

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»  
Факультет инженерных систем и экологии  
Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции

СОГЛАСОВАНО

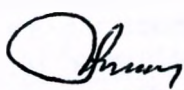
Заведующий кафедрой

 В.Г.Новосельцев

« 28 » 12 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

 О.П.Мешик

« 28 » 12 2022 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
«КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА И  
ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ»**

для специальности: 1 - 70 04 02 Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана  
воздушного бассейна

Составитель: Янчилин Павел Фёдорович – старший преподаватель кафедры  
теплогазоснабжения и вентиляции, магистр технических наук

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического Совета  
протокол № 3 от 19.11.2022.

*расс. и утвержд. 19/11/22 - В.А.*

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### **Актуальность изучения дисциплины**

Дисциплина «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» является основой профессиональной подготовки специалистов по специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».

Основной задачей изучения дисциплины являются подготовка специалистов, усвоивших устройство и теоретические основы функционирования систем кондиционирования воздуха (СКВ) — современных технологий, позволяющих в автоматическом режиме создать в закрытых помещениях оптимальные параметры воздушной среды (температуру, влажность, чистоту, состав, скорость движения) для деятельности людей и при реализации технологических процессов. Умение вести подбор и применение СКВ и их элементов в практической деятельности и пользоваться современными программными комплексами с целью проектирования надёжных и экономичных систем. Полученные знания будут полезны при подготовке коммерческого предложения, проектировании СКВ и подборе оборудования, монтаже и техническом обслуживании объектов. Они помогут избежать ошибок при проектировании, учесть все требования и особенности объекта.

ЭУМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 26 июля 2011 г., № 167, и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» для специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна». ЭУМК разработан в полном соответствии с утвержденной учебной программой по учебной дисциплине компонента учреждения высшего образования «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение».

### **Цели ЭУМК:**

- обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;
- обеспечение открытости и доступности образовательных ресурсов путем размещения ЭУМК в локальной сети университета;
- организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Структура электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение»:

**Теоретический раздел** ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектом лекций.

**Практический раздел** ЭУМК содержит материалы для проведения практических занятий в виде методических указаний для выполнения курсового проекта и лабораторных учебных занятий в виде лабораторного практикума.

**Раздел контроля знаний** ЭУМК содержит примерный перечень вопросов, выносимых на зачет и экзамены, позволяющих определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего.

**Вспомогательный раздел** включает учебные программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение», список основной и дополнительной литературы.

#### **Рекомендации по организации работы с ЭУМК:**

– лекции проводятся с использованием представленных в ЭУМК теоретических материалов, часть материала представляется с использованием персонального компьютера и мультимедийного проектора; при подготовке к зачету и экзаменам, выполнению и защите курсовых проектов студенты могут использовать конспект лекций;

– практические занятия и курсовое проектирование проводятся с использованием представленных в ЭУМК методических указаний, а так же необходимых нормативных и справочных материалов, отмеченных во вспомогательном разделе ЭУМК;

– при подготовке к экзамену, выполнению и защите лабораторных работ студенты могут использовать конспект лекций, техническую, основную и вспомогательную литературу;

– лабораторные занятия проводятся с использованием, представленных в ЭУМК, методических материалов лабораторного практикума;

– зачет и экзамены проводятся как в письменной, так и устной форме, вопросы для зачета и экзаменов приведены в разделе контроля знаний.

ЭУМК способствует успешному усвоению студентами учебного материала, дает возможность планировать и осуществлять самостоятельную работу студентов, обеспечивает рациональное распределение учебного времени по темам учебной дисциплины и совершенствование методики проведения занятий.

## **ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ В КОМПЛЕКСЕ**

Электронный учебно-методический комплекс содержит:

### **1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

1.1 Конспект лекций по дисциплине «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение»

### **2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

2.1 Методические указания для выполнения курсового проекта по дисциплине «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение»

2.2 Лабораторный практикум

### **3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ**

3.1 Вопросы к итоговому контролю знаний

3.2 Задачи

### **4. ВСПОМАГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ**

4.1 Учебная программа дисциплины «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» для студентов специальности 1-70 04 02 – «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Общие сведения.....	7
История развития кондиционирования воздуха.....	8
1.1 История развития техники кондиционирования воздуха.....	8
1.2 Развитие отечественной индустрии кондиционирования воздуха.....	9
1.3 Разработка теоретических основ кондиционирования воздуха .....	10
1.4 Совершенствование схемных решений систем кондиционирования воздуха.....	10
Требования к системам кондиционирования воздуха .....	13
Классификация систем кондиционирования воздуха.....	18
3.1 Возможности современных кондиционеров.....	22
Основные параметры влажного воздуха .....	23
4.1 Плотность .....	24
4.2 Теплємкость .....	24
4.3 Температура .....	25
4.4 Влагосодержание.....	25
4.5 Парциальное давление водяного пара.....	25
4.6 Относительная влажность .....	26
4.7 Энтальпия (теплосодержание) .....	26
4.8 Температура точки росы.....	27
4.9 Температура по мокрому термометру.....	27
4.10 I-d диаграмма влажного воздуха.....	28
4.11 Определение параметров влажного воздуха на I-d диаграмме.....	29
Построение процессов обработки воздуха в I-d диаграмме.....	30
5.1 Угловой коэффициент луча процесса .....	30
5.2 Процессы нагрева и охлаждения воздуха и их отображение на I-d .....	31
а) Чистый нагрев.....	31
в) Охлаждение с конденсацией водяных паров .....	32
5.3 Процесс адиабатического охлаждения воздуха и его отображение на I-d диаграмме.....	32
5.4 Процесс увлажнения воздуха паром и его отображение на I-d диаграмме .....	33
5.5 Осушение воздуха. Обработка воздуха сорбентами.....	34
5.6 Смешивание влажного воздуха.....	35
Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха.....	38
6.1 Расчетные параметры наружного воздуха.....	38
6.2 Расчетные параметры внутреннего воздуха .....	40
Принцип работы кондиционера. Сплит-системы.....	44
7.1 Принцип работы кондиционера .....	44
7.2 Сплит-системы.....	48
7.3 Конструкция типовой сплит-системы настенного типа.....	49
Применение рециркуляции воздуха в СКВ .....	52
8.1 Схемы рециркуляции .....	54

Центральные системы кондиционирования воздуха .....	58
9.1 Кондиционеры для центральных СКВ .....	62
9.2 Крышные кондиционеры (roof-top) и особенности их применения .....	64
Газовый нагрев.....	66
9.3 Центральные СКВ на базе чиллера и фанкойлов. ....	67
Преимущества центральных СКВ.....	69
Недостатки центральных СКВ. ....	69
Многозональные СКВ. VRF-системы .....	69
10.1 VRF системы.....	70
10.2 Подбор оборудования СКВ .....	71
10.3 Настенные внутренние блоки .....	72
10.4 Кассетные внутренние блоки.....	73
10.5 Канальные внутренние блоки .....	74
Определение основных вредных выделений в помещениях .....	76
11.1 Основные виды вредностей и их влияние на самочувствие чело- .....	76
11.2 Расчет поступления вредностей от людей.....	78
11.3 Расчет тепlopоступлений в помещения жилых и общественныхзданий	80
11.4 Расчет тепlopоступлений от людей .....	80
11.5 Тепlopоступления от источников искусственного освещения .....	82
11.6 Тепlopоступления от солнечной радиации через окна .....	83
11.7 Тепlopоступления от солнечной радиации через покрытие .....	84
Тепловой баланс помещения. Определение мощностикондиционера .....	86
12.1 Тепловой баланс помещения.....	86
12.2 Теплопритоки от солнечной радиации.....	88
12.3 Теплопритоки от оборудования.....	88
12.5 Расчет влаговыведений в помещении .....	89
Очистка воздуха в СКВ. Фильтры СКВ.....	90
Холодоснабжение СКВ.....	96
Утилизация тепла вытяжного воздуха в СКВ .....	96
14.1 Хладагенты СКВ.....	99
14.2 Утилизация тепла вытяжного воздуха в СКВ .....	101
Установка и эксплуатация оборудования СКВ.....	102
15.1 Порядок установки и монтажа .....	102
15.2 Схема установки системы кондиционирования воздуха .....	105
15.3 Основные потребительские функции кондиционера .....	106
Уровень шума кондиционера .....	108
15.4 Эксплуатация СКВ и защита кондиционера .....	109

## Общие сведения

Кондиционирование воздуха — это автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) на определённом уровне с целью обеспечения главным образом оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, обеспечения сохранности ценностей культуры.

Здоровье, работоспособность, да и просто самочувствие человека в значительной степени определяются условиями микроклимата и воздушной среды в помещениях. Современные автоматизированные системы кондиционирования воздуха поддерживают заданные параметры воздуха в помещении независимо от колебаний параметров окружающей среды. Кондиционирование воздуха осуществляется комплексом технических средств, называемых системой кондиционирования воздуха (СКВ).

Системы кондиционирования снабжаются средствами для очистки воздуха от пыли, бактерий и запахов; подогрева, увлажнения и осушения его; перемещения, распределения и автоматического регулирования температуры воздуха, его относительной влажности, а иногда и средствами регулирования газового состава и содержания заряженных ионов в воздухе; а также - средствами дистанционного управления и контроля. Системы кондиционирования больших общественных зданий обслуживаются комплексными автоматизированными системами управления.

С учетом возрастающих цен на энергоносители, кондиционирование воздуха летом и отопление помещений зимой требует внедрения новых инновационных технологий. Применение в кондиционировании тепловых насосов обеспечивает оптимальный комфорт круглый год и легкость переключения с режима отопления на режим кондиционирования воздуха.

Современные условия жизни человека требуют эффективных искусственных средств оздоровления воздушной среды. Одним из решений данной проблемы может быть применение кондиционирования.

## История развития кондиционирования воздуха

### 1.1 История развития техники кондиционирования воздуха

История развития кондиционирования воздуха неразрывно связана с историей развития всего человечества: формированием и ростом производства. Развитие систем кондиционирования воздуха в гражданских и жилых зданиях неразрывно связано с историей архитектуры. В Англии, Франции, Германии и США прообразы систем кондиционирования воздуха появились еще в конце XIX в., а первые системы кондиционирования воздуха — в начале XX в. Развитию этой отрасли способствовали требования к микроклимату для технологических процессов растущего производства (полиграфическое, текстильное) в условиях промышленной конкуренции.

Основы для развития техники кондиционирования воздуха были заложены в XIX в.: изобретение холодильных машин, вентиляторов, электродвигателей. Но именно XX век по праву считается веком кондиционирования воздуха, так как к этому периоду относятся основные технические изобретения.

Развитие техники кондиционирования воздуха проходило параллельно в нескольких направлениях:

- создание и совершенствование агрегатов для искусственного получения холода;
- создание и совершенствование оборудования для обработки воздуха (теплообменники для охлаждения, осушения, увлажнения) и перемещения воздуха и жидкостей (вентиляторы и насосы);
- разработка теоретических основ: термодинамика жидкостей и газов, теории тепло- и массообмена, автоматического регулирования; создание и совершенствование методов описания физических процессов и расчета отдельных элементов системы кондиционирования воздуха;
- совершенствование схемных решений систем кондиционирования воздуха для зданий различного назначения.



Естественное охлаждение льдом и испарительное охлаждение является одним из самых древних способов создания комфортных условий в жарких странах. Во времена древнейших цивилизаций (Египет, Индия, Персия, Китай, а затем и Греция, Рим) строили специальные льдохранилища, которые изолировали опилками. Испарительное охлаждение также активно использовалось древними цивилизациями (первыми были Индия, Египет) в целях охлаждения как напрямую, так и в конструкциях зданий и сооружений.

## **1.2 Развитие отечественной индустрии кондиционирования воздуха**

Начиная с 1930 года, в связи с индустриализацией, установками кондиционирования воздуха оборудуются предприятия точного машиностроения, пищевой, полиграфической, радиоэлектронной и тяжелой промышленности. До 1955 года отсутствовало серийно выпускаемое оборудование, установки кондиционирования воздуха разрабатывались по индивидуальным проектам и, как следствие, имели высокую стоимость.

В 1956-1957 гг. была разработана серия типовых центральных кондиционеров, а Харьковский машиностроительный завод «Кондиционер» начал серийный выпуск центральных кондиционеров из типовых секций производительностью 10, 20, 40 и 60 тыс. м<sup>3</sup>/час, а также нескольких типоразмеров местных агрегатов производительностью от 0,5 до 3,5 тыс. м<sup>3</sup>/час воздуха. Было положено начало отечественной промышленности по выпуску кондиционеров. Применение типового оборудования способствовало снижению капитальных, эксплуатационных затрат и сокращению сроков монтажа кондиционеров. Строительство в 60-е годы XX века заводов искусственного волокна, химических заводов, полупроводниковой радиоэлектроники, военной и космической техники, а также новых типов общественных зданий потребовало развития массового производства центральных кондиционеров. С 1965 года началось проведение единой политики в области разработки и промышленного производства кондиционеров. В подчинении министерства строительного, дорожного и коммунального машиностроения СССР было создано производственное объединение «Кондиционер» и Всесоюзный научно-исследовательский институт «Кондиционер». В

объединение вошли два завода. Харьковский машиностроительный завод «Кондиционер», производил центральные кондиционеры КТЦ производительностью по воздуху 31,5-250 тыс. м<sup>3</sup>/час и Кд производительностью по воздуху 10 и 20 тыс. м<sup>3</sup>/час. Домодедовский машиностроительный завод, освоил серийное производство местных агрегатных неавтономных и автономных шкафных и крановых кондиционеров производительностью от 0,5 до 20 тыс. м<sup>3</sup>/час. После распада СССР, преемником Харьковского завода стала фирма ООО «Веза», созданная в 1995 году и освоившая производство каркасно-панельных центральных и автономных шкафных кондиционеров.

### **1.3 Разработка теоретических основ кондиционирования воздуха**

Разработка теоретических основ кондиционирования воздуха, создание прикладной науки кондиционирования воздуха появилось как объективная необходимость развития техники для разработки новых конструкций агрегатов, повышения их эффективности с учетом требований защиты окружающей среды и экономии энергии.

Впервые термин «кондиционирование воздуха» был употреблен в 1815 году, когда француз Жанн Шабаннес получил британский патент на метод «кондиционирования воздуха и регулирования температуры в жилищах и других зданиях». Одним из создателей основ кондиционирования воздуха можно назвать М. Ломоносова, с именем которого связана разработка теории теплоты и теории движения воздуха в каналах и трубах, а также Рихмана, заложившего основы теории психрометрии, определяющей для кондиционирования воздуха. В 1918 году русский профессор Л. К. Рамзин разработал *i* - *d* диаграмму влажного воздуха (энтальпия - влагосодержание). В странах Европы обычно применяют *I*-х диаграмму влажного воздуха (энтальпия — влагосодержание) французского Молье, которая была им опубликована в 1921 году.

