которых к одному наружному блоку подключаются от двух до четырех внутренних блоков.

Для кондиционирования крупных зданий с множеством помещений, характеризующихся различными тепловыми нагрузками, изменяющимися в течение дня, разработаны многозональные системы с переменным расходом хладагента. Эти системы позволяют подключать до 16 внутренних блоков различной мощности и конструкции к одному наружному блоку. Важно отметить, что блоки могут работать независимо друг от друга, выполняя функции охлаждения или обогрева в разных зонах.

Канальные кондиционеры и кондиционеры сплит-систем с приточной вентиляцией. Канальные кондиционеры представляют собой системы, предназначенные для одновременного кондиционирования нескольких зон. Их основная функция заключается в рециркуляции воздуха. Внутренние блоки этих устройств обычно монтируются в пространстве за подвесным потолком, а распределение воздуха осуществляется через систему воздуховодов, направленных в различные комнаты. В отличие от сплит-систем, внутренние блоки канальных кондиционеров имеют упрощенную конструкцию, поскольку не требуют особого дизайна. Воздух из помещения поступает через заборную решетку, проходит через внутренний блок, а затем через систему воздуховодов возвращается в помещение через распределительные решетки. Внутренний блок оснащен мощным вентилятором, способным преодолевать сопротивление воздуховодов и решеток. Система состоит из двух основных блоков: компрессорно-конденсаторного (наружного) и испарительного (внутреннего).

В отличие от них, сплит-системы с функцией приточной вентиляции обладают расширенными возможностями, обеспечивая эффективное решение задач вентиляции и кондиционирования воздуха в течение всего года (рис.1.10).

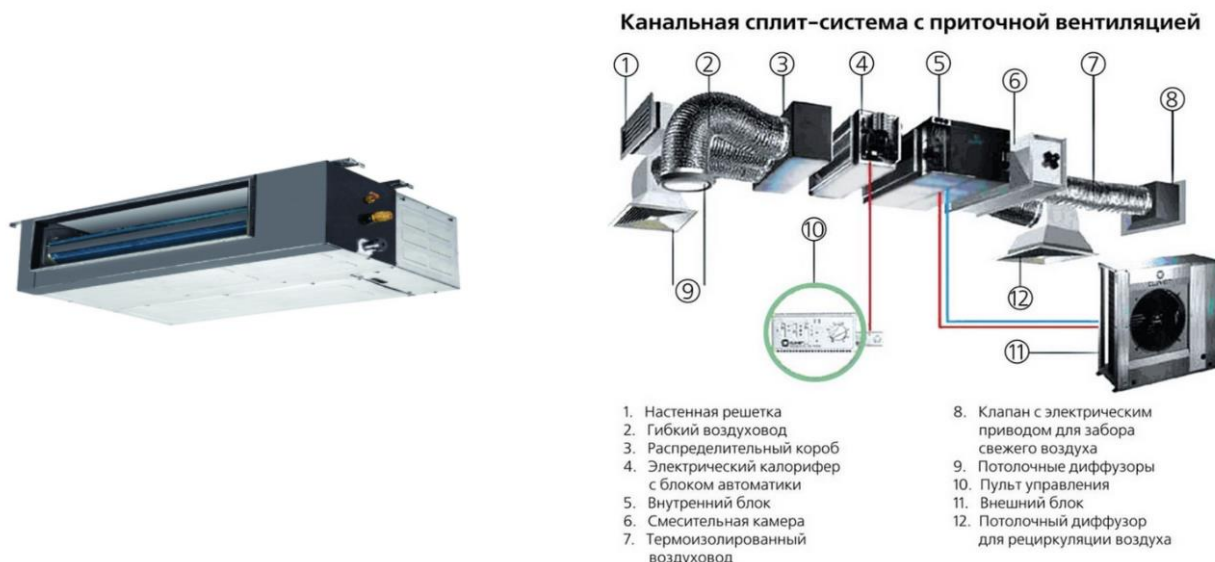


Рис. 1.10. Канальная сплит-система с приточной вентиляцией

СКВ с чиллерами и фанкойлами. *Чиллер* – это холодильный агрегат, используемый для охлаждения жидкостей, таких как вода или антифризы. Некоторые модели способны функционировать как тепловые насосы. *Фанкойл* – это устройство, устанавливаемое непосредственно в помещении. Его конструкция включает теплообменник с вентилятором, фильтр для очистки воздуха и панель управления для регулировки параметров работы. Системы, объединяющие чиллеры и фанкойлы, предоставляют возможность индивидуальной регулировки температуры в различных помещениях одновременно. Это делает их оптимальным решением для объектов, где требуется зональный контроль климата, например гостиниц или офисных зданий. Фанкойлы (конкретные потребители холода или тепла) могут включаться и выключаться по мере необходимости, а также изменять мощность в зависимости от текущих потребностей (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фанкойлами

Помимо фанкойлов, в качестве потребителей могут выступать теплообменники центральных кондиционеров или различное технологическое оборудование, требующее охлаждения.

В системах с чиллерами и фанкойлами воздух из помещения направляется вентилятором фанкойла на теплообменник, где происходит его охлаждение или нагрев. В некоторые фанкойлы может подаваться приточный воздух от централизованной системы вентиляции или приточной установки, что позволяет одновременно решать задачи кондиционирования и вентиляции.

Для циркуляции хладоносителя или теплоносителя между чиллером и потребителями используется насосная станция. Она представляет собой комплектное устройство, включающее циркуляционные насосы, расширительный бак для компенсации температурных расширений жидкости, аккумулирующий бак для сглаживания пиковых нагрузок, запорную арматуру для обслуживания и ремонта, а также автоматику для управления работой системы.

Крышные кондиционеры. Крышные кондиционеры представляют собой холодильную машину, конструктивно выполненную в виде моноблока, предназначенного для установки на плоских кровлях зданий (рис. 1.12). Если крыша имеет наклон, то кондиционер устанавливают на специальных рамах.

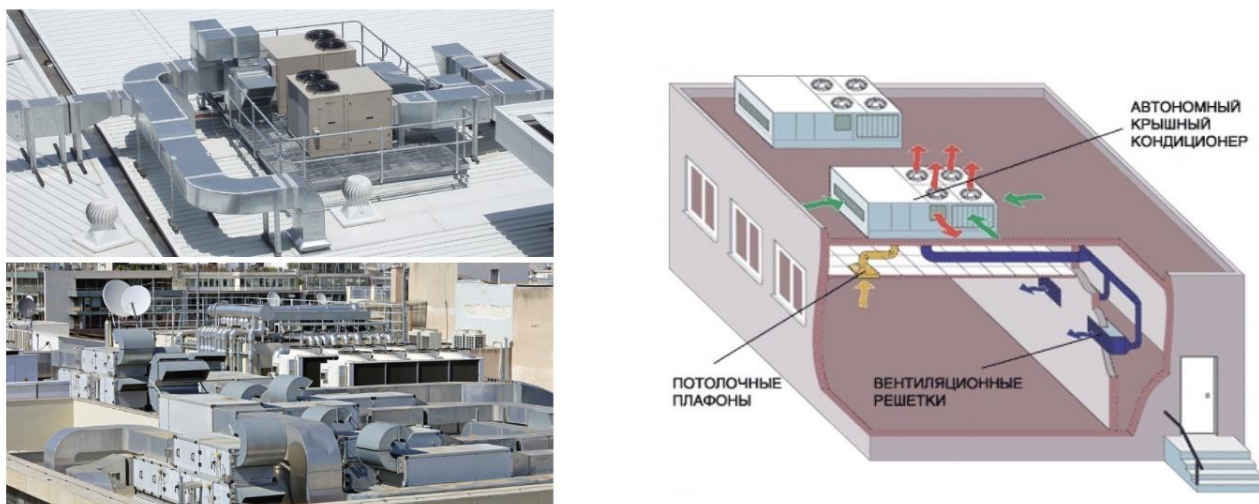


Рис. 1.12. Крышные кондиционеры

Крышные кондиционеры представляют собой комплексные системы, обеспечивающие одновременную вентиляцию и контроль температуры в больших помещениях, таких как супермаркеты, спортивные комплексы и конференц-залы. Эти установки, предназначенные для открытых пространств с общей крышей, осуществляют забор свежего воздуха с улицы через специальные решетки и рециркулируют воздух изнутри помещения, направляя оба потока в смесительную камеру. Пропорции смешивания регулируются заслонками.

Далее, воздушная смесь проходит через фильтр и попадает в теплообменник холодильной машины, где происходит ее нагрев или охлаждение, особенно в моделях с тепловым насосом. В некоторых конфигурациях предусмотрен дополнительный электрический или водяной нагреватель для более эффективного подогрева воздуха. После обработки воздух нужной температуры подается центробежным вентилятором в систему воздуховодов для распределения по всему помещению.

Охлаждение конденсатора обеспечивается отдельным вентилятором, который забирает воздух из атмосферы и выпускает его обратно. Крышные кондиционеры доступны в широком диапазоне мощностей – от 8 до 140 кВт, и способны обрабатывать от 1500 до 25000 м³/ч.

Центральные кондиционеры. Центральные кондиционеры, нашедшие широкое применение в комфортном и технологическом кондиционировании, представляют собой неавтономные кондиционеры, снабжаемые извне холодом (подводом холодной воды или незамерзающих жидкостей), теплом (подводом горячей воды или пара) и электроэнергией для привода вентиляторов, насосов, запорно-регулирующих аппаратов на воздушных и жидкостных коммуникациях и пр. (рис. 1.13).

Центральные кондиционеры, как правило, проектируются для климатизации нескольких зон или обширных пространств. В крупных объектах, таких как концертные залы, стадионы или промышленные цеха, может быть задействовано несколько центральных кондиционеров, работающих согласованно.

Современные модели центральных кондиционеров имеют модульную конструкцию, состоящую из стандартизированных секций. Эти секции выполняют различные функции: обработку воздуха по температуре и влажности, смешивание воздушных потоков и их транспортировку.

Конструктивно кондиционер представляет собой каркас из алюминиевого профиля, на который крепятся панели. Панели имеют трехслойную структуру: два оцинкованных листа (внешний и внутренний) с теплоизоляционным слоем из минеральной ваты между ними.

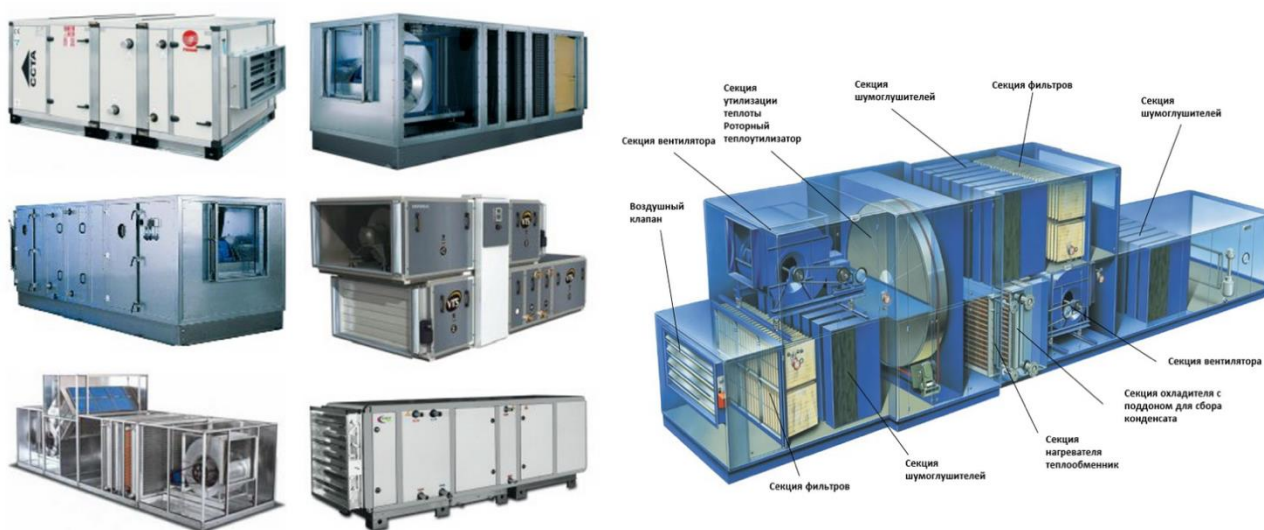


Рис. 1.13. Центральные кондиционеры

Комплектация кондиционера определяется требованиями к микроклимату в помещении. Набор секций может варьироваться в зависимости от конкретных задач. Встречаются как одноярусные, так и двухъярусные конфигурации. Габариты секций стандартизованы и зависят от объема и скорости проходящего через них воздуха.

В состав центрального кондиционера обычно входят следующие основные секции: вентиляторная, секции охлаждения и нагрева, увлажнения, фильтрации, шумоглушения и рекуперации тепла. Выбор конкретной схемы обработки воздуха обусловлен назначением и

режимом эксплуатации помещений, а также санитарными, строительными, архитектурными, эксплуатационными и экологическими нормами [27, 28].

Вопросы для самоконтроля

- 1) В чем принципиальное различие между канальными кондиционерами и кондиционерами сплит-систем с приточной вентиляцией, и какие задачи каждый из них решает?
- 2) Опишите конструктивные особенности и принцип работы крышных кондиционеров. Для каких типов помещений они обычно используются?
- 3) В чем заключается основное преимущество использования систем с чиллерами и фанкойлами по сравнению с другими типами кондиционеров, особенно в контексте многоквартирных зданий (например, гостиниц или офисов)?

1.11. Особенности систем кондиционирования воздуха в условиях низких температур наружного воздуха

Проблема обеспечения комфортных микроклиматических условий в помещениях различного назначения приобретает особую актуальность в регионах с экстремальными климатическими условиями. Одним из наиболее ярких примеров такого региона является Республика Саха (Якутия), характеризующаяся продолжительным периодом низких температур наружного воздуха. В данном разделе будут рассмотрены особенности проектирования и эксплуатации систем кондиционирования воздуха в условиях низких температур наружного воздуха, с акцентом на специфику климата Якутии.

Республика Саха (Якутия) является самым крупным по территории субъектом Российской Федерации и характеризуется резко континентальным климатом. Зима в Якутии продолжительная и суровая, со средними температурами января, достигающими $-40\dots-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, а абсолютные минимумы могут опускаться ниже $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. В летний период наблюдаются высокие температуры, что обуславливает значительные годовые амплитуды температур (рис. 1.14).

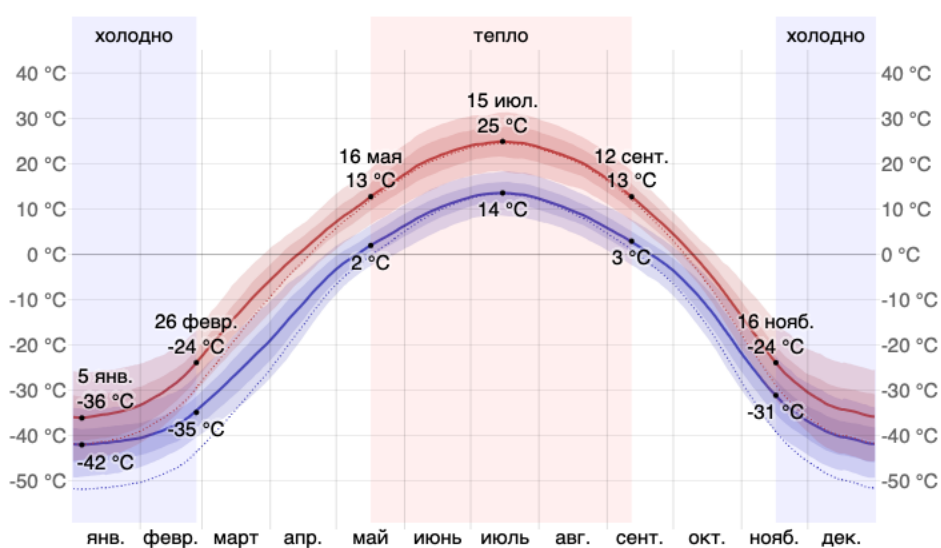


Рис. 1.14. Средняя максимальная и минимальная температура в Якутск

В Якутске наблюдаются значительные колебания температуры в течение года. Теплое время года, продолжающееся примерно с середины мая (16-го числа) до середины сентября

(12-го числа), охватывает около 4 месяцев. В этот период среднесуточная температура превышает 13 °С. Наиболее теплым месяцем является июль, когда в среднем воздух прогревается до 24 °С днем и остывает до 13 °С ночью.

Холодное время года занимает чуть больше 3 месяцев – с середины ноября (16-го числа) до конца февраля (26-го числа). В этот период среднесуточная температура опускается ниже - 24 °С. Самый суровый месяц – январь, со средними значениями от -42 °С в дневное время до -35 °С в ночное [29].

В условиях таких низких температур наружного воздуха поддержание комфортных параметров микроклимата в помещениях представляет собой сложную задачу. Необходимо учитывать следующие факторы, которые мы рассмотрим далее.

Высокие теплопотери зданий являются серьезной проблемой, возникающей из-за значительной разницы температур между внутренним (отапливаемым или охлаждаемым) и наружным воздухом. Этот температурный градиент создает условия для активной передачи тепла через ограждающие конструкции здания, такие как стены, крыша, окна и двери. В результате:

- *Увеличение энергопотребления:* для поддержания комфортной температуры внутри помещений необходимо компенсировать эти теплопотери, что приводит к значительному увеличению потребления энергии системами отопления (в холодное время года) и кондиционирования (в теплое время года).
- *Повышенные финансовые затраты:* рост энергопотребления напрямую влечет за собой увеличение расходов на оплату коммунальных услуг (электроэнергии, газа, отопления), что оказывает негативное влияние на бюджет как для частных лиц, так и для организаций.
- *Некомфортная среда:* недостаточная теплоизоляция и высокие теплопотери могут привести к неравномерному распределению температуры в помещении, образованию холодных зон (около окон и стен) и сквозняков, что создает дискомфорт для находящихся внутри людей.
- *Увеличение нагрузки на системы отопления и кондиционирования:* для компенсации больших теплопотерь требуется более мощное оборудование для отопления и кондиционирования, что повышает его износ, сокращает срок службы и увеличивает затраты на техническое обслуживание и ремонт.
- *Негативное воздействие на окружающую среду:* повышенное энергопотребление, связанное с компенсацией теплопотерь, приводит к увеличению выбросов парниковых газов и других загрязняющих веществ, усугубляя экологические проблемы и климатические изменения.

Следовательно, эффективная теплоизоляция и снижение теплопотерь являются ключевыми факторами для повышения энергоэффективности зданий, снижения затрат на отопление и кондиционирование, создания комфортной среды и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду.

Обмерзание теплообменных аппаратов, таких как калориферы и рекуператоры, является распространенной проблемой в системах вентиляции и кондиционирования, особенно в холодное время года. Этот процесс связан с физическими явлениями конденсации, кристаллизации и намерзания влаги, содержащейся в приточном воздухе, на поверхностях теплообменника, имеющих отрицательную температуру.

Разберем происходящее по шагам:

- *Влажность воздуха*: атмосферный воздух всегда содержит определенное количество водяного пара. Количество влаги зависит от температуры и относительной влажности воздуха.
- *Низкая температура*: при низких температурах наружного воздуха способность воздуха удерживать влагу значительно снижается.
- *Контакт с холодной поверхностью*: приточный воздух, содержащий влагу, попадает на поверхность теплообменника, который обычно нагревается теплоносителем (вода, гликоль, фреон). Однако, при достаточно низкой температуре наружного воздуха, температура поверхности теплообменника может быть ниже точки росы (температуры, при которой водяной пар начинает конденсироваться) приточного воздуха.
- *Конденсация*: влага из воздуха конденсируется на холодной поверхности теплообменника, образуя капли воды.
- *Кристаллизация и льдообразование*: если температура поверхности теплообменника ниже 0°C, сконденсировавшаяся вода замерзает, превращаясь в лед. Изначально образуется тонкий слой инея, который постепенно нарастает, формируя более толстый слой льда.
- *Образование «кружаса», «шубы»*: по мере продолжения процесса конденсации и замерзания, на теплообменнике формируется толстый слой инея и льда.

Последствия обмерзания теплообменных аппаратов:

- *Снижение эффективности теплообмена*: лед, образующийся на поверхности теплообменника, является отличным теплоизолятором. Он значительно снижает теплопередачу между теплоносителем и приточным воздухом, ухудшая нагрев или охлаждение воздуха.
- *Увеличение сопротивления воздушному потоку*: наращивание льда приводит к уменьшению проходного сечения теплообменника, что увеличивает сопротивление воздушному потоку. Это заставляет вентилятор работать на повышенной мощности, увеличивая энергопотребление и шум.
- *Повреждение оборудования*: в крайних случаях, при сильном обмерзании, лед может деформировать или даже разрушить пластины теплообменника. Замерзшая вода, расширяясь, может повредить трубы, фитинги и другие компоненты системы.
- *Выход оборудования из строя*: обмерзание может привести к полной остановке системы вентиляции или кондиционирования, особенно если не предусмотрены системы защиты и разморозки.
- *Нарушение микроклимата в помещении*: недостаточный нагрев приточного воздуха может привести к снижению температуры в помещении, что особенно критично для жилых домов, больниц и других объектов, где требуется поддержание комфортной температуры.

Профилактика и борьба с обмерзанием:

Существуют различные методы профилактики и борьбы с обмерзанием теплообменных аппаратов, в том числе:

- *Предварительный подогрев приточного воздуха*: установка предварительного нагревателя (калорифера) перед теплообменником позволяет повысить температуру приточного воздуха и снизить риск конденсации влаги.
- *Использование байпасирования*: частичный обход рекуператора холодным воздухом или временное отключение рекуперации.

- *Использование датчиков температуры и влажности:* установка датчиков температуры и влажности позволяет контролировать параметры приточного воздуха и вовремя принимать меры для предотвращения обмерзания.
- *Регулярная проверка и обслуживание оборудования:* важно регулярно осматривать теплообменники на предмет обмерзания и проводить их очистку при необходимости.
- *Правильный выбор теплообменника:* необходимо правильно подбирать тип и размер теплообменника в зависимости от климатических условий и параметров приточного воздуха.

Понимание процессов, приводящих к обмерзанию, и принятие соответствующих мер профилактики и защиты позволяют избежать серьезных проблем и обеспечить надежную и эффективную работу систем вентиляции и кондиционирования в холодное время года.

Повышенные требования к надежности оборудования, которые обусловлены следующими факторами:

- **Бесперебойное функционирование:** СКВ часто используются для поддержания комфортной и безопасной температуры в помещениях, где находятся люди, животные или хранится чувствительное к температуре оборудование. Отказ СКВ в условиях экстремальных температур может привести к серьезным последствиям, таким как переохлаждение, перегрев, повреждение оборудования или ухудшение условий труда.
- **Устойчивость к низким температурам:** низкие температуры могут негативно влиять на различные компоненты СКВ, такие как компрессоры, вентиляторы, трубопроводы и электронные компоненты.
- **Минимизация рисков аварийных ситуаций:** экстремальные температуры увеличивают риск аварийных ситуаций, таких как перегрузка оборудования, утечки хладагента или возгорания. Надежное оборудование СКВ должно быть оснащено системами защиты от перегрузок, датчиками утечек и другими средствами, предотвращающими аварийные ситуации.
- **Снижение затрат на обслуживание и ремонт:** частое обслуживание и ремонт оборудования СКВ в условиях экстремальных температур могут быть дорогостоящими и трудоемкими. Использование надежного оборудования позволяет снизить частоту поломок и, следовательно, затраты на обслуживание и ремонт.

В связи с этим, к оборудованию СКВ, предназначенному для работы в условиях экстремальных температур, предъявляются следующие требования:

- **Использование морозостойких, коррозионностойких и износостойких материалов** для изготовления оборудования.
- **Усиленная конструкция корпуса и внутренних компонентов** для защиты от механических повреждений и воздействия низких температур.
- **Наличие систем защиты от перегрузок, перегрева, замерзания и других аварийных ситуаций.**
- **Использование резервных компонентов или систем** для обеспечения бесперебойной работы в случае отказа основного оборудования.
- **Проведение регулярного технического обслуживания и диагностики** для выявления и устранения потенциальных проблем.

В условиях экстремально низких температур, характерных для Якутии, даже небольшие **изменения температуры внутри жилого дома** оказывают значительное влияние на расчет температуры приточного воздуха, необходимого для поддержания комфортного

микроклимата. Этот эффект обусловлен сложным взаимодействием теплофизических свойств ограждающих конструкций, интенсивностью инфильтрации воздуха и принципами работы систем вентиляции.

Любое здание стремится к тепловому равновесию с окружающей средой. Разница между внутренней и наружной температурой определяет интенсивность теплопотерь через стены, окна, кровлю и пол. Небольшое изменение внутренней температуры приводит к изменению этих теплопотерь. В условиях низких наружных температур и использования теплоизоляционных материалов с определенными характеристиками, даже небольшие колебания внутренней температуры существенно влияют на теплопотери.

Разница температур также влияет на инфильтрацию – проникновение холодного наружного воздуха через неплотности в ограждающих конструкциях. Чем больше разница температур, тем сильнее приток холодного воздуха в помещение. Увеличение внутренней температуры усиливает этот приток, что приводит к дополнительным теплопотерям, так как холодный воздух необходимо нагревать.

Системы вентиляции должны обеспечивать подачу свежего воздуха, компенсируя теплопотери и нагревая инфильтрующийся воздух. При увеличении внутренней температуры на 2 °С возрастают теплопотери через ограждающие конструкции и увеличивается инфильтрация холодного воздуха. Для компенсации этих изменений необходимо либо увеличить температуру приточного воздуха, либо увеличить его объем. Выбор оптимального решения зависит от характеристик системы вентиляции, теплоизоляции здания и экономических факторов.

Неправильный расчет температуры приточного воздуха, не учитывающий влияние изменения внутренней температуры, может привести к переохлаждению помещений, повышенной влажности и образованию конденсата, а также к неэффективному использованию энергии.

Следовательно, для обеспечения надежной и эффективной работы систем кондиционирования воздуха в условиях низких температур наружного воздуха необходимо внедрять оптимизированные решения. Одним из наиболее эффективных решений является **многоступенчатая система обработки воздуха**, включающая предварительный подогрев, рекуперацию тепла и основной подогрев. Подробное рассмотрение этой схемы представлено в 4-ой главе данного пособия [8, 11, 14, 19, 20, 25].

Вопросы для самоконтроля

- 1) *Какие факторы, характерные для регионов с низкими температурами, такие как Республика Саха (Якутия), необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации систем кондиционирования воздуха?*
- 2) *Какие последствия может вызвать обмерзание теплообменных аппаратов в системах вентиляции и кондиционирования, и какие существуют методы профилактики и борьбы с этим явлением?*
- 3) *Какие повышенные требования к надежности предъявляются к оборудованию систем кондиционирования воздуха, используемому в условиях экстремально низких температур, и почему эти требования важны?*

2. Исходные данные для расчета СКВ

2.1. Выбор параметров наружного и внутреннего воздуха

Расчетные параметры наружного воздуха. Параметры наружного воздуха, на которые выполняются все расчеты при проектировании кондиционирования, называются расчетными параметрами наружного воздуха. Они считаются нормативными, так как их выбор оговорен в нормативных документах – соответствующих главах СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [24].

Основными расчетными параметрами наружного воздуха, задаваемыми в СП, являются температура, энтальпия и скорость наружного воздуха. Наружные параметры задаются для трех периодов: холодного, переходного и теплого.

Переходный период – это расчетное граничное состояние воздуха между теплым и холодным периодом. За расчетные параметры переходного периода принимается температура 8 °С и энтальпия 22,5 кДж/кг. Среднесуточная температура 8 °С выбрана в качестве расчетной для переходного периода не случайно, она соответствует моменту отключения систем отопления общественных зданий (производственные здания часто отключаются и раньше с целью экономии тепловой энергии) и переводу систем теплоснабжения на летний режим.

Для проектирования систем кондиционирования воздуха первого и второго классов в качестве расчетных параметров наружного климата для теплого и холодного периодов года принимаются климатические параметры Б в соответствии [24]. В зависимости от географического месторасположения здания определяются следующие исходные климатологические данные:

- географическая широта;
- расчетные значения температуры и энтальпии наружного воздуха для теплого и холодного периодов года.

Внимание: для систем кондиционирования воздуха второго класса (комфортного КВ) следует принимать температуру наружного воздуха для теплого периода на 2 °С и удельную энтальпию на 2 кДж/кг ниже установленных параметров Б, для холодного периода года принимаются параметры Б без изменений (прил. 1).

Расчетные параметры внутреннего воздуха. Под параметром внутреннего воздуха понимают параметры воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещения. В верхней зоне помещения, где обычно нет людей, параметры не нормируются. Обслуживаемой зоной помещения называется пространство в помещении, ограниченное полостями, параллельными полу и стенам: на высоте 1,1 и 2,0 м над уровнем пола (но не ближе, чем 1 м от потолка при потолочном отоплении), на расстоянии 0,5 м от внутренних поверхностей наружных внутренних стен, окон и отопительных приборов.

Микроклимат помещения – состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха.

Оптимальные параметры – сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80 % людей, находящихся в помещении.

Допустимые параметры микроклимата – сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном систематическом воздействии на человека могут

вызвать общее и локальное ощущение дискомфорта, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности при усиленном напряжении механизмов терморегуляции и не вызывают повреждений и ухудшения состояния здоровья.

При кондиционировании влажный воздух характеризуется основными параметрами: температура по сухому термометру t , влагосодержание d , относительная влажность φ , плотность ρ , температура по мокрому термометру t_m , температура точки росы t_p , барометрическое давление p_b , удельная теплоемкость c и удельная энтальпия I .

Масса водяного пара во влажном воздухе, приходящаяся на 1 кг массы сухой его части, называется *влагосодержанием* влажного воздуха d .

Относительной влажностью воздуха φ называется отношение парциального давления водяного пара, содержащегося во влажном воздухе заданного состояния, к парциальному давлению насыщенного водяного пара при той же температуре.

Удельная энтальпия влажного воздуха I – это количество теплоты, содержащееся во влажном воздухе при заданных температуре и давлении, отнесенное к 1 кг влажного воздуха. Энтальпия смеси газов равна сумме энтальпий компонентов, входящих в смесь. Следовательно, удельная энтальпия влажного воздуха представляет сумму энтальпий сухого воздуха и водяного пара.

В ненасыщенном воздухе водяной пар находится в перегретом состоянии, т.е. его температура выше температуры насыщения. Если влажный воздух охладить без изменения давления, то количество содержащегося в нем водяного пара будет оставаться неизменным, следовательно, процесс охлаждения будет происходить при постоянном влагосодержании и парциальном давлении пара. Такой процесс может протекать до тех пор, пока температура воздуха и пара не понизится до температуры насыщения, так как при дальнейшем охлаждении воздуха из него начнет выпадать влага в виде капель и инея.

Температура, соответствующая состоянию насыщения влажного воздуха при заданном значении влагосодержания или парциального давления, называется *температурой точки росы*. Температура точки росы является предельной, до которой можно охлаждать влажный воздух при постоянном влагосодержании без выпадения конденсата.

Так как температура воздуха не равна температуре воды, а парциальное давление насыщенного водяного пара над поверхностью воды выше, чем в насыщенном воздухе, то между воздухом и водой будет идти процесс тепло- и массообмена, направленный в сторону более низкого потенциала, т.е. – испарение воды и охлаждение воздуха. Процесс продолжается до тех пор, пока не выйдет на стационарный режим.

На испарение воды требуется тепло (скрытая теплота парообразования), которое вначале поступает от воздуха и воды.

Однако через некоторое время температура воды достигнет такого уровня, когда тепло, передаваемое от воздуха к воде, уравнивается теплом, затрачиваемым на испарение воды, и ее температура будет оставаться постоянной, равной t_m .

Температура мокрого термометра – это температура, которую принимает ненасыщенный влажный воздух в результате адиабатного тепло- и массообмена с водой, имеющей постоянную температуру $t_w = t_m$ после достижения им насыщенного состояния.

Плотность. Плотностью называется масса вещества в единице объема. Единица измерения плотности кг/м^3 . Плотность газов зависит от молекулярной массы, давления и температуры. Средняя молекулярная масса сухого воздуха равна 29, а молекулярная масса водяного пара – 18. Плотность всех газов уменьшается с повышением температуры, так как

при нагревании при постоянном давлении они расширяются. Для сухого воздуха при 20 °С плотность равна 1,2 кг/м³.

Теплоемкость. Теплоемкостью называется количество теплоты, требуемое для нагрева 1 кг вещества на 1° С. Теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении равна 1,005 кДж/(кг·°С). Теплоемкость водяных паров равна 1,8 кДж/(кг·°С). Точно так же, как и плотностью, в практических расчетах пренебрегают изменением теплоемкости влажного воздуха (ВВ), связанным с наличием в воздухе водяных паров, и считают теплоемкость ВВ равной теплоемкости сухого воздуха (СВ), т.е. 1,005. Более того, в прикидочных расчетах можно принимать $c = 1$, что даст ошибку 0,5 % в сторону уменьшения результата вычислений. Учитывая значительно более низкую точность расчетов в вентиляции, связанную с неопределенностью многих исходных данных, а также тот факт, что любое оборудование подбирается с запасом, погрешность самих вычислений в 0,5 % вполне допустима.

Температура является мерой нагретости тела. В вентиляции температуру воздуха обычно указывают по стоградусной называемой в разговорной речи шкалой Цельсия. Абсолютные температуры по шкале Кельвина не нашли применения в вентиляции и кондиционировании. В стоградусной шкале за 0 принята температура таяния льда. Температура кипения чистой воды при нормальном атмосферном давлении соответствует 100 °С. В вентиляционной практике приходится иметь дело как с положительными, так и отрицательными значениями температур [9, 13, 15].

Параметры, характеризующие микроклимат помещений: температура воздуха, скорость движения воздуха, относительная влажность воздуха.

Оптимальные параметры микроклимата в обслуживаемой зоне общественных и административно-бытовых помещений зданий определяют по ГОСТ 30494 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» в зависимости от периода года и категории помещения (прил. 2) [10].

Относительная влажность воздуха в помещении в теплый период принимается большего значения, для экономии энергии, а в холодный – меньшего.

Пример: определить параметры наружного и внутреннего воздуха читального зала в г. Якутск.

По таблице СП 131.13330.2020 в ТП параметры Б: $t_n=27$ °С; $I=52$ кДж/кг. За расчетные значения принимаем на 2 порядка меньше (табл. 2.1, 2.2).

Таблица 2.1

Расчетные параметры наружного воздуха

Наименование города	Географическая широта, °с.ш.	Период года	Температура, t_n , °С	Удельная энтальпия, I , кДж/кг
Якутск	48	Теплый	25	50
		Холодный	-52	-52,3

Расчетные параметры внутреннего воздуха

Наименование помещения	Период года	Температура воздуха, $t_{вн}, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность, $\phi, \%$	Скорость движения воздуха, не более, $v, \text{м/с}$
Читальный зал	Теплый	25	55	0,3
	Холодный	20	36	0,2

2.2. Расчет теплоступлений и вредных выделений в помещении

Вредными выделениями для помещений любого назначения считаются: избыточные теплота (явная и полная) и влага, выделяемые людьми и технологическими установками, углекислый газ (CO_2), выделяемый людьми, газы и пыль, выделяющиеся при технологическом процессе.

1) Количество тепла, поступающего в помещение от людей, зависит от *температуры воздуха в помещении* и *характера труда человека* и определяется для теплого и холодного периодов года по формуле:

$$Q_{\text{л}} = n \cdot q, \quad (2.2.1)$$

где $Q_{\text{л}}$ – тепловыделения от людей, Вт;

n – количество людей в помещении, чел;

q – полное тепло, выделяемое одним человеком, Вт (прил. 3).

**Дополнительная информация:* В ресторанах (столовых, кафе) учитываются тепловыделения от остывающей пищи (прил. 3), которые определяются по формуле:

$$Q_{\text{пщ}} = q_{\text{пщ}} \cdot n, \quad (2.2.2)$$

где $q_{\text{пщ}}$ – тепловыделения от пищи на одного посетителя, Вт/чел;

n – количество людей в помещении, чел.

Пример: определить количество тепла от людей в читальном зале, если в ТП: температура внутреннего воздуха 25°C , в ХП: 20°C . Количество людей 100.

Решение. По приложению 3 находим значение полной теплоты, выделяемой одним человеком (q). В читальном зале, где преобладает состояние покоя и поддерживается температура внутреннего воздуха 25°C , q составляет 93 Вт (ТП). При температуре внутреннего воздуха 20°C , q составляет 116 Вт (ХП).

$$\text{В ТП: } Q_{\text{л}} = n \cdot q = 100 \cdot 93 = 9300 \text{ Вт}$$

$$\text{В ХП: } Q_{\text{л}} = n \cdot q = 100 \cdot 116 = 11600 \text{ Вт}$$

2) Количество влаги, выделяемой одним человеком, зависит от *температуры окружающей среды* и *характера труда человека*. Общее количество влаги, выделяемой людьми, кг/ч, определяется для теплого и холодного периода года по формуле:

$$W_{\text{л}} = 0,001 \cdot w \cdot n, \quad (2.2.3)$$

где w – влаговыделения одним человеком (прил. 3), г/час;

n – количество людей в помещении, чел.

**Дополнительная информация:* выделение влаги при остывании пищи, кг/час определяется по формуле:

$$W_{\text{пщ}} = 0,001 \cdot w_{\text{пщ}} \cdot n, \quad (2.2.4)$$

где $w_{\text{пщ}}$ – влаговыделения от пищи на одного посетителя (прил. 4), г/ч;

n – количество людей в помещении, чел.

Пример: определить количество влаги, выделяемой одним человеком, по условию предыдущей задачи.

Решение. По приложению 3 определяем количество влаги, выделяемой одним человеком (w), для читального зала при состоянии покоя:

- при температуре внутреннего воздуха 25 °С — 50 г/ч (в теплый период года);

- при температуре внутреннего воздуха 20 °С — 40 г/ч (в холодный период года).

$$\text{В ТП: } W_{\text{л}} = 0,001 \cdot w \cdot n = 0,001 \cdot 50 \cdot 100 = 5 \text{ кг/ч}$$

$$\text{В ТП: } W_{\text{л}} = 0,001 \cdot w \cdot n = 0,001 \cdot 40 \cdot 100 = 4 \text{ кг/ч}$$

3) Количество диоксида углерода в помещении, выделяемой одним человеком, зависит от характера труда человека. Общее количество CO_2 , выделяемой людьми, кг/ч, определяется для теплого и холодного периода года по формуле:

$$M_{\text{co2}} = 0,001 \cdot m_{\text{co2}} \cdot n, \quad (2.2.5)$$

где m_{co2} – диоксид углерода, выделяемый одним человеком (прил. 3), г/час;

n – количество людей в помещении, чел.

Пример: определить количество диоксида углерода в помещении, выделяемой одним человеком, по условию предыдущей задачи.

Решение. Согласно приложению 3, количество диоксида углерода m_{co2} , выделяемого одним человеком в читальном зале при состоянии покоя (характер труда соответствует состоянию покоя), составляет 40 Вт.

$$M_{\text{co2}} = 0,001 \cdot m_{\text{co2}} \cdot n = 0,001 \cdot 40 \cdot 100 = 4 \text{ кг/ч}$$

4) Теплопоступления от искусственного освещения, Вт:

$$Q_{\text{осв}} = E \cdot F \cdot q_{\text{осв}} \cdot \eta, \quad (2.2.6)$$

где E – освещенность рабочих поверхностей, лк (в задании);

F – площадь пола помещения, м²;

$q_{\text{осв}}$ – удельные тепловыделения, Вт/(м²·лк), (прил. 4);

η – доля тепла, поступающего в помещение, принимаем равной =1.

Пример: определить тепlopоступления от искусственного освещения, если площадь читального зала 600 м². Освещенность для читального зала – 300 лк. Высота помещения 4,2 м.

Решение. По приложению 4 находим значение удельного тепловыделения, Вт/(м²·лк), $q_{осв}$: при прямом свете, площади $F > 200$ м² и высоте помещения $> 4,2$ м, принимаем равным 0,067 Вт/(м²·лк).

$$Q_{осв} = E \cdot F \cdot q_{осв} \cdot \eta = 300 \cdot 600 \cdot 0,067 \cdot 1 = 12060 \text{ Вт}$$

5) Количество теплоты, поступающей в помещение общественных зданий через световые проемы за счет солнечной радиации, в случае, когда над окнами отсутствуют солнцезащитные козырьки, определяются как:

$$Q_p = q \cdot F_o \cdot c_{ст}, \quad (2.2.7)$$

где q – максимальное количество теплоты, поступающее в помещение в июле через остекления, Вт/м²:

$$q = (q_{вп} + q_{вр}) \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (2.2.8)$$

$q_{вп}, q_{вр}$ – количество теплоты, поступающей соответственно от прямой и рассеянной солнечной радиации в июле, зависит от ориентации остекления и географической широты, принимается по табл. 9.1 [12];

k_1 – коэффициент, учитывающий затенение остекления световых проемов переплетами и загрязнение атмосферы: для одинарного остекления в металлических переплетах $k_1 = 0,6$, в деревянных переплетах $k_1 = 0,48$; для двойного остекления в металлических переплетах $k_1 = 0,54$, в деревянных переплетах $k_1 = 0,45$; для тройного остекления в металлических переплетах $k_1 = 0,48$, в деревянных переплетах $k_1 = 0,42$;

k_2 – коэффициент, учитывающий загрязнение стекла: для общественных $k_2 = 0,95$;

F_o – площадь световых проемов, м²;

$c_{ст}$ – коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств: для тройного остекления $c_{ст} = 0,8$; для двойного – $c_{ст} = 0,9$; для одинарного – $c_{ст} = 1$.

Пример: определить величину тепlopоступлений от солнечной радиации через оконные проемы в читальном зале (г. Якутск, 62° с.ш.). Ориентация окон – западная. Размеры оконных проемов: 3000 х 4000 мм. Остекление одинарное, переплеты металлические. Размеры помещения указаны на рис. 2.1.

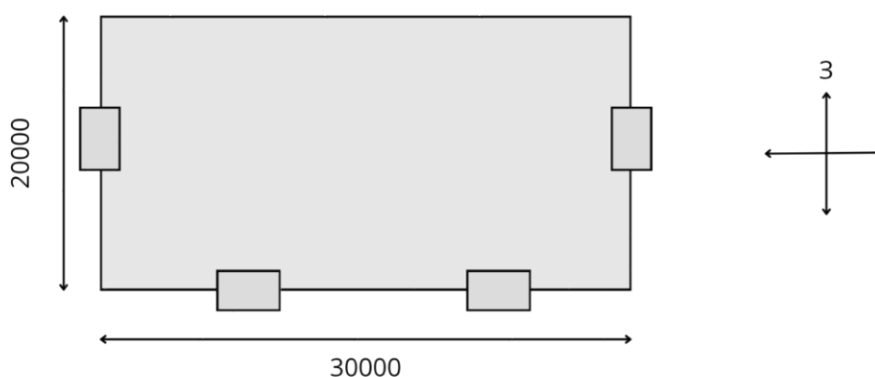


Рис. 2.1. План здания

Решение. Количество теплоты, поступающее от прямой и рассеянной солнечной радиации в июле, определяемое ориентацией остекления и географической широтой, принимается по табл. 9.1 [12] (прил.5).

Для одинарного остекления в металлических переплетах $k_1 = 0,6$. Коэффициент $k_2 = 0,95$. Площадь оконных проемов: при количестве окон – 4 шт. и площади одного окна – 12 м^2 , равна $F_0 = 48 \text{ м}^2$. Следовательно:

$$q = (q_{\text{вп}} + q_{\text{вр}}) \cdot k_1 \cdot k_2 = (558 \cdot 2 + 559 + 244) \cdot 0,6 \cdot 0,95 = 1094 \text{ Вт/м}^2$$

Теплопоступление от солнечной радиации через оконные проемы в читальном зале при коэффициенте теплопропускания солнцезащитных устройств для одинарного остекления, равном 1, составляет:

$$Q_p = q \cdot F_0 \cdot c_{\text{ст}} = 1094 \cdot 12 \cdot 1 = 13128 \text{ Вт}$$

6) Теплопоступления через покрытия за счет солнечной радиации можно определить по формуле, Вт:

$$Q_{\text{п}} = F_{\text{п}} \cdot q_{\text{п}} \cdot k_{\text{п}}, \quad (2.2.9)$$

где $F_{\text{п}}$ - площадь поверхности покрытия (перекрытия), м^2 ;

$q_{\text{п}}$ - количество тепла, проникающего в помещение через перекрытие в помещение, Вт/м^2 . Значение $q_{\text{п}}$ для северной широты:

44 ° – 23,2 Вт/м^2 ;

48 ° – 20,9 Вт/м^2 ;

52–56 ° – 17,4 Вт/м^2 ;

60–65 ° – 13,9 Вт/м^2 ;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент, численно равный коэффициенту теплопередачи покрытия; принимается в зависимости от градусосуток отопительного периода. В РГР можно принять равным 0,2–0,33 $\text{Вт/(м}^2\text{°C)}$ (меньшее значение принимается для северных районов, большее – для южных).

Пример: определить теплопоступления от солнечной радиации через перекрытия по условиям предыдущей задачи.

Решение. Находим значение площади поверхности перекрытия $F_{\text{п}} = 30 \cdot 20 = 600 \text{ м}^2$. Значение $q_{\text{п}}$, количество тепла, проникающего в помещение через перекрытие в помещение, в Якутске при 62 °с.ш. = 13,9 Вт/м^2 . Значение $k_{\text{п}}$, коэффициент, численно равный коэффициенту теплопередачи покрытия принимаем равным для северных районов 0,2 $\text{Вт/(м}^2\text{°C)}$.

$$Q_{\text{п}} = F_{\text{п}} \cdot q_{\text{п}} \cdot k_{\text{п}} = 600 \cdot 13,9 \cdot 0,2 = 1668 \text{ Вт}$$

Примечание:

1) Теплопоступления от солнечной радиации через световые проемы и перекрытия учитываются только в летний период года.

2) В тех вариантах, где отсутствуют оконные проемы, количество теплоты от солнечной радиации рассчитывается только для перекрытий.

2.3. Расчет теплопотерь в помещении и составление теплового баланса

1) Теплопотери помещения, Вт, определяют по укрупненным показателям:

$$Q_{от} = q \cdot V_H \cdot a(t_B - t_H), \quad (2.3.1)$$

где $a = 0,54 + 22/(t_B - t_H)$ – коэффициент учета района строительства зданий;

t_H – наружная температура, принимаемая по параметрам Б для ХП (см. табл. 1);

t_B – внутренняя температура для ХП (см. табл. 2);

V_H – объем помещения по наружному обмеру, м³;

$q = 1,16 \cdot \frac{(1+2d_{oc})S+A_H}{V_H}$ – удельная тепловая характеристика здания, Вт/(м³·°С);

$d_{oc} = F_o/S$ – доля остекления стен;

F_o, S, A_H – площадь соответственно остекления (световых проемов), наружных стен и помещения в плане, м².

Пример: определить теплопотери помещения по условиям предыдущей задачи.

Решение. Находим значение объема помещения по наружному обмеру: $V_H = 30 \cdot 20 \cdot 4,2 = 2520$ м³.

Площадь наружных стен: $S = 30 \cdot 4,2 \cdot 2 + 20 \cdot 4,2 \cdot 2 = 420$ м².

Площадь помещения в плане: $A_H = 30 \cdot 20 = 600$ м².

Площадь оконных проемов: количество окон – 4 шт, площадь одного окна – 12 м², тогда площадь $F_o = 48$ м².

Доля остекления стен, $d_{oc} = F_o/S = 48/420 = 0,114$

Тогда удельная тепловая характеристика здания: $q = 1,16 \cdot \frac{(1+2d_{oc})S+A_H}{V_H} = 1,16 \cdot \frac{(1+2 \cdot 0,114)420+600}{2520} = 0,51$ Вт/(м³·°С).

Коэффициент учета района строительства зданий: $a = 0,54 + \frac{22}{t_B - t_H} = 0,54 + \frac{22}{20+52} = 0,845$.

Теплопотери читального зала в г. Якутск:

$$Q_{от} = q \cdot V_H \cdot a(t_B - t_H) = 0,51 \cdot 2520 \cdot 0,845(20 + 52) = 78192 \text{ Вт}$$

2) Составление теплового баланса помещения.

Избыточная теплота, Вт, определяется в холодный период (*далее – ХП*) как сумма теплопоступлений от людей по полной теплоте, искусственного освещения и минус теплопотери помещения через ограждения:

$$Q_{полн}^{изб} = Q_L + Q_{осв} - Q_{от}, \quad (2.3.2)$$

Избыточная теплота, Вт, в теплый период **ТП** определяется как сумма теплопоступлений от людей по полной теплоте, солнечной радиации через остекление Q_p и совмещенные перекрытия $Q_{п.}$:

$$Q_{полн}^{изб} = Q_L + Q_p + Q_{п.}, \quad (2.3.3)$$

И все данные заносим в таблицу 2.3, 2.4 и 2.5.

Таблица 2.3

Тепловой баланс помещения

Период года	Теплопоступления в помещение, Вт				Теплопотери, Вт	Теплоизбытки, Вт	Влаговыве- дения W, г/ч	Выделения CO ₂ , M _{co2} , г/ч
	от людей	от освещения	от солнечной радиации					
	Q _л	Q _{осв}	Q _р	Q _п		Q _{от}		
ТП		-			-			
ХП			-	-				

Примечание: там, где стоит прочерк, ячейку оставляем пустым.

Таблица 2.4

Тепловой баланс помещения

Период года	Теплопоступления в помещение, Вт				Теплопотери, Вт	Теплоизбытки/теплонедедостатки, Вт	Влаговыведения W, кг/ч	Выделения CO ₂ , Мг/ч
	от людей	от освещения	от солнечной радиации					
	Q _л	Q _{осв}	Q _р	Q _п				
ТП	9300	-	13128	1668	-	24096	5	4
ХП	11600	12060	-	-	78192	-54532	4	4

Примечание. В случае, когда теплопотери помещения компенсируются системой отопления, система кондиционирования воздуха используется для разбавления избыточного тепла в холодный период года. При составлении тепловых балансов в этом случае слагаемое $Q_{\text{от}}$ не учитывается. В рамках данной РГР мы принимаем именно эту ситуацию, то есть предполагаем, что теплопотери компенсированы системой отопления. Таким образом, итоговая таблица будет иметь следующий вид (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Тепловой баланс помещения (читального зала в г. Якутск)

Период года	Теплопоступления в помещение, Вт				Теплоизбытки, Вт	Влаговыведе ния W, кг/ч	Выделени я CO ₂ , кг/ч
	от людей	от освещения	от солнечной радиации				
	Q _л	Q _{осв}	Q _р	Q _п	Q _{изб} полн		
ТП	9300	-	13128	1668	24096	5	4
ХП	11600	12060	-	-	23660	4	4

3. Общие сведения о воздухе

3.1. Определение температуры удаляемого и приточного воздуха

В системах вентиляции и кондиционирования, особенно в промышленных и общественных зданиях, часто встречается ситуация, когда воздух удаляется не непосредственно из рабочей зоны, где находятся люди, а из верхней части помещения. Это приводит к различию параметров воздуха в этих двух зонах.

Для упрощения расчетов и анализа воздушных потоков помещение условно разделяют на две области: рабочую и верхнюю. Приточный воздух, поступая в здание, сначала контактирует с рабочей зоной, где он нагревается или охлаждается, а также насыщается влагой и другими примесями, приобретая характеристики, близкие к расчетным параметрам рабочей зоны. Затем, поднимаясь в верхнюю зону, воздух продолжает обмениваться теплом и влагой, изменяя свои параметры в соответствии с характеристиками этой области.

Важно отметить, что такое разделение является условным, так как сложно точно определить, какие именно источники тепла и загрязнений влияют на каждую зону. Кроме того, подача воздуха непосредственно в рабочую зону не всегда целесообразна из-за конструктивных сложностей, требований к интерьеру и необходимости обеспечить низкую скорость воздушного потока. Обычно приточный воздух подается в верхнюю зону струями, что приводит к его взаимодействию в первую очередь с этой областью.

Тем не менее, такое деление позволяет учитывать тот факт, что главной задачей системы кондиционирования является поддержание комфортных условий именно в рабочей зоне. Кроме того, оно отражает наблюдаемую на практике разницу температур между рабочей и верхней зонами, что связано с конвекционными потоками и подъемом теплого воздуха. Игнорирование этого расслоения привело бы к неточностям в расчетах, так как пришлось бы использовать усредненную температуру по всему объему помещения.

Поскольку удаление воздуха обычно осуществляется из верхней зоны, в расчеты необходимо вводить более точное значение температуры воздуха именно в этой зоне, учитывая его расслоение по высоте. Таким образом, разделение помещения на две зоны позволяет создать более точную и адекватную расчетную модель, учитывающую реальные условия в помещении [1].

Температура удаляемого воздуха. В системах вентиляции общественных зданий при определении температуры удаляемого воздуха из верхней зоны часто учитывается градиент температуры в помещении. Это понятие основано на предположении, что в пределах рабочей зоны (до 1,5–2 метров от пола) температура воздуха остается относительно стабильной. Однако, выше этой зоны наблюдается линейное увеличение температуры с высотой.

Градиент температуры характеризует степень изменения температуры воздуха на каждый метр высоты, начиная от верхней границы рабочей зоны.

Данный подход предполагает, что воздух в помещении расслаивается по высоте из-за конвекции. Теплый воздух, нагреваемый от источников тепла, поднимается к потолку, создавая разницу температур между верхней и нижней зонами помещения. Таким образом, температура в верхней зоне практически всегда превышает температуру в рабочей зоне.

Тогда температура воздуха под потолком помещения, откуда чаще всего воздух и удаляется, определяется по формуле:

$$t_y = t_{p.z.} + \text{grad}t(H_{\text{пом}} - h_{p.z.}), \quad (3.1.1)$$

где t_v – температура внутреннего воздуха, °С;

$\text{grad}t$ – градиент температуры по высоте помещения, °С/м;

H – высота помещения, м;

h – высота рабочей зоны (при сидячем положении принимается равной 1,5 м).

Температурный градиент в помещении, то есть изменение температуры по высоте, определяется множеством факторов, включая количество тепла, выделяемого в помещении, и характер циркуляции воздуха.

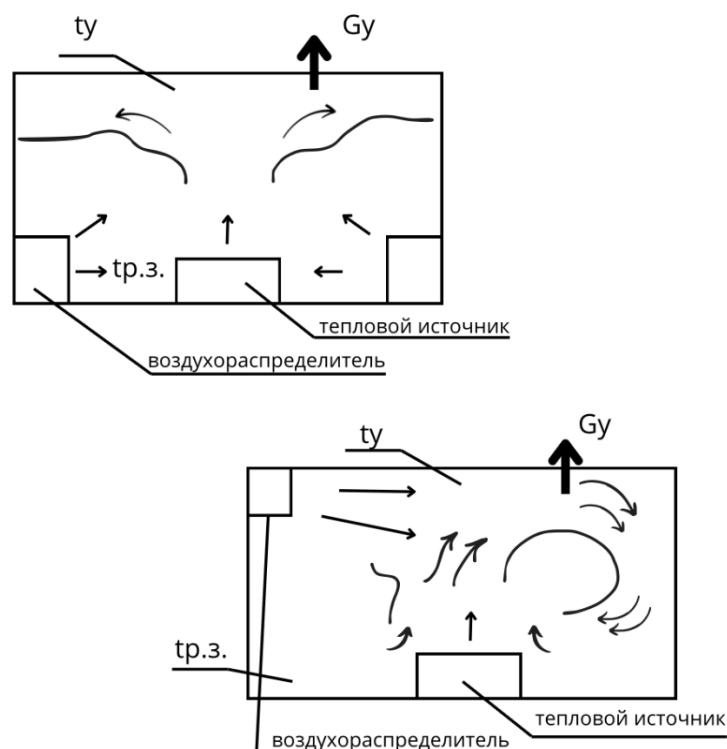


Рис. 3.1. Схемы циркуляции воздуха в помещении (к понятию градиента температуры в помещении): а – при рассредоточенной подаче воздуха в рабочую зону с малыми скоростями; б – при сосредоточенной подаче воздуха в верхнюю зону мощными приточными струями

Рассредоточенная подача воздуха.

Если приточный воздух поступает в помещение равномерно и с низкой скоростью, естественные конвективные потоки, образующиеся вокруг нагретых объектов, практически не нарушаются. Теплый воздух, поднимаясь вверх, остается в верхней зоне, так как отсутствует активное перемешивание. В этом случае температурный градиент достигает максимальных значений и в основном зависит от температуры источников тепла и их мощности (рис. 3.1. а).

Сосредоточенная подача воздуха.

При подаче воздуха мощными струями, обычно в верхнюю зону, естественная конвекция нарушается. Приточные струи вовлекают теплый воздух из верхней зоны в общую циркуляцию, направляя его обратно вниз. Это приводит к «размыванию» теплой воздушной подушки в верхней части помещения и выравниванию температуры по высоте. Температурный градиент при такой схеме будет значительно меньше и также зависит от характеристик источников тепла. Мощные струи воздуха усиливают турбулентность и перемешивание, что способствует более равномерному распределению температуры (рис. 3.1. б).

Факторы, определяющие максимальный градиент.

Наибольший температурный градиент наблюдается при сочетании следующих условий:

- Рассредоточенная подача воздуха в нижнюю зону.
- Наличие мощных локальных источников тепла с высокой температурой, создающих сильные конвективные потоки.

Это наиболее характерно для промышленных «горячих цехов», таких как термические или плавильные.

Градиент температуры в общественных зданиях.

В общественных зданиях, как правило, отсутствуют мощные локальные источники тепла (за исключением, например, осветительного оборудования на сцене). Основным источником тепла являются люди, которые распределены по помещению и имеют относительно низкую температуру. Кроме того, в таких зданиях часто используется струйная подача воздуха в верхнюю зону. Все это способствует уменьшению температурного градиента. Поэтому при проектировании систем вентиляции в общественных зданиях не следует закладывать большие значения градиента температуры. Рекомендуемые значения градиентов температуры приведены в табл. 3.1. [9].

Таблица 3.1

Рекомендуемые значения градиента температуры в помещениях общественных зданий

Теплонапряженность помещения (удельные избытки явного тепла), q , Вт/м ³	Градиент температуры $\text{grad } t$, °С/м
Более 23	0,8–1,5
11,6–23	0,3–1,2
Менее 11,6	0–0,5

Примечание: Меньшие значения градиента следует принимать при подаче воздуха в верхнюю зону помещения, а большие – при подаче в рабочую или обслуживаемую зону.

Обычно величину градиента температуры рекомендуется определять, исходя из теплонапряженности помещения q , Вт/м³:

$$q = \frac{Q_{\text{изб.я}}}{V_{\text{пом}}}, \quad (3.1.2)$$

где $Q_{\text{изб.я}}$ расчетные избытки явного тепла в помещении, Вт;

$V_{\text{пом}}$ – объем помещения, м³.

Примечание: для торговых залов ресторанов $\text{grad } t = 1,3$ °С/м; для остальных помещений $\text{grad } t$ принимается по прил. 6.

Пример: рассчитать температуру удаляемого воздуха в читальном зале по заданным ранее условиям.