### **1.4 Совершенствование схемных решений систем кондиционирования воздуха**

Начиная с 1917 года в нескольких городах США появились первые театры и кинозалы, оборудованные системой кондиционирования воздуха, что при-

вело к резкому росту их посещаемости в жаркие летние месяцы. В 1920-е гг. центральные системы комфортного кондиционирования воздуха обычно устанавливались в театрах, гостиницах, торговых центрах, но мало были распространены в офисных и жилых зданиях. В первых небоскребах США были использованы системы естественной вентиляции. В реконструируемых зданиях в существующие системы приточной вентиляции встраивали воздухоохладители. В связи с разработкой и выпуском местных автономных кондиционеров в начале 20-х годов в офисных и гражданских зданиях преобладали местные системы кондиционирования воздуха. В 1930 году большинство основных государственных учреждений США имели системы кондиционирования воздуха, в том числе Белый дом. В 30-е годы в США, а затем и в других странах, началось широкое применение комнатных, бытовых и шкафных автономных кондиционеров для жилых зданий.

Практически до середины 40-х годов системы кондиционирования гражданских зданий, в том числе офисных, это — центральные воздушные системы с местными рециркуляционными вентиляторами или температурными доводчиками. Система с температурными доводчиками применяется для помещений с высокими нагрузками по скрытой теплоте, для реконструируемых зданий с существующими системами водяного отопления, для новых зданий, в которых на первом этапе предполагается осуществлять только отопление и вентиляцию, а охлаждение в более поздние сроки — посредством добавления воздухоохладителя в центральную установку. Наибольшее распространение получила, например, для музеев и картинных галерей.

Позже стали применять двухканальные системы кондиционирования воздуха. Это системы, в которых наружный воздух смешивается с рециркуляционным, смесь охлаждается и осушается летом, увлажняется зимой, делится на два канала и в каждом потоке устанавливаются соответственно воздухонагреватель и воздухоохладитель. Возможна обработка воздуха в двух параллельных установках. Нагретый и охлажденный воздух по двум каналам поступает в помещения, где смешивается в необходимом соотношении, чтобы обеспечить задан-

ную температуру воздуха в помещении. В США и Европе двухканальные СКВ использовались значительно реже, чем водовоздушные. Незадолго до окончания Второй мировой войны появились новые идеи и их воплощение в архитектуре, связанные с применением новых строительных материалов — бетона и алюминия. Возросли нагрузки на систему кондиционирования воздуха за счет солнечной радиации, требовались новые схемные решения. Для снижения теплоступлений от солнечной радиации через окна использовали специальные окна, внутренние жалюзи, реже — наружные солнцезащитные устройства. Первая водовоздушная система с режимами охлаждения и отопления, включая использование теплового насоса, была запроектирована Д. Крокером в 1944 году.

Затраты на систему кондиционирования воздуха выросли на 10-25% по сравнению с обычными системами отопления и вентиляции. В качестве местных агрегатов использовались эжекционные доводчики, в том числе в зданиях послевоенной постройки, например в здании ООН в Нью-Йорке.

В водовоздушных системах, в отечественной практике называемых местно-центральными, в кондиционируемое помещение вводится воздух, обработанный в центральном кондиционере, и вода, несущая тепло или холод. Водовоздушные системы применяются для помещений со значительными явными тепловыделениями, где не требуется жесткое поддержание заданного значения относительной влажности воздуха. Они хорошо себя зарекомендовали за рубежом в офисных зданиях, больницах, гостиницах, школах, жилых зданиях, исследовательских лабораториях, могут применяться в многозональных производственных помещениях точного машиностроения, радиотехнической, фармацевтической, пищевой промышленности. В водовоздушных системах в качестве местных агрегатов, устанавливаемых в помещении, применяют эжекционные доводчики, вентиляторные доводчики, напольные конвекторы и охлаждающие панели.

В связи с загрязнением атмосферы, необходимостью защиты от уличного шума в настоящее время значительно расширилась сфера применения ком-

фортных систем кондиционирования воздуха (СКВ) в зданиях различного назначения.

В настоящее время кондиционирование воздуха стало необходимым элементом инженерного оборудования жилых зданий. Специалисты все больше приходят к необходимости устройства механической регулируемой приточно-вытяжной вентиляции с регенерацией теплоты удаляемого воздуха в жилых зданиях. Опыт использования таких установок имеется в некоторых странах Европы, например, Германии, Швеции, Австрии.

В связи с остро стоящей энергетической проблемой в последние годы в Европе разрабатывают децентрализованные системы кондиционирования воздуха с регенерацией теплоты удаляемого воздуха и смешанные системы с использованием естественной вентиляции — «ночное проветривание», а также потенциала наружного воздуха для получения холодной воды — косвенное и комбинированное испарительное охлаждение.

Лекция 2

## **Требования к системам кондиционирования воздуха**

Воздух как фактор жизнедеятельности человека следует рассматривать с двух позиций: как среда, вдыхаемая человеком, и как среда, окружающая человека, с которой поверхность человеческого организма постоянно находится в контакте. Роль воздуха состоит в снабжении человека кислородом, удалении влаги из организма при выдыхании, обеспечении процесса теплообмена человека с окружающей средой.

С помощью кондиционирования можно полностью устранить или свести к минимуму действие таких вредных факторов, как избыточная теплота (конвенционная, вызывающая повышение температуры воздуха, и лучистая); избыточные водяные пары – влага; газы и пары химических веществ токсичного или раздражающего действия; токсичная и нетоксичная пыль; радиоактивные вещества.

Рассмотрим кратко источники образования факторов вредности:

Избыточная теплота. Взрослый человек в спокойном состоянии и при нормальных микроклиматических условиях выделяет в окружающую среду 85 – 120 Вт, из которых в среднем 20% - конвекцией; 55% - излучением и 25% - испарением влаги. Количество выделяемой человеком теплоты изменяется в зависимости от физических нагрузок и температуры воздуха в помещении. В помещениях, где бывает много людей, тепловыделения создают неблагоприятные условия, вредно отражаются на самочувствии, здоровье и работоспособности людей.

Влаговыведения. Количество выделяемого организмом человека водяного пара при умеренной температуре воздуха и небольшой физической нагрузке составляет 40 – 75 г/ч. При высокой температуре среды выделение влаги может возрасти до 150 г/ч. Избыточное содержание водяных паров в воздухе может возникнуть в помещении здания общественного назначения, а также в цехах и отделах промышленных предприятий.

Газовыделение. Содержание газов и пыли не должно превышать предельно допустимых концентраций согласно нормативных документов.

Современные требования, предъявляемые к системам кондиционирования воздуха зданий и сооружений:

#### 1 Санитарно-гигиенические и акустические требования

Оптимальными микроклиматическими условиями являются такие сочетания параметров воздуха рабочей зоны, которые обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма при их длительном и систематическом воздействии на человека.

В соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями в обслуживаемых помещениях системы кондиционирования воздуха должны обеспечивать:

- заданные внутренние условия температуры;
- относительную влажность;
- газовый состав;

- чистоту и подвижность воздуха.

Наиболее благоприятная температура в общественных и административно-бытовых помещениях должна быть 20-22°C, допустимые колебания в теплый период – от 20 до 28°C, в холодный и переходной периоды – от 18 до 22°C.

Относительная влажность считается оптимальной в диапазоне от 30 до 60% в теплый период и 30-45 % в холодный и переходной периоды. Верхняя допустимая граница относительной влажности – 65%.

Чтобы разрушить создаваемую телом человека оболочку газовых выделений, необходимо организовать движение воздушной среды. Однако чрезмерно увеличивать скорость движения воздушной среды недопустимо из-за возникающего чувства дискомфорта и возможности простудных заболеваний. При температуре воздуха 20-25°C допустимой скоростью движения воздуха является 0,2-0,3 м/с – для легкой работы.

Воздушные потоки направляются из помещений с более высокими требованиями к параметрам воздушной среды в сторону помещений с менее высокими требованиями.

Уровень шума от работающего оборудования не должна превышать допустимые значения. Уровень шума современных кондиционеров для жилых и общественных зданий не превышает 25 дБ(А). Это значение находится за порогом слышимости для большинства людей.

2 Технологические требования к системам кондиционирования воздуха.

Состояние воздушной среды технологических помещений является необходимым, а часто и решающим условием для стабильной и долговременной работы многих электронных устройств. Одним из требований бесперебойной работы оборудования является поддержание оптимальных параметров температуры, чистоты и влажности воздуха. Эти параметры обеспечиваются системами кондиционирования, к которым предъявляются следующие требования: надежность, точность поддержания температуры, поддержание заданной влажности и запыленность воздуха.

Самое главное требование к системе кондиционирования помещений — надежность. Один из самых опасных врагов оборудования — пыль. Она быстро аккумулируется на заряженных частях оборудования и оседает внутри оборудования. Это ведет к уменьшению срока службы оборудования и преждевременному выходу его из строя.

3 Конструктивно-компоновочные и эксплуатационные требования к системам кондиционирования воздуха

В эту группу показателей включаются удобство монтажа системы, габариты оборудования, занимаемые строительные площади, расход материалов при монтаже.

В эксплуатационные требования входит:

- сокращение площадей помещений для оборудования систем кондиционирования воздуха и их элементов;

- обеспечение минимальных затрат времени на монтаж, испытания и наладку систем с возможностью позонного ввода их в эксплуатацию;

- увязка работ по сооружению конструкции зданий с монтажом систем кондиционирования;

- звуко- и виброизоляция движущегося оборудования от элементов строительных конструкций, а также противопожарные мероприятия

4 Эстетические требования.

Архитектура здания и его планировка имеют непосредственное влияние на выбор системы кондиционирования воздуха. В условиях застройки центральной исторической части городов требования к сохранению исторического облика памятников архитектуры должны быть высокими. Недопустимо размещение на фасаде здания наружных блоков системы кондиционирования.

5. Экологические требования к системам кондиционирования воздуха.

Воздушная среда современных зданий имеет многокомпонентный химический состав, зависящий от степени загрязнения атмосферного воздуха и мощности внутренних источников загрязнения. К ним, в первую очередь, относятся продукты жизнедеятельности человека, продукты неполного сгорания



бытового газа и продукты деструкции полимерных материалов, входящих в состав отделочных и строительных материалов, предметов личного и домашнего обихода. Токсические вещества действуют на организм человека не изолированно, а в сочетании с различными факторами: температурой, влажностью воздуха, электромагнитными полями, ионно-озонным режимом помещений, радиоактивным фоном.

С одной стороны система кондиционирования предназначены для создания комфортного климата внутри помещений и должны поддерживать чистоту воздуха в обслуживаемой зоне помещения. С другой стороны любые нарушения в эксплуатации и обслуживании системы могут при определенных обстоятельствах привести к обратному эффекту и оказать негативное влияние на здоровье людей и состояние окружающей среды.

#### 6 Экономические требования

Экономические требования предусматривают эффективность системы кондиционирования воздуха, которая определяется высокой надежностью всех элементов системы, заданной обеспеченностью, устойчивостью и управляемостью системы. Эффективность определяется комплексными показателями, важной составляющей которых является минимум приведенных затрат.

#### 7 Требования к энергосбережению в системах обеспечения микроклимата

Системы кондиционирования воздуха вносят значительный «вклад» в потребление энергии в процессе эксплуатации зданий. Мировой опыт проектирования, строительства и эксплуатации зданий различного назначения показывает, что сокращение затрат энергии в основном достигается за счет следующих факторов:

- применения регулируемых систем кондиционирования, позволяющих оптимизировать подачу и потребление энергии;
- устройства локальных систем, позволяющих сократить кондиционируемые площади и объемы здания, предотвратить распространение технологических вредных выделений и обеспечить их эффективную очистку;
- использования утилизации тепла.

## Классификация систем кондиционирования воздуха

В настоящее время не существует общепринятой классификации СКВ. Это связано с различием принципиальных схем СКВ, их технических характеристик, от кондиционируемых помещений. Можно классифицировать современные СКВ по следующим признакам:

1 В зависимости от функции все кондиционеры можно разделить:

1.1 **охлаждающие** – кондиционеры, которые поддерживают заданную температуру в помещении (используются лишь в жаркий период года);

1.2 **охлаждительно-обогревающие** - кроме функции охлаждения служат для круглогодичного поддержания заданной температуры воздуха в помещении (оборудованы калорифером);

1.3 **полной климатизации** – обеспечивают вентиляцию, обогрев, охлаждение и регулирование относительной влажности воздуха.

2 По основному назначению: **комфортные и технологические**. Комфортные СКВ предназначены для обеспечения заданных оптимальных параметров воздуха в жилых, общественных и административно-бытовых зданий или помещений. Технологические СКВ предназначены для обеспечения параметров воздуха, отвечающих требованиям производства.

3 По принципу расположения кондиционера по отношению к обслуживаемому помещению: **центральные и местные**. Центральные СКВ расположены вне обслуживаемых помещений и снабжаются холодом, теплом и электрической энергией. Местные СКВ устанавливаются в обслуживаемых помещениях.

4 По наличию собственного источника тепла и холода: **автономные и неавтономные**. Автономные СКВ снабжаются только электрической энергией, например сплит-системы и шкафные кондиционеры. Они имеют встроенные холодильные машины. Неавтономные СКВ снабжаются электроэнергией, воздухом и водой, например центральные кондиционеры.

5 По принципу действия: **прямоточные, рециркуляционные и комбинированные**. Прямоточные СКВ полностью работают на наружном воздухе. Рециркуляционные СКВ работают без притока наружного воздуха. Комбинированные СКВ используют и свежий наружный воздух и воздух помещения в разных пропорциях.

6 По степени обеспечения метеорологических условий в помещении: первого, второго и третьего класса.

**Первый класс** - обеспечивает требуемые для технологического процесса параметры в соответствии с нормативными документами.

**Второй класс** - обеспечивает оптимальные санитарно-гигиенические нормы или требуемые технологические нормы.

**Третий класс** - обеспечивает допустимые нормы, если они не могут быть обеспечены вентиляцией в теплый период года без применения искусственного охлаждения воздуха.

7 По количеству обслуживаемых помещений (локальных зон): **однозональные и многозональные**. Однозональные СКВ применяются для обслуживания больших помещений с равномерным выделением тепла и влаги. Многозональные СКВ применяются для обслуживания небольших помещений, и для больших помещений, в которых оборудование, с выделением тепла и влаги, размещено неравномерно.

8 По давлению, развиваемому вентиляторами кондиционеров: **низкого давления** (до 1 кПа), **среднего давления** (от 1 до 3 кПа) и **высокого давления** (выше 3 кПа).

9 По способу регулирования выходных параметров воздуха: с **качественным и количественным регулированием**. При качественном регулировании обработанный воздух выходит из кондиционера по одному каналу и поступает в помещение. При количественном регулировании в помещения подают холодный и теплый воздух по двум каналам. Температура регулируется за счет изменения расходов холодного и теплого воздуха.

Все кондиционеры также можно разделить на **бытовые и промышленные**. Их отличие не в конструктивном исполнении, а в области применения. К бытовым относятся кондиционеры малой и средней мощности (до 7 кВт). Их применяют для охлаждения небольших помещений. К промышленным относят кондиционеры большой мощности, которые используются для охлаждения больших площадей. Также выделяют большой класс кондиционеров, занимающих промежуточное положение между бытовыми и промышленными системами — полупромышленные кондиционеры. При мощности от 7 до 25 кВт, они могут использоваться как в бытовых условиях — коттеджах, многоквартирных квартирах, так и в офисных помещениях, магазинах, на предприятиях.

По конструктивному исполнению все кондиционеры можно разделить на два больших класса: **моноблочные** — состоящие из одного блока (оконные, мобильные и т.п.) и **сплит-системы** — состоящие из двух и более блоков (настенные, канальные, кассетные, VRF-системы и т.п.).

Классифицировать СКВ так же целесообразно по надежности.

Например, если из 100 установленных кондиционеров в течение гарантийного периода вышли из строя 2 из них, то надежность таких кондиционеров — 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 обнаруживаются не более, чем у 0,1 — 0,3% кондиционеров (один неисправный кондиционер на каждые 300 — 1000 штук). При правильной эксплуатации и периодическом обслуживании срок службы этих кондиционеров составляет не менее 12 — 15 лет.

При типичном минимальном уровне шума внутреннего блока в 24 — 26 дБ он фактически неслышим. Устойчивая работа в широком температурном диапазоне. Элитные кондиционеры имеют современный дизайн и небольшие габариты.

### **Кондиционеры среднего класса (вторая группа)**

Ко второй группе относятся кондиционеры среднего класса. Эти кондиционеры обладают хорошим соотношением цена и качество, имеют достаточно высокую надежность. По этому параметру кондиционеры среднего класса почти не уступают элитным кондиционерам. Различия заключаются в упрощенной системе защиты от неправильной эксплуатации, чуть большем уровне шума у некоторых моделей и других незначительных отличиях.

### **Бюджетные кондиционеры (третья группа)**

Если различия между кондиционерами внутри первой и второй группы незначительны, то в третьей группе наблюдается существенный разброс, как по качеству, так и по цене входящих в эту группу кондиционеров разных торговых марок. Эти кондиционеры самые дешевые. Недостатки этих кондиционеров проявляются при их сравнении с кондиционерами первой и второй группы.

Процент брака у этих кондиционеров выше, хотя его величина, в среднем около 1%, является вполне допустимой. Самая большая проблема «бюджетных» кондиционеров — нестабильное качество. Также заметно меньше срок службы. Еще один недостаток кондиционеров третьей группы — упрощенная система управления. По сравнению с кондиционерами первой и второй группы в них установлено меньше датчиков, в результате устойчивая работа кондиционера гарантирована в более узком диапазоне температур наружного воздуха. Так, например, у недорогих кондиционеров возможно обмерзание радиатора внутреннего блока при температуре наружного воздуха ниже плюс 10 — 15°C. В то же время, если такой кондиционер планируется использовать преимущественно для охлаждения в жаркое время, то это ограничение не является существенным.

### **3.1 Возможности современных кондиционеров**

#### **а) Охлаждение воздуха**

Главная задача кондиционера – охлаждение воздуха. Хотя бы потому, что нагрев, осушение и очистку воздуха могут обеспечить другие, зачастую более простые и дешевые устройства, а вот давать освежающую прохладу умеет только он. Причем делает это очень экономично – на один киловатт потребляемой электроэнергии выдает порядка 3 кВт холода. Нарушения законов природы здесь нет, так как энергия тратится не на создание прохлады, а на ее перенос с улицы в помещение.

Правда, понижать температуру в помещении можно только до определенного предела. Большинство современных кондиционеров может охладить воздух до +18 °С. При высокой подвижности воздух кажется холоднее. Именно поэтому иллюзию прохлады можно создать при помощи вентилятора.

#### **б) Нагрев воздуха**

Многие современные кондиционеры умеют нагревать воздух. Причем заставить кондиционер работать на тепло можно двумя различными способами. В подавляющем большинстве случаев это делается с помощью так называемого теплового насоса. На самом деле никакого насоса в кондиционере нет: в этом режиме он морозит улицу и греет помещение. При наружных температурах выше -10 °С такое отопление весьма эффективно. На каждый киловатт электроэнергии можно получить от 2,5 до 3,5 кВт тепла.

Чем холоднее на улице, тем меньше тепла дает кондиционер. Риск поломки кондиционера при низких температурах возрастает многократно: это поломка компрессора, поломка лопастей вентилятора наружного блока, сгорание электродвигателя вентилятора наружного блока.

Существуют модели кондиционеров с электрическим подогревом.

#### **в) Осушка воздуха**

Помимо охлаждения и обогрева воздуха все современные кондиционеры умеют осушать воздух. Понижая температуру воздуха, они удаляют из него лишнюю влагу. При высокой влажности дышать трудно, и жара переносится

хуже. Во всех современных моделях даже есть такой режим – «осушение». Это когда температура воздуха почти не изменяется, а влажность падает.

#### г) Вентиляция помещения

В режиме вентиляции не происходит ни охлаждения, ни нагрева, а создается циркуляция находящегося в помещении воздуха и его очистка. Компрессор и вентилятор наружного блока в данном режиме выключены. Вентилятор внутреннего блока работает на заданной скорости.

#### д) Очистка воздуха

Большинство современных бытовых кондиционеров имеют только один фильтр – воздушный механический. Он защищает воздух в помещении и теплообменник внутреннего блока от пыли.

Фильтры тонкой очистки, способные улавливать мельчайшую пыль, пыльцу растений, запахи, сигаретный дым, у многих моделей не входят в стандартную комплектацию и приобретаются отдельно. Чаще всего их изготавливают из активированного угля, потому они называются угольными или дезодорирующими. При большом загрязнении воздуха выгоднее использовать специальные воздухоочистители.

#### е) Ионизация воздуха.

Ионизация воздуха определяется наличием в помещении отрицательно заряженных частиц- молекул кислорода. Обычно в помещениях количество отрицательных ионов в сотни раз меньше, чем в парках и садах. Высокая концентрация аэроионов благотворно влияет на организм человека. Некоторые современные модели кондиционеров оснащены ионизаторами воздуха.

Лекция 4

## **Основные параметры влажного воздуха**

Как известно, сухой воздух состоит на 78% из азота, на 21% из кислорода и около 1% составляют диоксид углерода, инертные и другие газы. Если в воздухе имеются водяные пары, то такой воздух называется влажным воздухом. К

смеси сухого и влажного воздуха применимы все газовые законы. Из термодинамических параметров влажного воздуха, которыми оперируют в курсе кондиционирования воздуха, можно выделить следующие:

- 1) плотность;
- 2) теплоемкость;
- 3) температура;
- 4) влагосодержание;
- 5) парциальное давление водяного пара;
- 6) относительная влажность;
- 7) температура точки росы;
- 8) энтальпия (теплосодержание);
- 9) температура по мокрому термометру.

Термодинамические параметры определяют состояние влажного воздуха и связаны друг с другом.

#### **4.1 Плотность**

Плотностью называется масса вещества в единице объема. Единица измерения плотности  $\text{кг/м}^3$ . Плотность всех газов уменьшается с повышением температуры, так как при нагревании при постоянном давлении они расширяются. Для сухого воздуха при  $20\text{ }^\circ\text{C}$  плотность равна  $1,2\text{ кг/м}^3$ . При других значениях температуры ее можно вычислить по формуле

$$\rho_t = 353 / (273 + t)$$

Плотность водяных паров может быть определена по формуле

$$\rho_{pt} = 219 / (273 + t)$$

Плотность влажного воздуха меньше плотности сухого воздуха, так как водяной пар имеет меньшую молекулярную массу, чем сухой воздух. Учитывая, что количество водяных паров в воздухе относительно невелико, уменьшением плотности в практических расчетах можно смело пренебречь.

#### **4.2 Теплоемкость**

Теплоемкостью называется количество теплоты, требуемое для нагрева  $1\text{ кг}$  вещества на  $1\text{ }^\circ\text{C}$ . Теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении



равна 1,005 кДж/(кг °С). Теплоемкость водяных паров равна 1,8 кДж/(кг °С). Точно также, как и с плотностью, в практических расчетах пренебрегают изменением теплоемкости влажного воздуха и считают теплоемкость влажного воздуха равной теплоемкости сухого воздуха, то есть 1,005.

### 4.3 Температура

Температура является мерой нагрева тела. В кондиционировании воздуха температуру воздуха указывают по стоградусной шкале Цельсия. В стоградусной шкале за 0 принята температура таяния льда. Температура кипения чистой воды при нормальном атмосферном давлении соответствует 100 °С. В практике приходится иметь дело как с положительными, так и отрицательными значениями температур.

### 4.4 Влагосодержание

Влагосодержанием влажного воздуха называется количество водяных паров в граммах, приходящееся на каждый килограмм сухой части воздуха. Влагосодержание обозначается буквой *d*, а единица измерения г/кг с.в.

Количество влаги, которое может максимально содержаться в воздухе при атмосферном давлении, зависит от его температуры, значительно возрастая при ее повышении, как показано ниже в таблице.

Таблица 4.1 - Зависимость влагосодержания от температуры

t, °С	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
d, г/кг с.в.	0,77	1,79	3,8	7,63	14,7	27,3	48,9	86,3	152,0

### 4.5 Парциальное давление водяного пара

Количество водяных паров, находящееся в воздухе, однозначно определяет парциальное давление водяного пара  $p_{вн}$  во влажном воздухе. Чем больше влаги, тем больше  $p_{вн}$ . Связь между количеством влаги и парциальным давлением водяных паров выражается следующими зависимостями

$$d = 623 / (P_{\delta} - p_{вн}),$$

$$p_{вн} = P_{\delta} / (623 + d),$$

где  $P_{\delta}$  – барометрическое (атмосферное) давление, Па.

Таким образом, при увеличении количества водяных паров в воздухе, находящемся при некоторой температуре  $t$ , происходит рост парциального давления водяных паров. При некотором предельном влагосодержании парциальное давление достигнет значения давления насыщающих водяных паров  $p_{nn}$ , то есть давления над свободной поверхностью жидкости, находящейся при той же температуре  $t$ . Такое состояние влажного воздуха является предельным и называется **насыщенным влажным воздухом**. Увеличить влагосодержание воздуха выше предельного невозможно, так как будет происходить конденсация влаги на центрах активации, и в воздухе появится туман. Состояние тумана – это состояние избыточной влаги в воздухе.

#### **4.6 Относительная влажность**

Относительной влажностью влажного воздуха называется отношение парциального давления паров в воздухе к давлению насыщающих водяных паров. Обычно относительную влажность выражают в процентах. Тогда формула для расчета относительной влажности будет

$$\varphi = 100 \times p_{вп} / p_{nn},$$

Для абсолютно сухого воздуха  $p_{вп} = 0$ , и  $\varphi = 0 \%$ . При полном насыщении воздуха водяными парами  $p_{вп} = p_{nn}$ , и  $\varphi = 100 \%$ . Относительной влажностью, таким образом, является мера степени насыщения воздуха водяными парами.

#### **4.7 Энтальпия (теплосодержание)**

Энтальпией влажного воздуха называется количество теплоты, которое требуется на то, чтобы перевести 1 кг абсолютно сухой воздух ( $d = 0$ ), находящийся при  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , в некое другое состояние с температурой  $t$  и влагосодержанием  $d$ .

Из данного определения следует, что при  $t = 0$  и  $d = 0$  энтальпия воздуха также равна 0.

Энтальпия воздуха измеряется в кДж/кг с.в (килоджоули на килограмм сухого воздуха).

#### **4.8 Температура точки росы**

Если влажный воздух, имеющий относительную влажность  $0 < \varphi < 100 \%$ , охлаждать, то при понижении температуры будет уменьшаться давление насыщенных водяных паров, которое зависит только от температуры. При этом влагосодержание воздуха будет оставаться неизменным, а относительная влажность будет увеличиваться. В некоторый момент при определенной температуре значение рпп достигнет значения рвп . В этот момент относительная влажность достигнет значения 100% – влажный воздух приобретет состояние полного насыщения. При дальнейшем охлаждении рпп станет меньше рвп , и часть влаги начнет конденсироваться на холодных поверхностях, контактирующих с воздухом, или образуется туман. Таким образом, дальнейшее охлаждение воздуха приводит к его перенасыщению влагой, что ведет к выпадению конденсата – росы. Поэтому та предельная температура, до которой можно охлаждать воздух без выпадения конденсата, и начиная с которой процесс дальнейшего охлаждения сопровождается выпадением конденсата, называется температурой точки росы.

#### **4.9 Температура по мокрому термометру**

Температура мокрого термометра зависит от влажности воздуха. Чем меньше относительная влажность, тем ниже давление паров в воздухе и тем интенсивнее идет испарение, поэтому температура будет ниже.

Температура мокрого термометра названа так потому, что данный процесс используется для измерения влажности воздуха психрометрическим методом, при котором используются два термометра – "сухой" и "мокрый". Сухой термометр показывает просто температуру воздуха. Шарик мокрого термометра обернут тонкой тряпочкой, которую смачивают водой перед началом измерения. Зная показания двух термометров, можно определить влажность воздуха.

#### 4.10 I-d диаграмма влажного воздуха

В области вентиляции и кондиционирования воздуха приходится часто определять те или другие параметры воздуха. Чтобы избежать многочисленных вычислений, их определяют обычно по специальной диаграмме, составленной в 1918 году профессором Л.К. Рамзиным. Она носит название **I-d диаграммы**. Она позволяет быстро определить все параметры воздуха по двум известным. Использование диаграммы позволяет избежать вычислений по формулам и наглядно отобразить вентиляционный процесс. Типовая схема I-d диаграммы показана ниже на рис. 4.1.