Решение. Для того, чтобы определить удельные избытки явного тепла необходимо рассчитать $q_{\text{явн}}$, выделяемое одним человеком, используя прил. 7 и принимая $t_{\text{вн}} = 25$ °С в ТП года и $t_{\text{вн}} = 20$ °С в ХП года, затем вывести сумму теплоступлений в помещение летом и зимой:

$$\text{В ТП: } Q_{\text{явн}} = n \cdot q = 100 \cdot 58 = 5800 \text{ Вт}$$

$$\text{В ХП: } Q_{\text{явн}} = n \cdot q = 100 \cdot 87 = 8700 \text{ Вт}$$

Далее определяем ΣQ , используя ранее выявленные значения тепlopоступлений в ТП и ХП:

$$\Sigma Q_{\text{ТП}} = Q_{\text{явн}} + Q_{\text{р}} + Q_{\text{п}} = 5800 + 13128 + 1668 = 20596 \text{ Вт}$$

$$\Sigma Q_{\text{ХП}} = Q_{\text{явн}} + Q_{\text{осв}} = 8700 + 12060 = 20760 \text{ Вт}$$

Удельные избытки явного тепла q , Вт/м³:

$$\text{В ТП: } q = \frac{\Sigma Q}{V} = \frac{20596}{2520} = 8,17 \text{ Вт/м}^3$$

$$\text{В ХП: } q = \frac{\Sigma Q}{V} = \frac{20760}{2520} = 8,23 \text{ Вт/м}^3$$

Принимая значения $gradt$ по прил. 6 (либо табл. 3.1), температуры удаляемого воздуха летом и зимой будут равны:

$$\text{ТП: } t_{\text{уд}} = t_{\text{в}} + gradt(H - h) = 25 + 0,5(4,2 - 1,5) = 26,35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{ХП: } t_{\text{уд}} = t_{\text{в}} + gradt(H - h) = 20 + 0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура приточного воздуха находится по формуле:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{в}} - \Delta t_{\text{доп}}, \quad (3.1.3)$$

где $\Delta t_{\text{доп}}$ – допустимая разность температур между приточным и внутренним воздухом, которая зависит от способа подачи и удаления воздуха в помещении.

Для расчета воздухообмена принимают при подаче воздуха:

- непосредственно в рабочую зону

$$\Delta t_{\text{доп}} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

- на высоту 2,5 м и выше

$$\Delta t_{\text{доп}} = (4-6) \text{ }^{\circ}\text{C};$$

- на высоту более 4 м от пола

$$\Delta t_{\text{доп}} = (6-8) \text{ }^{\circ}\text{C};$$

- воздухораспределителями (плафонами)

$$\Delta t_{\text{доп}} = (8-15) \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Пример. Определить температуру приточного воздуха в ТП и ХП.

$$\text{В ТП: } t_{\text{п}} = t_{\text{в}} - \Delta t_{\text{доп}} = 25 - 5 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{В ХП: } t_{\text{п}} = t_{\text{в}} - \Delta t_{\text{доп}} = 20 - 5 = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3.2. Определение параметров влажного воздуха на I-d-диаграмме

Диаграмма состояния влажного воздуха Л.К. Рамзина (рис. 3.2.) позволяет наглядно в графической форме представить широкий круг теплотехнических задач, упрощая их анализ и расчет, быстро выполнить многовариантные расчеты и на этой основе оптимизировать процессы и оборудование без применения сложных процедур параметрической оптимизации. Такой подход позволяет реализовать энергосберегающие технологические варианты.

На диаграмму нанесены изолинии для воздуха:

- линии постоянных температур;
- линии постоянных влагосодержаний;
- линии постоянных энтальпий;
- линии постоянных относительных влажностей.

В нижней части I-d-диаграммы расположена кривая, имеющая самостоятельную ось ординат. Ось ординат этого графика является шкалой парциального давления водяного пара P_n .

По контуру I-d-диаграммы нанесена шкала угловых коэффициентов лучей процессов изменения состояния воздуха (шкала тепловлажностных отношений).

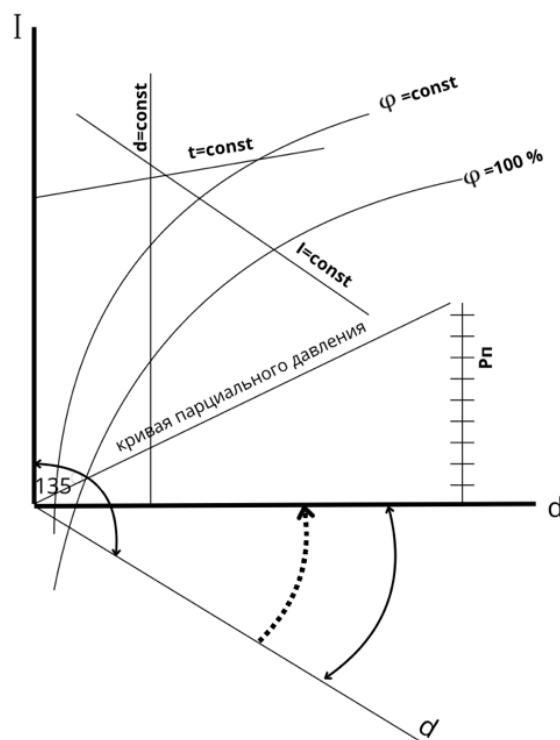


Рис. 3.2. I-d-диаграмма влажного воздуха

Все поле диаграммы линией $\varphi = 100\%$ разделено на две части. Выше этой линии расположена область ненасыщенного влажного воздуха. Линия $\varphi = 100\%$ соответствует состоянию воздуха, насыщенного водяными парами. Ниже расположена область перенасыщенного состояния воздуха (состояние тумана).

Пример. Определить параметры влажного воздуха, если он имеет температуру по сухому термометру $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 30% . Приложите иллюстрацию схемы на листе со всеми указанными необходимыми параметрами и схему на I-d-диаграмме.

Решение. На I-d-диаграмме влажного воздуха находим изотерму $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и линию относительной влажности 30% , на пересечении которых определится т. В, отвечающая состоянию данного воздуха (см. рис. 3.3).

Остальные параметры влажного воздуха равны: влагосодержание $d=4,3$ г/кг, энтальпия $I = 31,1$ кДж/кг, парциальное давление водяных паров $P_p = 0,7$ кПа, температура мокрого термометра $t_m = 10,9$ °С, температура точки росы $t_p = 1,9$ °С.

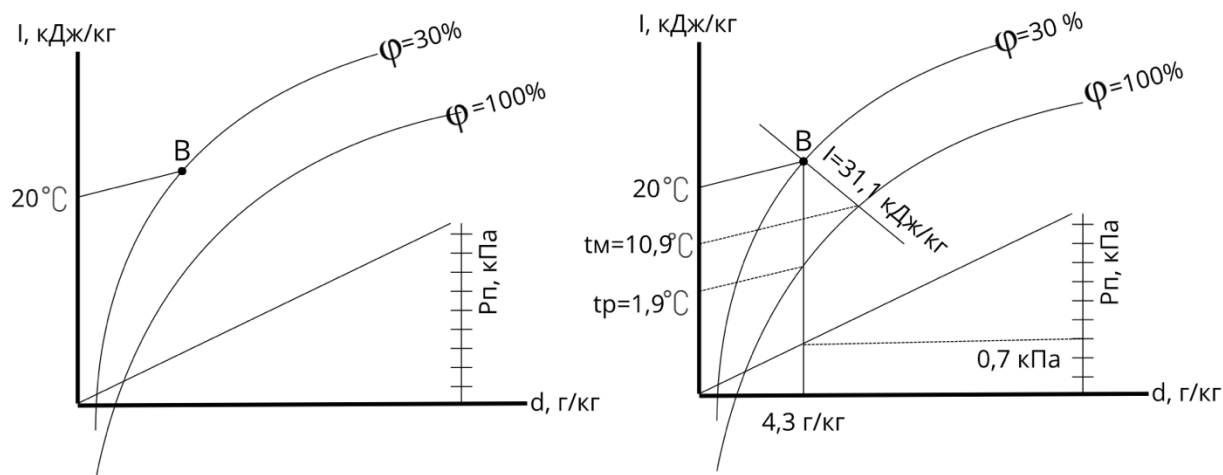


Рис. 3.3. Определение параметров воздуха на I-d-диаграмме

Определите остальные параметры наружного и внутреннего воздуха по I-d-диаграмме, используя свои данные по таблицам 2.1 и 2.2. Результаты занести в таблицах 3.2 и 3.3.

Примечание: параметры P_p , кПа; t_p , °С; t_m , °С при наружной температуре ниже -25 °С можно оставить пустыми.

Таблица 3.2

Параметры наружного воздуха в городе Якутск

Наименование города	Период года	t_n , °С	I , кДж/кг	d , г/кг	ϕ , %	P_p , кПа	t_p , °С	t_m , °С
Якутск	ТП	25	50	9,8	50	1,53	13,5	17,8
	ХП	-52	-52,3	0,1	72	-	-	-

Таблица 3.3

Параметры внутреннего воздуха читального зала

Наименование помещения	Период года	t_v , °С	ϕ , %	d , г/кг	I , кДж/кг	P_p , кПа	t_p , °С	t_m , °С
Читальный зал	ТП	25	55	10,9	53	1,74	19	15,3
	ХП	20	36	5,2	33,5	0,84	4,5	12

4. Расчеты при построении процессов СКВ на I-d-диаграмме

4.1. Процесс нагрева и охлаждения воздуха на I-d-диаграмме

Изображение на I-d-диаграмме процессов изменения состояния воздуха. При кондиционировании воздуха происходят изменения его тепловлажностного состояния, которое изображается и рассчитывается с помощью I-d-диаграммы. Процессы перехода воздуха одного состояния в другое на поле I-d-диаграммы изображаются прямыми линиями на I-d-диаграмме (лучами), проходящими через точки, соответствующие начальному и конечному состоянию влажного воздуха. Уравнение перехода представляет собой уравнение пучка прямых, положение которых на I-d-диаграмме определяется точкой начального состояния воздуха 1 (I_1 и d_1) и величиной тепловлажностного коэффициента ε .

Характер изменения состояния воздуха определяется величиной (или направлением) ε . Рассмотрим характерные случаи изменения состояния влажного воздуха и их схематичное изображение на I-d-диаграмме, представленные на рис. 4.1.

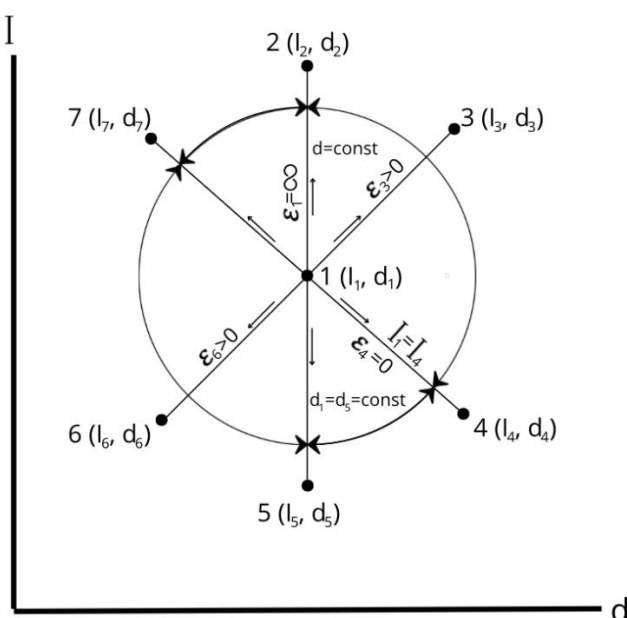


Рис. 4.1. Изображение на I-d-диаграмме процессов изменения состояния воздуха

Процессы обработки воздуха: нагревание, охлаждение, увлажнение, осушение, смешение.

1. Нагревание. Влажный воздух, имеющий начальные параметры I_1 и d_1 , подвергается нагреванию при неизменном влагосодержании, т.е. $d_1=d_2=\text{const}$.

Нагревание при постоянном влагосодержании осуществляется, например, в воздухоподогревателях. При нагревании воздуха повышаются его температура и энтальпия, понижается относительная влажность.

Луч процесса изображается вертикальной прямой, параллельной линии $d=\text{const}$, и направлен снизу вверх. Точка 1 соответствует начальному состоянию воздуха, точка 2 – конечному (1-2).

Величина тепловлажностного (углового) коэффициента $\varepsilon = \infty$ при условии $I_2 > I_1$.

2. Охлаждение. Влажный воздух поглощает одновременно тепло и влагу (т.е. нагревается и увлажняется).

Если начальное состояние воздуха определяется теми же параметрами I_1 и d_1 (точка 1), а конечное состояние будет определяться параметрами I_3 и d_3 , то при $I_3 > I_1$ и $d_3 > d_1$ направление луча процесса будет соответствовать направлению 1-3.

Такое изменение параметров влажного воздуха обычно происходит в обслуживаемых помещениях. В этом случае воздух, обработанный в кондиционере с параметрами I_1 и d_1 , поступает в помещение, где в результате ассимиляции теплоты и влаги приобретает параметры I_3 и d_3 .

3. Увлажнение. Влажный воздух поглощает влагу ($d_4 > d_1$) при неизменной энтальпии ($I_4 = I_1$). Если процесс происходит при постоянной энтальпии, то луч, характеризующий это изменение состояния, должен быть параллелен линии $I = \text{const}$. Величина углового коэффициента искомого луча $\varepsilon = 0$.

Данное выражение показывает, что процесс протекает по линии $I_4 = I_1 = \text{const}$ (прямая 1-4). Такие процессы называются адиабатными, т.е. протекающими при постоянной энтальпии воздуха.

Адиабатное увлажнение, т.е. повышение влагосодержания воздуха при постоянной энтальпии, широко применяется в системах кондиционирования, в частности, в оросительной камере, где с помощью форсунок производится распыление воды.

Температура испаряемой воды постепенно устанавливается равной температуре воздуха по мокрому термометру. Воздух, находясь в контакте с водой, имеющей температуру мокрого термометра t_m теряет явную теплоту, которая затрачивается на испарение воды. В то же время воздух получает такое же количество скрытой теплоты с водяными парами.

Энтальпия воздуха остается постоянной, поскольку притока теплоты со стороны практически нет, $I_4 = I_1 = \text{const}$. Процесс изображается на I - d -диаграмме. Точка 1 показывает начальное состояние воздуха. Изменение состояния происходит по линии $I = \text{const}$. Практически в камерах орошения воздух удастся увлажнить до значения $\varphi = 90-95\%$. Этому состоянию соответствует точка 4.

4. Осушение. Влажный воздух отдает теплоту ($I_5 < I_1$) при неизменном влагосодержании ($d_1 = d_5 = \text{const}$), т.е. процесс, как и в первом случае, будет характеризоваться лучом, параллельным линии $d = \text{const}$, но направление его будет от точки 1 не вверх, а вниз. Значение тепловлажностного коэффициента $\varepsilon = -\infty$.

Охлаждение воздуха по $d = \text{const}$, как и нагревание, может быть осуществлено в поверхностных теплообменниках. Луч процесса охлаждения направлен из точки 1 вертикально вниз к точке 5. При охлаждении луч может быть вертикально продолжен до точки росы 5, расположенной на линии $\varphi = 100\%$. Дальнейшее охлаждение будет идти по линии насыщения и сопровождаться конденсацией водяных паров и осушкой воздуха. Охлаждение влажного воздуха при $d = \text{const}$ может осуществляться лишь до точки росы.

5. Влажный воздух отдает теплоту ($I_6 < I_1$) и влагу ($d_6 < d_1$), т.е. происходит **охлаждение и осушение** воздуха.

Значение углового коэффициента в этом случае $\varepsilon > 0$. Приращение энтальпии (ΔI) и приращение влагосодержания (Δd) имеют отрицательные знаки, поэтому направление процесса изменения состояния будет характеризоваться лучом 1-6, имеющим направление от точки 1 к точке 6.

Такой процесс может происходить как в камере орошения кондиционера, так и в других установках для обработки воздуха. Для охлаждения и осушения воздуха в оросительной камере должна установиться температура ниже температуры точки росы, что достигается подачей к форсункам охлажденной воды.

6. Влажный воздух, имеющий параметры I_1 и d_1 , отдает влагу ($d_7 < d_1$) при постоянной энтальпии ($I_1 = I_7 = \text{const}$), т.е. **воздух осушается. При этом тепловлажностный коэффициент $\varepsilon = 0$. Приращение влагосодержания в этом случае будет отрицательным, но направление луча процесса будет от точки к точке 7. Процесс осушения воздуха можно осуществлять при $I = \text{const}$ с помощью абсорбентов, например концентрированных растворов солей хлористого кальция, хлористого лития и др., а также с помощью адсорбентов.**

7. Изотермический процесс увлажнения. Если в воздух подавать пар, имеющий ту же температуру, что и воздух по сухому термометру, то воздух будет увлажняться, не изменяя своей температуры. Изотермический процесс увлажнения воздуха паром на I - d -диаграмме можно проследить по линиям $t = \text{const}$. При подаче пара в воздух с параметрами, определенными точкой 1 (рис. 4.2) состояние воздуха, изменяется по линии $t_1 = \text{const}$ (слева направо).

После увлажнения состояние воздуха может соответствовать произвольной точке на этой изотерме, например точке 4 при ассимиляции Δd_2 влаги. Предельное состояние воздуха в этом процессе соответствует точке 5 пересечения линии t_1 с линией $\varphi = 100\%$.

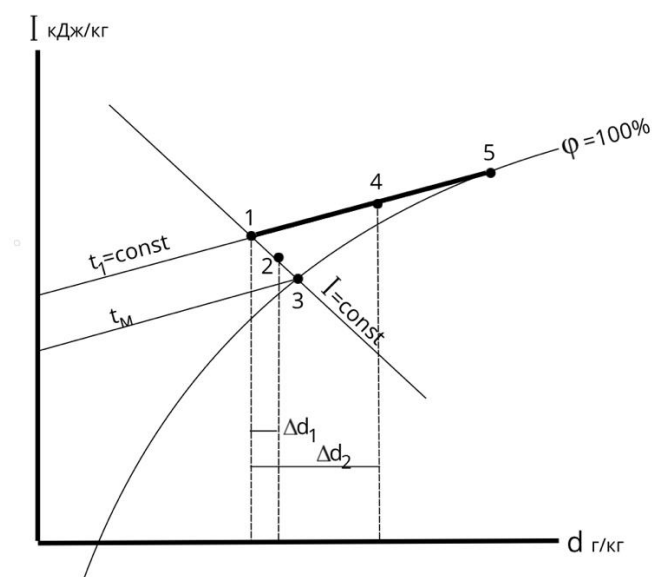


Рис. 4.2. I - d -диаграмма изотермического увлажнения воздуха

При кондиционировании воздуха используют процесс увлажнения воздуха острым паром, который обычно имеет температуру более $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. значительно отличающуюся от температуры воздуха. Однако в связи с тем, что содержание явного тепла в паре, ассимилируемым воздухом, незначительно, луч процесса идет с небольшим отклонением вверх от изотермы. Изменение энтальпии воздуха в основном определяется теплотой парообразования водяного пара, температура воздуха при этом повышается незначительно.

8. Процесс смешения. При кондиционировании в ряде случаев наружный воздух, подаваемый в помещение, смешивается с внутренним воздухом (рециркуляция внутреннего воздуха). Возможны и другие случаи, связанные с перемешиванием масс воздуха разного

состояния. Процесс смешения воздуха при построении на I-d-диаграмме изображается прямой, соединяющей точки состояния воздуха смешиваемых масс. Точка смеси всегда располагается на этой прямой и делит ее на отрезки, обратно пропорциональные смешиваемым количествам воздуха. Если смешать воздух состояния 1 (рис. 4.3) в количестве G_1 с воздухом состояния 2 в количестве G_2 , то точка смеси 3 разделит отрезок 1-2 или его проекции ΔI_{1-2} и Δd_{1-2} на части 1-3, 3-2 или ΔI_{1-3} , ΔI_{3-2} и или Δd_{1-3} , Δd_{3-2} :

$$\frac{1-3}{3-2} = \frac{\Delta I_{1-3}}{\Delta I_{3-2}} = \frac{\Delta d_{1-3}}{\Delta d_{3-2}} = \frac{G_1}{G_2}, \quad (4.1.1)$$

Таким образом, чтобы найти точку смеси, нужно на прямой 1-2 отложить отрезок 1-3 или 3-2, найденные из пропорции [13].

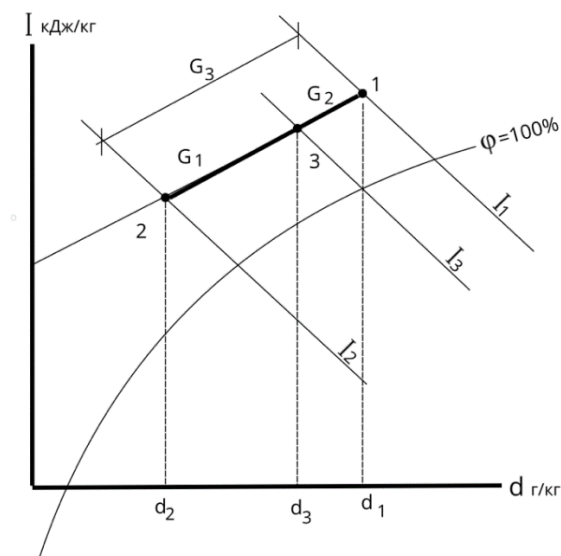


Рис. 4.3. I-d-диаграмма с режимом смешения двух масс воздуха различного состояния

На I-d-диаграмме влажного воздуха процессы нагрева, охлаждения воздушной среды изображаются лучами по d=const (рис. 4.4).

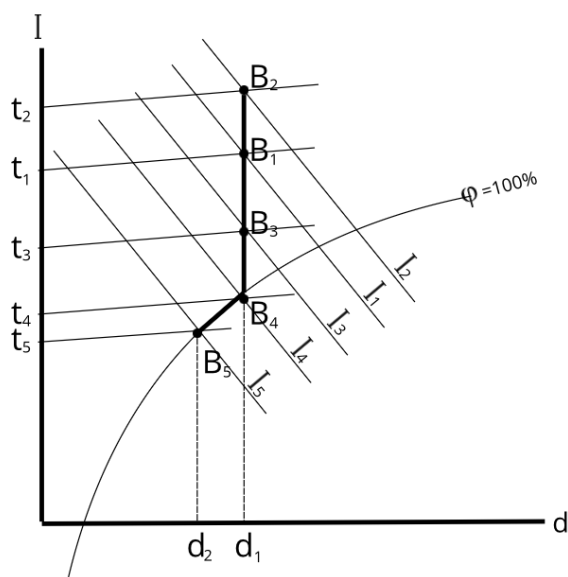


Рис. 4.4. Процессы сухого нагрева и охлаждения на I-d-диаграмме:

B_1B_2 - сухой нагрев; B_1B_3 - сухое охлаждение;

$B_1B_4B_5$ - охлаждение с осушением воздуха

Процессы сухого нагрева и сухого охлаждения воздуха на практике осуществляют, применяя теплообменники (воздухонагреватели, калориферы, воздухоохладители).

Если влажный воздух в теплообменнике охлаждается ниже точки росы, процесс сопровождается выпадением конденсата на поверхности, и охлаждение воздуха сопровождается его осушкой (см. рис. 4.4) [2, 3].

Расход теплоты в теплообменнике на нагрев воздуха, кДж/ч, массой G , имеющего параметры I_1, t_1 до состояния t_2, I_2 определяется по уравнению:

$$Q = G \cdot c(t_2 - t_1) = G \cdot (I_2 - I_1), \quad (4.1.2)$$

Расход холода при охлаждении воздуха, кДж/ч, от состояния $B_1 (t_1, I_1)$ до состояния $B_3 (t_3, I_3)$ определяют по уравнению:

$$Q = G \cdot c(t_1 - t_3) = G \cdot (I_1 - I_3), \quad (4.1.3)$$

Количество конденсата, кг/ч, образующегося при осушке и охлаждении воздуха от состояния $B_1 (t_1, I_1)$ до состояния $B_5 (t_5, I_5)$, рассчитывают по уравнению:

$$W_k = G \cdot (d_1 - d_2) \cdot 10^{-3}, \quad (4.1.4)$$

Пример. Воздух, имеющий параметры $\varphi=60\%$, $t_1=20^\circ\text{C}$ и расход 1000 кг/ч , нагревается в поверхностном теплообменнике до $t_2=35^\circ\text{C}$. Определить энтальпию и относительную влажность воздуха после нагрева и расход израсходованной теплоты. Изобразить процесс на I - d -диаграмме влажного воздуха (приложить иллюстрацию схемы на листе со всеми указанными необходимыми параметрами и схему на I - d -диаграмме).

Решение. Процесс нагрева воздуха изображается в виде линии B_1B_2 , по линии d -const (рис. 4.5). Видно, что параметры нагретого воздуха $\varphi=25\%$, $I=58\text{ кДж/кг}$.

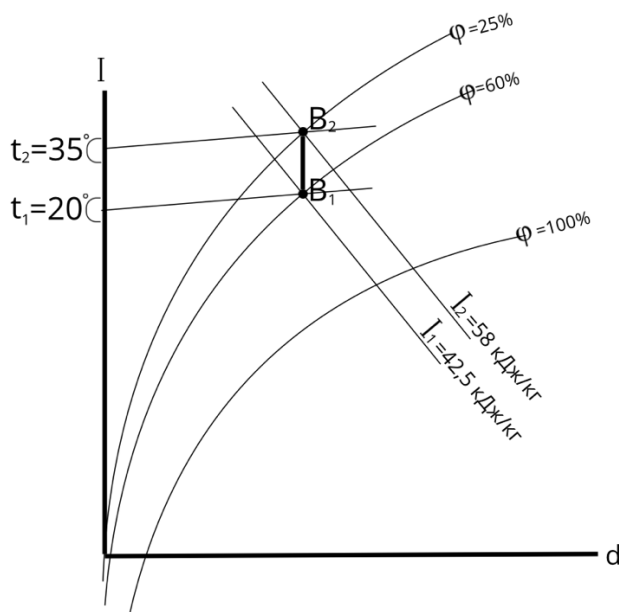


Рис. 4.5. Сухой нагрев воздуха в теплообменнике

Расход теплоты на нагрев воздуха по формуле (4.1.3):

$$Q = 1000 (58 - 42,5) = 15500 \text{ кДж/ч (4,3 кВт)}$$

Решите задачу. Воздух с параметрами $\varphi=40\%$, $t_1=20^\circ\text{C}$ охлаждается в поверхностном теплообменнике до $t_2=4^\circ\text{C}$.

Определить расход холода и количество сконденсировавшейся влаги, если количество воздуха равно 1000 кг/ч . Процесс охлаждения воздуха изобразить на I-d-диаграмме влажного воздуха. Приложить иллюстрацию схемы на листе со всеми указанными необходимыми параметрами и схему на I-d-диаграмме.

4.2. Процесс смешения воздуха на I-d-диаграмме

Процесс смешения воздуха (рециркуляция) рассмотрим на примере задачи.

Условие задачи. 1 кг воздуха А ($\varphi = 50\%$, $d = 5\text{ г/кг}$) смешивается с 4 кг воздуха В ($I=48\text{ кДж/кг}$, $t = 20^\circ\text{C}$). Определить параметры смешанного воздуха φ_c и I_c .

Решение. Для решения воспользуемся двумя способами: используя I-d-диаграмму и математический расчет.

Процессы смешения влажного воздуха изображаются на I-d-диаграмме прямой линией, соединяющей исходные состояния смешиваемого воздуха. Причем параметры смеси определяют по т. С, лежащей на этой прямой (рис. 4.6).

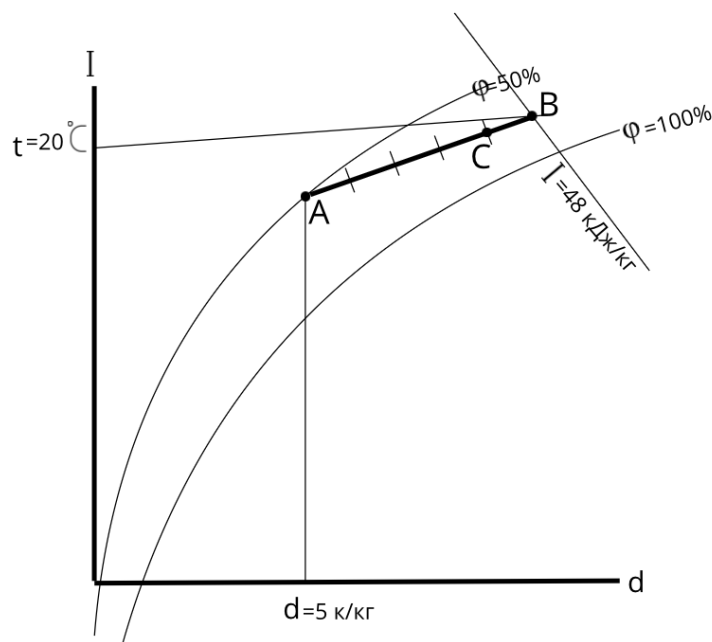


Рис. 4.6. Процесс смешения воздуха на I-d-диаграмме

1) Определим положение т. А, В на I-d-диаграмме (рис. 4.6). Проводим прямую линию АВ. Разделим отрезок АВ на 5 частей ($\frac{4\text{ кг}}{1\text{ кг}} + 1 = 5\text{ кг}$) и отложим одну часть от т. В (или четыре части от т. А), это и определит положение т. С (состояние смешанного воздуха).

Для т. С находим $\varphi_c = 73\%$, $I_c = 43,7\text{ кДж/кг}$.

2) Укажем также на другой способ решения данного примера.

Точку С на прямой АВ можно определить по вычисленному значению энтальпии смеси I_c или влагосодержания смеси d_c . Для этого нужно составить уравнение теплового баланса (4.2.1) или уравнение материального баланса по водяным парам (4.2.2):

$$G_A I_A + G_B I_B = (G_A + G_B) I_C, \quad (4.2.1)$$

или

$$G_A d_A + G_B d_B = (G_A + G_B) d_C, \quad (4.2.2)$$

где G_A, G_B – масса воздуха А и В, соответственно, кг;

I_A, I_B, I_C – энтальпия воздуха А, В и С, соответственно, кДж/кг;

d_A, d, d_C – влагосодержание воздуха А, В и С, соответственно, г/кг;

Из уравнения (4.2.1) находим:

$$I_C = \frac{G_A I_A + G_B I_B}{G_A + G_B}, \quad (4.2.3)$$

Из рис. 4.6 определим $I_A=26,6$ кДж/кг, тогда:

$$I_C = \frac{1 \cdot 26,6 + 4 \cdot 48}{1 + 4} = 43,7 \text{ кДж/кг}$$

На пересечении линии АВ с изоэнтальпией $I_C= 43,7$ кДж / кг определится т. С - состояние смешанного воздуха.

Как указывалось выше, определить положение т. С можно также по d_C .

Из уравнения (4.2.2):

$$d_C = \frac{G_A d_A + G_B d_B}{G_A + G_B}, \quad (4.2.4)$$

$$d_C = \frac{1 \cdot 5 + 4 \cdot 11}{1 + 4} = 9,8 \text{ г/кг}$$

Восстановив перпендикуляр из $d = 9,8$ г/кг до пересечения с прямой АВ, найдем т. С. Из рис. 4.6 видно, что положение т. С не меняется [3].