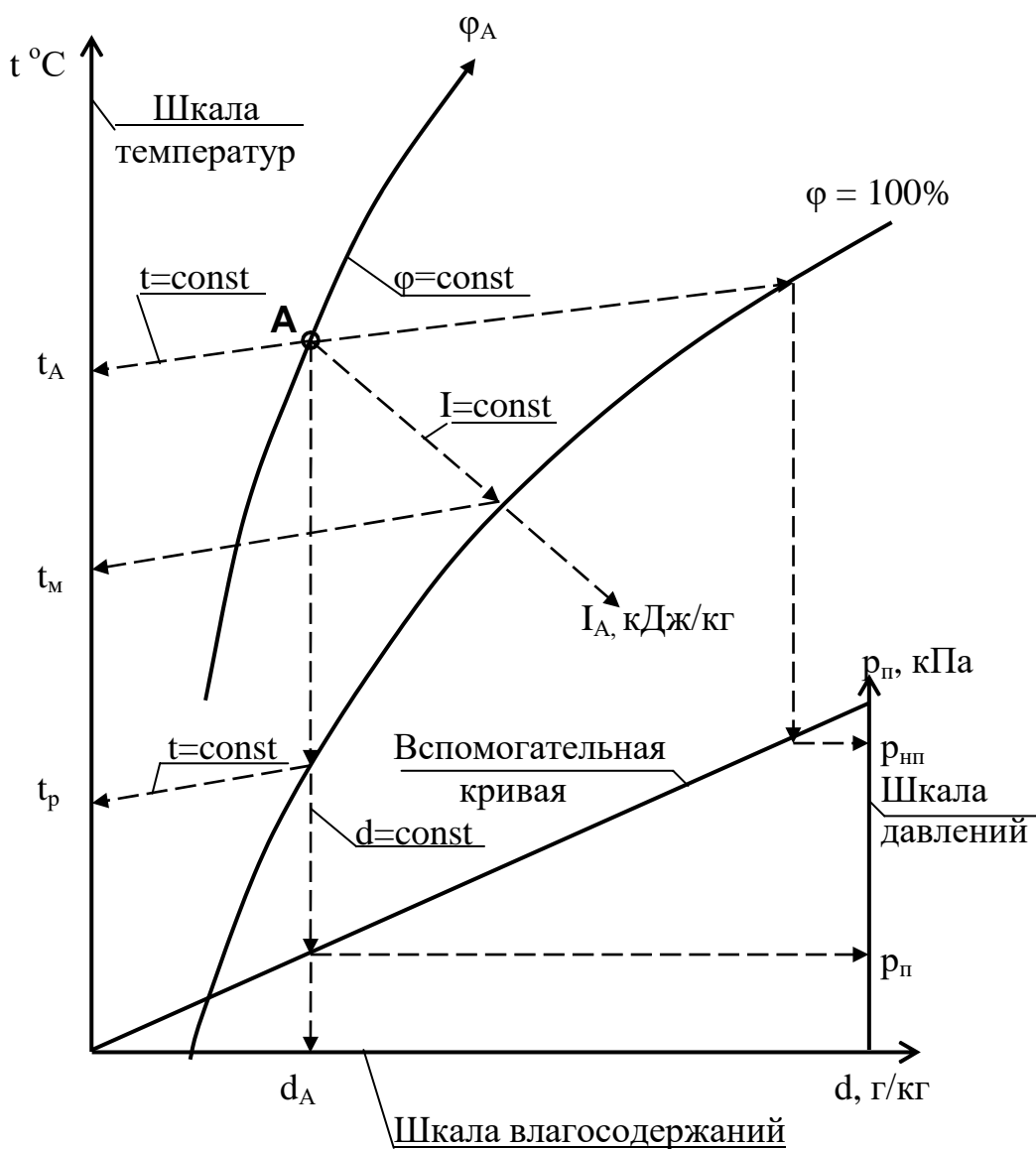


Рис. 4.1 - Схема определения параметров влажного воздуха на I-d диаграмме

Диаграмма составлена в косоугольной системе координат I-d, на котором нанесено несколько координатных сеток и по периметру диаграммы – вспомогательные шкалы. Шкала влагосодержания обычно располагается по нижней кромке диаграммы. Линии постоянных энтальпий представляют параллельные прямые, обычно идущие под углом  $135^\circ$  к вертикальным линиям влагосодержания. Косоугольная система координат выбрана для того, чтобы увеличить рабочее поле диаграммы. В такой системе координат линии постоянных температур представляют из себя прямые линии, идущие под небольшим наклоном к горизонтали и слегка расходящиеся веером.

Рабочее поле диаграммы ограничено кривыми линиями равных относительных влажностей 0% и 100%, между которыми нанесены линии других значений равных относительных влажностей с шагом 10%. Оформление диаграммы в принципе может быть несколько различным. Аналогом I-d диаграммы на западе является диаграмма Молье или психрометрическая диаграмма.

Шкала температур обычно располагается по левой кромке рабочего поля диаграммы. Значения энтальпий воздуха нанесены обычно под кривой  $\phi = 100\%$ . Значения парциальных давлений иногда наносят по верхней кромке рабочего поля, иногда по нижней кромке под шкалой влагосодержания, иногда по правой кромке. В последнем случае на диаграмме добавочно строят вспомогательную кривую парциальных давлений.

#### **4.11 Определение параметров влажного воздуха на I-d диаграмме.**

Точка на диаграмме отражает некое состояние воздуха, а линия – процесс изменения состояния. Определение параметров воздуха, имеющего некое состояние, отображаемое точкой А, показано на рис. 4.1.

## Построение процессов обработки воздуха в I-d диаграмме

### 5.1 Угловой коэффициент луча процесса

В процессе изменения состояния воздух изменяет все или некоторые свои параметры. Процесс изменения состояния на I-d диаграмме отображается прямой линией (лучем), выходящей из точки **А**, соответствующей начальному состоянию воздуха. Точка конечного состояния **Б** лежит на луче и ограничивает отрезок с другой стороны. Для характеристики **направления** изменения состояния используется понятие **углового коэффициента луча процесса  $\varepsilon$** , часто называемого для краткости просто **угловым коэффициентом**

$$\varepsilon = 1000 (I_B - I_A) / (d_B - d_A) = 1000 \Delta I / \Delta d.$$

В этом уравнении коэффициент 1000 (г/кг) служит лишь для перевода единиц измерения: значение углового коэффициента выражено в кДж/кг, в то время как влагосодержание принято выражать в г/кг. Особо отметим, что размерность углового коэффициента внешне совпадает с размерностью энтальпии воздуха (кДж/кг), однако на самом деле это абсолютно разные величины: в знаменателе для энтальпии понимается килограмм сухого воздуха, а для углового коэффициента – килограмм влаги.

Для любого процесса однозначно можно определить конкретное значение углового коэффициента. Значимость этого параметра состоит в том, что он характеризует наклон линии луча процесса на I-d диаграмме. Существует несколько типовых процессов, для которых заранее известно значение углового коэффициента.

Отличие I-d диаграммы от привычной декартовой системы координат состоит лишь в том, что она косоугольная: угол между осями энтальпий и влагосодержания обычно равен 135°. Во всем остальном имеется почти полная аналогия. Вертикальная линия и в той и в другой системе координат имеет угловой коэффициент, равный бесконечности, угловой коэффициент горизонтальной линии в обеих системах равен 0.

Особо подчеркнем, что угловой коэффициент и на I-d диаграмме не может указывать направление луча процесса, а характеризует только его наклон.

## 5.2 Процессы нагрева и охлаждения воздуха и их отображение на I-d диаграмме

### а) Чистый нагрев

Процесс нагрева воздуха от некоторых источников явного тепла (например, нагретых поверхностей) идет без изменения влагосодержания по линии  $d=const$  вверх. Это очень распространенный процесс, когда воздуху передается только тепло без влаги: теплоотдача от нагревательных приборов или оборудования, нагрев воздуха в теплообменниках (калориферах).

Теоретически, нагрев может идти неограниченно вверх, то есть конечное значение температуры может быть очень большим. В вентиляции чаще всего имеют дело с температурами до  $70^\circ$ , так как это предельное значение температуры воздуха, с которой его можно подавать в помещение.

Учитывая, что влага воздуху не передается,  $\Delta d = 0$ , итогда

$$\varepsilon = 1000 \Delta I / 0 = \pm\infty.$$

Отметим сразу же, что знак углового коэффициента в этом процессе не определен, так как значение 0 не имеет знака, а является точкой смены его. Лишь условно можно считать, что процесс чистого нагрева имеет  $\varepsilon = +\infty$ . Если  $\Delta d$  будет иметь бесконечно малое, но отрицательное значение, то знак изменится на отрицательный. Фактически вертикальная линия является границей скачка знака: малейший наклон ее от вертикали влево приводит к отрицательному знаку, а малейший наклон вправо – к положительному. Точно так же в декартовой системе координат тангенс угла  $90^\circ$  равен  $+\infty$ , и функция тангенса в этой точке имеет разрыв.

### б) Чистое охлаждение (без конденсации водяных паров)

Процесс идет также без изменения влагосодержания по вертикальной линии  $d=const$  вниз, теоретически до до кривой  $\varphi = 100\%$ . Этот процесс возможен при контакте воздуха с холодными поверхностями наружных ограждений или

оборудования. Угловой коэффициент для данного процесса тоже равен бесконечности, условно считается, что знак отрицательный ( $\varepsilon = -\infty$ ).

### ***в) Охлаждение с конденсацией водяных паров***

Фактически это охлаждение воздуха ниже температуры точки росы.

Если температура воздуха выше точки росы, то процесс вначале идет как чистое охлаждение, без изменения влагосодержания по линии  $d = \text{const}$  вниз до кривой  $\varphi = 100\%$ . В конце этого процесса воздух принимает насыщенное состояние ( $\varphi = 100\%$ ). Затем процесс идет вниз по линии  $\varphi = 100\%$  до конечной температуры. На второй стадии процесса некоторое количество влаги  $\Delta d$  выпадает в виде конденсата. Именно эту вторую стадию и следует понимать как охлаждение с конденсацией водяных паров.

Этот процесс возможен при контакте воздуха с холодными поверхностями наружных ограждений, оборудования или холодной водой, имеющих температуру ниже температуры точки росы. В кондиционировании этот процесс используется сознательно для осушения воздуха.

При контакте теплого влажного воздуха с холодным воздухом также происходит охлаждение с конденсацией, но влага выпадает не на холодных поверхностях, а непосредственно в объеме воздуха в виде тумана.

Учитывая, что в данном процессе  $\Delta I < 0$  и  $\Delta d < 0$ , тогда

$$\varepsilon = 1000 \Delta I / \Delta d > 0.$$

За счет сильного охлаждения может воздух может быть очень сильно осушен. Уже при температуре  $-20^\circ\text{C}$  влагосодержание влажного воздуха всего  $0,8$  г/кг, а при более низких температурах оно еще меньше. Поэтому зимой наружный атмосферный воздух имеет очень маленькое влагосодержание даже при относительной влажности более  $80\%$ .

### **5.3 Процесс адиабатического охлаждения воздуха и его отображение на I-d диаграмме**

Процесс адиабатического охлаждения воздуха при контакте с водой, имеющей температуру мокрого термометра, идет за счет испарения влаги, при котором явная теплота воздуха переходит в скрытую теплоту водяных паров.



Поэтому данный процесс называют также **прямым испарительным охлаждением**. Учитывая, что явное тепло, затраченное на испарение влаги, возвращается снова в воздух в виде скрытого тепла, энтальпия воздуха в этом процессе измениться не может. На I-d диаграмме процесс идет по линии  $I=const$  вниз до кривой  $\phi = 100\%$ . Учитывая, что теплота воздуху не передается,  $\Delta I = 0$ , и тогда

$$\varepsilon = 1000 \Delta d / \Delta t = 0$$

Это распространенный процесс, осуществляемый в основном в форсуночных оросительных камерах кондиционеров путем распыления форсунками непрерывно циркулирующей воды в объеме камеры, через которую проходит обрабатываемый воздух. Основное условие – достаточно большая поверхность массообмена, что достигается за счет мелкого распыла воды. Реально достигается относительная влажность воздуха порядка 95%. Адиабатическое охлаждение может быть осуществлено и в аппаратах с пористой насадкой (орошаемые слои), при орошении циркулирующей водой.

Кроме того, имеются устройства для испарительного охлаждения путем мелкого распыла воды непосредственно в воздух помещений. Они имеют, как правило, относительно небольшую производительность.

#### **5.4 Процесс увлажнения воздуха паром и его отображение на I-d диаграмме**

Увлажнение воздуха паром осуществляется при непосредственном выпуске пара в помещение, а чаще в кондиционерах комфортного и технологического кондиционирования при увлажнении воздуха паровыми увлажнителями. Пар подается непосредственно в приточный воздуховод через перфорированную трубку, расположенную внутри него. Сам процесс испарения воды, то есть приготовления пара, осуществляется в отдельном устройстве – парогенераторе. Чаще всего для испарения используется электрический нагрев. Конструкция парогенератора позволяет плавно регулировать количество образующегося пара или изменяя расход подаваемой в него воды, или изменяя мощность нагревателя.

Учитывая, что испарение происходит при атмосферном давлении, температура пара почти всегда около  $100^\circ\text{C}$ . При этом явное тепло, которое несет

пар, составляет лишь 6% от общей теплоты, а 94% приходится на скрытую теплоту парообразования. Поэтому можно считать, что в воздух вносится лишь скрытое тепло, и процесс идет практически по линии  $t=\text{const}$  (на самом деле чуть выше), в пределе до кривой  $\varphi = 100\%$ . Угловым коэффициентом луча процесса примерно соответствует скрытой теплоте парообразования ( $\varepsilon = 2500$ ), на самом деле чуть больше.

При высокой относительной влажности воздуха пар начинает конденсироваться на холодных поверхностях, локально образуя в объеме воздуха зоны тумана, то есть капельной влаги. При конденсации выделяется явное тепло, так как происходит процесс преобразования скрытого тепла в явное. При этом воздух и поверхности, на которых происходит конденсация, повышают свою температуру. Точный расчет такого процесса затруднителен из-за необходимости учета локальных температур воздуха и поверхностей.

### **5.5 Осушение воздуха. Обработка воздуха сорбентами**

Под термином "сорбенты" здесь понимаются любые пористые гигроскопичные вещества, способные поглощать влагу. Одним из наиболее известных сорбентов с высоким поглощением влаги является силикагель.

Силикагель выпускается в виде небольших гранул и закладывается в небольших мешочках в упаковки различных приборов и аппаратов для стабилизации влажностного режима. Не рассматривая здесь подробно физические основы процессов сорбции и десорбции, отметим лишь наиболее важную особенность твердых сорбентов: при изменении температуры сорбента равновесная относительная влажность воздуха почти не изменяется (рис. 5.1).

При достаточно большом количестве сорбента можно считать, что воздух, находящийся с ним в контакте, принимает относительную влажность, соответствующую равновесной влажности сорбента. Процессы нагрева и охлаждения воздуха в замкнутом объеме при этом идут практически по линии  $\varphi=\text{const}$  (вверх при нагреве и вниз при охлаждении). Сорбент выполняет роль стабилизатора влажности.

Данный процесс может использоваться в замкнутых помещениях с радиоэлектронным оборудованием для стабилизации их влажностного режима. Использование сорбента позволяет сгладить скачки колебаний влажности, вызванные изменением температурного режима, связанные с резким изменением потребляемой электрической мощности.

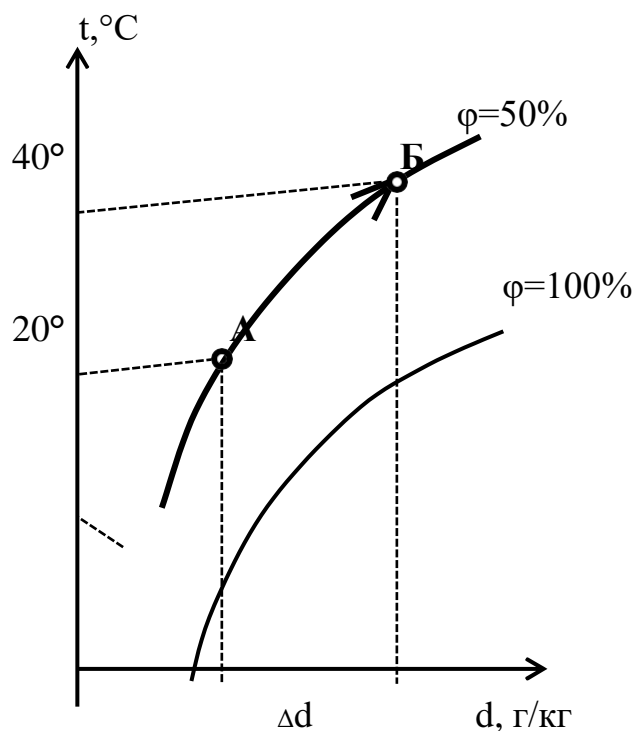


Рис. 5.1 Нагрев замкнутого объема воздуха с твердым сорбентом

Кроме твердых сорбентов для обработки воздуха могут применяться жидкие сорбенты – растворы солей. Равновесная влажность воздуха над раствором соли зависит от концентрации раствора и температуры.

### 5.6 Смешивание влажного воздуха

Особым процессом является процесс смешивания двух количеств воздуха (или двух расходов), начальные состояние которых на I-d диаграмме отображаются точками А и Б.

В результате смешивания оба воздуха изменяют свое состояние и принимают конечное состояние смеси, отображаемое на диаграмме точкой  $C_{AB}$ , которая лежит на прямом отрезке, соединяющем точки начальных состояний А и Б (рис. 5.2).

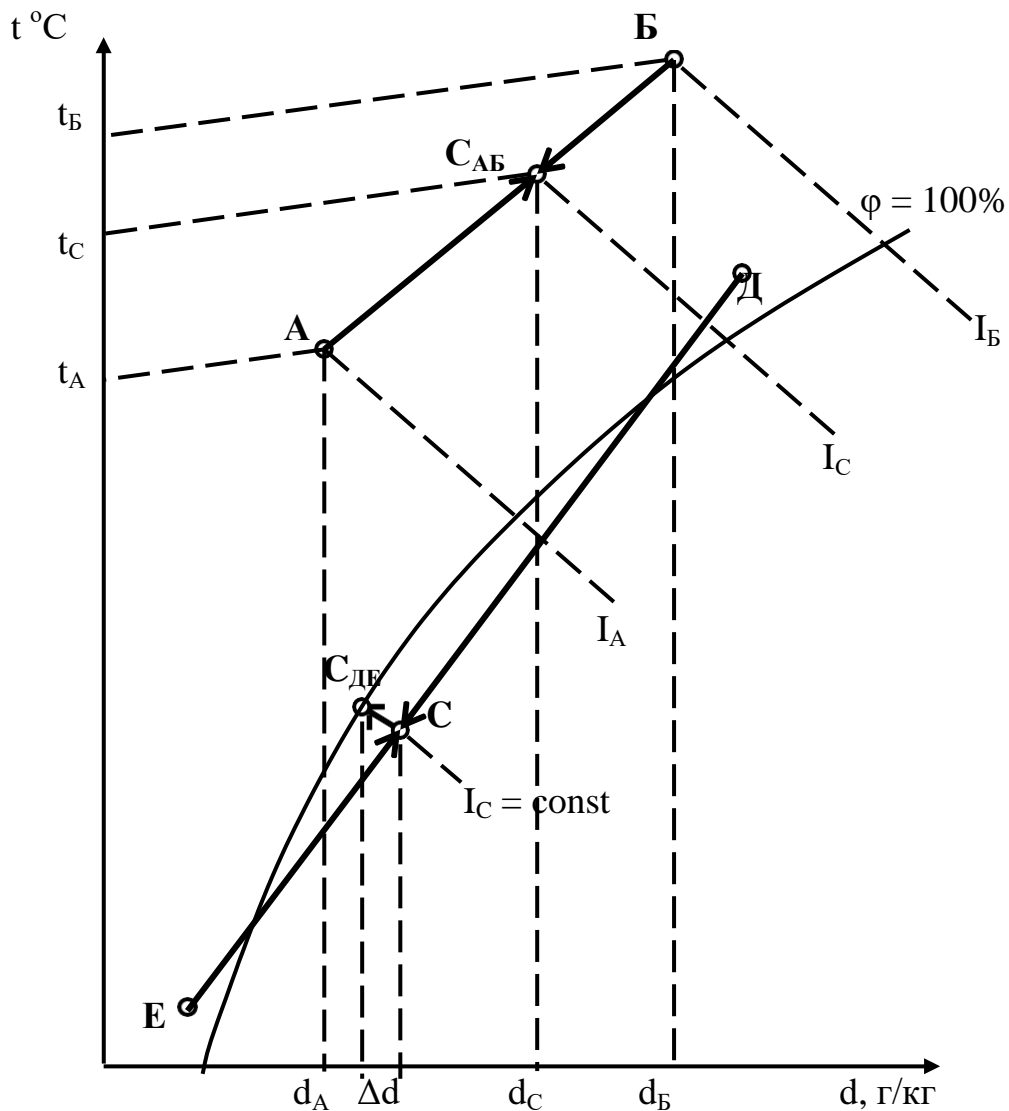


Рис. 5.2 Процессы смешивания воздуха на I-d диаграмме

Положение точки С на отрезке А-В может быть определено по значению любого из трех параметров (температура, влагосодержание и энтальпия), которое определяется из уравнений сохранения:

$$\begin{aligned}
 G_C &= G_A + G_B \\
 c G_C t_C &= c G_A t_A + c G_B t_B \\
 G_C d_C &= G_A d_A + G_B d_B \\
 G_C I_C &= G_A I_A + G_B I_B
 \end{aligned}$$

Как видно, принципиальный вид и смысл уравнений для любого параметра одинаков: количество вещества или теплоты в смеси равно сумме вкладов двух составляющих.

Выбор, какой именно параметр использовать для определения положения точки смеси, основывается на принципе достижения максимальной точности построения. Если смешиваемые количества имеют примерно равные влагосодержания, то нет смысла определять параметр  $d_C$ , так как это даст большую погрешность, а следует определить параметр  $t_C$ , при котором точность построения будет максимальна.

Таким образом, следует соблюдать простое правило:

а) для примерно вертикальных линий смешивания лучше определять параметр  $I_C$ ;

б) для примерно горизонтальных линий смешивания лучше определять параметр  $d_C$ ;

в) для линий смешивания, наклоненных примерно под углом  $45^\circ$ , лучше определять  $I_C$ .

В некоторых случаях точка смеси при построении может попасть ниже кривой  $\varphi = 100\%$ . такого состояния воздуха не может быть, поэтому при смешивании часть влаги конденсируется в виде тумана. При этом из воздуха с влагой уходит часть скрытого тепла, однако почти такое же количество теплоты конденсации поступает в воздух в явном виде. Поэтому общее теплосодержание воздуха не меняется, и реальная точка смеси будет расположена на пересечении кривой  $\varphi = 100\%$  и линии, проведенной по  $I = const$  из предварительной точки смеси С. Пример такого построения показан на рисунке 3.3: исходные состояния воздуха отображаются точками Е и Д, а результат смешивания соответствует точке С<sub>ДЕ</sub>. Количество влаги  $\Delta d$  выпадает в виде конденсата, то есть тумана.

## Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха

### 6.1 Расчетные параметры наружного воздуха

В вентиляции и кондиционировании воздуха основными расчетными параметрами наружного воздуха являются **температура, энтальпия и скорость** наружного воздуха. Наружные параметры задаются для трех периодов: **холодного, переходного и теплого**.

Переходный период является неким расчетным граничным состоянием воздуха между теплым и холодным. За расчетные параметры переходного периода принимается температура **8°C** и энтальпия **22,5 кДж/кг**. Среднесуточная температура 8°C 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.

Параметры наружного воздуха непрерывно меняются и зависят от района строительства и сезона года.

Температура наружного воздуха изменяется непрерывно. Существуют суточные колебания, месячное изменение и годовой цикл. Применительно к наружному климату можно говорить только о некоторых усредненных его показателях, так как даже в одной и той же местности климат одного года может существенно отличаться от предыдущего. Недаром говорят, что в такой-то год зима или лето были холодными или, наоборот, теплыми.

Самым холодным месяцем обычно является январь, а самым жарким – июль. В некоторый момент в январе, среднесуточная температура наружного воздуха достигает своего минимального значения за год, а в июле – максимального. Если принять за расчетную температуру для каждого из периодов именно эти значения, то мощность оборудования систем кондиционирования воздуха (СКВ) выйдет наибольшей, то есть максимальной. Очевидно, что система при

этом окажется дороже. При этом практически весь расчетный период СКВ будет работать в режиме пониженной мощности.

Если же взять для холодного периода более высокие значения температуры, а для теплого периода – более низкие, то некоторый промежуток времени система не сможет обеспечивать расчетные параметры воздуха в помещении. Степень обеспечения характеризуется коэффициентом обеспеченности. Значение  $K_{об} = 0,7$  означает, что 70% продолжительности расчетного периода система сможет обеспечивать требуемый уровень параметров воздуха в помещении, а 30% времени параметры будут не соответствовать заданным. В эти 30 % времени мощности системы (холодильной в теплый период, нагревательной – в холодный) не хватит для поддержания заданного значения внутренней температуры. Однако при этом затраты на систему окажутся существенно меньше.

При выборе расчетного коэффициента обеспеченности учитывают период года и уровень требований к зданию. Для некоторых производственных зданий с системы следует проектировать на предельные параметры наружного климата (предприятия электроники, точной механики и оптики, фармацевтические предприятия и др.). Для большинства зданий обычного назначения за расчетную температуру холодного периода принимают температуру холодной пятидневки (параметры Б). Это примерно соответствует коэффициенту обеспеченности 98%, при этом продолжительность отклонения параметров от расчетных составит примерно 50 часов. Такой короткий срок объясняется тем, что при продолжительном снижении температуры в помещениях резко увеличивается количество простудных заболеваний.

Для теплого периода года можно допустить значительно более длительный период отклонения параметров в помещении от расчетных, так как это приведет к нарушению комфорта в помещении, но не к заболеваниям. Для более ответственных помещений, к которым предъявляются более высокие требования, следует проектировать СКВ, которые рассчитываются по параметрам Б и для теплого периода.

Значение географической широты местности является важным при расчете теплопоступлений от солнечной радиации, так как на разных широтах интенсивность и продолжительность солнечной инсоляции различна. Кроме того, очевидно, чем больше значение широты, тем более холодным является климат данной местности.

Барометрическое давление указывается для того, чтобы можно было использовать соответствующую I-d диаграмму (они выпускаются на различное атмосферное давление), что позволяет несколько повысить точность определения параметров воздуха на различных стадиях вентиляционного процесса. Использование более точной диаграммы целесообразно при проектировании кондиционирования воздуха, где производится влажностная обработка воздуха.

Концентрации углекислого газа в наружном воздухе зависит оттого, в сельской местности или в крупном промышленном городе расположен проектируемый объект, так как в воздух городов углекислый газ поступает от автомобильного транспорта, труб котельных и ТЭЦ, производственного оборудования, в котором осуществляется процесс сжигания топлива. Значения концентраций CO<sub>2</sub> приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 - Концентрации углекислого газа в наружном воздухе

Место	Концентрация C, л/м <sup>3</sup>
Сельская местность	0,33
Малые города	0,4
Большие промышленные города	0,5

## 6.2 Расчетные параметры внутреннего воздуха

Под параметрами **внутреннего** воздуха понимают параметры воздуха в **обслуживаемой или рабочей** зоне помещения. В верхней зоне помещения, где обычно нет людей, параметры не нормируются.

Параметры внутреннего воздуха назначаются отдельно для теплого и холодного периодов года. Для переходного периода принимаются такие же параметры, как и для холодного.



Для помещений общественных зданий при расчетах СКВ ориентируются на допускаемый диапазон параметров (табл. 3), так как вентиляция не предназначена для поддержания оптимальных параметров. Обычно при наличии избытков тепла в помещении назначают температуру, соответствующую верхней границе допускаемого диапазона, а при наличии недостатков тепла в помещении — нижней границе.

Следует отметить, что температура 18 °С действительно является нижним допустимым значением при условии, что люди находятся без верхней (уличной) одежды в спокойном состоянии. Такая температура не является оптимальной, и большинство людей при ней ощущают некоторую прохладу. Оптимальным значением является диапазон 20-22 °С.

При наличии двух систем обеспечения микроклимата (система отопления и СКВ) следует правильно организовать управление работой систем автоматического регулирования тепловой мощности каждой системы. В противном случае может получиться так, что система отопления снижает свою теплоотдачу, стремясь понизить температуру в помещениях, а СКВ увеличивает подогрев приточного воздуха, стремясь поддержать внутреннюю температуру на заданном уровне. Лучше всего, чтобы одна из систем работала с постоянной теплоотдачей, а регулирование температуры в помещениях осуществляла другая система.

Кроме того, следует предусмотреть работу системы в нештатных ситуациях. Например, в холодный период кто-то оставил открытой форточку в помещении, и температура воздуха в нем начинает понижаться. Тогда система автоматика системы отопления, открывая регулирующий клапан, увеличивает расход теплоносителя через отопительный прибор, что повышает его теплоотдачу. Следствием такой работы автоматики является перерасход тепловой энергии.