Решите задачу двумя способами. 2 кг воздуха ($\phi = 50 \%$, $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) смешивается с 8 кг воздуха ($t=0 \text{ }^\circ\text{C}$, $d = 1$ г/кг). Определить параметры смешанного воздуха $t_{см}$ и $\phi_{см}$. Приложить иллюстрацию схемы на листе со всеми указанными необходимыми параметрами и схему на I-d-диаграмме.

4.3. Процессы увлажнения и осушения воздуха водой

С целью увлажнения или осушения воздуха в СКВ применяют контактные аппараты. Среди них наибольшее распространение получили оросительные камеры форсуночные – ОКФЗ.

В холодный период года воздух в ОКФЗ подвергают адиабатическому увлажнению путем распыления в камере через механические форсунки воды, $t_w = t_m$ (луч А1, см. рис. 4.7). Для получения воды с данной температурой ее закольцовывают в ОКФЗ, то есть используют рециркуляционную воду.

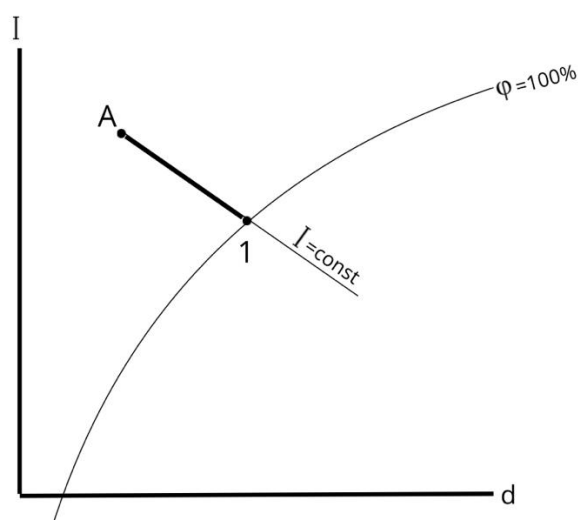


Рис. 4.7. Адиабатическое увлажнение и охлаждение воздуха

Адиабатическое увлажнение воздуха также применяют и в теплый период для районов с сухим и жарким климатом.

Расход воды, кг/ч, для адиабатического увлажнения воздуха определяют по уравнению:

$$G_w = G(d_1 - d_A) \cdot 10^{-3}, \quad (4.3.1)$$

В теплый период года воздух в ОКФЗ часто подвергают политропической обработке с осушением. При этом применяют воду $t_w < t_p$ (луч А2, рис. 4.8). Для получения воды с низкой температурой используют холодильные машины.

Расход холода, кДж/ч, в ОКФЗ при осушке воздуха определяют по уравнению:

$$G_{\text{хол}} = G(I_A - I_2), \quad (4.3.2)$$

Количество сконденсированных паров воды, кг, при осушке воздуха определяют по формуле:

$$G_w^{\text{конд}} = G(d_A - d_2) \cdot 10^{-3}, \quad (4.3.3)$$

На практике относительная влажность воздуха на выходе из ОКФЗ при адиабатическом увлажнении и осушке составляет $\varphi = 90\text{--}95\%$ [2].

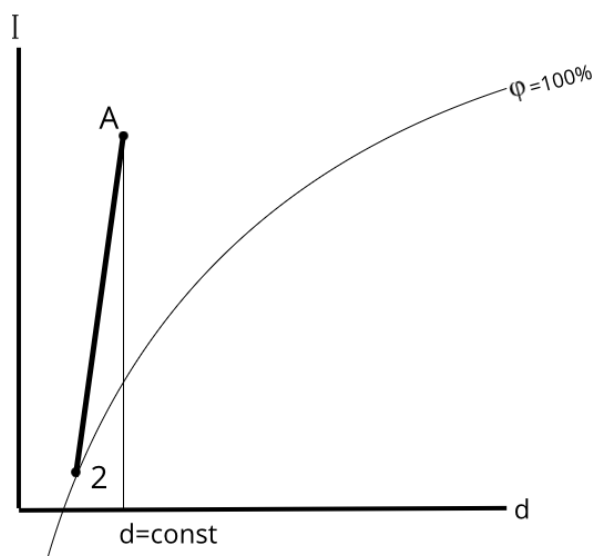


Рис. 4.8. Охлаждение и осушение воздуха

Пример 1. Воздух имеет параметры $t = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 50\%$. Определить параметры воздуха после прохождения камеры орошения, если разбрызгивается рециркуляционная вода.

Решение. На I - d -диаграмме влажного воздуха определяем начальное состояние влажного воздуха т. А (рис. 4.9). При адиабатическом увлажнении конечное состояние воздуха соответствует т. О ($\varphi = 90\%$, $I_A = I_O$).

При этом $I = 48\text{ кДж/кг}$, $d = 11,7\text{ г/кг}$, $t_c = 18,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_m \sim 17\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_p \sim 16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi \sim 90\%$.

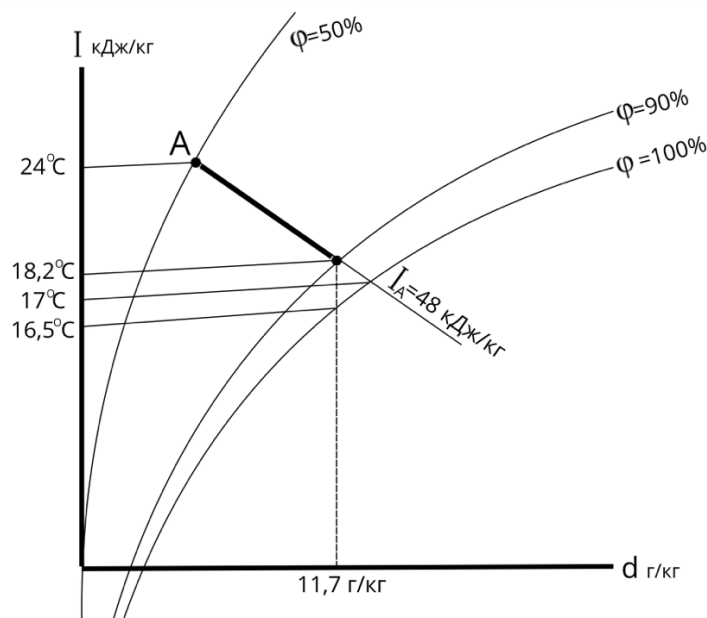


Рис. 4.9. К примеру 1 (адиабатическое увлажнение)

Пример 2. Воздух имеет температуру $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительную влажность 50% . При каких условиях возможно его адиабатическое увлажнение в ОКФЗ?

Решение. Адиабатическое увлажнение воздуха происходит при разбрызгивании в ОКФЗ воды $t_w = t_m$.

Из рис. 4.10 видно: $t_m = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

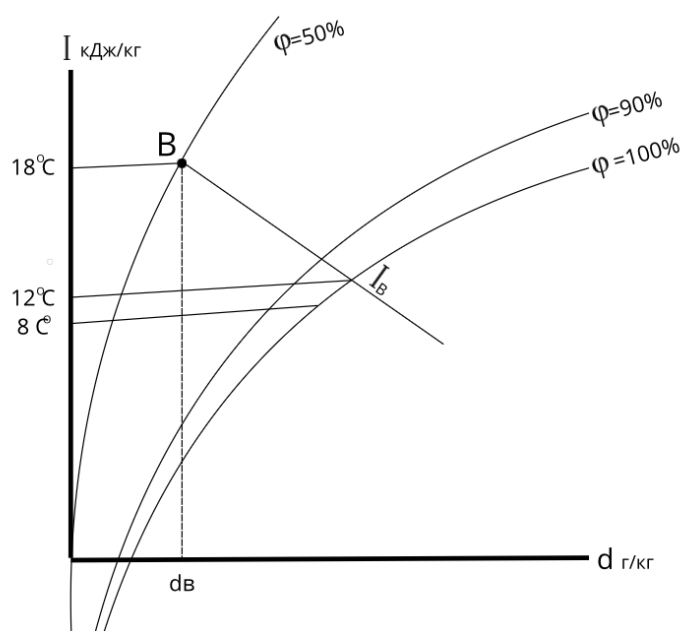


Рис. 4.10. К примерам 2 и 3

Пример 3. Воздух имеет температуру 18 °С, относительную влажность 50%. При каких условиях возможно его осушение в ОКФЗ?

Решение. Осушение воздуха водой возможно при $t_w < t_p$. Из рис. 10 видно, что $t_p = 8$ °С, следовательно, осушение воздуха произойдет при $t_w < 8$ °С.

Решите задачи.

- 1) Воздух на входе в ОКФЗ имеет $t = 25$ °С, $\phi = 60\%$; на выходе из ОКФЗ температура воздуха равна 10 °С. Определить расход холода, если количество воздуха равно 40000 кг/ч.
- 2) Определите параметры воздуха на выходе из оросительной камеры, если она работает в режиме адиабатического охлаждения, а параметры воздуха на входе: $t_p = 4$ °С, $t_c = 2$ °С.
- 3) Воздух характеризуется следующими параметрами $t_c = 24$ °, $\phi = 60\%$. Возможна ли его осушка в ОКФЗ, если вода имеет температуру 16 °С?

Для каждой задачи изобразите процессы на I-d-диаграмме влажного воздуха (приложить иллюстрацию схемы на листе со всеми указанными необходимыми параметрами и схему на I-d-диаграмме).

4.4. Построение луча процесса

Положение луча процесса в I-d-диаграмме определяют угловым коэффициентом ε . Этот параметр называют также тепловлажностным отношением, так как он показывает величину приращения количества теплоты на 1 кг полученной (или отданной) воздухом влаги. Коэффициент ε имеет размерность кДж/кг:

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{\Delta d} = \frac{Q_{\pi}}{W}, \quad (4.4.1)$$

где Q_{π} - поток полной теплоты, кДж /ч;

W - расход влаги, кг/ч.

$\Delta I, \Delta d$ - изменение энтальпии, кДж/кг, и изменение влагосодержания воздуха, г/кг.

Если начальные параметры воздуха различны, а значения ε одинаковы, то линии, характеризующие изменение состояния воздуха, будут параллельными прямыми [2, 3].

Линии процесса наносятся на I-d-диаграмму несколькими способами. Ниже рассмотрен способ с использованием углового масштаба на I-d-диаграмме (см. пример).

Пример. Изобразить луч процесса изменения тепловлажностного состояния воздуха в помещении, в котором начальное состояние воздуха соответствовало $t_0 = 20$ °С, $\phi = 50$ %, количество теплоступлений равен 2000 Вт, влаговыделений – 2 кг/ч.

Решение. Определим численное значение углового коэффициента луча процесса. В соответствии с уравнением (4.4.1):

$$\varepsilon = \frac{3,6 \cdot 2000}{2} = 3600 \text{ кДж/кг},$$

На I-d-диаграмме влажного воздуха определим т. В₀, отвечающую начальному состоянию воздуха (рис. 4.11).

Затем определяем положение линии, соответствующей значений $\varepsilon = 3600$ кДж/кг (на рисунке пунктирная линия). Соединяем т. 0 °С на оси I с линией 3600 на шкале угловых коэффициентов, нанесенных по периметру I-d-диаграммы влажного воздуха.

Через т. В₀ проводим линию, параллельную пунктирной. Эта линия является лучом процесса в помещении.

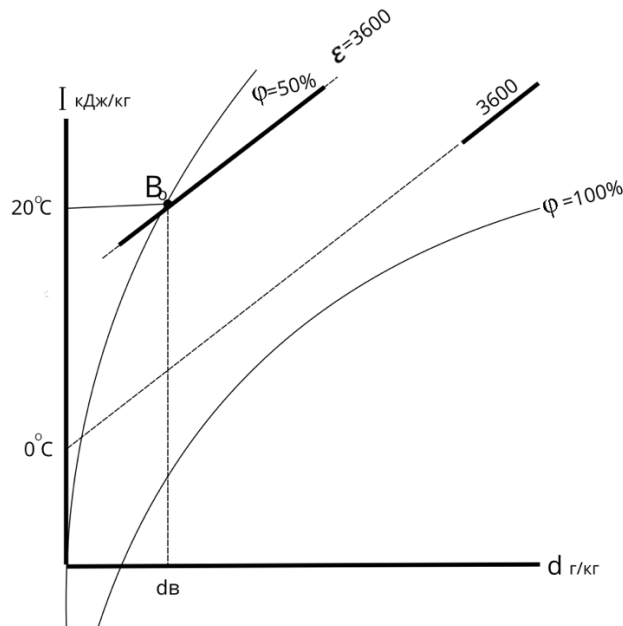


Рис. 4.11. Луч процесса с угловым коэффициентом

Пример. Изобразить луч процесса изменения тепловлажностного состояния воздуха в читальном зале в ТП и ХП по ранее найденным и выданным условиям.

Решение. Параметры внутреннего воздуха:

в ТП: $t_b=25$ °С, $\varphi=55$ %;

в ХП: $t_b=20$ °С, $\varphi=36$ %.

По таблице теплового баланса:

в ТП: $Q_{\text{полн}}^{\text{изб}}=24096$ Вт; $W=5$ кг/ч;

в ХП: $Q_{\text{полн}}^{\text{изб}}=23660$ Вт; $W=4$ кг/ч.

Значение коэффициента углового коэффициента луча процесса в ТП:

$$\varepsilon = \frac{3,6 \cdot 24096}{5} = 17350 \text{ кДж/кг}$$

Значение коэффициента углового коэффициента луча процесса в ХП:

$$\varepsilon = \frac{3,6 \cdot 23660}{4} = 21294 \text{ кДж/кг}$$

Изображение на I-d-диаграмме представлено на рис. 4.12.

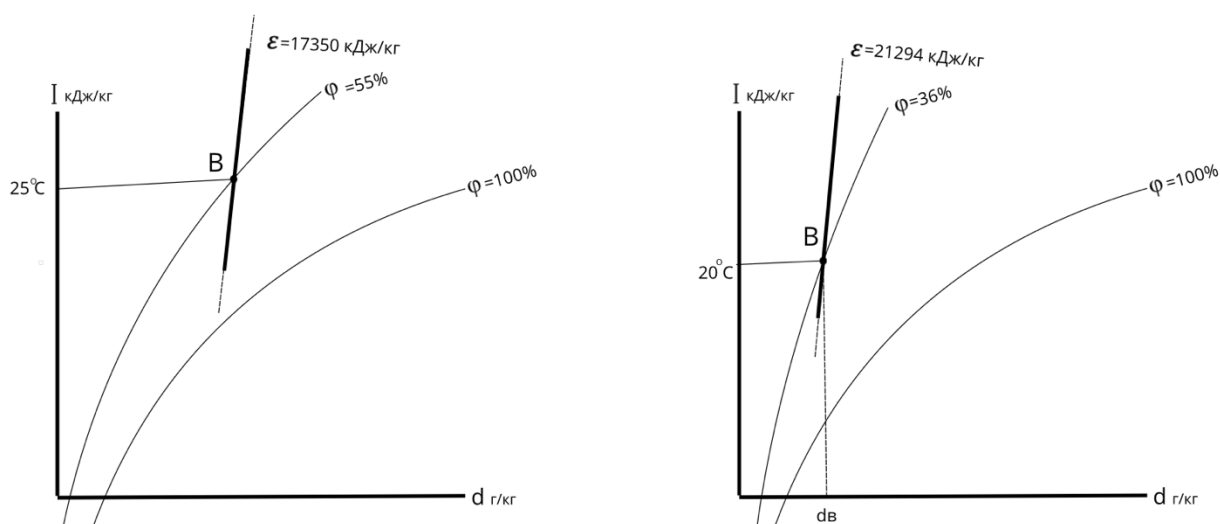


Рис. 4.12. Построение луча процесса в ТП и ХП

4.5. Прямоточная схема кондиционирования воздуха для теплого периода

Для обеспечения комфортных условий внутри помещений СКВ осуществляют тепловлажностную обработку поступающего воздуха, регулируя его температуру и относительную влажность.

Существуют различные классификации СКВ, учитывающие способ обработки воздуха и особенности применения. Прямоточные системы используют исключительно наружный воздух, в то время как рециркуляционные системы частично возвращают воздух из помещения. По режиму работы выделяют сезонные и круглогодичные СКВ. В зависимости от расположения оборудования различают центральные и местные системы кондиционирования.

Системы полного кондиционирования в теплый период года работают на охлаждение, снижая теплосодержание воздуха. Системы неполного кондиционирования используют адиабатное увлажнение в теплый период. В холодный период года обе системы выполняют нагрев и увлажнение воздуха.

Адиабатные процессы обработки воздуха являются наиболее эффективными и экономичными. Политропные процессы применяются только в тех случаях, когда адиабатная обработка не позволяет достичь требуемых параметров.

Для расчета и графического представления процессов тепловлажностной обработки необходимы следующие исходные данные: температура t_n , °С, относительная влажность φ_n , %, удельная энтальпия I_n , кДж/кг, влагосодержание d_n , г/кг. сух. возд.; параметры внутреннего воздуха: температура t_v , °С, относительная влажность φ_v , %, или влагосодержание d_v , г/кг. сух. возд. (далее: г/кг); полные теплоизбытки в помещении Q_p , Вт; избыточные влаговыведения W , кг/ч.

Использование I-d-диаграммы для построения процессов кондиционирования позволяет определить ключевые параметры СКВ, включая ее производительность, а также объемы тепловой энергии и холода, необходимые для подготовки приточного воздуха.

Принципиальная схема прямоточной системы кондиционирования воздуха. В тех случаях, когда с помощью испарительного охлаждения (прямого или косвенного, или их комбинации) не удастся достичь требуемых параметров воздуха или когда их отклонения в течение периода работы системы превышают допустимые значения, а также при технико-экономическом обосновании, используют способ обработки приточного воздуха, основанный

на применении внешних источников холода, например холодной воды низкой температуры (обычно до 6 °С), получаемой от источников холодоснабжения или когда по условиям запыленности и загазованности использовать рециркуляционный воздух не допускается, или необходимость в рециркуляции отсутствует (минимально необходимый расход наружного воздуха больше расхода приточного воздуха, определенного на удаление полных теплоизбытков в помещении) и кондиционеры работают только на наружном воздухе [1-7].

Построение процессов обработки воздуха в приточной СКВ для теплого периода.

Исходными данными для построения процесса кондиционирования воздуха на I-d-диаграмме являются расчетные параметры наружного воздуха в теплый период ϕ_n и t_n , заданные параметры внутреннего воздуха ϕ_v и t_v , величина углового коэффициента луча процесса обработки воздуха в помещении ε_p , вычисленная на основании известных количеств тепла и влаги, выделяющихся в помещении.

На рис. 4.13 изображена принципиальная схема приточной системы кондиционирования воздуха. Согласно этой схеме, наружный воздух в количестве G_0 поступает в оросительную камеру, в которой разбрызгивается охлажденная вода, имеющая температуру ниже температуры точки росы.

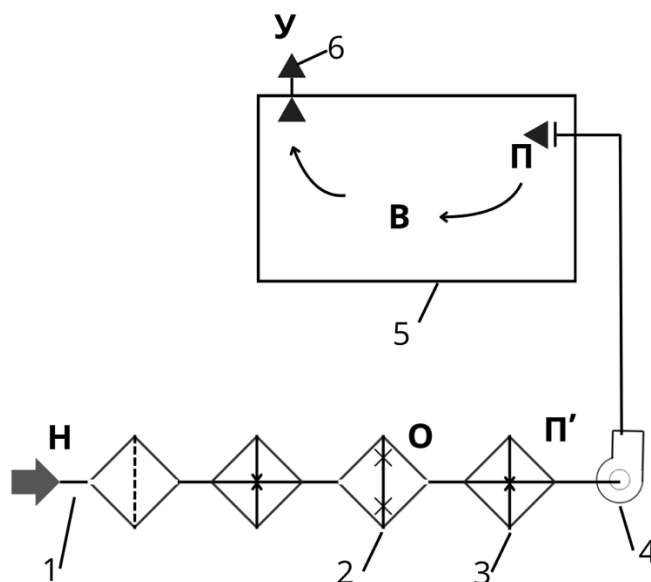


Рис. 4.13. Схема СКВ летом: 1 – наружный воздух; 2 – оросительная камера; 3 – калорифер второго нагрева; 4 – вентилятор; 5 – кондиционируемое помещение; 6 – удаляемый воздух

При контакте с капельками воды он охлаждается и осушается, приобретая на выходе из оросительной камеры относительную влажность при насыщении, обычно равную $\phi \approx 95\%$. Так как при этом температура приточного воздуха становится ниже необходимой температуры приточного воздуха, то для доведения до указанной температуры после оросительной камеры воздух направляется в калорифер второго подогрева, в котором он нагревается до заданной температуры выхода из кондиционера. Эту температуру обычно принимают на 1-1,5 °С ниже необходимой температуры приточного воздуха.

Последнее объясняется тем, что обработанный воздух по пути из кондиционера в помещение нагревается за счет превращения механической энергии в тепловую энергию в вентиляторе и теплопередачи через стенки воздуховода, проходящего в помещениях, имеющих

температуру более высокую, чем температура приточного воздуха, перемещающегося по воздуховоду.

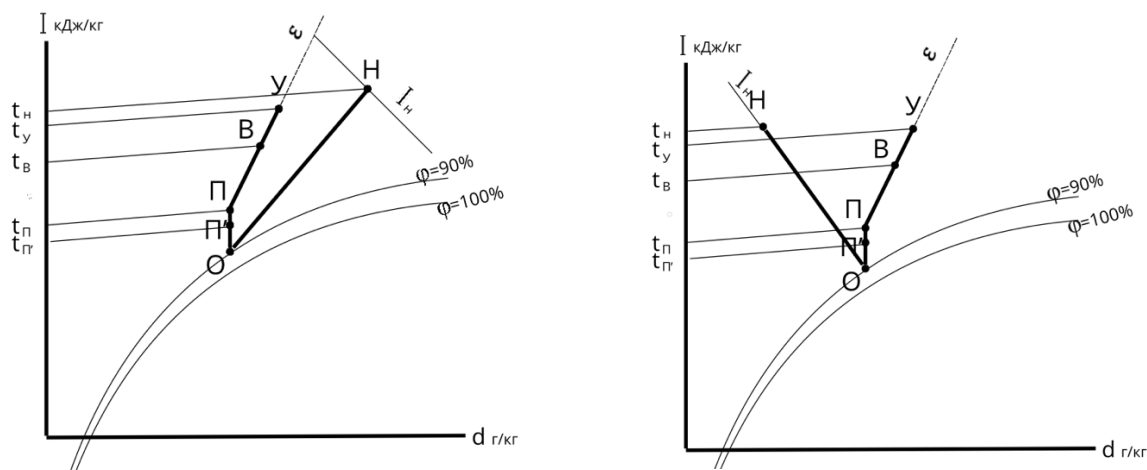


Рис. 4.14. Прямоточная схема СКВ в теплый период (когда $I_B < I_H$ и $I_H < I_B$)

Получаем следующие отрезки: НО – изменение состояния воздуха в оросительной камере; ОП' – нагревание воздуха в калорифере второго подогрева; П'П – 1-1,5 °С – нагревание воздуха в вентиляторе; ПВУ – изменение состояния воздуха внутри помещения.

Порядок построения процессов обработки воздуха I-d-диаграмме влажного воздуха (рис. 4.14):

- 1) находим на I-d-диаграмме положение точек Н и В, характеризующих параметры наружного и внутреннего воздуха;
- 2) через точку В проводим луч процесса обработки в помещении с учетом величины углового коэффициента ε ;
- 3) определяем параметры приточного воздуха: проводим изотерму $t_{п}$ до пересечения с лучом процесса ε в точке П и получаем остальные параметры приточного воздуха. Так же и находим точку У. Соединяем точки В, П и У, получаем отрезок ПВУ, характеризующий ассимиляцию теплоты и влаги воздухом в помещении;
- 4) от точки П вниз по линии $d = \text{const}$ проводим линию до пересечения с $\varphi=90\%$, ставим точку О, получаем отрезок ПО;
- 5) от точки П по линии ПО откладываем вниз отрезок в 1,5 °С, ставим точку П' (отрезок ПП' характеризует нагрев приточного воздуха в воздуховодах и вентиляторе), отрезок ОП' характеризует нагрев воздуха в воздухонагревателе второго подогрева;
- 6) точку О соединяем с точкой Н, получаем НО – процесс осушения и охлаждения воздуха в оросительной камере кондиционера.

Определяем расход приточного воздуха, кг/ч, исходя из построения процессов на I-d-диаграмме влажного воздуха:

- по условию удаления полной теплоты:

$$G = \frac{3,6Q_{\text{изб}}^{\text{ТП}}}{I_y - I_{\text{п}}}, \quad (4.5.1)$$

- для удаления избыточной влаги:

$$G = \frac{W}{d_y - d_{\pi}}, \quad (4.5.2)$$

где G – расход приточного воздуха, кг/ч;

$Q_{\text{изб}}^{\text{ТП}}$ – количество теплоты, выделяющейся в помещении в теплый период, Вт;

$I_{\text{в}}, I_{\pi}$ – энтальпия соответственно внутреннего и приточного воздуха.

W – количество влаги, выделяющейся в помещении.

$d_{\text{в}}, d_{\pi}$ – влагосодержание соответственно внутреннего и приточного воздуха.

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе, кДж/ч (калорифер второго подогрева) определяют по уравнению:

$$Q_{\text{II}} = G(I_{\pi'} - I_0), \quad (4.5.3)$$

где Q_{II} – расход тепла через воздухонагреватель (калорифер второго подогрева);

$I_{\pi'}, I_0$ – энтальпия воздуха на выходе и входе в калорифер.

Охлаждающую мощность оросительной камеры, кДж/ч, определяют по уравнению:

$$Q_{\text{охл}} = G(I_{\text{н}} - I_0), \quad (4.5.4)$$

где $Q_{\text{охл}}$ – охлаждающая мощность оросительной камеры;

$I_{\text{н}}, I_0$ – энтальпия воздуха на входе и выходе из оросительной камеры.

Количество сконденсированных паров воды из воздуха в ОКФЗ, кг/ч, равно:

$$W_{\text{к}} = G(d_{\text{н}} - d_0) \cdot 10^{-3}, \quad (4.5.5)$$

Пример. Построить прямоточную схему в ТП для читального зала в г. Якутск и определить расход тепла в калорифере второго подогрева, охлаждающую мощность оросительной камеры и количество сконденсированных паров воды из воздуха в ОКФЗ.

Решение. Следуя алгоритму, строим схему прямоточной СКВ в ТП (рис. 4.15).

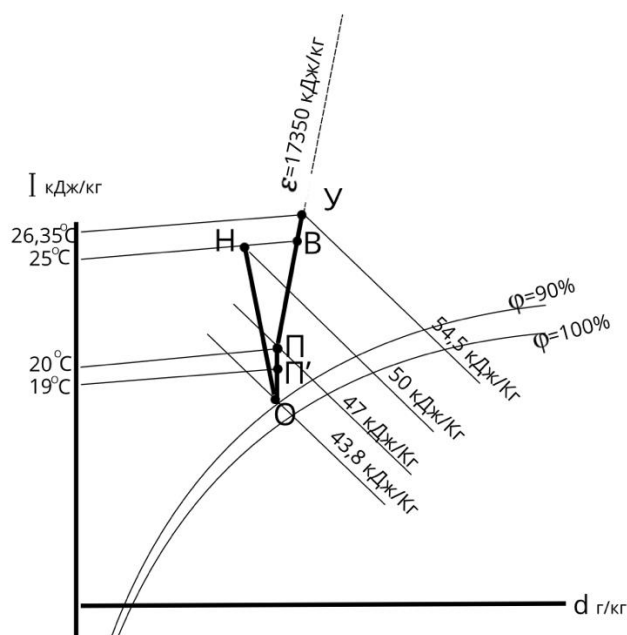


Рис. 4.15. Построение прямоточного процесса СКВ в теплый период (читальный зал)

Параметры состояния воздуха в соответствующих точках представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Параметры точек состояния воздуха при прямоточном процессе КВ в теплый период

Параметры воздуха	Единица измерения	Н	О	П	П'	В	У
Температура t	°С	25	15,5	20	19	25	26,35
Относительная влажность φ	%	50	90	73	78	55	53
Влагосодержание d	г/кг	9,8	10,6	10,6	10,6	10,9	11,1
Энтальпия I	кДж/кг	50	43,8	47	46	53	54,5

Определяем расход приточного воздуха, кг/ч, Вт:

- по условию удаления полной теплоты:

$$G = \frac{3,6Q_{\text{изб}}^{\text{ТП}}}{I_y - I_n} = \frac{3,6 \cdot 24096}{(54,5 - 47)} = 11566 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \left(9640 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} \right)$$

- для удаления избыточной влаги:

$$G = \frac{W}{d_y - d_n} = \frac{5000}{(11,1 - 10,6)} = 10000 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \left(8333 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} \right)$$

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе, кДж/ч:

$$Q_{II} = G(I_{п'} - I_o) = 11566(46 - 43,8) = 25445 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} = 7,07 \text{ кВт}$$

Охлаждающая мощность оросительной камеры, кДж/ч:

$$Q_{\text{охл}} = G(I_n - I_o) = 11566(50 - 43,8) = 71709 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} = 19,9 \text{ кВт}$$

Количество сконденсированных паров воды из воздуха в ОКФЗ, кг/ч:

$$W_k = G(d_o - d_n) \cdot 10^{-3} = 11566(10,6 - 9,8) \cdot 10^{-3} = 9,2 \text{ кг/ч}$$

Это прямоточный процесс с изоэнтальпийным (адиабатным) охлаждением воздуха, когда $I_B > I_N$.

4.6. Прямоточная схема кондиционирования воздуха для холодного периода

Схема СКВ при прямоточном способе обработки воздуха для теплого периода приведена на рис. 4.16 [1-7].

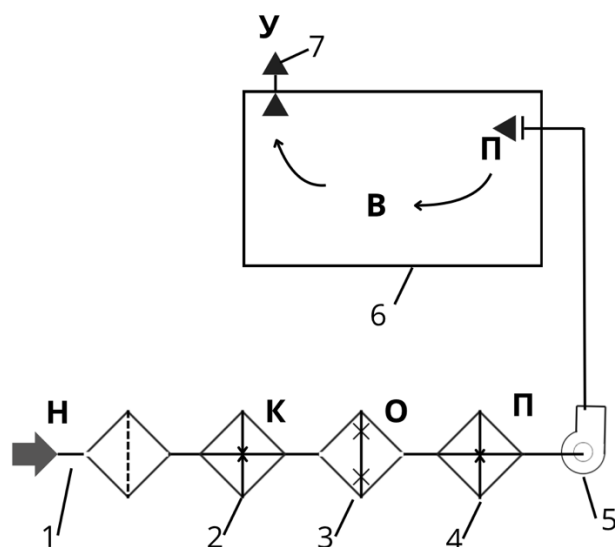


Рис. 4.16. Схема СКВ зимой: 1 – наружный воздух; 2 – калорифер второго нагрева; 3 – оросительная камера; 4 – калорифер второго нагрева; 5 – вентилятор; 6 – кондиционируемое помещение; 7 – удаляемый воздух

Получаем следующие отрезки: НК – нагревание воздуха в калорифере первого подогрева; КО – адиабатическое увлажнение воздуха в камере орошения; ОП – нагревание воздуха в калорифере второго подогрева; ПВУ – изменение состояния воздуха внутри помещения.

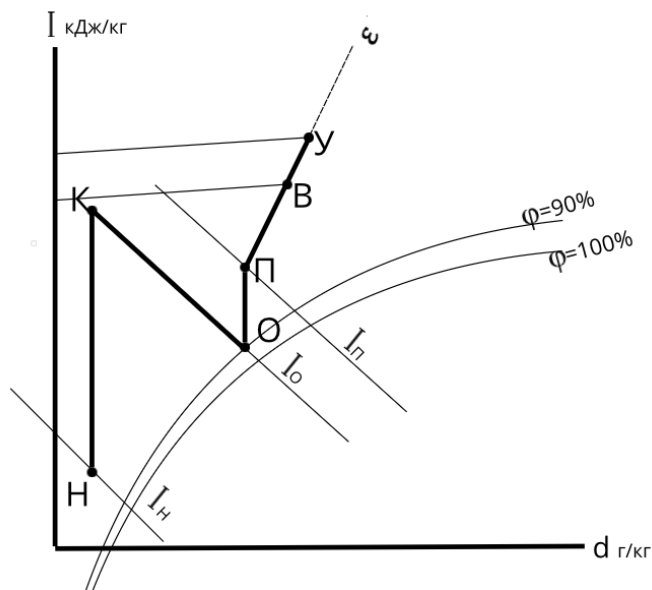


Рис. 4.17. Прямоточная схема СКВ в холодный период

Порядок построения процессов обработки воздуха на I-d-диаграмме влажного воздуха:

- 1) определяем на I-d-диаграмме положение точек Н – параметры наружного воздуха и точки В – параметры внутреннего воздуха;
- 2) проводим через точку В луч ϵ помещения для холодного периода;
- 3) находим положение точки П и У, для этого $t_{\text{п}} = \text{const}$ до пересечения с лучом процесса ϵ и ставим точку П, так же находим точку У по температуре t_y .

4) проводим линию $d_{\text{п}} = \text{const}$ до пересечения с $\varphi = 90\%$, ставим точку О, получаем отрезок ПО;

5) через точку О проводим линию $I_0 = \text{const}$ до пересечения с линией $d_{\text{н}} = \text{const}$ в точке К. Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе, кДж/ч, (калорифер первого подогрева) рассчитываем по уравнению:

$$Q_I = G(I_K - I_H), \quad (4.6.1)$$

где Q_I - расход тепла через воздухонагреватель (калорифер первого подогрева);

I_K, I_H - энтальпия воздуха на выходе и входе в воздухонагреватель (калорифер первого подогрева).

G - расход воздуха в теплый период, кг/ч.

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе, кДж/ч, (калорифер второго подогрева) определяем по уравнению

$$Q_{II} = G(I_{\text{п}} - I_0), \quad (4.6.2)$$

где Q_{II} - расход тепла через воздухонагреватель (калорифер второго подогрева);

$I_{\text{п}}, I_0$ - энтальпия воздуха на выходе и входе в воздухонагреватель (калорифере второго подогрева).

Количество воды, кг/ч, испарившейся при адиабатическом увлажнении воздуха в ОКФ:

$$W_{\text{исп}} = G(d_o - d_k) \cdot 10^{-3}, \quad (4.6.3)$$

Пример. Построить прямоточную схему в ХП для читального зала в г. Якутск и определить расход тепла в калорифере первого и второго подогрева и количество воды, кг/ч, испарившейся при адиабатическом увлажнении воздуха в ОКФ.

Решение. Следуя алгоритму, строим схему прямоточного СКВ в ХП (рис. 4.18).

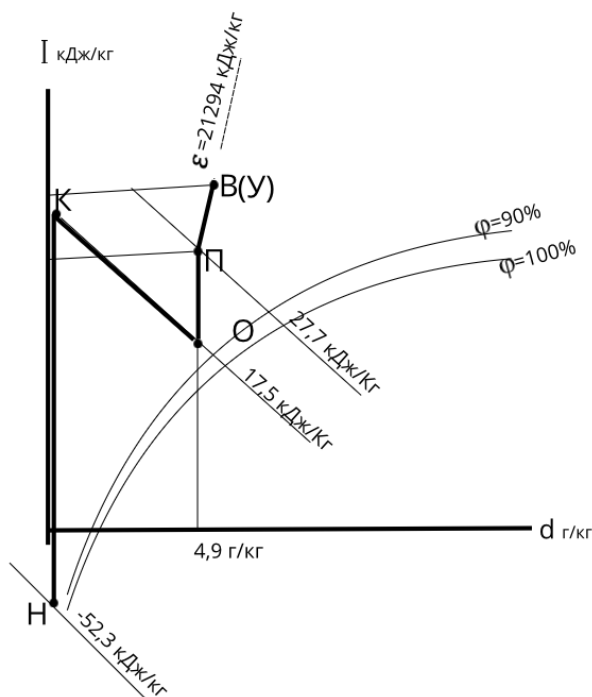


Рис. 4.18. Прямоточная схема СКВ в ХП (читальный зал)

Параметры состояния воздуха в соответствующих точках представлены в табл. 4.2.

**Параметры точек состояния воздуха при прямоточном процессе КВ
в холодный период**

Параметры воздуха	Единица измерения	Н	К	О	П	В	У
Температура t	°С	-52	17,2	5	15	20	20
Относительная влажность φ	%	72	3	90	46	36	36
Влагосодержание d	г/кг	0,1	0,1	4,9	4,9	5,2	5,2
Энтальпия I	кДж/кг	-52,3	17,5	17,5	27,7	33,5	33,5

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе первого подогрева, кДж/ч:

$$Q_I = G(I_K - I_H) = 11566(17,5 + 52,3) = 807307 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} = 224,2 \text{ кВт}$$

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе второго подогрева, кДж/ч:

$$Q_{II} = G(I_P - I_O) = 11566(27,7 - 17,5) = 117973 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} = 32,8 \text{ кВт}$$

Количество воды, кг/ч, испарившейся при адиабатическом увлажнении воздуха в ОКФ:

$$W_{\text{исп}} = G(d_o - d_k) \cdot 10^{-3} = 11566(4,9 - 0,1) \cdot 10^{-3} = 55,5 \text{ кг/ч}$$

4.7. Схема кондиционирования воздуха с первой рециркуляцией для теплого периода

Принципиальная схема кондиционирования воздуха с первой рециркуляцией. На рис. 4.19 показана принципиальная схема системы кондиционирования воздуха с первой рециркуляцией. Отличие от прямоточной системы кондиционирования заключается в наличии канала для рециркуляции воздуха. При этом рециркуляционный воздух может подмешиваться к наружному воздуху либо перед воздухонагревателем первой ступени, либо после него. На построение процесса кондиционирования воздуха для теплого периода указанное обстоятельство влияния не оказывает [1-7].

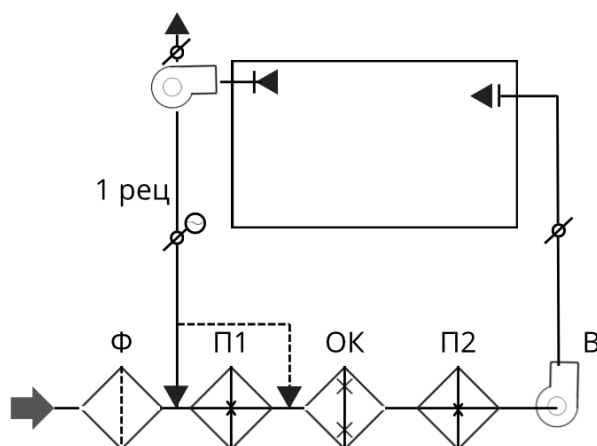


Рис. 4.19. Принципиальная схема СКВ с первой рециркуляцией

Так, например, при применении схемы организации воздухообмена снизу вверх и заборе рециркуляционного воздуха из верхней зоны его параметры соответствуют параметрам удаляемого воздуха, а при схеме подачи «сверху вниз» - параметрам внутреннего воздуха. Если воздух на рециркуляцию забирают из рабочей зоны, его параметры будут соответствовать параметрам внутреннего воздуха.

Исходными данными являются параметры наружного воздуха в ТП φ_n и t_n , заданные параметры внутреннего воздуха φ_v и t_v , величина углового коэффициента луча процесса обработки воздуха в помещении ε_n , вычисленная на основании известных количеств тепла и влаги, выделяющихся в помещении, минимальное количество наружного воздуха G_n , допустимая разность температур между внутренним и приточным воздухом $\Delta t_{\text{доп}}$.

В теплый период года с целью экономии холода наружный воздух смешивается с более холодным внутренним воздухом. Смесь очищается в фильтре, охлаждается и осушается в камере орошения, а затем, при необходимости, нагревается в воздухонагревателе второго подогрева. Обработанный воздух подается в обслуживаемое помещение с параметрами приточного воздуха. В помещении приточный воздух ассимилирует тепло- и влагоизбытки, его параметры уравниваются с параметрами внутреннего воздуха. Часть воздуха, удаляемого из помещения, возвращается на рециркуляцию, остальное количество воздуха удаляется наружу.

$$G_n = 0,6G, \quad (4.7.1)$$

где G – расход приточного воздуха, кг/ч.

Порядок построения процессов обработки воздуха на I-d-диаграмме влажного воздуха:

- 1) находим на I-d-диаграмме положение точек Н и В, характеризующих параметры наружного и внутреннего воздуха;
- 2) через точку В проводим луч процесса обработки воздуха в помещении с учетом величины углового коэффициента ε ;
- 3) определяем параметры приточного и удаляемого воздуха, для этого проводим изотерму t_n до пересечения с лучом процесса ε в точке П и получаем остальные параметры приточного воздуха. Так же и с точкой У. Соединяем точки В, П и У, получаем отрезок ПВУ, характеризующий ассимиляцию теплоты и влаги воздухом в помещении.
- 4) от точки П вниз по линии $d = \text{const}$ проводим линию до пересечения с $\varphi = 90-95 \%$, ставим точку О, получаем отрезок ПО;
- 5) от точки П по линии ПО откладываем вниз отрезок в 1°C , ставим точку П' (отрезок ПП' характеризует нагрев приточного воздуха в воздуховодах и вентиляторе), отрезок ОП' характеризует нагрев воздуха в воздухонагревателе второго подогрева;
- 6) от точки У проводим линию $d_y = \text{const}$, откладываем вверх отрезок в $0,5^\circ\text{C}$, получаем точку У' и отрезок УУ' – подогрев воздуха в рециркуляционном воздуховоде и вентиляторе;
- 7) находим положение точки смеси С, соответствующее параметрам воздуха после смешения рециркуляционного и наружного воздуха. Соединяем точки У' и Н, получаем отрезок У'Н, характеризующий процесс смешения, определяем положение точки С из уравнения:

$$d_c = d_{y'} + \frac{G_n}{G}(d_n - d_{y'}), \quad (4.7.2)$$

Проводим линию $d_c = \text{const}$ до пересечения с линией У'Н и получаем точку С;

- 8) определяем расход рециркуляционного воздуха G_p из уравнения

$$G_p = G - G_n, \quad (4.7.3)$$

- 9) точки С и О соединяем прямой. Получившийся отрезок СО характеризует политропный процесс тепловлажностной обработки воздуха в оросительной камере.

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе второй ступени (калорифер второго подогрева) определяют по формуле (4.6.2).

Охлаждающую мощность оросительной камеры определяют по уравнению:

$$Q_{\text{охл}} = G(I_c - I_o), \quad (4.7.4)$$

где $Q_{\text{охл}}$ – охлаждающая мощность оросительной камеры;

I_c, I_o – энтальпия воздуха на входе и выходе из оросительной камеры.

Количество сконденсированных паров воды из воздуха, кг/ч, вычисляют по уравнению:

$$W_k = G(d_c - d_o) \cdot 10^{-3}, \quad (4.7.5)$$

Пример. Построить схему с первой рециркуляцией в ТП для читального зала в г. Якутск и определить расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе, охлаждающую мощность оросительной камеры и количество сконденсированных паров воды из воздуха, кг/ч.

Решение. Следуя алгоритму, строим схему СКВ с первой рециркуляцией в ТП (рис. 4.21).

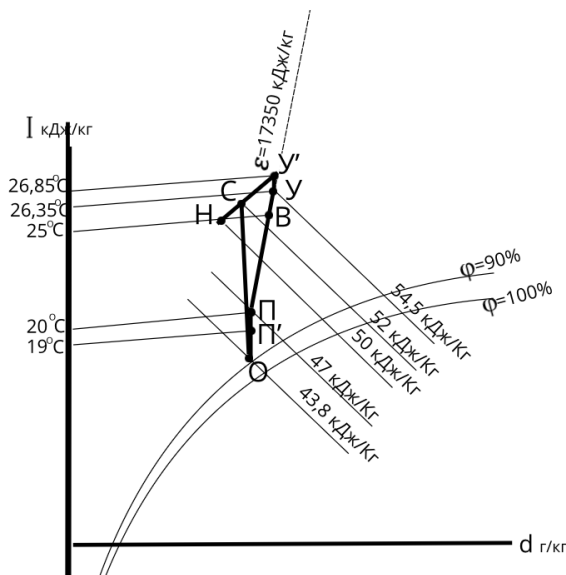


Рис. 4.21. Схема КВ для теплого периода с первой рециркуляцией (читальный зал)

Параметры состояния воздуха в соответствующих точках представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3.

**Параметры точек состояния воздуха при процессе КВ с первой рециркуляцией
в теплый период**

Параметры воздуха	Единица измерения	Н	О	П'	П	В	У	У'	С
Температура t	°С	25	15,5	19	20	25	26,35	26,85	25,8
Отн-ая влажность φ	%	50	90	78	73	55	53	49	49
Влагосодержание d	г/кг	9,8	10,6	10,6	10,6	10,9	11,1	11,1	10,4
Энтальпия I	кДж/кг	50	43,8	46	47	53	54,5	55,5	52

Находим положение точки смеси С, соответствующее параметрам воздуха после смешения рециркуляционного и наружного воздуха:

$$G_H = 0,6G = 0,6 \cdot 11566 = 6939 \text{ кг/ч}$$

$$d_C = d_{y'} + \frac{G_H}{G} (d_H - d_{y'}) = 11,1 + \frac{6939}{11566} (9,8 - 11,1) = 10,4 \frac{\text{г}}{\text{кг}}$$

Определяем расход рециркуляционного воздуха G_p из уравнения

$$G_p = G - G_H = 11566 - 6939 = 4627 \text{ кг/ч}$$

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе, кДж/ч (калорифер второго подогрева) определяют по уравнению:

$$Q_{II} = G(I_{II'} - I_o) = 11566(46 - 43,8) = 25445 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} (7,07 \text{ кВт})$$

Охлаждающая мощность оросительной камеры:

$$Q_{\text{охл}} = G(I_c - I_o) = 11566(52 - 43,8) = 94841 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} (26,34 \text{ кВт})$$

Количество сконденсированных паров воды из воздуха:

$$W_k = G(d_o - d_c) \cdot 10^{-3} = 11566(10,6 - 10,4) \cdot 10^{-3} = 2,3 \text{ кг/ч}$$

Таким образом, для данных условий ($I_H < I_B$) применение системы с первой рециркуляцией экономически не целесообразно по сравнению с проточной системой.

4.8. Схема кондиционирования воздуха с первой рециркуляцией для холодного периода

В холодный период с целью экономии теплоты смесь теплого воздуха помещения и холодного наружного очищается в фильтре и нагревается в воздухонагревателе первого подогрева, обрабатывается в камере орошения, подогревается в воздухонагревателе второго подогрева до требуемых параметров приточного воздуха и поступает в помещение [1-7].

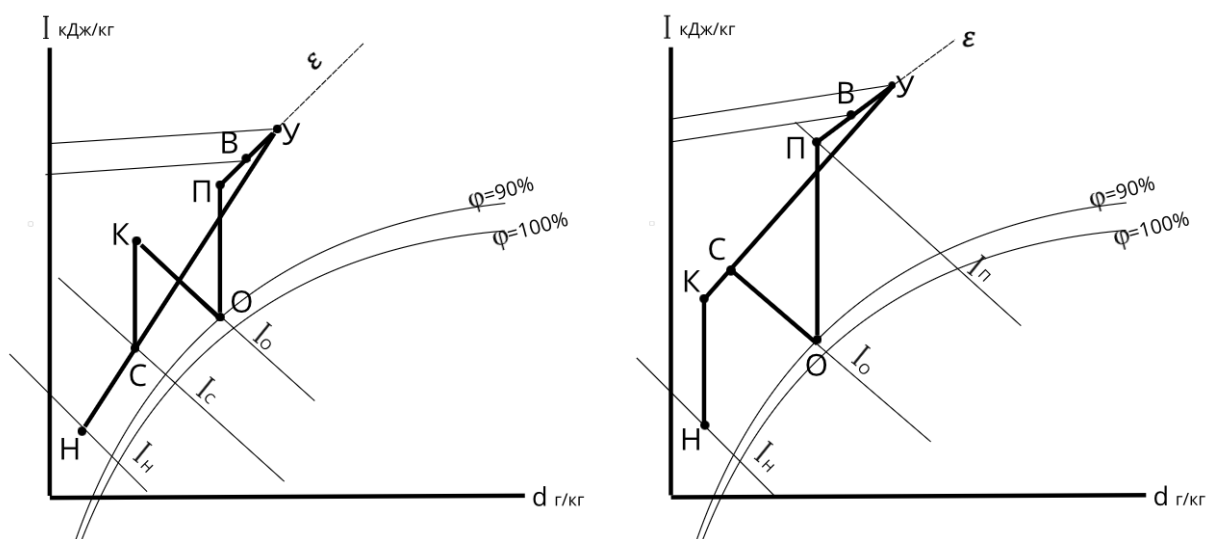


Рис. 4.22. Построение процессов обработки воздуха в СКВ с рециркуляцией в холодный период: а – смешение наружного и рециркуляционного воздуха осуществляется до воздухонагревателя первой ступени;
б – смешение наружного и рециркуляционного воздуха осуществляется после воздухонагревателя первой ступени

Рассмотрим СКВ с рециркуляцией для холодного периода. Для нее возможны два варианта:

1-й вариант – смешение наружного и рециркуляционного воздуха до воздухонагревателя первой ступени (рис. 4.22, а);

2-й вариант – смешение наружного и рециркуляционного воздуха после воздухонагревателя первой ступени (рис. 4.22, б).

Исходными данными для построения процессов обработки воздуха по этой схеме являются параметры внутреннего и наружного воздуха, значение величины углового коэффициента ε для холодного периода, расход воздуха, рассчитанный в теплый период.

Порядок построения процессов обработки воздуха на I-d-диаграмме влажного воздуха:

- 1) определяем на I-d-диаграмме положение точки Н – параметры наружного воздуха и точки В – параметры внутреннего воздуха;
- 2) проводим через точку В ε помещения для холодного периода;
- 3) определяем положение точки П и У, зная температуру t_n и t_y ;
- 4) проводим линию $d_n = \text{const}$ до пересечения с $\varphi=90\%$, ставим точку О, получаем отрезок ПО;
- 5) определяем положение точки смеси С, для этого определяем влагосодержание этой точки из уравнения

$$d_c = d_y - \frac{G_n}{G}(d_y - d_n), \quad (4.8.1)$$

Точки Н и У соединяем прямой. Точка С лежит на линии НУ – процесс смешения рециркуляционного и наружного воздуха, проводим $d_c = \text{const}$ до пересечения с линией НУ, ставим точку С;

6) через точку О проводим линию $I_o = \text{const}$ до пересечения с линией $d_c = \text{const}$ в точке К, характеризующей состояние воздуха на выходе из воздухонагревателя первой ступени нагрева.

Таким образом, НВ – процесс смешения наружного и рециркуляционного воздуха, СК – нагрев в воздухонагревателе первого подогрева, КО – адиабатное увлажнение воздуха в оросительной камере, ПО – нагрев воздуха в воздухонагревателе второй ступени, ПВ – процесс изменения состояния воздуха в помещении.

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе (калорифер первого подогрева) определяют по уравнению:

$$Q_I = G(I_K - I_C), \quad (4.8.2)$$

где Q_I – расход тепла через воздухонагреватель (калорифер первого подогрева);

I_K, I_C – энтальпия воздуха на выходе и входе в воздухонагреватель (калорифер первого подогрева).

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе (калорифер второго подогрева) рассчитывают по уравнению

$$Q_{II} = G(I_n - I_o), \quad (4.8.3)$$

где Q_{II} – расход тепла через воздухонагреватель (калорифер второго подогрева);

I_n, I_o – энтальпия воздуха на выходе и входе в воздухонагреватель (калорифер второго подогрева).

Рассмотрим второй вариант (рис. 4.22, б), наружный и рециркуляционный воздух смешиваются после воздухонагревателя первой ступени.

Аналогично определяем положение точек Н, В, П, У, О (пункты 1–4);

7) определяем положение точки смеси С, для этого определяем влагосодержание этой точки по формуле (4.8.1).

Проводим линию $d_c = \text{const}$ до пересечения с линией $I_o = \text{const}$ получаем точку С (состояние воздуха после смешения наружного воздуха, прошедшего нагрев в воздухонагревателе первого подогрева и воздуха из помещения);

8) соединяем точки С и У и продолжаем до пересечения с линией $d_n = \text{const}$, получаем точку К, характеризующую параметр наружного воздуха на выходе из воздухонагревателя первой ступени нагрева, точки Н и К соединяем.

Таким образом, НК – процесс нагрева наружного воздуха в воздухонагревателе первой ступени нагрева, КУ – процесс смешения наружного воздуха с воздухом из помещения в смесительной камере, СО – адиабатное увлажнение воздуха в оросительной камере, ПО – нагрев воздуха в воздухонагревателе второй ступени, ПВ – процесс изменения состояния воздуха в помещении.

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе (калорифер первого подогрева) определяют по уравнению

$$Q_I = G(I_K - I_H), \quad (4.8.4)$$

где Q_I – расход тепла через воздухонагреватель (калорифер первого подогрева);

I_K, I_H – энтальпия воздуха на выходе и входе в воздухонагреватель (калорифер первого подогрева).

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе Q_{II} (калорифер второго подогрева) находят формуле (4.8.3).

Количество испарившейся воды в камере орошения, кг/ч:

$$W_K = G(d_o - d_c)10^{-3}, \quad (4.8.5)$$

Пример. Построить схему с первой рециркуляцией в ХП для читального зала в г. Якутск и определить расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателях и количество испарившейся воды в камере орошения, кг/ч.

Решение. Следуя алгоритму, строим схему СКВ с первой рециркуляцией в ХП (рис. 4.23).

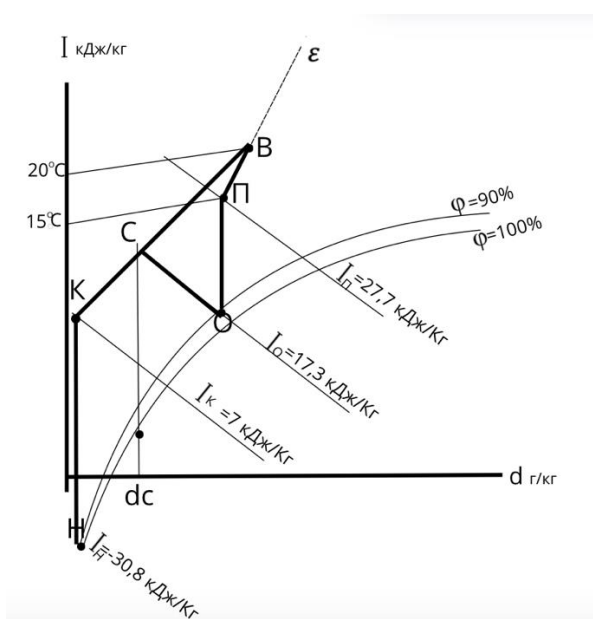


Рис. 4.23. Схема СКВ для холодного периода с первой рециркуляцией (читальный зал)

Параметры состояния воздуха в соответствующих точках представлены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

**Параметры точек состояния воздуха при процессе КВ с первой рециркуляцией
в холодный период**

Параметры воздуха	Единица измерения	Н	К	О	С	П	В	У
Температура t	°С	-52	6,9	5	11,6	15	20	20
Отн-ая влажность φ	%	72	3	90	25	46	36	36
Влагосодержание d	г/кг	0,1	0,1	4,9	2,14	4,9	5,2	5,2
Энтальпия I	кДж/кг	-52,3	7	17,3	17,3	27,7	33,5	33,5

Определяем положение точки смеси С, для этого определяем влагосодержание этой точки из уравнения:

$$d_c = d_y - \frac{G_n}{G} (d_y - d_n) = 5,2 - \frac{6939}{11566} (5,2 - 0,1) = 2,14 \text{ г/кг}$$

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе (калорифер первого подогрева):

$$Q_I = G(I_K - I_N) = 11566(7 + 52) = 682394 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} = 189,5 \text{ кВт}$$

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе (калорифер второго подогрева):

$$Q_{II} = G(I_P - I_O) = 11566(27,7 - 17,3) = 120286 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} = 33,4 \text{ кВт}$$

Количество испарившейся воды в камере орошения:

$$W_K = G(d_O - d_C)10^{-3} = 11566(4,9 - 2,14)10^{-3} = 31,9 \text{ кг/ч}$$

Таким образом, применение системы с первой рециркуляцией позволит сэкономить 14% по сравнению с прямоточной системой.

4.9. Схема кондиционирования воздуха с первой и второй рециркуляцией для теплого периода

Схема обработки воздуха в СКВ с двумя рециркуляциями. Система кондиционирования воздуха с первой и второй рециркуляциями (рис. 4.24) относится к специальным схемам, и ее применение должно быть обосновано. Такая система обеспечивает еще большую экономию теплоты и холода, чем система с одной рециркуляцией. В большинстве случаев отпадает необходимость в подогреве воздуха в воздухонагревателе второго подогрева в теплый период года. Вместе с тем требуется более глубокое охлаждение воздуха в камере орошения, что не всегда возможно. Такая схема не применяется, когда продолжение линии, соединяющей точки с параметрами рециркуляционного и параметрами

приточного воздуха, не пересекается с кривой $\phi = 95\%$ или пересекает ее в области отрицательных значений температур [1-7].

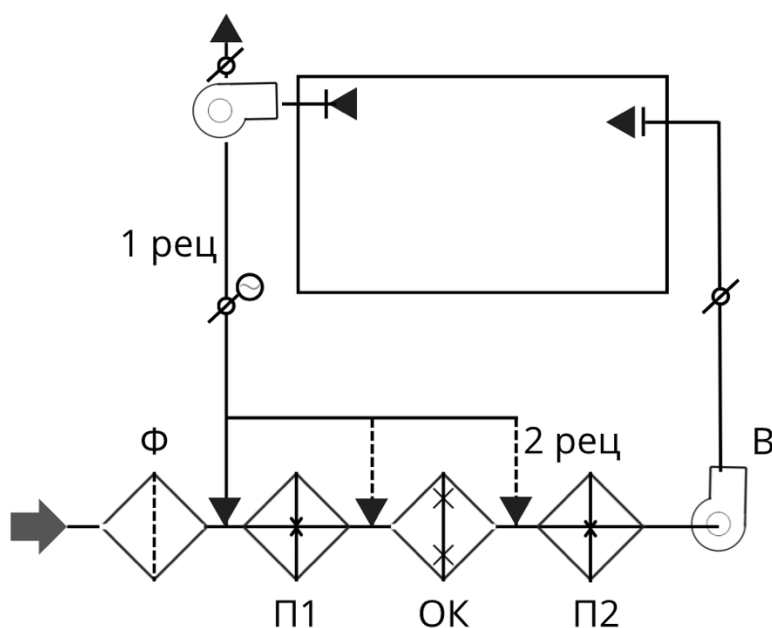


Рис. 4.24. Схема обработки воздуха в СКВ с двумя рециркуляциями

В соответствии со схемой наружный воздух смешивается с воздухом первой рециркуляции (до или после воздухонагревателя первой ступени нагрева, который в теплый период не работает). Эту смесь обрабатывают в оросительной камере, после этого к ней дополнительно подмешивают воздух второй рециркуляции и после этого смесь воздуха поступает в помещение.

Построение процессов обработки воздуха в СКВ с двумя рециркуляциями для теплого периода. Исходными данными являются параметры наружного воздуха в теплый период ϕ_n и t_n , заданные параметры внутреннего воздуха и ϕ_v и t_v , величина углового коэффициента луча процесса обработки воздуха в помещении ε_n , вычисленная на основании известных количеств тепла и влаги, выделяющихся в помещении, минимальное количество наружного воздуха G_n , допустимая разность температур между внутренним и приточным воздухом $\Delta t_{\text{доп}}$.

Порядок построения процессов обработки воздуха на I-d-диаграмме влажного воздуха (рис. 4.25):

1) определяем положение точек У, У', П, П' и расход приточного воздуха как в предыдущих методиках;

2) соединяем точки У' и П', получаем линию У'П' и продолжаем ее до $\phi = 90-95\%$, получаем точку О, которая соответствует параметрам воздуха на выходе из оросительной камеры.