Таблица 6.2 - Допустимые нормы параметров внутреннего воздуха в обслуживаемой зоне жилых и общественных зданий (для людей, находящихся в помещении более 2 ч непрерывно)

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %, не более	Скорость воздуха, м/с, не более
Теплый	Не более чем на 3° выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А) Не выше 28 °С * для общественных и административно-бытовых помещений с постоянным пребыванием людей	65***	0,5
Холодный и переходный	18** – 22	65	0,2

*Примечания:*

\* Для районов с  $t_n = 25$  °С и выше следует принимать температуру не выше 33 °С.

\*\* Для общественных зданий с пребыванием людей в уличной одежде следует принимать температуру 14 °С.

\*\*\* В районах с расчетной относительной влажностью наружного воздуха более 75% допускается принимать влажность внутреннего воздуха 75%.

Для теплого периода практически всегда в помещении присутствуют тепловые избытки (технологических процессов с поглощением тепла практически не существует), поэтому температура внутреннего воздуха всегда будет выше наружной температуры. Наружный воздух подается в помещение, нагревается в нем до внутренней температуры, и затем удаляется из помещения, унося избыточное тепло.

Чем больше разница температур внутри помещения и снаружи, тем меньше воздуха требуется подать в помещение, чтобы удалить тепловые избытки, и, следовательно, меньше затраты на систему.

Однако температура внутри помещения не должна быть слишком высокой, так как это нарушает тепловой комфорт людей. В качестве приемлемого компромисса между стоимостью системы и комфортом людей принято следующее базовое положение по отношению к расчетной температуре внутреннего воздуха в теплый период: внутренняя температура должна быть не более чем на  $3^\circ$  выше наружной ( $t_{в} = t_{н} + 3^\circ$ ).

Учитывая, то при температуре  $28^\circ\text{C}$  большинство людей ощущает тепловой дискомфорт, и резко падают их внимание и работоспособность, при умеренном климате ( $t_{н} < 25^\circ$ ) за верхнюю разумную границу внутренней температуры принимают именно это значение  $28^\circ$ , так как это позволяет получить более-менее приемлемые затраты на СКВ и обеспечить более-менее приемлемые условия для людей.

В жарком климате допустимое значение увеличивают до  $33^\circ$ . Это вынужденная мера, так как при наличии тепловых избытков внутренний воздух все равно будет перегреваться. Наиболее неблагоприятные условия будут при высокой температуре наружного воздуха и высокой относительной влажности (приморские южные районы), так как при высокой влажности воздуха ухудшается испарение влаги с поверхности кожи, и тем самым ухудшается охлаждение организма за счет уменьшения отвода скрытого тепла испарения.

Особым случаем является сухой и жаркий климат. Во-первых, при низкой относительной влажности происходит интенсивное испарение влаги с поверхности кожи, что само по себе улучшает охлаждение организма. Поэтому в таком климате даже при высокой температуре человек чувствует себя лучше, чем во влажном приморском климате.

Во-вторых, здесь есть достаточно простое средство для снижения температуры наружного воздуха перед подачей его в помещение – испарительное (адиабатическое) охлаждение. Охлаждение производится без использования холодильной машины, но в сухом жарком климате позволяет существенно снизить температуру воздуха и обеспечить в помещении температуру до  $28^\circ\text{C}$  при

приемлемых расходах воздуха. Если принять расчетную внутреннюю температуру выше, то расход воздуха еще существенно уменьшится.

Расчетную концентрации углекислого газа (диоксид углерода, двуокись углерода,  $\text{CO}_2$ ) во внутреннем воздухе принимают равной предельно допустимой концентрации (ПДК) в помещении. Значения ПДК для  $\text{CO}_2$  приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3 - Концентрации углекислого газа во внутреннем воздухе помещений

Место	Концентрация л/м <sup>3</sup>
Детские комнаты и больницы	0,7
Места постоянного пребывания людей (жилые комнаты)	1,0
Места периодического пребывания людей, более 2 ч непрерывно (учреждения, зрительные залы)	1,25
Места кратковременного пребывания людей, менее 2 ч непрерывно (учреждения, магазины, столовые)	2,0

Лекция 7

## Принцип работы кондиционера. Сплит-системы

### 7.1 Принцип работы кондиционера

В основе работы любого кондиционера лежит свойство жидкостей поглощать тепло при испарении и выделять — при конденсации. Чтобы понять, каким образом происходит этот процесс, рассмотрим схему работы кондиционера на примере сплит-системы (рис 7.1).

Основными узлами любого кондиционера являются:

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

Конденсатор — радиатор, расположенный во внешнем блоке. Название отражает процесс, происходящий при работе кондиционера — переход фреона из газообразной фазы в жидкую (конденсация).

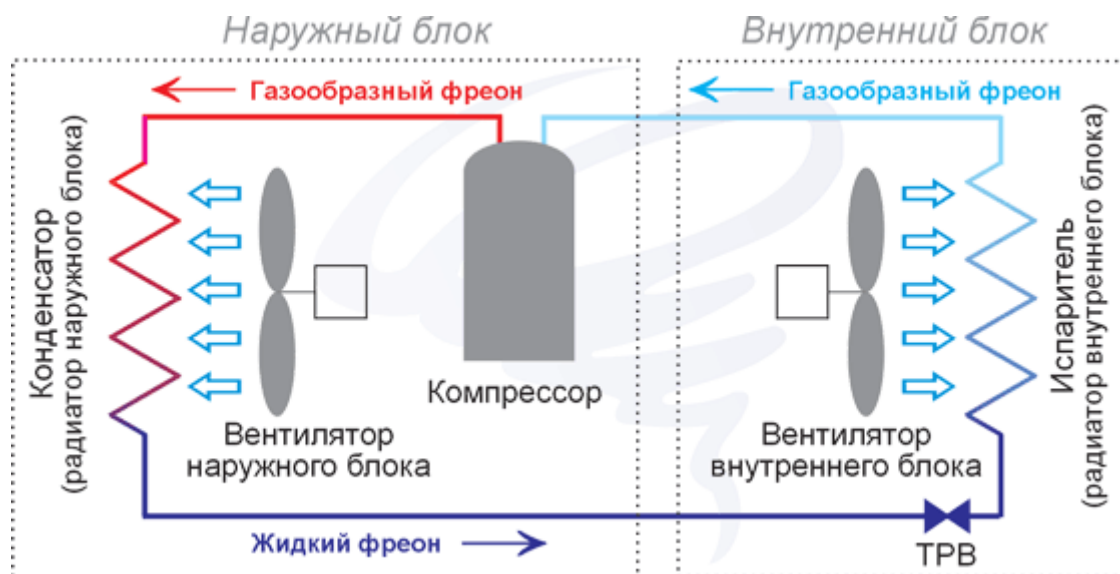


Рис.7.1 Движение хладагента

Испаритель — радиатор, расположенный во внутреннем блоке. В испарителе фреон переходит из жидкой фазы в газообразную (испарение).

ТРВ (терморегулирующий вентиль) — понижает давление фреона перед испарителем.

Вентиляторы — создают поток воздуха, обдувающего испаритель и конденсатор. Используются для более интенсивного теплообмена с окружающим воздухом.

Компрессор, конденсатор, ТРВ и испаритель соединены медными трубами и образуют холодильный контур, внутри которого циркулирует смесь фреона и небольшого количества компрессорного масла.

В процессе работы кондиционера происходит следующее. На вход компрессора из испарителя поступает газообразный фреон под низким давлением в 3 - 5 атмосфер и температурой 10 - 20°C. Компрессор сжимает фреон до давления 15 - 25 атмосфер, в результате чего фреон нагревается до 70 - 90°C, после чего поступает в конденсатор.

Благодаря интенсивному обдуву конденсатора, фреон остывает и переходит из газообразной фазы в жидкую с выделением дополнительного тепла. Соответственно, воздух, проходящий через конденсатор, нагревается.

На выходе конденсатора фреон находится в жидком состоянии, под высоким давлением и с температурой на 10 - 20°C выше температуры атмосферного воздуха. Из конденсатора теплый фреон поступает в терморегулирующий вентиль (ТРВ), который в простейшем случае представляет собой капилляр (длинную тонкую медную трубку свитую в спираль). На выходе ТРВ давление и температура фреона существенно понижаются, часть фреона при этом может испариться.

После ТРВ смесь жидкого и газообразного фреона с низким давлением поступает в испаритель. В испарителе жидкий фреон переходит в газообразную фазу с поглощением тепла, соответственно, воздух, проходящий через испаритель, остывает. Далее газообразный фреон с низким давлением поступает на вход компрессора и весь цикл повторяется.

Этот процесс лежит в основе работы любого кондиционера и не зависит от его типа, модели или производителя.

Кстати, одна из наиболее серьезных проблем в работе кондиционера возникает в том случае, если в испарителе фреон не успевает полностью перейти в газообразное состояние. В этом случае на вход компрессора попадает жидкость, которая, в отличие от газа, несжимаема. В результате компрессор просто выходит из строя. Причин, по которым фреон не успевает испариться может быть несколько, самые распространенные — загрязненные фильтры (при этом ухудшается обдув испарителя и теплообмен) и включение кондиционера при отрицательных температурах наружного воздуха (в этом случае в испаритель поступает слишком холодный фреон).

В режиме охлаждения (рис. 7.2) кондиционер забирает из помещения лишнее тепло и «выбрасывает» его наружу.

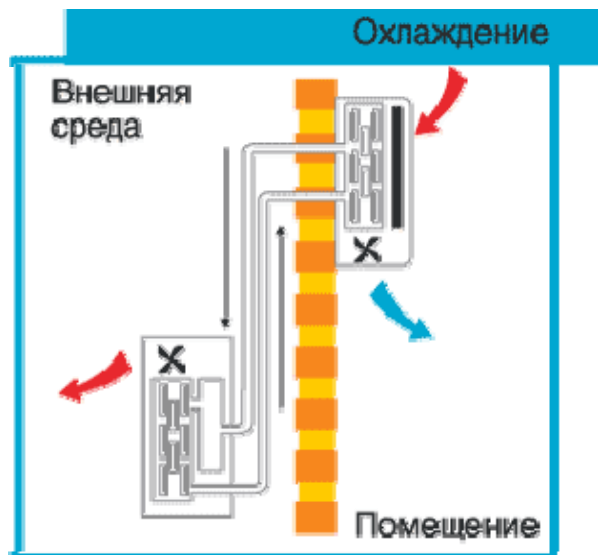


Рис. 7.2 Работа кондиционера в режиме охлаждения

Современные кондиционеры могут работать не только на охлаждение, но и на обогрев помещения. При этом внутренний и наружный блоки просто меняются своими функциями: теплообменник внутреннего блока становится конденсатором, а теплообменник наружного блока — испарителем. В режиме обогрева кондиционер, наоборот, отбирает тепло у уличного воздуха и отдает его воздуху помещения (рис.7.3). Кондиционер, работающий в таком режиме, называют «тепловым насосом», ведь он как бы перекачивает тепло с улицы в дом.

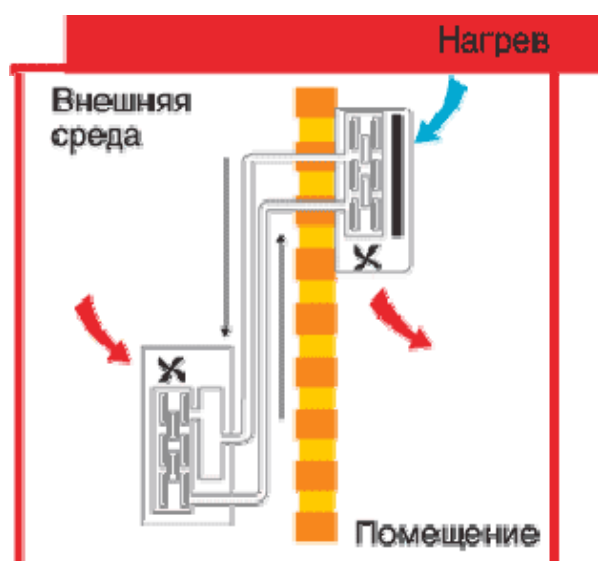


Рис. 7.3 Работа кондиционера в режиме обогрева

Известно, что на холодной поверхности конденсируется влага из воздуха. Благодаря этому кондиционер, работающий на охлаждение, умеет осушать воздух в комнате (рис.7.4). В режиме осушения температура воздуха в комнате практически не меняется, зато содержание в нем влаги падает.

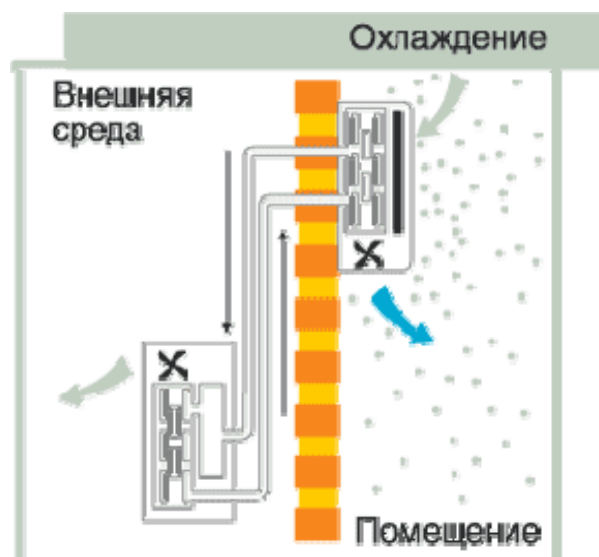


Рис. 7.4 Работа кондиционера в режиме осушения

При необходимости можно вообще отключить компрессор и вентилятор наружного блока, дав возможность поработать только вентилятору внутреннего блока. Это режим вентиляции, когда воздух интенсивно прогоняется через внутренний блок и направляется выходными жалюзи в нужную область помещения.

## 7.2 Сплит-системы

Эти кондиционеры получили свое название от английского слова «split», что означает «раздельный». Сплит-системы состоят из двух блоков — внутреннего и наружного. Такое разбиение понадобилось сразу по нескольким причинам. Во-первых, благодаря тому, что наиболее шумный узел любого кондиционера – компрессор – вынесен во внешний блок, на улицу, в помещении, оснащённом сплит-системой, достаточно тихо. Во-вторых, кондиционер не привязан к оконному проему. Внешний блок размещается на улице, а внутренний —



в любом удобном месте внутри помещения. При этом площадь окон не уменьшается и можно свободно пользоваться шторами и жалюзи. Внутренние блоки бывают настенные, потолочные, колонные, универсальные, напольные, а также встраиваемые в подвесной потолок – канальные и кассетные.

### 7.3 Конструкция типовой сплит-системы настенного типа

СКВ на базе кондиционеров сплит систем применяется:

- в существующих зданиях, в офисных помещениях, в жилых комнатах;
- во вновь строящихся зданиях, в гостиницах и других помещениях.

Сплит-системы настенного типа работают, как правило, на рециркуляцию. Приток свежего воздуха осуществляется через окна. При необходимости подачи и удаления воздуха в помещении предусматривается отдельная система приточно-вытяжной вентиляции.

Рассмотрим более подробно конструкцию настенной сплит-системы.



Рис.7.5 Наружный блок кондиционера

1 Вентилятор создает поток воздуха для обдува конденсатора.

2 Конденсатор - это радиатор, в котором происходит охлаждение и конденсация фреона, воздух, проходящий мимо конденсатора, нагревается и уходит в окружающую среду.

3 Компрессор осуществляет сжатие хладагента и поддерживает его движения по холодильному контуру.

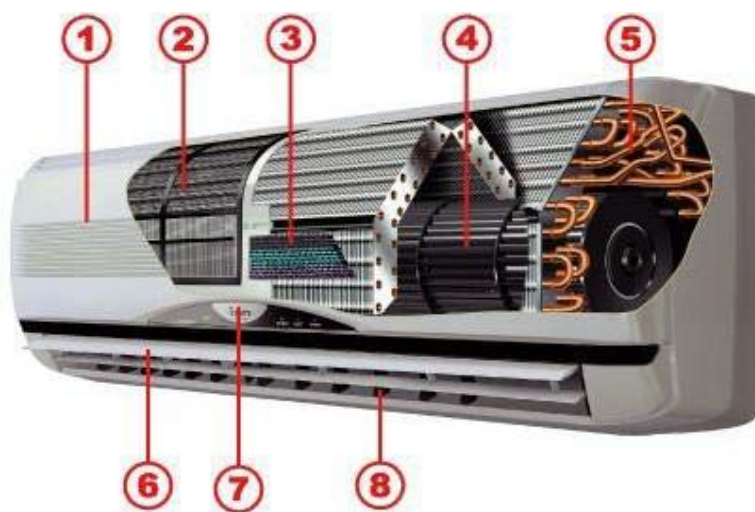
4 Плата управления устанавливается, как правило, в инверторных кондиционерах. В других моделях всю электронику стараются размещать во внутреннем блоке.

5 Четырехходовой клапан устанавливается в моделях с функцией обогрева. В режиме обогрева этот клапан изменяет направление движения фреона, при этом внутренний и наружный блоки как бы меняются местами: внутренний блок работает на обогрев, а наружный, на охлаждение.

6 Штуцерные соединения (на рисунке не видны) для подключения медных труб, соединяющих наружный и внутренний блоки.

7 Фильтр фреоновой системы устанавливается перед входом компрессора и защищает его от частиц грязи, которые могут попасть в систему при монтаже кондиционера.

8 Защитная крышка, которая закрывает штуцерные соединения и электрические разъемы.



**Рис.7.6** Внутренний блок кондиционера

Внутренний блок состоит из следующих основных узлов:

1 Передняя панель - пластиковая решетка, через которую внутрь блока поступает воздух. Панель легко снимается для обслуживания кондиционера (чистки фильтров и т.п.)

2 Фильтр грубой очистки, представляющий пластиковую сетку. Он предназначен для задержки крупной пыли, шерсти животных, тополиного пуха и т.п. Для нормальной работы кондиционера фильтр необходимо чистить не реже двух раз в месяц.

3 Система фильтров состоит из различных фильтров тонкой очистки среди которых обычно бывают: угольный (удаляет неприятные запахи), электростатический (задерживает мелкую пыль), антибактериальные и т.п.

4 Вентилятор, предназначенный для циркуляции очищенного и охлажденного или подогретого воздуха в помещении.

5 Испаритель - это радиатор (теплообменник), в котором происходит нагрев холодного хладагента и его испарение. Продуваемый через радиатор воздух, соответственно, охлаждается.

6 Горизонтальные жалюзи, предназначены для регулировки направление воздушного потока по вертикали. Эти жалюзи имеют электропривод и их положение может регулироваться с пульта дистанционного управления. Кроме этого, жалюзи могут автоматически совершать колебательные движения для равномерного распределения воздушного потока по помещению.

7 Индикаторная панель состоит из индикаторов (светодиодов), показывающих, в каком режиме работы кондиционера и сигнализирующие о возможных неисправностях.

8 Вертикальные жалюзи, которые регулируют направление воздушного потока по горизонтали.

9 Плата управления (на рисунке не показана), на которой размещен блок электроники с центральным микропроцессором.

10 Штуцерные соединения (на рисунке не показаны), расположены в нижней задней части внутреннего блока. К ним подключаются медные трубы, соединяющие наружный и внутренний блоки.

## Применение рециркуляции воздуха в СКВ

Чтобы избежать излишнего расхода энергии на нагрев и охлаждение воздуха, применяют **рециркуляцию** внутреннего воздуха. Рециркуляция воздуха – это повторное использование отработанного внутреннего воздуха. Рециркуляция производится в основном с целью экономии энергии в холодный и переходный и теплый периоды года.

Следует подчеркнуть, что рециркуляция не является обязательной. Существуют системы с переменным расходом воздуха, подающие только наружный воздух, требуемое количество которого определяется по сигналам датчика углекислого газа или влажности. Чаще всего это системы кондиционирования специальных помещений, позволяющие за счет охлаждения получить низкие температуры приточного воздуха в летний период, и тем самым существенно сократить требуемый воздухообмен по тепловым избыткам.

Для кондиционирования общественных зданий использование рециркуляции является **почти обязательным**. Рассмотрим основные соотношения.

При температуре внутреннего воздуха 25°C (летний режим) человек выделяет примерно 60 Вт явной теплоты и примерно 50 г/час влаги. Выделение полной теплоты составляет 95 Вт. Если пренебречь другими источниками теплоты, то значение углового коэффициента луча процесса в помещении будет

$$\varepsilon = 3600 \cdot 95 / 50 = 6840 \text{ кДж/кг}$$

Такое значение луча процесса говорит о том, что количества явного и скрытого тепла соизмеримы, однако явное тепло больше скрытого.

Примем разницу температур приточного и удаляемого воздуха 5°C. Тогда требуемый удельный воздухообмен на одного человека по явному теплу будет

$$G = 3,6 \cdot 60 / 5 = 42 \text{ кг/час}$$

Минимально требуемый воздухообмен на одного человека по санитарной норме равен 20 м<sup>3</sup>/час, или

$$G = 1,2 \cdot 20 = 24 \text{ кг/час}$$

**Таким образом,** расчетный воздухообмен по тепловому периоду примерно в 2 раза больше минимально необходимого по наружному воздуху.

Чтобы можно было подавать только наружный воздух, необходимо иметь разницу температур приточного и удаляемого воздуха 9-10 °С, что достижимо в теплый период только при использовании охлаждения наружного воздуха и требует системы кондиционирования.

Для холодного и переходного периодов расчетная температура составляет 18 – 20°С. При такой температуре один человек в состоянии покоя выделяет около 100 Вт явной теплоты и около 40 г/час влаги. Выделение полной теплоты составляет 120 Вт. При отсутствии других источников теплоты значение углового коэффициента луча процесса в помещении будет

$$\varepsilon = 3600 \cdot 120 / 40 = 108000 \text{ кДж/кг}$$

Такое значение луча процесса говорит о том, что в эти периоды количества явного тепла существенно больше скрытого, и луч процесса идет почти вертикально. Таким образом, в холодный период основной вредностью является явное тепло, а влагой можно пренебречь.

Учитывая низкую температуру наружного воздуха, можно существенно понизить и температуру приточного воздуха, однако слишком низкая температура при неудачном распределении воздуха может вызвать локальное переохлаждение отдельных зон помещения и ощущение холодного сквозняка у людей. Практика показывает, что в зрительных залах можно довести разницу температур приточного и удаляемого воздуха до 8 – 10°С. Тогда требуемый удельный воздухообмен на одного человека по явному теплу будет:

$$G = 3,6 \cdot 100 / 8 = 45 \text{ кг/час}; \quad G = 3,6 \cdot 100 / 10 = 36 \text{ кг/час}$$

Как видно, требуемый воздухообмен по тепловым избыткам имеет примерно то же значение, что и летом. Причиной этого является увеличение выделения явного тепла человеком при более низкой температуре внутреннего воздуха.

Минимально требуемый воздухообмен на одного человека по санитарной норме останется тем же – 24 кг/час.

Таким образом, даже для холодного и переходного периодов года трудно обеспечить работу только на наружном воздухе. Кроме того, снижение производительности системы допустимо только в том случае, если схема распределения воздуха позволяет при этом обеспечить необходимую подвижность в рабочей зоне.

Вышеприведенные соображения подводят нас к выводу о необходимости использования рециркуляции воздуха в большинстве зданий.

Для различных офисных и конторских помещений, в отличие от зрительных залов и им подобных помещений, характерно относительно небольшое количество людей. Поэтому требуемый воздухообмен по санитарной норме для таких помещений небольшой. А воздухообмен по явному теплу оказывается существенно больше, так как к тепловыделениям человека добавляются поступления тепла от компьютеров и освещения, а летом существенную долю составляют тепlopоступления от солнечной радиации, ввиду большой удельной площади остекления.

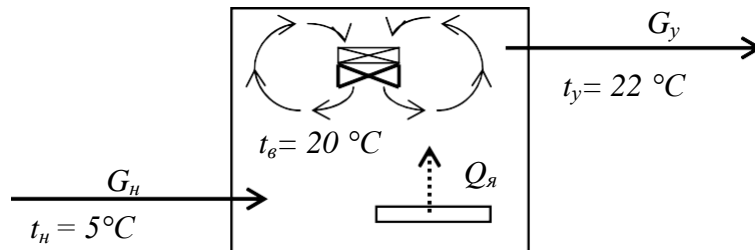
### **8.1 Схемы рециркуляции**

Рециркуляция представляет собой перемешивание внутреннего воздуха, при котором он условно поступает в помещение с той же концентрацией и температурой, с какой удалялся из помещения. Удалить вредности может только наружный воздух. Однако, если бы подавался только наружный воздух в том же количестве, то для удаления тепловых избытков его бы пришлось подавать с очень низкой температурой, что недопустимо для обеспечения комфорта людей. Подмешивание же внутреннего воздуха к наружному позволяет увеличить количество наружного воздуха, не затрачивая энергию на нагрев или охлаждение и подавая его в помещение с приемлемой температурой.

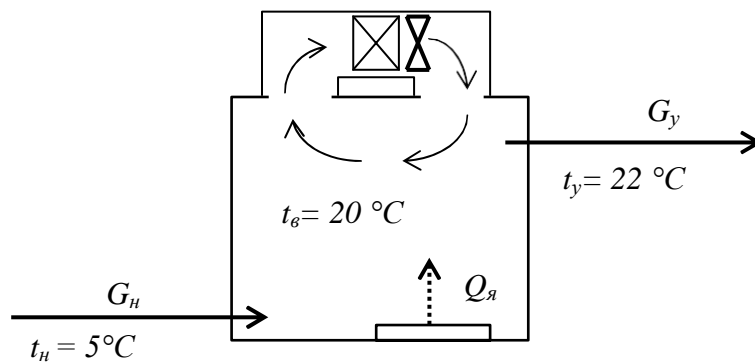
Так как угловой коэффициент луча процесса в помещении определяется только соотношением полного избыточного тепла и влаги, он не может измениться от того, есть рециркуляция или нет. **Рециркуляция не изменяет угловой коэффициент луча процесса в помещении.**

На рисунке 8.1 приведены различные варианты осуществления рециркуляции.

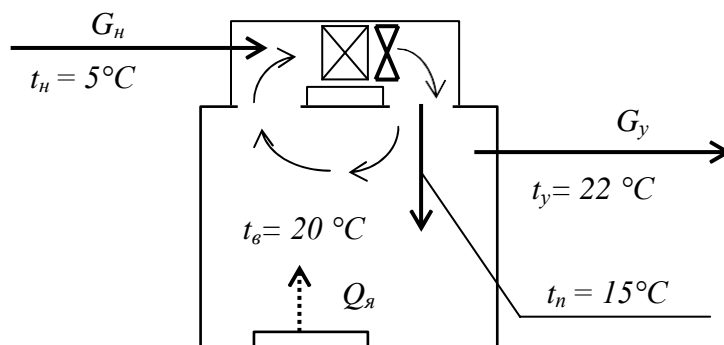
а) Схема с рециркуляцией воздуха непосредственно внутри помещения потолочным вентилятором



б) Схема с рециркуляцией воздуха через потолочный канал



в) Схема с рециркуляцией воздуха через потолочный канал и подмешиванием наружного воздуха



г) Схема с рециркуляцией через центральный кондиционер

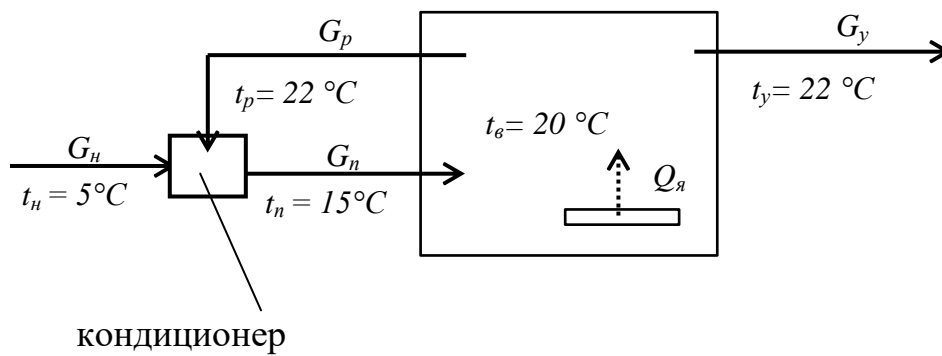


Рис. 8.1. Варианты рециркуляции воздуха

Рециркуляция потолочным вентилятором по схеме **a** осуществляется непосредственно в объеме помещения. Изменить параметры притока наружного воздуха она не может, если в конструкции нет теплообменника. Такая схема без теплообменника применяется в некоторых помещениях (магазины, кафе, административные помещения) только для увеличения подвижности в рабочей зоне. Собственно рециркуляцией этот вариант обычно и не считается. Температура притока наружного воздуха при этом очень низкая из-за необходимости подавить тепловые избытки в помещении.

Если же к вентилятору конструктивно присоединен теплообменник, то их совокупность, выполненная отдельным блоком, называется вентиляторным доводчиком, фанкойлом (от английских слов **fan** – вентилятор, и **coil** – змеевик, нагреватель). Теплообменник может обеспечивать охлаждение или нагрев воздуха для подавления тепловых избытков или недостатков в помещении, а наружный воздух подается без обработки или обрабатывается и подается отдельно со своими индивидуальными параметрами. В кондиционировании системы с фанкойлами используются достаточно широко.