3) Определяем расход воздуха второй рециркуляции G_2 , кг/ч, по формуле:

$$G_2 = G \frac{I_{\text{П}'} - I_o}{I_{\text{У}'} - I_o}, \quad (4.9.1)$$

4) Находим расход воздуха, прошедшего через оросительную камеру G_o , кг/ч, по формуле:

$$G_0 = G - G_2, \quad (4.9.2)$$

Количество воздуха первой рециркуляции G_1 , кг/ч, находим по формуле:

$$G_1 = G_0 - G_{\text{н}}, \quad (4.9.3)$$

где $G_{\text{н}}$ – расход наружного воздуха, определяемый по формуле (4.7.1).

5) Определяем удельную энтальпию смеси наружного воздуха и воздуха первой рециркуляции I_c , кДж/кг, по формуле:

$$I_c = \frac{(G_{\text{н}} I_{\text{н}} + G_1 I_{y'})}{G_0}, \quad (4.9.4)$$

6) На пересечении линий $I_c = \text{const}$ и $Y'N$ находим положение точки смеси C .

7) Определяем расход холода $Q_{\text{охл}}$, Вт, для охлаждения и осушки воздуха по формуле (4.7.4).

8) Количество сконденсированных паров воды из воздуха, W_k , кг/ч, вычисляют по формуле (4.7.5).

Получаем следующие отрезки: $Y'N$ – линия смеси наружного воздуха с воздухом первой рециркуляции, CO – увлажнение и осушение воздуха в оросительной камере, OY' – линия смеси воздуха из оросительной камеры с воздухом второй рециркуляции, $ПВ$ – характеризует ассимиляцию теплоты и влаги воздухом в помещении, $ВВ'$ – подогрев воздуха в рециркуляционном воздуховоде и вентиляторе. $ПП'$ характеризует нагрев приточного воздуха в воздуховодах и вентиляторе. Особенностью обработки воздуха с первой и второй рециркуляцией в теплый период является отсутствие воздухонагревателей второй ступени нагрева.

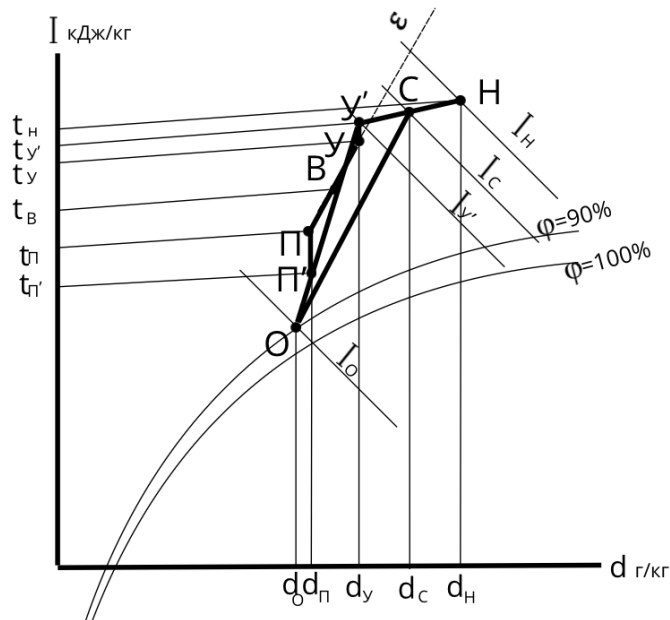


Рис. 4.25. Построение процессов обработки воздуха в СКВ с двумя рециркуляциями для теплого периода

Пример. Построить схему с двумя рециркуляциями в ТП для читального зала в г. Якутск и определить расход холода для осушки и охлаждения воздуха и количество сконденсированных паров воды из воздуха, кг/ч.

Решение. Следуя алгоритму, строим схему СКВ с двумя рециркуляциями в ТП (рис. 4.26).

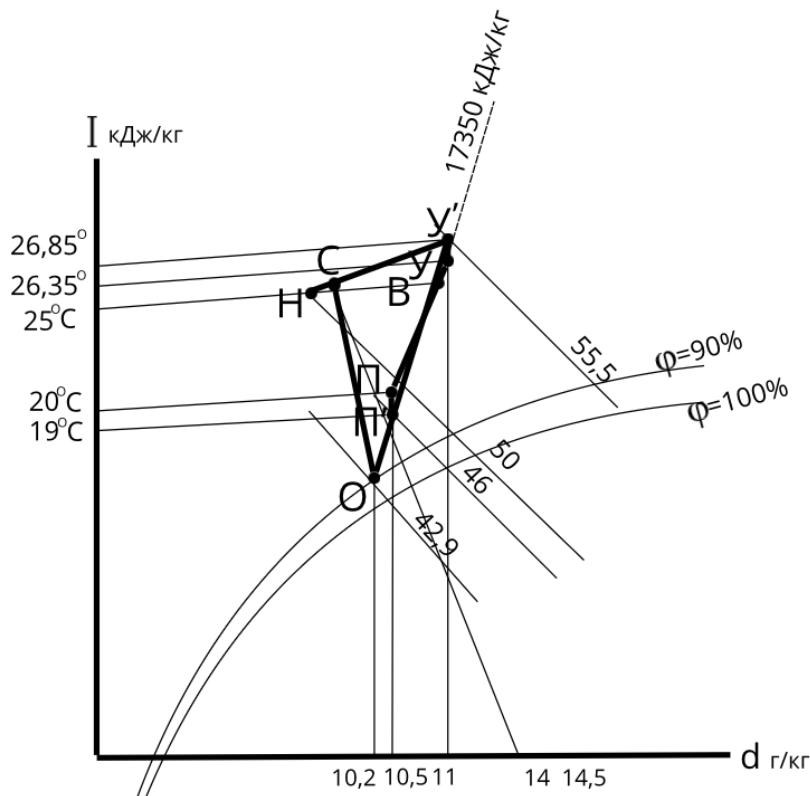


Рис. 4.26. Схема обработки воздуха СКВ с двумя рециркуляциями для теплого периода

Параметры состояния воздуха в соответствующих точках представлены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Параметры точек состояния воздуха при процессе КВ с первой и второй рециркуляцией в теплый период

Параметры воздуха	Единица измерения	Н	О	П'	П	В	У	У'	С
Температура t	°С	25	16	19	20	25	26,35	26,85	25,1
Отн-ая влажность φ	%	50	90	77	73	55	52	49	50
Влагосодержание d	г/кг	9,8	10,4	10,5	10,5	10,9	11,1	11,1	10
Энтальпия I	кДж/кг	50	42,9	46	47	53	55	55,5	51

Определяем расход воздуха второй рециркуляции:

$$G_2 = G \frac{I_{П'} - I_0}{I_{У'} - I_0} = 11566 \frac{(46 - 42,9)}{(55,5 - 42,9)} = 2846 \text{ кг/ч}$$

Находим расход воздуха, прошедшего через оросительную камеру:

$$G_o = G - G_2 = 11566 - 2846 = 8720 \text{ кг/ч}$$

Количество воздуха первой рециркуляции:

$$G_1 = G_o - G_n = 8720 - 6939 = 1781 \text{ кг/ч}$$

Определяем удельную энтальпию смеси наружного воздуха и воздуха первой рециркуляции:

$$I_c = \frac{(G_n I_n + G_1 I_{y'})}{G_o} = \frac{(6939 \cdot 50 + 1781 \cdot 55,5)}{8720} = 51 \text{ кДж/кг}$$

Определяем расход холода $Q_{охл}$, Вт, для охлаждения и осушки воздуха:

$$Q_{охл} = G(I_c - I_o) = 11566(51 - 42,9) = 93685 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} \text{ (26 кВт)}$$

Количество сконденсированных паров воды из воздуха:

$$W_k = G(d_o - d_c) \cdot 10^{-3} = 11566(10,4 - 10) \cdot 10^{-3} = 4,62 \text{ кг/ч}$$

Таким образом, для данных условий ($I_n < I_b$) применение системы с двумя рециркуляциями экономически не целесообразно.

4.10. Схема кондиционирования воздуха с первой и второй рециркуляцией для холодного периода

В холодный период смесь наружного и рециркуляционного воздуха нагревается в воздухонагревателе первого подогрева, обрабатывается в камере орошения.

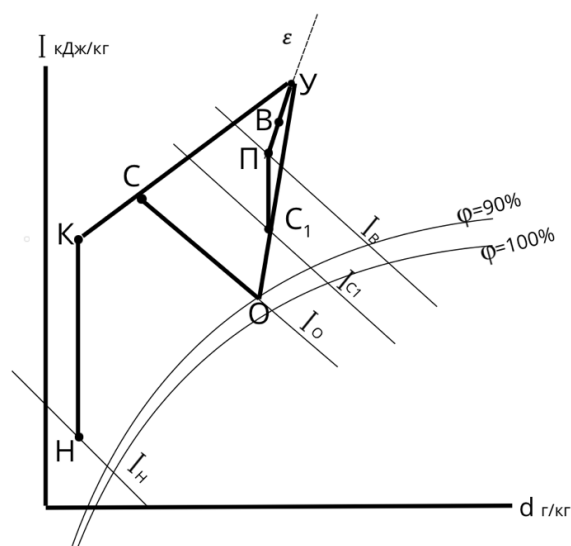


Рис. 4.27. Построение на I-d-диаграмме изменения состояния воздуха в кондиционере с первой и второй рециркуляциями для холодного периода года

После камеры орошения добавляется еще часть рециркуляционного воздуха (вторая рециркуляция). Весь воздух проходит через воздухонагреватель второго подогрева и вентилятором подается в обслуживаемое помещение. В теплый период смесь наружного

воздуха и воздуха, подаваемого в первую рециркуляцию, обрабатывается в камере орошения. После обработки подмешивается воздух второй рециркуляции с таким расчетом, чтобы отпадала необходимость в работе воздухонагревателя второго подогрева [1-7].

Порядок построения на I-d-диаграмме:

1. На I-d-диаграмму (рис. 4.27) наносим точки Н, В, соответствующие состоянию наружного и внутреннего воздуха. Проводим угловой коэффициент луча процесса через точку В и наносим точку приточного воздуха П. Так же находим точку У.

2. По формуле (4.9.2) определяем расход воздуха, прошедшего через камеру орошения G_o , кг/ч.

3. Находим положение точки О, характеризующей состояние воздуха после камеры орошения перед смешиванием его с воздухом второй рециркуляции, для чего определяем влагосодержание воздуха, г/кг, после камеры орошения по формуле:

$$d_o = \frac{G d_{\pi} - G_2 d_y}{G_o}, \quad (4.10.1)$$

4. На пересечении линии $d_o = \text{const}$ с кривой $\varphi = 90\%$ определяем положение точки О.

5. Принимаем расход наружного воздуха G_H , расход приточного воздуха G , расход первой G_1 и второй G_2 рециркуляций, кг/ч, по расчетам для теплого периода.

6. Определяем влагосодержание смеси воздуха, г/кг, первой рециркуляции и наружного воздуха по формуле:

$$d_c = \frac{G_1 d_y + G_H d_H}{G_o}, \quad (4.10.2)$$

7. На I-d-диаграмме на пересечении линий $d_c = \text{const}$ и $I_o = \text{const}$ определяем положение точки смеси С.

8. На I-d-диаграмме на пересечении линий $d_H = \text{const}$ и УС находим положение точки К, соответствующей параметрам после воздухонагревателя первого подогрева.

9. Определяем параметры воздуха, поступающего в воздухонагреватель второго подогрева. Точка смеси C_1 находится на прямой УО в месте пересечения ее с лучом нагревания, проведенном через точку П.

10. Вычисляем расход теплоты на нагревание воздуха в воздухонагревателе первого подогрева Q_I , Вт, по формуле (4.8.4) и второго подогрева Q_{II} , Вт, по формуле:

$$Q_{II} = G(I_{\pi} - I_{c1}), \quad (51)$$

11. Находим расход испарившейся воды в камере орошения W_k , кг/ч, по формуле (4.8.5).

Пример. Построить схему с двумя рециркуляциями в ХП для читального зала в г. Якутск и определить расход холода воздухонагревателях и количество сконденсированных паров воды из воздуха, кг/ч.

Решение. Следуя алгоритму, строим схему СКВ с двумя рециркуляциями в ТП (рис. 4.28).

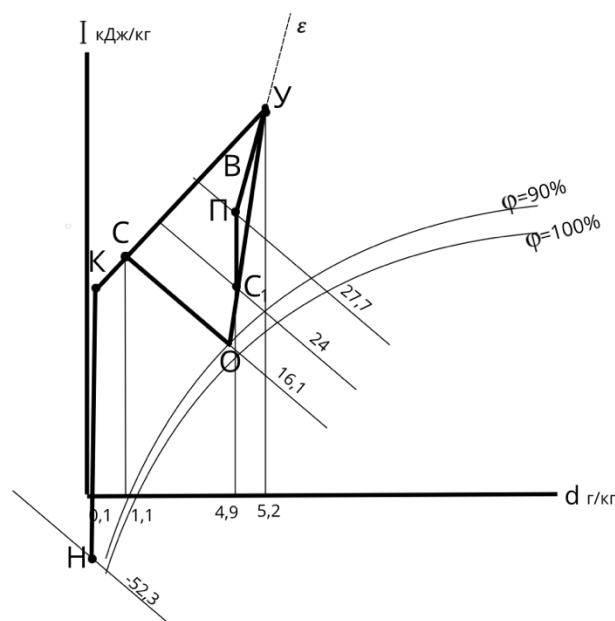


Рис. 4.28. Схема обработки воздуха КВ с двумя рециркуляциями для холодного периода

Параметры состояния воздуха в соответствующих точках представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Параметры точек состояния воздуха при процессе КВ с первой и второй рециркуляцией в холодный период

Параметры воздуха	Единица измерения	Н	К	О	С	П	В	У	С ₁
Температура t	°С	-52	11,9	4,5	13,3	15	20	20	11
Отн-ая влажность φ	%	72	3	90	11	47	36	36	60
Влагосодержание d	г/кг	0,1	0,1	4,8	1,1	4,9	5,2	5,2	5
Энтальпия I	кДж/кг	-52,3	12	16,1	16,1	27,7	33,5	33,5	24

Определяем влагосодержание воздуха после камеры орошения:

$$d_o = \frac{G d_n - G_2 d_y}{G_o} = \frac{11566 \cdot 4,9 - 2846 \cdot 5,2}{8720} = 4,8 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Определяем влагосодержание смеси воздуха первой рециркуляции и наружного воздуха:

$$d_c = \frac{G_1 d_y + G_n d_n}{G_o} = \frac{1781 \cdot 5,2 - 6939 \cdot 0,1}{8720} = 1,1 \frac{\text{г}}{\text{кг}}$$

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе (калорифер первого подогрева):

$$Q_I = G(I_K - I_H) = 11566(12 + 52,3) = 743694 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} = 206,6 \text{ кВт}$$

Расход тепла на нагревание воздуха в воздухонагревателе (калорифер второго подогрева):

$$Q_{II} = G(I_{II} - I_{c1}) = 11566(27,7 - 24) = 42794 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} = 11,88 \text{ кВт}$$

Количество сконденсированных паров воды из воздуха:

$$W_k = G(d_o - d_c) \cdot 10^{-3} = 11566(4,8 - 1,1) \cdot 10^{-3} = 42,8 \text{ кг/ч}$$

Таким образом, применение системы с первой и второй рециркуляцией позволит сэкономить 15 % по сравнению с прямоточной системой.

Для подбора кондиционера, как пример, можно посмотреть каталог «Каталог 2012. Центральные кондиционеры Hidria IMP Klima» (рис. 4.29).

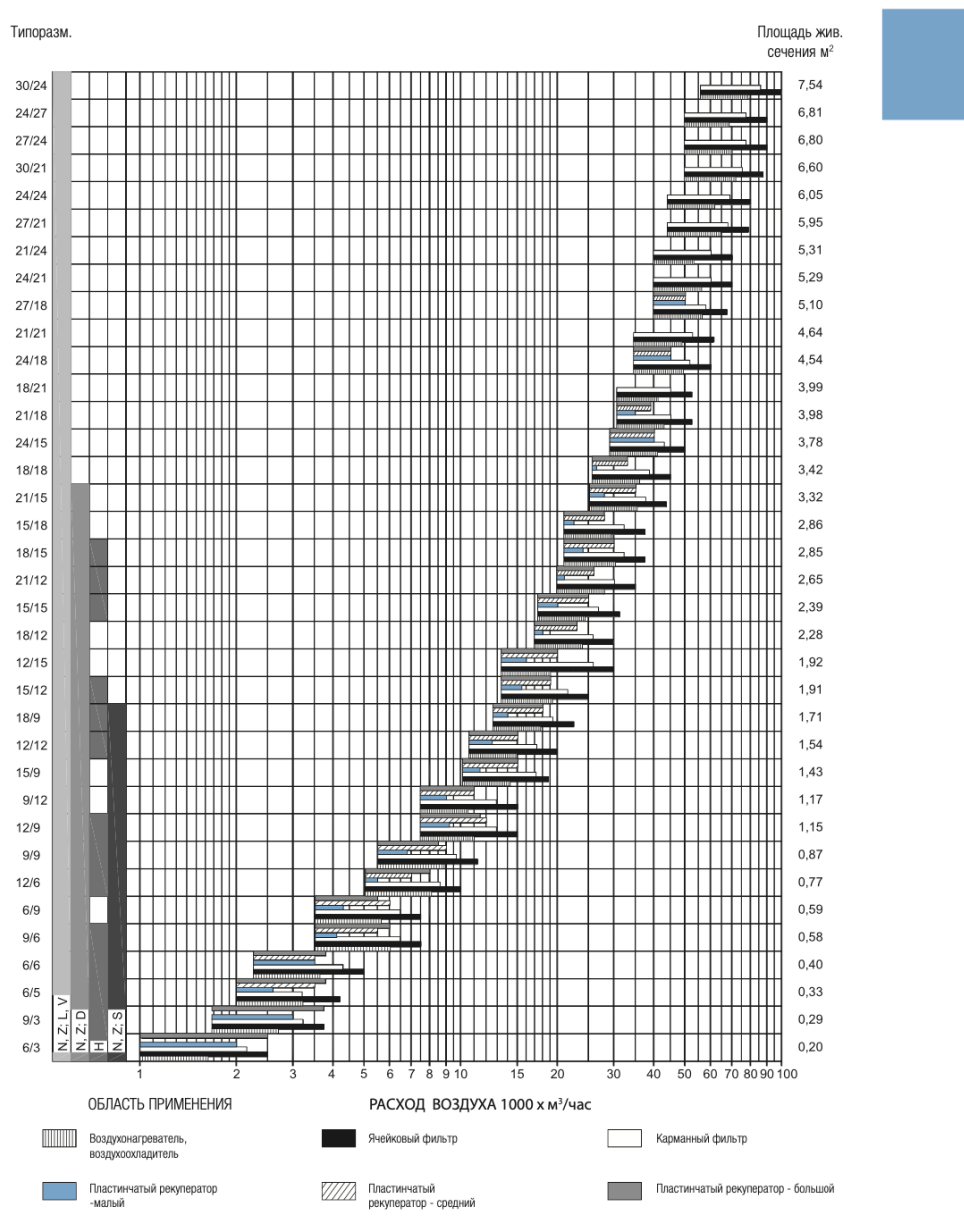


Рис. 4.29. Данные о типоразмерах центральных кондиционеров

По расчетному расходу воздуха $G=11566 \text{ кг/ч}$ ($9638 \text{ м}^3/\text{ч}$) и с запасом 15%— $11100 \text{ м}^3/\text{ч}$ подходит центральный кондиционер типоразмера 12/9 с живым сечением $1,15 \text{ м}^2$.

4.11. Схема многоступенчатой системы обработки воздуха в СКВ

Как было отмечено в параграфе 1.14, особенности работы СКВ при низких температурах наружного воздуха требуют внедрения оптимизированных решений. Представленная многоступенчатая система обработки воздуха, включающая предварительный подогрев, рекуперацию тепла и основной подогрев, является одним из наиболее эффективных подходов к обеспечению надежной и энергоэффективной работы кондиционеров в условиях Якутии. Далее мы подробно рассмотрим эту схему, анализируя каждый ее компонент и определяя оптимальные параметры для достижения максимальной производительности и экономии энергии (рис. 4.30).

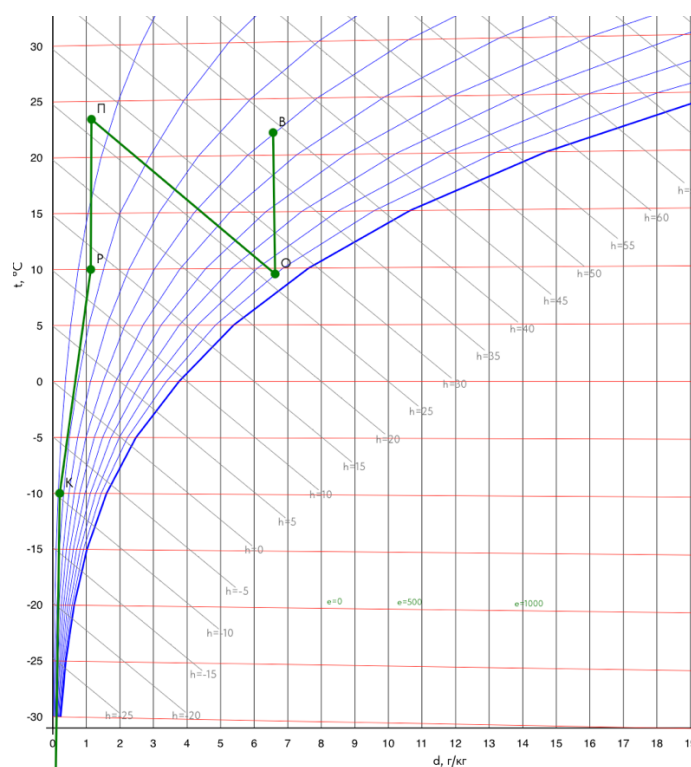


Рис. 4.30. I-d-диаграмма процесса обработки воздуха в системе кондиционирования с многоступенчатым подогревом

Н – наружный воздух, К – после предварительного подогрева, Р – после рекуператора, П – после вторичного подогрева, О – воздух после оросительной камеры, В – подаваемый в помещение воздух

Описание этапов обработки воздуха:

- **Первичный подогрев** (предварительный подогрев): на данном этапе происходит нагрев наружного воздуха до температуры, при которой исключается обмерзание теплообменных аппаратов. В качестве источника тепла могут использоваться электрические нагреватели или водяные калориферы, работающие на незамерзающей жидкости (например, гликолевые растворы). Выбор типа нагревателя зависит от доступности энергоресурсов и экономической целесообразности. Данный этап включается, например, при температуре наружного воздуха ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **Рекуперация тепла:** использование рекуператоров позволяет утилизировать тепло удаляемого воздуха и передавать его приточному воздуху, снижая тем самым энергозатраты на подогрев. Эффективность рекуперации зависит от типа рекуператора

(пластинчатые, роторные и т.д.) и температуры наружного воздуха. Важно отметить, что применение рекуператоров эффективно только при температурах, при которых отсутствует риск обмерзания. При более низких температурах их необходимо отключать или предусматривать специальные системы защиты от обмерзания.

- **Вторичный подогрев:** на данном этапе происходит догрев воздуха до заданной температуры, необходимой для обеспечения комфортных параметров микроклимата в помещении. Для этих целей могут использоваться водяные или электрические нагреватели.
- **Оросительная камера:** для поддержания необходимой влажности воздуха может использоваться оросительная камера.
- **Финальный подогрев** (третичный нагрев): нужен для точной настройки температуры воздуха перед подачей в помещение.

Многоступенчатые системы кондиционирования воздуха широко применяются в зданиях с повышенными требованиями к качеству воздуха и стабильности параметров микроклимата, таких как больницы, школы и детские сады.

В качестве примера рассмотрим систему кондиционирования воздуха в районной больнице г. Нюрба Республика Саха (Якутия) (рис. 4.31).

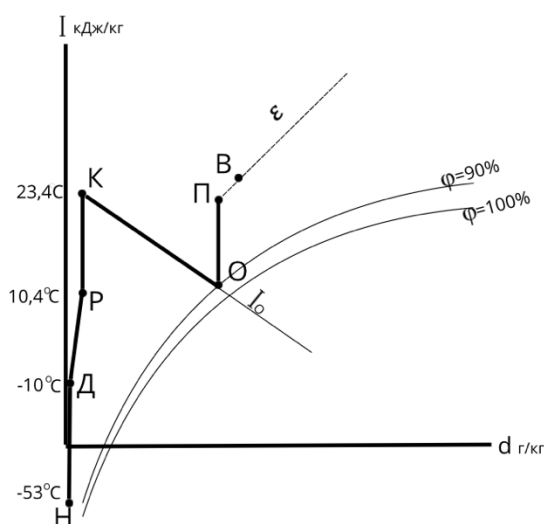


Рис. 4.31. Многоступенчатая схема СКВ районной больницы г. Нюрба на I-d-диаграмме

Данная система включает в себя:

- Первичный электрический нагреватель для предварительного подогрева наружного воздуха при температуре ниже -30°C .
- Пластинчатый рекуператор для утилизации тепла удаляемого воздуха.
- Водяной калорифер для вторичного подогрева воздуха.
- Оросительную камеру для увлажнения воздуха.
- Систему автоматического управления, обеспечивающую поддержание заданных параметров микроклимата в помещении.

Пример расчета.

Предположим, необходимо обеспечить подачу $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ приточного воздуха с температурой 22°C в операционную. Температура наружного воздуха составляет -53°C .

Предварительный подогрев: необходимо нагреть воздух до температуры, исключающей обмерзание рекуператора (например, до -10°C). Расчет мощности электрического нагревателя осуществляется по формуле:

$$Q = L \cdot \rho \cdot c \cdot (T_2 - T_1), \text{ Вт}, \quad (1.11.1)$$

где:

Q – мощность нагревателя, Вт;

L – объемный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;

ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c – удельная теплоемкость воздуха, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$;

T_2 – температура воздуха после предварительного подогрева, $^{\circ}\text{C}$;

T_1 – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Подставляя значения, получаем:

$$Q_I = 3000 \cdot 1.4 \cdot 1.005 \cdot (-10 - (-53)) \approx 181.5 \text{ кВт}$$

Рекуперация тепла: предположим, что эффективность рекуператора составляет 60%. Тогда температура воздуха после рекуператора составит:

$$T_3 = T_2 + \eta(T_{\text{выт}} - T_2), ^{\circ}\text{C}, \quad (1.11.2)$$

где:

η – эффективность рекуператора;

$T_{\text{выт}}$ – температура вытяжного воздуха (например, 24°C).

Подставляя значения, получаем:

$$T_3 = -10 + 0.6(24 - (-10)) \approx 10.4^{\circ}\text{C}$$

Вторичный подогрев: необходимо догреть воздух до $23,4^{\circ}\text{C}$. Расчет мощности водяного калорифера осуществляется аналогично расчету мощности предварительного нагревателя.

$$Q_{II} = 3000 \cdot 1.2 \cdot 1.005 \cdot (23,4 - 10,4) \approx 47 \text{ кВт}$$

Третичный подогрев:

$$Q_{III} = 3000 \cdot 1.2 \cdot 1.005 \cdot (22 - 9,5) \approx 45,2 \text{ кВт}$$

Таким образом, анализ многоступенчатой системы обработки воздуха показывает ее высокую эффективность и надежность при работе в экстремально низких температурных условиях. При температурах наружного воздуха -30°C и ниже целесообразно применение комплексного решения, включающего три ступени подогрева, рекуперацию тепла и оросительную камеру. При проектировании таких систем необходимо учитывать климатические особенности региона, тип здания и требования к качеству воздуха.

5. Рекомендации по самостоятельной работе по заданным темам

Данные рекомендации призваны помочь студентам в организации самостоятельной работы по дисциплине «Кондиционирование воздуха». Они структурированы по темам, перечисленным в задании, и включают в себя теоретические основы, методические указания и ссылки на полезные ресурсы. Необходимо помнить, что самостоятельная работа предполагает активное участие студента в процессе обучения, а также аналитический подход к изучаемому материалу (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Общие рекомендации к самостоятельной работе

Раздел	Рекомендации
Планирование	Разработать план работы на каждую неделю, распределить темы и определить сроки выполнения.
Теоретическая база	Начать с изучения теоретического материала по каждой теме. Использовать учебники, методические пособия, лекции и онлайн-ресурсы.
Практические примеры	Изучить примеры решения задач и построения процессов кондиционирования.
Решение задач	Решать задачи самостоятельно, используя полученные знания и примеры.
Консультации	Обращаться за консультацией к преподавателю или сокурсникам при возникновении затруднений.
Самоконтроль	Проверять правильность своих решений и понимание материала.

Тема 1. Построение процессов кондиционирования воздуха для теплого периода года с использованием прямого, косвенного и двухступенчатого испарительного охлаждения воздуха

Теория: изучить принципы испарительного охлаждения воздуха. Рассмотреть прямое, косвенное и двухступенчатое испарительное охлаждение. Ознакомиться с I-d-диаграммой влажного воздуха и ее использованием для построения процессов.

Методика: определить параметры наружного воздуха и требуемые параметры приточного воздуха.

Для прямого испарительного охлаждения: охлаждение происходит путем адиабатического увлажнения. Построить процесс на I-d диаграмме.

Для косвенного испарительного охлаждения: предварительное охлаждение наружного воздуха происходит в теплообменнике, где в качестве хладагента используется воздух, охлажденный при прямом испарительном охлаждении. Построить процесс на I-d-диаграмме.

Для двухступенчатого испарительного охлаждения: комбинация косвенного и прямого испарительного охлаждения для достижения более низких температур. Построить процесс на I-d-диаграмме.

Примеры: найти примеры построения процессов для различных климатических зон и условий.

Задачи: решить задачи на определение параметров воздуха после испарительного охлаждения.

Ресурсы: учебники по кондиционированию воздуха, статьи в журналах, I-d-диаграмма для расчета параметров влажного воздуха.

Дополнительная информация про сравнение между этими видами процесса представлена в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Сравнение процессов кондиционирования воздуха с использованием испарительного охлаждения (теплый период года)

Характеристика	Прямое испарительное охлаждение	Косвенное испарительное охлаждение	Двухступенчатое испарительное охлаждение
Принцип действия	Адиабатическое увлажнение воздуха (снижение температуры за счет испарения воды).	Предварительное охлаждение наружного воздуха в теплообменнике воздухом, охлажденным прямым испарительным охлаждением.	Комбинация косвенного и прямого испарительного охлаждения.
I-d-диаграмма	Процесс идет вдоль линии постоянной энтальпии (адиабата) в сторону увеличения влагосодержания и снижения температуры.	1 этап (косвенный): Охлаждение при постоянном влагосодержании (горизонтальная линия влево). 2 этап (прямой): Охлаждение и увлажнение по адиабате.	1 этап (косвенный): Охлаждение при постоянном влагосодержании. 2 этап (прямой): Охлаждение и увлажнение по адиабате.
Преимущества	Простота конструкции, низкие энергозатраты.	Более низкая температура приточного воздуха по сравнению с прямым, меньше увеличение влажности приточного воздуха.	Наиболее низкая температура приточного воздуха по сравнению с двумя предыдущими, большая эффективность в жарком и сухом климате.

Недостатки	Значительное увеличение влажности приточного воздуха, менее эффективно во влажном климате.	Более сложная конструкция и более высокие начальные затраты по сравнению с прямым.	Самая сложная конструкция и самые высокие начальные затраты.
Эффективность	Высокая в сухом климате, низкая во влажном.	Более эффективное, чем прямое, в сухом климате. Зависит от эффективности теплообменника.	Самая высокая эффективность в сухом климате.
Применение	Промышленность, склады, животноводческие фермы, где допустима высокая влажность.	Торговые центры, офисные здания, больницы, где требуется более низкая влажность и температура.	Регионы с жарким и сухим климатом, где требуется максимальное снижение температуры.
Параметры наружного воздуха (пример)	$t = 35^{\circ}\text{C}$, $\phi = 30\%$	$t = 35^{\circ}\text{C}$, $\phi = 30\%$	$t = 35^{\circ}\text{C}$, $\phi = 30\%$
Требуемые параметры приточного воздуха (пример)	$t = 25^{\circ}\text{C}$, $\phi = 60\%$ (достигается с трудом или невозможно)	$t = 25^{\circ}\text{C}$, $\phi = 50\%$ (достигается более вероятно)	$t = 22^{\circ}\text{C}$, $\phi = 60\%$ (наиболее вероятный результат)
Пример для сухого климата	Прямое испарительное охлаждение вполне эффективно.	Косвенное еще более эффективно.	Двухступенчатое - оптимальный выбор
Пример для влажного климата	Прямое испарительное охлаждение малоэффективно.	Косвенное - возможно, но менее эффективно.	Двухступенчатое - наиболее эффективно из трех, но все равно может быть недостаточно.

Тема 2. Построение процессов кондиционирования воздуха для теплого периода года с использованием искусственных источников холода. Прямоточная схема, схема с одной и двумя рециркуляциями, с байпасом и управляемым процессом.

Теория: изучить различные схемы кондиционирования воздуха с использованием искусственных источников холода (компрессионные холодильные машины, абсорбционные холодильные машины, чиллеры). Рассмотреть прямоточные схемы, схемы с рециркуляцией (одной и двумя), с байпасом и управляемым процессом.

Методика:

Прямоточная схема: наружный воздух охлаждается в воздухоохладителе и подается в помещение. Построить процесс на I-d-диаграмме.

Схема с рециркуляцией: часть воздуха из помещения возвращается в систему и смешивается с наружным воздухом перед охлаждением. Рассмотреть влияние степени рециркуляции на параметры приточного воздуха. Построить процесс на I-d-диаграмме.

Схема с байпасом: часть воздуха обходит воздухоохладитель, что позволяет регулировать температуру и влажность приточного воздуха. Построить процесс на I-d-диаграмме.

Схема с управляемым процессом: использование автоматики для регулирования параметров воздуха в зависимости от текущих условий.

Примеры: изучить примеры построения процессов для различных типов зданий и климатических зон.

Задачи: решить задачи на определение параметров воздуха в различных точках системы кондиционирования, а также на расчет холодильной мощности.

Ресурсы: учебники по кондиционированию воздуха, каталоги производителей оборудования, научные статьи.

Дополнительная информация про схему СКВ для ТП с использованием искусственных источников холода представлена в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Схемы кондиционирования воздуха для теплого периода года с использованием искусственных источников холода

Схема	Описание	Преимущества	Недостатки	Применение
Прямоточная схема	Наружный воздух поступает в воздухоохладитель, где охлаждается и осушается (при необходимости), а затем подается непосредственно в помещение. Отработанный воздух удаляется из помещения.	Простота схемы и управления. Обеспечивает максимальный приток свежего воздуха.	Высокие затраты энергии на охлаждение всего объема наружного воздуха, особенно при большой разнице температур и влажности.	Объекты с высокими требованиями к качеству воздуха и небольшими внутренними тепловыделениями (например, операционные, некоторые лаборатории).

Схема с одной рециркуляцией	Часть отработанного воздуха из помещения (рециркуляционный воздух) смешивается с наружным воздухом. Смесь поступает в воздухоохладитель, где охлаждается и осушается (при необходимости), а затем подается в помещение. Степень рециркуляции определяется соотношением объемов наружного и рециркуляционного воздуха.	Снижение затрат энергии на охлаждение за счет использования охлажденного воздуха из помещения. Более стабильные параметры приточного воздуха.	Требует контроля качества рециркуляционного воздуха (фильтрация, удаление запахов). Не подходит для объектов с высоким уровнем загрязнения воздуха в помещении.	Офисные здания, торговые центры, жилые дома, где не требуется 100% приток свежего воздуха.
Схема с двумя рециркуляциями	Используется два контура рециркуляции, один из которых регулирует температуру, а другой – влажность. Это позволяет более точно поддерживать заданные параметры воздуха в помещении.	Более точное поддержание заданных параметров воздуха. Возможность независимого управления температурой и влажностью.	Более сложная схема и система управления. Выше стоимость оборудования и монтажа.	Объекты с высокими требованиями к точности поддержания температуры и влажности (например, музеи, архивы, некоторые технологические процессы).
Схема с байпасом	Часть воздуха проходит через воздухоохладитель, а другая часть – мимо него (через байпас). Смешиваясь, эти потоки создают приточный воздух с требуемой температурой и влажностью. Регулирование осуществляется изменением соотношения потоков.	Гибкое регулирование температуры и влажности приточного воздуха. Снижение энергозатрат при частичной нагрузке.	Требует точной настройки системы управления для оптимальной работы. Может быть менее эффективна при значительных колебаниях параметров наружного воздуха.	Объекты с переменной тепловой нагрузкой и требованиями к адаптации системы к изменяющимся условиям (например, офисы с переменным количеством людей).

Схема с управляемым процессом (автоматика)	В любой из вышеперечисленных схем используется система автоматического управления, которая регулирует параметры воздуха (температуру, влажность, расход) на основе показаний датчиков и заданных значений. Это позволяет оптимизировать работу системы и поддерживать комфортные условия в помещении.	Оптимизация энергопотребления. Автоматическое поддержание заданных параметров. Адаптация системы к изменяющимся условиям. Снижение влияния человеческого фактора.	Более сложная и дорогая система. Требуется квалифицированный обслуживающий персонал. Зависимость от надежности датчиков и исполнительных механизмов.	Все типы зданий, особенно те, где требуется высокая точность поддержания параметров воздуха и оптимизация энергозатрат.
--	---	---	--	---

Тема 3. Построение процессов кондиционирования воздуха для холодного периода года с двумя рециркуляциями

Теория: изучить принципы работы систем кондиционирования воздуха в холодный период года, включая нагрев, увлажнение и очистку воздуха. Рассмотреть схему с двумя рециркуляциями и ее преимущества.

Методика: определить параметры наружного воздуха и требуемые параметры приточного воздуха.

Первая рециркуляция: смешивание наружного воздуха с воздухом, возвращающимся из помещения.

Нагрев воздуха: нагрев смеси воздуха в воздухонагревателе.

Увлажнение воздуха: увеличение влагосодержания воздуха (при необходимости).

Вторая рециркуляция: смешивание нагретого и увлажненного воздуха с воздухом, возвращающимся из помещения.

Построить процесс на I-d диаграмме, отражая все этапы обработки воздуха.

Примеры: изучить примеры построения процессов для различных типов зданий и климатических зон.

Задачи: решить задачи на определение параметров воздуха в различных точках системы кондиционирования, а также на расчет мощности воздухонагревателя и увлажнителя.

Ресурсы: учебники по кондиционированию воздуха, нормативные документы (СП, СНиП, ГОСТ), научные статьи.

Дополнительная информация про схему СКВ для ХП с двумя рециркуляциями представлена в таблице 5.4.

**Построение процессов кондиционирования воздуха для холодного периода года
с двумя рециркуляциями**

Описание	Преимущества	Недостатки	Применение
Суть процесса: СКВ, использующая две ступени рециркуляции для повышения энергоэффективности и точности поддержания параметров воздуха в ХП года. Включает смешивание наружного и рециркуляционного воздуха, нагрев, увлажнение и повторное смешивание с рециркуляционным воздухом перед подачей в помещение.	Экономия энергии: Уменьшение затрат на нагрев воздуха за счет использования тепла удаляемого воздуха. Повышение точности: более точное поддержание требуемой температуры и влажности в помещении. Адаптивность: Возможность гибкой настройки параметров приточного воздуха в зависимости от изменений наружных условий и требований к микроклимату в помещении. Снижение энергопотребления на увлажнение: более эффективно использование влаги, содержащейся в рециркуляционном воздухе.	Сложность системы: более сложная схема по сравнению с одноступенчатой рециркуляцией, требующая более точной настройки и управления. Более высокие капитальные затраты: необходимость установки дополнительного оборудования (воздуховодов, смесительных камер, датчиков, автоматики). Риск ухудшения качества воздуха: при неправильной эксплуатации и обслуживании возможно накопление загрязнений в рециркуляционном воздухе. Зависимость от качества рециркуляционного воздуха: если воздух в помещении сильно загрязнен, эффективность рециркуляции снижается.	Общественные и административные здания: офисы, торговые центры, больницы, школы. Производственные помещения: объекты, требующие поддержания определенных параметров воздуха для технологических процессов. Здания с высокими требованиями к энергоэффективности: объекты, где важно минимизировать затраты на отопление и вентиляцию. Регионы с холодным климатом: где актуальна экономия энергии на нагрев воздуха.

Тема 4. Подбор поверхностного воздухонагревателя

Теория: изучить принципы работы поверхностных воздухонагревателей (водяных, электрических, паровых). Ознакомиться с их конструктивными особенностями и характеристиками.

Методика: определить расход воздуха и перепад температур воздуха, который необходимо обеспечить. Рассчитать тепловую мощность воздухонагревателя. Выбрать тип воздухонагревателя в зависимости от доступности теплоносителя и экономических соображений.

По каталогам производителей подобрать воздухонагреватель с необходимой тепловой мощностью и аэродинамическим сопротивлением. Проверить соответствие выбранного воздухонагревателя условиям эксплуатации (температура и давление теплоносителя).

Примеры: изучить примеры подбора воздухонагревателей для различных типов систем кондиционирования.

Задачи: решить задачи на подбор воздухонагревателя по заданным параметрам.

Ресурсы: каталоги производителей воздухонагревателей, учебники по кондиционированию воздуха, научные статьи.

Дополнительная информация про подбор поверхностного воздухонагревателя СКВ представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.5

Подбор поверхностного воздухонагревателя

Этап	Описание	Необходимые данные
1. Определение условий эксплуатации	Выбор режима работы с максимальной потребностью в тепле.	Требования к температурному режиму, характеристики помещения.
2. Выбор типа теплообменника	Выбор медно-алюминиевого теплообменника с оптимальными параметрами.	Требуемая мощность, габариты, условия эксплуатации.
3. Расчет массовой скорости воздуха	Определение скорости воздуха, проходящего через теплообменник.	Расход воздуха, площадь фронтального сечения кондиционера.
4. Расчет необходимого количества теплоты	Определение требуемой тепловой мощности для нагрева воздуха.	Расход воздуха, начальная и конечная температура воздуха.
5. Определение расхода теплоносителя	Расчет количества теплоносителя, необходимого для передачи тепла.	Необходимое количество теплоты, температура теплоносителя на входе и выходе.

6. Определение числа ходов и площади живого сечения	Определение параметров для оптимального движения теплоносителя в теплообменнике.	Скорость движения теплоносителя, число рядов трубок.
7. Расчет коэффициента теплопередачи и требуемой площади	Расчет эффективности теплообмена и необходимой площади поверхности теплообменника.	Массовая скорость воздуха, скорость теплоносителя, количество теплоты, разность средних температур.

Тема 5. Расчет адиабатных камер орошения каркасно-панельного центрального кондиционера

Теория: изучить принципы работы адиабатных камер орошения, предназначенных для увлажнения и охлаждения воздуха. Ознакомиться с их конструктивными особенностями и характеристиками.

Методика: определить расход воздуха и параметры воздуха на входе в камеру орошения. Определить требуемые параметры воздуха на выходе из камеры орошения. Рассчитать необходимое количество воды для увлажнения воздуха. Определить размеры камеры орошения (длину, ширину, высоту) в зависимости от скорости воздуха и требуемой эффективности увлажнения. Рассчитать потери давления в камере орошения.

Примеры: изучить примеры расчета камер орошения для различных типов систем кондиционирования.

Задачи: решить задачи на расчет параметров камеры орошения по заданным условиям.

Ресурсы: учебники по кондиционированию воздуха, справочники проектировщика, научные статьи.

Дополнительная информация про расчет адиабатных камер орошения кондиционера представлена в таблице 5.6.

Таблица 5.6

Подбор поверхностного воздухонагревателя

Этап расчета	Параметры и действия
1. Определение коэффициента адиабатной эффективности	- Используются начальные и конечные температуры воздуха, температура мокрого термометра. - Рассчитывается требуемый коэффициент адиабатной эффективности.
2. Выбор камеры орошения	- Подбор по расходу воздуха. - Учет номинального расхода (например: 20 000 м³/ч).
3. Расчет отношения Q и уточнение коэффициента эффективности	- Определение отношения фактического расхода к номинальному. - Корректировка коэффициента адиабатной эффективности (например: $E_a = 0,86$).

4. Определение расхода воды и давления	По таблице для выбранного коэффициента эффективности определяется: расход орошающей воды (G_w) и давление перед форсунками (P_ϕ)
5. Расчет напора насоса	- Учитываются потери в системе. - Высота подъема воды. - Суммарный напор (в примере: $H = 17,8$ м при $E_a = 0,85$).
6. Расчет мощности насоса	- Учитывается КПД насоса. - Определяется потребляемая мощность. - Выбирается ближайшее стандартное значение мощности.
7. Построение процесса на I-d-диаграмме	- Определение параметров воздуха после обработки. - Уточнение температуры воздуха. - При необходимости корректировка расчета с другим коэффициентом эффективности.
8. Корректировка параметров (при изменении E_a)	- Пересчет расхода воды. - Корректировка давления и напора. - Уточнение мощности насоса. - Повторное построение на I-d-диаграмме.

Тема 6. Процессы обработки воздуха для системы кондиционирования с одной рециркуляцией в ТП года

Теория: повторить и углубить знания, полученные на курсе, сконцентрировавшись на особенностях работы системы с одной рециркуляцией в теплый период года. Уделить внимание роли рециркуляции в снижении энергопотребления и поддержании комфортных условий.

Методика: определить параметры наружного и внутреннего воздуха, а также требуемые параметры приточного воздуха. Определить коэффициент рециркуляции. Рассчитать параметры смеси наружного и рециркуляционного воздуха. Определить необходимую степень охлаждения и осушения воздуха в воздухоохладителе. Построить процесс на I-d диаграмме, отражая все этапы обработки воздуха. Особое внимание уделить построению точки смешения.

Примеры: рассмотреть примеры построения процессов для различных климатических условий и нагрузок.

Задачи: решить задачи на определение оптимального коэффициента рециркуляции и расчет параметров оборудования.

Ресурсы: учебники по кондиционированию, научные статьи, примеры проектов.

Дополнительная информация про процессы обработки воздуха для системы кондиционирования с одной рециркуляцией в теплый период года представлена в таблице 5.7.

**Процессы обработки воздуха для системы кондиционирования с одной рециркуляцией
в теплый период года**

Процесс обработки воздуха	Описание	Преимущества	Недостатки	Применение
Фильтрация	Удаление пыли, грязи, пыльцы и других твердых частиц из воздуха с помощью фильтров различной степени очистки.	Улучшение качества воздуха, защита оборудования от загрязнения, снижение риска аллергических реакций.	Требуется регулярной замены или очистки фильтров, может увеличивать сопротивление воздушному потоку.	Все СКВ
Охлаждение	Снижение температуры воздуха с помощью испарителя холодильной машины или другого охладителя.	Обеспечение комфортной температуры в помещении, удаление избыточного тепла.	Требуется энергозатрат, может приводить к конденсации влаги.	Все СКВ в теплый период.
Осушение	Удаление избыточной влаги из воздуха с помощью осушителя (например, холодильного типа или адсорбционного).	Предотвращение образования плесени и грибка, повышение комфорта, снижение нагрузки на систему охлаждения.	Требуется энергозатрат, может приводить к пересушиванию воздуха.	В помещениях с повышенной влажностью (бассейны, кухни, прачечные), в регионах с влажным климатом.

Нагрев (редко)	Повышение температуры воздуха с помощью нагревателя	Может потребоваться для поддержания комфортной температуры при низкой температуре наружного воздуха, например, в начале или конце теплого периода.	Требует энергозатрат.	В системах, где требуется точное поддержание температуры.
Увлажнение (редко)	Добавление влаги в воздух с помощью увлажнителя	Может потребоваться для поддержания комфортной влажности, особенно если воздух слишком сухой после осушения.	Требует контроля, может способствовать распространению бактерий.	В помещениях с низкой влажностью, например, в музеях или библиотеках.
Рециркуляция	Подмес части воздуха из помещения к наружному воздуху для снижения нагрузки на систему обработки воздуха.	Снижение энергозатрат, уменьшение необходимой мощности оборудования.	Может ухудшать качество воздуха в помещении, если система вентиляции не обеспечивает достаточный приток свежего воздуха.	Большинство СКВ с целью экономии энергии.
Смешение	Смешивание наружного воздуха и рециркуляционного воздуха.	Оптимизация параметров входящего воздуха, балансировка температуры и влажности.	Требует точного контроля пропорций смешивания.	Все СКВ с рециркуляцией.

Тема 7. Процессы обработки воздуха для системы кондиционирования с одной рециркуляцией в ХП года

Теория: повторить и углубить знания о работе системы с одной рециркуляцией в холодный период года.

Методика: определить параметры наружного и внутреннего воздуха, а также требуемые параметры приточного воздуха. Определить коэффициент рециркуляции. Рассчитать параметры смеси наружного и рециркуляционного воздуха. Определить необходимую степень нагрева воздуха в воздухонагревателе. Определить необходимость увлажнения воздуха и, при необходимости, рассчитать необходимое количество влаги. Построить процесс на I-d-диаграмме, отражая все этапы обработки воздуха.

Примеры: рассмотреть примеры построения процессов для различных климатических условий и нагрузок.

Задачи: решить задачи на определение оптимального коэффициента рециркуляции и расчет параметров оборудования.

Ресурсы: учебники по кондиционированию, научные статьи, примеры проектов.

Дополнительная информация про процессы обработки воздуха для системы кондиционирования с одной рециркуляцией в холодный период года представлена в таблице 5.8.

Таблица 5.8

Процессы обработки воздуха для системы кондиционирования с одной рециркуляцией в холодный период года

Этап процесса	Описание	Цель этапа	Что происходит с воздухом	Зависимость от внешних условий
1. Забор наружного воздуха	Воздух забирается с улицы через воздухозаборник.	Обеспечение притока свежего воздуха в помещение.	Изменение параметров в зависимости от температуры и влажности наружного воздуха.	Критически зависит от температуры и влажности наружного воздуха. Чем холоднее и суше воздух, тем больше требуется его обработка.

2. Смешение наружного и рециркуляционного воздуха	Наружный воздух смешивается с частью воздуха, выходящего из помещения (рециркуляционным).	Снижение затрат на обработку воздуха, использование тепла отработанного воздуха.	Температура и влажность смеси находятся между параметрами наружного и рециркуляционного воздуха, пропорционально их соотношению.	Зависит от соотношения наружного и рециркуляционного воздуха, а также их параметров.
3. Фильтрация	Воздух проходит через фильтры (грубой и тонкой очистки).	Удаление пыли, грязи и других загрязнений из воздуха.	Очищение от механических примесей. Температура и влажность практически не меняются.	Зависит от загрязненности наружного и рециркуляционного воздуха.
4. Подогрев	Воздух нагревается в калорифере.	Доведение температуры воздуха до требуемого значения.	Повышение температуры, влагосодержание практически не меняется.	Зависит от требуемой температуры воздуха на выходе и температуры воздуха после смешения и фильтрации.
5. Увлажнение <i>при необходимости</i>	Воздух увлажняется в увлажнителе (паровом, форсуночном и т.д.).	Доведение влажности воздуха до комфортного уровня.	Повышение влагосодержания и, как правило, незначительное снижение температуры.	Зависит от требуемой влажности воздуха и влажности воздуха после подогрева.
6. Подача в помещение	Подготовленный воздух подается в обслуживаемые помещения через воздуховоды и распределители.	Обеспечение комфортных условий в помещении.	Температура и влажность могут незначительно меняться из-за теплопритоков и влаговывделений в помещении.	Зависит от теплопритоков и влаговывделений в помещении.

7. Рециркуляция	Часть отработанного воздуха из помещения возвращается в систему для смешения с наружным воздухом.	Снижение затрат на обработку воздуха.	Параметры воздуха зависят от процессов, происходящих в помещении (тепло-влажновыделения)	Зависит от процессов в помещении и доли рециркуляционного воздуха.
--------------------	---	---------------------------------------	--	--

Тема 8. Процессы обработки воздуха для приточной системы кондиционирования в ТП года

Теория: изучить особенности приточных систем кондиционирования. Понимание простоты конструкции и повышенных требований к энергоэффективности.

Методика: определить параметры наружного и требуемого приточного воздуха. Рассчитать необходимую степень охлаждения и осушения воздуха в воздухоохладителе. Построить процесс на I-d-диаграмме. Процесс будет заключаться в прямой линии от параметров наружного воздуха до параметров приточного воздуха.

Примеры: рассмотреть примеры применения приточных систем в различных зданиях.

Задачи: решить задачи на расчет холодильной мощности и подбор оборудования.

Ресурсы: учебники по кондиционированию, научные статьи, примеры проектов.

Тема 9. Процессы обработки воздуха для приточной системы кондиционирования в ХП года

Теория: изучить особенности приточных систем кондиционирования в холодный период года.

Методика: определить параметры наружного и требуемого приточного воздуха. Рассчитать необходимую степень нагрева воздуха в воздухонагревателе. Определить необходимость увлажнения воздуха и, при необходимости, рассчитайте необходимое количество влаги. Построить процесс на I-d-диаграмме.

Примеры: рассмотреть примеры применения приточных систем в различных зданиях.

Задачи: решить задачи на расчет мощности нагревателя и увлажнителя, а также подбор оборудования.

Ресурсы: учебники по кондиционированию, научные статьи, примеры проектов.

Дополнительная информация про процессы обработки воздуха для приточной СКВ в ТП и ХП представлена в таблице 5.9.

Прямоточная СКВ

Аспект	Описание
Ключевая особенность	Прямоточные системы кондиционирования воздуха, несмотря на свою кажущуюся простоту, играют важную роль в обеспечении комфортных условий в зданиях различного назначения. Их ключевая особенность заключается в использовании только наружного воздуха, который, проходя через систему обработки, подается непосредственно в помещение. Отсутствие рециркуляции делает их незаменимыми в тех случаях, когда требуется высокий уровень гигиены и предотвращение распространения загрязнений, например, в медицинских учреждениях или лабораториях.
Процесс проектирования	Процесс проектирования прямоточной системы начинается с тщательного анализа климатических условий и определения параметров наружного воздуха. Важно учитывать сезонные колебания температуры и влажности, а также наличие загрязнений в атмосфере. На основе этих данных, а также требований к микроклимату в помещении, рассчитывается необходимая степень обработки воздуха, включающая в себя охлаждение, осушение, нагрев и фильтрацию.
Графический метод	Одним из ключевых этапов является построение процесса обработки воздуха на I-d-диаграмме. Этот графический метод позволяет визуализировать изменение состояния воздуха в процессе обработки и определить требуемые параметры оборудования, такие как холодильная мощность воздухоохладителя или производительность увлажнителя. Прямая линия на диаграмме отражает прямолинейный процесс изменения состояния воздуха от наружного до приточного.
Выбор оборудования	Выбор оборудования для прямоточной системы кондиционирования должен основываться на расчетах холодильной мощности и производительности, а также на требованиях к энергоэффективности и надежности. Важно учитывать, что прямоточные системы, в отличие от рециркуляционных, требуют больше энергии для обработки воздуха, поэтому необходимо стремиться к оптимизации параметров и использованию энергосберегающих технологий.

Тема 10. Подбор и расчет форсуночной камеры

Теория: углубить знания о форсуночных камерах, их типах и принципах работы. Изучить факторы, влияющие на эффективность увлажнения.

Методика: определить расход воздуха, параметры воздуха на входе и выходе. Рассчитать необходимое количество воды для увлажнения. Определить размеры камеры, обеспечивающие достаточную площадь контакта воздуха и воды. Рассчитать потери давления в камере.

Примеры: рассмотреть примеры расчета и подбора форсуночных камер для различных систем кондиционирования.

Задачи: решить задачи на расчет параметров форсуночной камеры по заданным условиям.

Ресурсы: каталоги производителей форсунок, учебники по кондиционированию, научные статьи.

Тема 11. Подбор и расчет воздухонагревателей

Теория: повторить и углубить знания о различных типах воздухонагревателей (водяные, электрические, паровые), их характеристиках и особенностях применения.

Методика: определить расход воздуха и перепад температур воздуха, который необходимо обеспечить. Рассчитать тепловую мощность воздухонагревателя. Выбрать тип воздухонагревателя в зависимости от доступности теплоносителя и экономических соображений. По каталогам производителей подобрать воздухонагреватель с необходимой тепловой мощностью и аэродинамическим сопротивлением. Проверить соответствие выбранного воздухонагревателя условиям эксплуатации (температура и давление теплоносителя).

Примеры: рассмотреть примеры подбора воздухонагревателей для различных типов систем.

Задачи: решить задачи на подбор воздухонагревателя и расчет его параметров.

Ресурсы: каталоги производителей, учебники по кондиционированию, научные статьи.

Тема 12. Подбор и расчет воздухоохладителей

Теория: изучить различные типы воздухоохладителей (непосредственного охлаждения, с промежуточным теплоносителем), их характеристики и особенности применения. Обратить внимание на вопросы удаления конденсата и предотвращения обмерзания.

Методика: определить расход воздуха и параметры воздуха на входе и выходе. Рассчитать холодопроизводительность воздухоохладителя. Выбрать тип воздухоохладителя в зависимости от типа хладагента и температурного режима. По каталогам производителей подобрать воздухоохладитель с необходимой холодопроизводительностью и аэродинамическим сопротивлением. Рассчитать гидравлическое сопротивление воздухоохладителя и подобрать насос (для систем с промежуточным теплоносителем). Определить необходимость применения защиты от обмерзания.

Примеры: рассмотреть примеры подбора воздухоохладителей для различных систем.

Задачи: решить задачи на подбор воздухоохладителя и расчет его параметров.

Ресурсы: каталоги производителей, учебники по кондиционированию, научные статьи.

Тема 13. Подбор вентиляционного агрегата

Теория: изучить различные типы вентиляционных агрегатов (приточные, вытяжные, приточно-вытяжные), их конструктивные особенности и характеристики. Особое внимание уделить выбору вентилятора и системы автоматики.

Методика: определить требуемый расход воздуха. Рассчитать общее аэродинамическое сопротивление сети воздуховодов. По каталогам производителей подобрать вентиляционный

агрегат с необходимой производительностью и напором. Выбрать тип вентилятора (радиальный, осевой) в зависимости от требуемого напора и уровня шума. Выбрать систему автоматики для управления вентиляционным агрегатом (регулирование расхода воздуха, температуры, влажности).

Примеры: рассмотреть примеры подбора вентиляционных агрегатов для различных типов зданий.

Задачи: решить задачи на подбор вентиляционного агрегата по заданным параметрам.

Ресурсы: каталоги производителей, учебники по вентиляции и кондиционированию, научные статьи.

Тема 14. Подбор и расчет продолжительности работы воздушного фильтра

Теория: изучить различные типы воздушных фильтров (механические, электростатические, адсорбционные), их характеристики и особенности применения. Изучить факторы, влияющие на загрязнение фильтров и необходимость их замены.

Методика: определить тип загрязнений, присутствующих в воздухе. Выбрать тип фильтра в зависимости от вида загрязнений и требуемой степени очистки. Определить расход воздуха, проходящего через фильтр. По каталогам производителей определить начальное и конечное аэродинамическое сопротивление фильтра. Определить концентрацию загрязнений в воздухе. Рассчитать продолжительность работы фильтра до достижения конечного аэродинамического сопротивления.

Примеры: рассмотреть примеры подбора фильтров и расчета продолжительности их работы.

Задачи: решить задачи на подбор фильтра и расчет продолжительности его работы.

Ресурсы: каталоги производителей, учебники по вентиляции и кондиционированию, научные статьи.

Тема 15. Подбор воздушного клапана

Теория: изучить различные типы воздушных клапанов (дрессельные, регулирующие, обратные), их конструктивные особенности и характеристики. Особое внимание уделить выбору клапана в зависимости от его назначения и условий эксплуатации.

Методика: определить расход воздуха, проходящего через клапан. Определить требуемое перекрытие клапана (для регулирующих клапанов). Определить давление в системе воздухопроводов. По каталогам производителей подобрать клапан с необходимой пропускной способностью и напором. Выбрать тип привода клапана (ручной, электрический, пневматический).

Примеры: рассмотреть примеры подбора воздушных клапанов для различных систем вентиляции и кондиционирования.

Задачи: решить задачи на подбор воздушного клапана по заданным параметрам.

Ресурсы: каталоги производителей, учебники по вентиляции и кондиционированию, научные статьи.

Тема 16. Подбор вспомогательного оборудования

Теория: изучить различные типы вспомогательного оборудования, используемого в системах кондиционирования воздуха (насосы, расширительные баки, предохранительные клапаны, контрольно-измерительные приборы), их назначение и особенности применения.

Методика: подбор вспомогательного оборудования осуществляется на основе расчетов, выполненных при проектировании системы кондиционирования.

- Насосы: подбор насоса осуществляется на основе рассчитанного расхода теплоносителя и гидравлического сопротивления системы.
- Расширительные баки: подбор расширительного бака осуществляется на основе объема теплоносителя в системе и допустимого изменения давления.
- Предохранительные клапаны: подбор предохранительного клапана осуществляется на основе максимально допустимого давления в системе.
- Контрольно-измерительные приборы: подбор приборов осуществляется на основе контролируемых параметров и требуемой точности измерений.

Примеры: рассмотреть примеры подбора вспомогательного оборудования для различных систем.

Задачи: решить задачи на подбор вспомогательного оборудования.

Ресурсы: каталоги производителей, учебники по вентиляции и кондиционированию, научные статьи.

Тема 17. Компоновка центральных кондиционеров

Теория: изучить различные варианты компоновки центральных кондиционеров (горизонтальная, вертикальная, модульная), их преимущества и недостатки. Особое внимание уделить расположению оборудования и обеспечению доступа для обслуживания.

Методика: определить состав оборудования, необходимого для реализации заданного процесса обработки воздуха. Выбрать тип компоновки в зависимости от размеров помещения и требований к обслуживанию. Расположить оборудование в соответствии с технологической схемой и с учетом требований к доступу для обслуживания. Разработать чертеж компоновки центрального кондиционера.

Примеры: рассмотреть примеры компоновки центральных кондиционеров для различных типов зданий.

Задачи: разработать компоновку центрального кондиционера по заданным условиям.

Ресурсы: учебники по вентиляции и кондиционированию, справочники проектировщика, научные статьи, примеры проектов.

Тема 18. Прямоточная СКВ с паровым увлажнением

Теория: изучить особенности прямоточных СКВ с паровым увлажнением, включая преимущества и недостатки данной схемы. Уделить внимание вопросам гигиены и безопасности при использовании пара.

Методика: определить параметры наружного и требуемого приточного воздуха. Рассчитать необходимую степень нагрева воздуха в воздухонагревателе (в ХП года). Рассчитать необходимое количество пара для увлажнения воздуха. Разработать схему управления системой. Построить процесс на I-d диаграмме.

Примеры: рассмотреть примеры прямоточных СКВ с паровым увлажнением.

Задачи: решить задачи на расчет параметров оборудования и разработку схемы управления.

Ресурсы: учебники по кондиционированию, каталоги производителей, научные статьи.

Тема 19. СКВ с первой рециркуляцией без второго подогрева с управляемым процессом увлажнения или с паровым увлажнением

Теория: изучить особенности СКВ с первой рециркуляцией без второго подогрева и с управляемым процессом увлажнения или с паровым увлажнением.

Методика: определить параметры наружного и внутреннего воздуха, а также требуемые параметры приточного воздуха. Определить коэффициент рециркуляции. Рассчитать параметры смеси наружного и рециркуляционного воздуха. Определить необходимую степень нагрева воздуха в воздухонагревателе. Выбрать систему увлажнения (адиабатная камера орошения или пароувлажнение) в зависимости от требований к точности поддержания влажности. Разработать систему управления увлажнением. Построить процесс на I-d диаграмме.

Примеры: рассмотреть примеры СКВ с первой рециркуляцией без второго подогрева.

Задачи: решить задачи на расчет параметров оборудования и разработку системы управления.

Ресурсы: учебники по кондиционированию, каталоги производителей увлажнителей, научные статьи.

Тема 20. Расчет и проектирование центральной СКВ

Теория: обобщить все полученные знания и навыки для комплексного расчета и проектирования центральной СКВ.

Методика: определить назначение здания и требования к микроклимату в помещениях. Выбрать схему СКВ в зависимости от типа здания, климатических условий и требований к энергоэффективности. Рассчитать тепловые нагрузки и влагопоступления в помещениях. Определить требуемый расход воздуха для обеспечения заданных параметров микроклимата. Подобрать оборудование (вентилятор, воздухонагреватель, воздухоохладитель, фильтры и т.д.). Рассчитать сеть воздуховодов.

Примеры: изучить примеры проектов центральных СКВ для различных типов зданий.

Задачи: выполнить проект центральной СКВ для заданного здания.

Ресурсы: учебники по вентиляции и кондиционированию, справочники проектировщика, нормативные документы (СП, ГОСТ), научные статьи, примеры проектов.

Список литературы

1. Абрамкина, Д.В. Проектирование систем отопления, вентиляции и кондиционирования промышленных зданий: учебно-методическое пособие / Д.В. Абрамкина, А. С. Чуленев, К.М. Агаханова. – Москва: МИСИ-МГСУ, ЭБС АСВ, 2020. – 61 с.
2. Аверкин, А. Г. I-d-диаграмма влажного воздуха и ее применение при проектировании технических устройств / А. Г. Аверкин. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 192 с.
3. Аверкин, А.Г. Примеры и задачи по курсу «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение»: учебное пособие. -2-е изд., испр. и доп – Москва: АСВ, 2007. – 126 с.
4. Белова, Е.М. Кондиционирование воздуха гражданского здания: учебно-методическое пособие: для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство / Е.М. Белова. – Москва: МИСИ- МГСУ, 2022. – 55 с.
5. Белова, Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат, 2006. – 640 с.
6. Бодров, М. В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение / М. В. Бодров, В. Ю. Кузин. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 228 с.
7. Бодров, М.В. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Правила оформления курсовых и выпускных квалификационных работ: учебное пособие / Бодров М.В., Кузин В.Ю. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2020. – 146 с.
8. Васильев, С. С. О возможности хладоснабжения от тепловой электростанции на примере Г. Якутска / С. С. Васильев, Л. М. Баишева // Международный технико-экономический журнал. – 2019. – № 6. – С. 7-17.
9. Гвоздков, А.Н. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: методические указания к курсовой работе / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т; сост. А. Н. Гвоздков. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. – 32 с.
10. ГОСТ 30494. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
11. Иванов, В. Н. Влияние параметров климата на эксплуатацию систем теплообеспечения зданий / В. Н. Иванов, А. Н. Колодезникова // Перспективы науки. – 2021. – № 11(146). – С. 90-93.
12. Казаков В.Г. Примеры расчетов систем вентиляции и кондиционирования: сборник задач / Казаков В.Г., Громова Е.Н. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2019. – 58 с.
13. Калиниченко, М. Ю. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение зданий: учебное пособие / М. Ю. Калиниченко. – Ставрополь: СКФУ, 2017. – 136 с.
14. Моргунова, М. А. Организация искусственного климата для экстремальных условий Крайнего Севера / М. А. Моргунова // Фундаментальные и прикладные научные исследования: Сборник трудов по материалам XII Международного конкурса научно-исследовательских работ, Уфа, 24 апреля 2023 года. Том Часть 2. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2023. – С. 206-221.
15. Оденбах, И.А. Кондиционирование воздуха: учебное пособие / И.А. Оденбах. – Оренбург: ОГУ, 2022. – 102 с.

16. Пыжов, В.К. Системы кондиционирования, вентиляции и отопления: учебник / В.К. Пыжов, Н.Н. Смирнов; под редакцией А.К. Соколова. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 528 с.
17. Рымаров, А. Г. Проектирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха гражданского здания: учебно-методическое пособие / А. Г. Рымаров, Д. Г. Титков. — Москва: МИСИ – МГСУ, 2019. – 47 с.
18. Свинцов, А.П. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: учебное пособие / А.П. Свинцов. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 148 с.
19. Семенов, К. Ю. Критерии системного подхода к энергосбережению в зданиях Республики Саха (Якутия) / К. Ю. Семенов, А. Н. Иванов, А. В. Иванова // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты: сборник материалов XXXIV Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 02–30 июня 2017 года. – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью «Центр развития научного сотрудничества», 2017. – С. 93-98.
20. Слободчиков, Е. Г. Состояние коммунального комплекса арктической зоны Якутии / Е. Г. Слободчиков, С. И. Мухомлев // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 6.
21. СП 50.13330. Тепловая защита зданий.
22. СП 52.13330. Естественное и искусственное освещение.
23. СП 60.13330. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
24. СП 131.13330. Строительная климатология.
25. Соломонов, М. П. Пути решения проблем автоматизации нормирования расхода тепловой энергии в Республике Саха (Якутия) / М. П. Соломонов, В. Н. Иванов, Д. В. Хохолов // Экосистемы в цифровой экономике: драйверы устойчивого развития. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – С. 160-194.
26. Угорова, С.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: курс лекций / С.В. Угорова. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. – 128 с.
27. Шамаров, М. В. Проектирование и эксплуатация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: учебное пособие / М. В. Шамаров, Ю. С. Беззаботов. – Краснодар: КубГТУ, 2021. – 199 с.
28. Щукина, Т.В. Монтажное проектирование и технология сборки систем кондиционирования микроклимата здания и сооружений: учебное пособие / Щукина Т.В. – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 180 с.
29. Средняя температура в г. Якутск. Режим доступа URL: <https://ru.weatherspark.com/y/142848/Обычная-погода-в-Якутск-Россия-весь-год>

Глоссарий

Адиабатный процесс – термодинамический процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой.

Аккумулятор холода (хладоаккумулятор) – устройство, предназначенное для накопления и хранения холода, позволяющее выравнивать пиковые нагрузки на систему кондиционирования.

Ассимиляционная способность воздуха – способность воздуха воспринимать теплоизбытки, влагоизбытки и вредные вещества, поступающие в помещение.

Байпас – обводной канал для части потока воздуха, минующий основной теплообменник (охладитель или нагреватель). Используется для регулирования температуры приточного воздуха.

Влагосодержание (d) – масса водяного пара, содержащаяся в 1 кг сухого воздуха, выраженная в г/кг.

Влажный воздух – смесь сухого воздуха и водяного пара.

Влагоизбытки – количество влаги, поступающей в помещение от людей, оборудования, технологических процессов и других источников.

Внешняя тепловая нагрузка – теплопоступления в помещение через ограждающие конструкции, окна, от солнечной радиации и инфильтрации наружного воздуха.

Внутренняя тепловая нагрузка – теплопоступления в помещение от людей, освещения, оборудования и других источников внутри помещения.

Воздухораспределитель – устройство, предназначенное для распределения приточного воздуха в помещении, обеспечивающее равномерное распределение температуры и скорости воздуха.

Градирня – устройство, предназначенное для охлаждения воды за счет испарения. Используется в системах кондиционирования с водяным охлаждением конденсатора.

I-d диаграмма (диаграмма Рамзина) – графическое представление свойств влажного воздуха, используемое для расчета процессов обработки воздуха.

Инфильтрация – проникновение наружного воздуха в помещение через неплотность в ограждающих конструкциях.

Калорифер – теплообменник, предназначенный для нагрева воздуха.

Кондиционирование воздуха – процесс автоматизированного поддержания в закрытых помещениях определенных параметров воздуха (температуры, влажности, чистоты, скорости движения) для обеспечения оптимальных условий для людей, технологических процессов или хранения материалов.

Кратность воздухообмена (n) – число, показывающее, сколько раз в течение часа воздух в помещении полностью заменяется.

Луч процесса – прямая линия на I-d диаграмме, отображающая изменение состояния влажного воздуха в процессе обработки.

Местная вытяжная вентиляция – система вентиляции, предназначенная для удаления вредных веществ непосредственно от места их образования.

Наружный воздух – воздух, поступающий в систему кондиционирования непосредственно с улицы.

Относительная влажность (φ) – отношение парциального давления водяного пара в воздухе к давлению насыщенного пара при той же температуре, выраженное в процентах.

Осушение воздуха – процесс снижения влагосодержания воздуха.

Охладитель воздуха (воздухоохладитель) – теплообменник, предназначенный для охлаждения воздуха.

Параметры внутреннего воздуха – заданные значения температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, которые необходимо поддерживать в помещении системой кондиционирования.

Параметры наружного воздуха – температура и влажность наружного воздуха, используемые для расчета системы кондиционирования.

Парциальное давление водяного пара – давление, под которым находятся водяные пары во влажном воздухе.

Прямоточная система кондиционирования – система кондиционирования, в которой весь воздух, поступающий в помещение, является наружным воздухом.

Рекуператор – это устройство, которое предназначено для передачи тепловой энергии от вытяжного выбрасываемого воздуха к приточному воздуху, подаваемому в помещение.

Рециркуляция воздуха – подача части воздуха из помещения обратно в систему кондиционирования после его обработки.

Роторный регенератор – теплообменник, в котором тепло или холод передается от вытяжного воздуха приточному с помощью вращающегося ротора, заполненного теплоаккумулирующим материалом.

Сезонные теплопотери – теплопотери, возникающие в холодное время года через ограждающие конструкции, окна и двери.

Скрытая теплота – теплота, затрачиваемая на изменение агрегатного состояния вещества (например, испарение или конденсация воды).

Смесительная камера – устройство, предназначенное для смешивания наружного и рециркуляционного воздуха.

Сухой воздух – воздух, не содержащий водяного пара.

Температура мокрого термометра (t_m) – называется температура, до которой нужно охладить воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении начальной энтальпии воздуха.

Температура по сухому термометру (t_c) – характеризует степень нагрева воздуха.

Температура точки росы (t_p) – температура, до которой нужно охладить ненасыщенный воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении постоянного влагосодержания.

Тепловой баланс помещения – соотношение между тепlopоступлениями и теплопотерями в помещении.

Теплоизбытки – количество тепла, поступающего в помещение от людей, оборудования, солнечной радиации и других источников.

Теплопотери – количество тепла, теряемого помещением через ограждающие конструкции, окна, двери и вентиляцию.

Увлажнение воздуха – процесс увеличения влагосодержания воздуха.

Удельная теплота – количество тепла, необходимое для нагрева 1 кг вещества на 1 градус Цельсия.

Фильтр – устройство, предназначенное для очистки воздуха от пыли и других загрязнений.

Энтальпия (I) – количество теплоты, содержащееся в 1 кг сухого воздуха вместе с содержащимся в нем водяным паром, выраженное в кДж/кг.

Приложение

Приложение 1

Расчетные параметры наружного воздуха по СП «Строительная климатология»

№	Наименование пункта	Геогр. широта с.ш.	Период года	Параметр А		Параметр Б	
				Темп-ра воздуха, $t_n, ^\circ\text{C}$	Удельная энтальпия, $I, \text{кДж/кг}$	Темп-ра воздуха, $t_n, ^\circ\text{C}$	Удельная энтальпия, $I, \text{кДж/кг}$
	1	2	3	4	5	6	7
1	Алдан	60	Теплый Холодный	20,1 -32	49,4 -31,8	24,8 -42	51,1 -42,2
2	Барнаул	52	Теплый Холодный	23,9 -23	-51,9 -22,2	28,3 -39	55,7 -38,9
3	Верхотурье	60	Теплый Холодный	21,3 -22	47,3 -20,9	26,1 -37	52,8 -37,2
4	Екатеринбург	56	Теплый Холодный	18,6 -43	47,7 -43,1	23,5 -51	49,4 -51,1
5	Иркутск	52	Теплый Холодный	22,7 -25	50,2 -24,3	26,9 -37	53,6 -37,1
6	Кемерово	56	Теплый Холодный	20,7 -20	48,1 -18,8	28,7 -35	51,1 -34,6
7	Киренск	56	Теплый Холодный	23,5 -34	49 -33,9	28 -49	53,2 -49,1
8	Комсомольск-на-Амуре	52	Теплый Холодный	22,8 -27	52,3 -26,8	27 -35	59,5 -34,9
9	Красноярск	56	Теплый Холодный	22,5 -22	49,4 -20,9	25,9 -40	51,9 -40,2
10	Кызыл	52	Теплый Холодный	24 -37	48,6 -36,8	29 -48	49,4 -48,1
11	Магнитогорск	52	Теплый Холодный	22,8 -22	49,4 -20,9	27,4 -34	52,3 -33,9
12	Новокузнецк	52	Теплый Холодный	24,1 -23	51,5 -22,2	27,5 -39	54,4 -38,1
13	Новосибирск	56	Теплый Холодный	22,7 -24	50,2 -23	28,4 -39	54,8 -38,9
14	Олекминск	60	Теплый Холодный	22,6 -38	51,5 -38,1	26,2 -51	55,3 -51,3
15	Омск	56	Теплый Холодный	22,4 -23	49,4 -22,2	27,7 -37	53,6 -36,8
16	Оренбург	52	Теплый Холодный	26,9 -20	51,9 -18,8	31,4 -31	54,4 -30,5
17	Павлодар	52	Теплый Холодный	23,6 -23	51,5 -22,2	31,6 -37	54 -36,8

18	Саранск	56	Теплый Холодный	23,5 -17	51,1 -15,5	27,7 -30	54,4 -29,6
19	Сковородино	52	Теплый Холодный	24 -32	52,3 -31,8	25,6 -40	58,6 -39,9
20	Сургут	60	Теплый Холодный	19,6 -28	49,4 -27,6	26,2 -43	53,2 -43,2
21	Сыктывкар	60	Теплый Холодный	20,3 -20	49 -18,8	25,7 -36	52,8 -36
22	Тара	56	Теплый Холодный	21,5 -26	50,2 -25,5	26,3 -40	53,6 -20,1
23	Томск	56	Теплый Холодный	21,7 -25	49 -24,3	25,9 -40	52,8 -40,2
24	Тюмень	56	Теплый Холодный	22,4 -21	51,5 -19,7	28 -37	55,3 -37,2
25	Хабаровск	48	Теплый Холодный	24,1 -23	60,7 -22,2	28,4 -31	65 -30,8
26	Якутск	62	Теплый Холодный	23 -43	42,6 -43,1	27 -52	52 -52,3

Приложение 2

Оптимальные параметры воздуха в общественных и административных зданиях

Помещение	Период года	Температура воздуха, $t_{вн}$, °C	Относительная влажность, ϕ , %	Скорость движения воздуха, не более, v , м/с
Читальный зал	Теплый	25	45–55	0,3
Актный зал	Холодный	20	36–45	0,2
Зрительные залы клубов, концертные залы, залы ресторанов	Теплый	23–35	50–55	0,3
	Холодный	20	40–45	0,2

Приложение 3

Количество тепла, влаги и углекислого газа CO_2 m_{CO_2} , выделяемое человеком

Параметры	Температура воздуха, $t_{вн}$, °C			
	20	25	30	35
Состояние покоя (концертные залы, залы клубов, читальные залы)				
Тепло полное, Вт	116	93	93	93
Влага, г/ч	40	50	75	115
m_{co2}	40			
Легкая работа (торговый зал, зал ресторана)				
Тепло полное, Вт	151	145	145	145

Влага, г/ч	75	115	150	200
m _{co2}	45			
*Тепло и влаговыделения от пищи на одного посетителя (вне учебной программы, доп. информация)				
Тепло полное, Вт	23,7			
Влага, г/ч	11,3			

Для женщин в расчетах вводится коэффициент $k = 0,85$, для детей – $k = 0,75$ на все выделения.

Приложение 4

Удельные выделения тепла от люминесцентных ламп

Светильник	Световой поток, %	Средние удельные выделения тепла для помещений F , м ² на 1 лк, Вт/м ² ·лк					
		$F < 50$		$F = 50-200$		$F > 200$	
		Высота помещения, м					
		> 3,6	<3,6	> 3,6	<3,6	>4,2	<4,2
Прямого света	95	0,100	0,077	0,073	0,058	0,067	0,056
Преимущественно прямого света	75	0,120	0,091	0,087	0,073	0,083	0,071

Приложение 5

Значение суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) МДж/ m^2 в июле (фрагмент из табл. 9.1. СП-131.13330.2020)

Ориентация	Географическая широта, градус с.ш.							
	40	44	48	52	56	60	64	68
С	213	214	220	220	224	244	292	378
СВ/СЗ	358	354	357	355	366	391	429	480
В/З	496	498	505	518	535	558	587	621
ЮВ/ЮЗ	461	480	504	532	564	601	642	687
Ю	361	388	421	460	506	559	618	684

Приложение 6

Значения $gradt$, °С /м (*меньшие значения принимают для ХП, большие – для ТП)

Удельные избытки тепла q , Вт/ m^3	Помещения	
	Концертные, актовые и читальные залы	Залы клубов
23,6-46,52	-	0,8
до 23,6	-	0,7
менее 23,6	0,8-1,5	-
11,6-23,6	0,3-1,2	-
менее 11,6	0,0-0,5	-

Количество явного тепла, q , Вт

Параметр	Температура воздуха в помещении, $t_{в}$, °C			
	20	25	30	35
Состояние покоя				
Явное тепло	87	58	40	16
Легкая работа				
Явное тепло	99	64	40	8

ПРИМЕРЫ ВАРИАНТОВ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

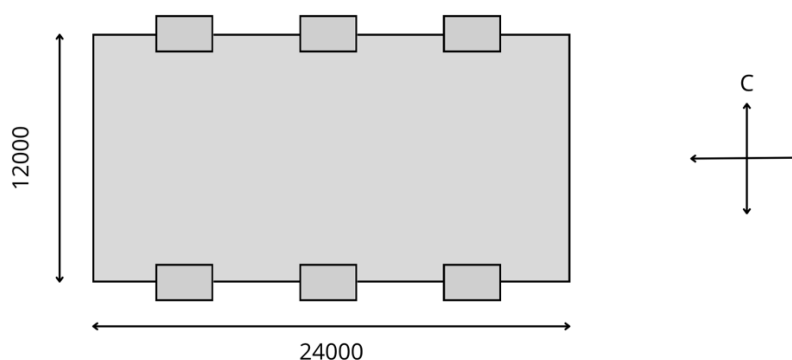
ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РГР

по дисциплине «Кондиционирование воздуха»

Вариант 1

Исходные данные

1. Район строительства: *Алдан*
2. Тип помещения: *актовый зал*
3. Конструкция оконных проемов: *двойное остекление в спаренных переплетах*
4. Положение по отношению к сторонам света: *С*
5. Высота помещения: *4,3 м*
6. Продолжительность рабочего дня: *10–22 ч*
7. Освещенность: *200 лк*
8. Размеры оконных проемов: *3000х3000 мм*
9. Количество людей: *220 чел., состав М – 50%, Ж – 50%*



ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РГР

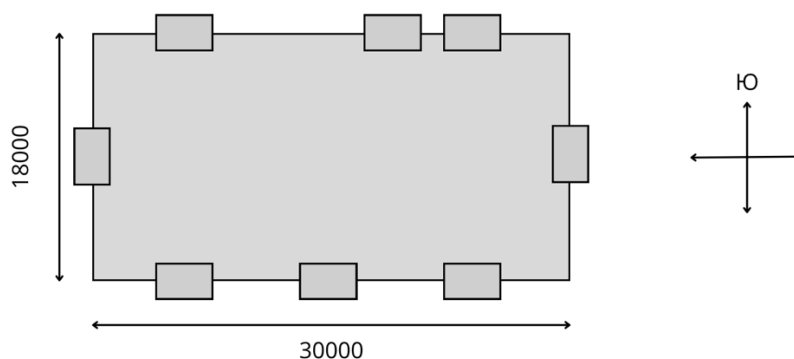
по дисциплине «Кондиционирование воздуха»

Вариант 2

Исходные данные

1. Район строительства: *Барнаул*
2. Тип помещения: *читальный зал*
3. Конструкция оконных проемов: *тройное остекление в металлических переплетах*
4. Положение по отношению к сторонам света: *Ю*

5. Высота помещения: 3,2 м
6. Продолжительность рабочего дня: 10–20 ч
7. Освещенность: 300 лк
8. Размеры оконных проемов: 2000х2500 мм
9. Количество людей: 120 чел., состав М – 35%, Ж – 65%



Приложение 9

Вопросы для самоконтроля и подготовки к зачету/защите РГР

Цель: подготовка студентов к успешной сдаче зачета и защите расчетно-графических работ по дисциплине «Кондиционирование воздуха».

Общие рекомендации:

Теоретическая база: тщательно изучить теоретический материал, касающийся термодинамики влажного воздуха, процессов кондиционирования, оборудования систем кондиционирования.

Практические навыки: уметь грамотно использовать I-d-диаграмму для определения параметров влажного воздуха, анализа и визуализации процессов обработки воздуха.

Логика и обоснование: при ответах на вопросы демонстрировать логику рассуждений, уметь обосновывать свои решения и приводить примеры из практики.

Примеры и иллюстрации: подкреплять свои ответы примерами из реальных систем кондиционирования и собственными расчетами.

Основы термодинамики влажного воздуха и I-d-диаграмма

Определения. Дать определения следующим понятиям:

- ✓ Влажный воздух.
- ✓ Сухой воздух.
- ✓ Парциальное давление водяного пара.
- ✓ Абсолютная влажность.
- ✓ Относительная влажность.
- ✓ Энтальпия влажного воздуха.
- ✓ Температура точки росы.
- ✓ Температура мокрого термометра.
- ✓ Влажосодержание.

I-d-диаграмма: описать структуру I-d-диаграммы и назначение каждой оси координат и линий постоянных значений. Как определить параметры влажного воздуха, имея на I-d-диаграмме:

- Температуру и относительную влажность?
- Температуру и влагосодержание?
- Энтальпию и температуру?

Связь между параметрами: описать математические зависимости между основными параметрами влажного воздуха (абсолютная влажность, относительная влажность, температура, парциальное давление водяного пара).

Практический пример: как изменяется состояние влажного воздуха при нагревании без изменения влагосодержания? Показать это на I-d-диаграмме.

Процессы обработки воздуха (на I-d-диаграмме)

Основные процессы: описать основные процессы обработки воздуха, используемые в системах кондиционирования:

- ✓ Нагревание.
- ✓ Охлаждение.
- ✓ Увлажнение (адиабатическое и изотермическое).
- ✓ Осушение (с охлаждением и адсорбционное).

Схема на I-d-диаграмме: как построить каждый из перечисленных процессов на I-d-диаграмме? Объяснить, как изменяются параметры влажного воздуха в каждом процессе.

Смешение воздушных потоков: объяснить принцип смешения двух воздушных потоков разного состояния. Как определить параметры смеси на I-d-диаграмме? Привести формулы для расчета параметров смеси.

Адиабатическое увлажнение: описать процесс адиабатического увлажнения (увлажнение водой). Почему температура воздуха снижается при адиабатическом увлажнении? Показать этот процесс на I-d-диаграмме.

Практический пример: изобразить на I-d-диаграмме процесс охлаждения и осушения воздуха. Обосновать выбор конечной точки процесса, если необходимо получить воздух с заданной температурой и влажностью.

Оборудование и системы кондиционирования воздуха

Основные элементы: перечислить основные элементы системы кондиционирования воздуха и их функции (воздухосборник, фильтры, калорифер, охладитель, увлажнитель, вентилятор, воздухораспределители, система автоматики).

Типы увлажнителей: описать различные типы увлажнителей, используемых в системах кондиционирования (паровые, форсуночные, пленочные). Укажите их преимущества и недостатки.

Типы охладителей: описать различные типы охладителей, используемых в системах кондиционирования (поверхностные, оросительные). Укажите их преимущества и недостатки.

Системы кондиционирования: описать различные типы систем кондиционирования воздуха:

- ✓ Местные системы.

- ✓ Центральные системы.
- ✓ Сплит-системы.
- ✓ VRF-системы.

Практический пример: описать схему центральной системы кондиционирования с рециркуляцией воздуха. Объяснить, зачем используется рециркуляция. Показать процесс обработки воздуха на I-d-диаграмме.

Расчеты систем кондиционирования и применение I-d-диаграммы

Тепловая нагрузка: объяснить, как определяется тепловая нагрузка на систему кондиционирования воздуха (явное тепло, скрытое тепло).

Расход воздуха: как определить необходимый расход воздуха для обеспечения заданных климатических параметров в помещении?

Расчет процессов на I-d-диаграмме: показать, как с помощью I-d-диаграммы можно определить:

- Количество тепла, необходимое для нагрева воздуха.
- Количество холода, необходимое для охлаждения воздуха.
- Количество влаги, необходимое для увлажнения воздуха.
- Количество влаги, удаляемое при осушении воздуха.

Выбор оборудования: описать основные критерии выбора оборудования для системы кондиционирования (тепловая мощность, расход воздуха, эффективность, надежность, стоимость).

Практический пример: есть помещение с известной тепловой нагрузкой и заданными параметрами внутреннего воздуха. Необходимо обеспечить требуемые параметры, используя систему кондиционирования с охлаждением и последующим нагревом. Описать этапы расчета системы с использованием I-d-диаграммы.

Вопросы к защите РГР:

При подготовке к защите РГР необходимо обратить особое внимание на следующие вопросы:

- Обоснование выбора схемы системы кондиционирования.
- Обоснование выбора оборудования (с указанием характеристик оборудования и ссылками на каталоги производителей).
- Расчет тепловой нагрузки (с обоснованием всех используемых коэффициентов и параметров).
- Подробное описание процесса обработки воздуха на I-d-диаграмме (с указанием всех промежуточных точек и значений параметров влажного воздуха).
- Анализ полученных результатов и выводы.
- Оценка энергоэффективности СКВ.

**Баишева Лидия Михайловна
Иванов Виктор Наумович
Иванова Анастасия Викторовна**

Кондиционирование воздуха общественного здания

Учебное пособие издано в авторской редакции

Сетевое издание

Ответственный за выпуск – Алимova Н.К.

Учебное издание

Системные требования:

операционная система Windows XP или новее, macOS 10.12 или новее, Linux.

Программное обеспечение для чтения файлов PDF.

Объем данных 6 Мб

Принято к публикации «17» марта 2025 года

Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/10MNNPU25.pdf> свободный. – Загл. с экрана. –
Яз. рус., англ.

ООО «Издательство «Мир науки»

«Publishing company «World of science», LLC

Адрес:

Юридический адрес — 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

Почтовый адрес — 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

<https://izd-mn.com/>

**ДАННОЕ ИЗДАНИЕ ПРЕДНАЗНАЧЕНО ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ НА
ЭЛЕКТРОННЫХ НОСИТЕЛЯХ**