Рециркуляция через потолочный канал по схеме **б** осуществляется чаще. Ее преимуществом является **небольшая длина воздуховодов**. В канале часто устанавливается теплообменник для нагрева или охлаждения воздуха, а также вентилятор для побуждения движения воздуха. Такая схема типична для кон-



диционеров с канальным внутренним блоком. Изменить параметры притока она тоже не может, так как рециркуляционный воздух циркулирует отдельно от приточного. Такая схема широко применяется в помещениях малого и среднего объема. Выбрав правильно количество рециркулирующего воздуха, можно обеспечить требуемую его температуру при выпуске в помещение.

Температура притока наружного воздуха при этом варианте также очень низкая из-за необходимости подавить тепловые избытки в помещении только наружным воздухом, если нет теплообменника в рециркуляционном воздуховоде. Если же он есть, то он обеспечивает охлаждение рециркулирующего воздуха для подавления тепловых избытков, а наружный воздух подается без обработки или обрабатывается и подается отдельно со своими индивидуальными параметрами.

Обычно конструкция фанкойлов и внутренних блоков кондиционеров предусматривает возможность подмешивания части наружного воздуха, и тогда получается схема *в*. Ее преимуществом является то, что воздух подается в помещение через одну систему воздухораспределителей, и его температура на притоке соответствует требованиям норм. Такие схемы нашли широкое распространение в установках кондиционирования воздуха.

Для больших помещений, типа зрительных залов, системы с фанкойлами не применяются, так как это относительно простые установки, не имеющие специальной камеры смешивания, клапанов, устройств утилизации теплоты и автоматики. Кроме того, мощности фанкойлов ограничены и часто недостаточны для обслуживания очень крупных помещений. Их вентиляторы развивают небольшие давления, что позволяет получить более низкий уровень шума, однако не позволяет преодолевать сопротивление протяженных воздухопроводов и дополнительных устройств.

Поэтому вентиляцию таких помещений осуществляют, как правило, при помощи достаточно крупных центральных установок, которые могут включать любой состав оборудования. Рециркуляцию при этом осуществляют через основную установку по схеме *г*. Это позволяет очень гибко управлять установ-

кой и обеспечивать наиболее экономичные режимы эксплуатации, управляя в оптимальном режиме всеми устройствами.

Во всех системах для регулирования степени рециркуляции (доли рециркуляционного воздуха по отношению к общему количеству приточного воздуха) на рециркуляционном воздуховоде устанавливается регулирующий клапан.

В некоторых ситуациях при соответствующем обосновании могут применяться и другие принципиальные схемы систем вентиляции. В частности, за рубежом распространены системы с **переменным расходом** приточного воздуха, что позволяет вообще отказаться от рециркуляции воздуха в холодный период, подавая только наружный воздух. Как правило, такие системы используют схему рассредоточенной подачи воздуха в нижнюю зону помещения, что позволяет избежать перемешивания воздуха по высоте помещения и более эффективно вентилировать нижнюю рабочую зону, где находятся люди.

Лекция 9

## **Центральные системы кондиционирования воздуха**

Центральными называются СКВ, обслуживающие несколько помещений из одного центра, внешнего по отношению к обслуживаемым помещениям. Такие системы снабжаются извне холодом (доставляемым холодной водой или хладагентом), теплом (доставляемым горячей водой, паром или электричеством) и электрической энергией для привода электродвигателей вентиляторов, насосов.

Центральные системы кондиционирования воздуха расположены вне обслуживаемых помещений и кондиционируют одно большое помещение, несколько зон такого помещения или много отдельных помещений. Иногда несколько центральных кондиционеров обслуживают одно помещение больших размеров (производственный цех, театральный зал, закрытый стадион или каток). Приготовленный в центральном кондиционере воздух подается в обслуживаемые помещения по сети воздухопроводов. Центральные СКВ получили наи-

большее распространение для помещений значительных размеров в промышленных и общественных зданиях.

По степени использования наружного воздуха центральные СКВ подразделяют на приточные, рециркуляционные и с частичной рециркуляцией. В приточных СКВ используется только наружный воздух. Эти системы забирают наружный воздух, обрабатывают его до необходимых параметров и подают в обслуживаемые помещения. Из помещений воздух удаляется системами вытяжной вентиляции.

Приточные СКВ применяют для помещений, в которых выделяются токсичные пары и газы, пыль и содержатся болезнетворные микроорганизмы, исключающие повторное использование удаляемого из помещения воздуха. Такие же системы применяют для помещений, в воздухе которых содержатся резко выраженные неприятные запахи, а также для помещений с выделениями взрывоопасных и пожароопасных веществ.

В рециркуляционных (замкнутых) СКВ многократно используется один и тот же воздух, который забирается из помещения, подвергается в кондиционере необходимой обработке и снова подается в помещение. Таким образом осуществляется полная рециркуляция воздуха. Рециркуляционные системы применяют для помещений, в которых образуются только тепло- и влагоизбытки, и в которых отсутствуют выделения вредных паров, газов и пыли. Если в воздух помещений поступают вредные пары, газы и пыль, то применять СКВ с полной рециркуляцией можно лишь при включении в комплект устройств по обработке воздуха, специальных аппаратов для очистки воздуха от вредных примесей, что весьма усложняет системы и обычно экономически нецелесообразно. К такому решению прибегают тогда, когда нельзя использовать наружный воздух. В СКВ с полной рециркуляцией осуществляются только очистка воздуха от пыли и тепловлажностная обработка, поэтому такие СКВ применяют для кондиционирования воздуха в помещениях, в которых требуется поддержание температурно-влажностных параметров воздуха, а потребность в наружном воздухе отсутст-

вует или удовлетворяется другими системами. К числу таких помещений относятся многие технологические помещения с тепловыделяющим оборудованием.

Наиболее распространенной является СКВ с частичной рециркуляцией, в которой используется смесь наружного и рециркуляционного воздуха. Такие системы применяют при условии, что воздух, используемый для рециркуляции, не содержит токсичных паров и газов, а расчетное количество вентиляционного воздуха для удаления избытков теплоты и влаги превышает количество наружного воздуха, которое должно подаваться в помещение для ассимиляции вредных паров и газов. Кроме того, использование рециркуляционного воздуха должно приближать температурно-влажностные параметры наружного воздуха к требуемым параметрам приточного воздуха. СКВ с частичной рециркуляцией обычно предусматривается с подачей в помещения переменных объемов наружного и рециркуляционного воздуха в зависимости от параметров наружного воздуха. Однако количество наружного воздуха в смеси, подаваемой в помещение СКВ с частичной рециркуляцией, должно быть не меньше санитарной нормы.

СКВ с частичной рециркуляцией являются наиболее гибкими: в зависимости от условий и состояния наружного воздуха они могут работать по прямой схеме и по схеме с частичной или полной рециркуляцией. В последнем случае при необходимости газовый состав воздуха по кислороду и углекислому газу в помещениях поддерживается иными средствами.

В системах с частичной рециркуляцией рециркуляционный воздух смешивается с наружным до или после камеры орошения. В первом случае система называется СКВ с первой рециркуляцией, во втором - СКВ со второй рециркуляцией. Применение первой рециркуляции позволяет уменьшить расход теплоты на нагрев наружного воздуха в холодное время года и расход холода на охлаждение воздуха в теплое время.

В промышленных и общественных зданиях имеются помещения значительных размеров, в которых выделяются различные вредности (тепло, влага, пары и газы). Интенсивность выделений неодинаково изменяется по площади и

по времени. По условиям назначения этих помещений их нельзя разделить перегородками или изолировать по воздуху отдельные участки. Поэтому такие помещения приходится разбивать на условные зоны, в каждой из которых характер формирования теплового режима примерно одинаков и возможно поддержание одинаковой температуры путём управления температурой приточного воздуха в эту зону. При выборе рационального типа СКВ для таких зданий могут рассматриваться такие возможные принципиальные решения: В больших помещениях с равномерным распределением по площади и однородным характером изменения тепло- и влагоизбытков (залы театров, кинотеатров, спортивные залы и т.п.) применяются однозональные центральные СКВ. В каждой зоне помещения предусматривают самостоятельную однозональную СКВ. Вследствие равномерности и однородности тепловых режимов поддержание температуры внутреннего воздуха достигается автоматическим регулированием температуры приточного воздуха, подаваемого во все помещения. Как правило, для круглогодичной работы СКВ расчётные параметры внутреннего воздуха задаются различными для теплого и холодного периодов года.

Одноканальные системы кондиционирования воздуха относят к системам с качественным регулированием.

Существуют и двухканальные СКВ, в которых воздух двух различных состояний подается в помещения по двум самостоятельным каналам. Требуемые параметры приточного воздуха достигаются смешением воздуха перед подачей в помещение. Их относят к системам с количественным регулированием. Двухканальные системы используются очень редко из-за сложности регулирования, хотя они и обладают некоторыми преимуществами, в частности, отсутствием в обслуживаемых помещениях теплообменников, трубопроводов теплохолодоносителя, возможностью совместной работы с системой отопления что особенно важно для существующих зданий, системы отопления которых при устройстве двухканальных систем могут быть сохранены. Недостатком таких систем являются повышенные затраты на тепловую изоляцию параллельных воздухопроводов, подводимых к каждому обслуживаемому помещению. Если тре-

буется подавать в помещения воздух с различными параметрами, то применяют многозональные центральные СКВ. Для обслуживания всего помещения применяют одну центральную приточную или рециркуляционную СКВ. Изменение параметров приточного воздуха осуществляется по контролю внутренних параметров воздуха в каждой зоне. В многозональных СКВ приточный воздух доводится в центральном кондиционере до определенных параметров, по воздуховодам подается к помещениям (зонам), а перед выдачей в помещения подвергается дополнительной обработке в тепломассообменных аппаратах. В местных доводчиках воздух доводится до параметров, требуемых для каждого помещения.

Применение многозональных СКВ более экономично, чем устройство индивидуальных систем для каждого из обслуживаемых помещений. Однако эти системы могут поддерживать с заданной точностью только один из параметров воздуха: температуру или относительную влажность. Многозональные СКВ, применяемые для общественных зданий, обычно поддерживают температуру воздуха на заданном уровне, допуская отклонения относительной влажности от расчетных значений.

### **9.1 Кондиционеры для центральных СКВ**



Рис. 9.1 Общий вид центрального кондиционера

В состав центрального секционного кондиционера в общем случае входят рабочие секции (воздушный фильтр, воздухонагреватели первого и второго подогрева, воздухоохладители и камеры орошения, воздушные клапаны), а также камеры и секции корпуса кондиционера, необходимые для сборки и обслуживания рабочих секций (камеры присоединительные, смесительные, секции пово-

ротные и др.). Наружный воздух из воздухозаборного устройства поступает через открытый утепленный клапан в смесительную камеру. Как правило, клапан имеет пневматический или электрический привод, который через систему автоматического управления включается в схему электродвигателя вентилятора. При пуске вентилятора в работу привод открывает створки клапана а при остановке - закрывает. Через регулирующийся клапан поступает в смесительную камеру рециркуляционный воздух. Рециркуляционный и наружный воздух перемешивается в смесительной камере, получившаяся смесь воздуха проходит далее через воздушный фильтр, предназначенный для очистки воздуха от пыли. Доступ для ревизии и обслуживания фильтра осуществляется через дверки в воздушных камерах.

Из фильтра через воздушную камеру воздух поступает в теплообменники секции первого подогрева, в которых при необходимости воздух нагревается до требуемой температуры. Нагрев воздуха регулируется изменением температуры и расхода горячей воды, поступающей в теплообменники. Если в кондиционере используют теплообменники, обогреваемые паром, то здесь предусмотрен обводной канал, расход воздуха через который регулируется секционным клапаном.

Из секции первого подогрева через воздушную камеру воздух поступает в камеру орошения, в которой подвергается увлажнению, осушке, охлаждению. Иногда вместо камеры орошения используют поверхностные воздухоохладители или другие устройства, способные охладить воздух и изменять его влагосодержание. Далее воздух через воздушную камеру поступает к теплообменникам секции второго подогрева. К фланцам последней по ходу воздуха воздушной камеры присоединяется переходная секция, посредством которой воздушный тракт секций соединяется с всасывающим патрубком вентилятора. Для обеспечения горизонтальной связки и установки секций и камер служат опоры. Нагревательное отверстие вентилятора соединяется с приточным воздуховодом, по которому подготовленный в кондиционере воздух подается в помещения непосредственно или через местные доводчики.

## **9.2 Крышные кондиционеры (roof-top) и особенности их применения**

Крышные кондиционеры имеют мощность от 8 до 140 кВт и расход воздуха от 1500 до 25000 м<sup>3</sup>/ч. Благодаря моноблочной конструкции эти кондиционеры отличаются простотой монтажа и обслуживания. По своим характеристикам и области применения крышные кондиционеры близки к центральным кондиционерам. Принципиальное отличие между ними в том, что крышный кондиционер является моноблоком и устанавливается на крыше, а центральный кондиционер устанавливается в помещении, но ему необходим внешний источник холода.

Кондиционеры поставляются в полностью собранном, укомплектованном виде. Они заправлены хладагентом и проверены перед отправкой на завод-изготовителе. Благодаря тому, что подача и вытяжка обрабатываемого воздуха осуществляются по воздуховодам, можно добиться оптимального воздухораспределения. Использование моноблочных кондиционеров позволяет полностью сохранить интерьеры помещений.

В отличие от системы чиллер-фанкойл и мультizonальной системы, крышный кондиционер имеет возможность производить не только кондиционирование, но и вентиляцию помещения, при этом для смешения воздуха используется специальная смесительная камера, в которой происходит регулирование соотношения внутреннего и наружного воздуха. В то же время, себестоимость крышного кондиционера по сравнению с вышеназванными промышленными системами довольно невелика.

В то же время у крышного кондиционера есть ряд недостатков, к которым следует отнести достаточно высокую степень энергопотребления, которое достигает порядка 80 Вт/кв.м. Еще один недостаток крышного кондиционера - это необходимость наличия обслуживающего персонала. При этом отсутствует возможность управлять режимом работы крышного кондиционера индивидуально для каждого помещения, все режимы и настройки по работе такого кондиционера задаются централизованно.



Кроме того, для установки крышного кондиционера требуется место на крыше здания, что далеко не всегда может согласовываться с архитектурным решением. Еще одним важным моментом в случае использования крышных кондиционеров является необходимость прокладки магистральных воздуховодов, при этом используются воздуховоды большого сечения. Таким образом, стоимость установки кондиционера крышного типа оказывается довольно высокой, что также относится к недостаткам таких кондиционеров.

Как правило, крышные кондиционеры используются для обслуживания таких архитектурных объектов, как театры, большие спортивные и торговые комплексы, концертные залы, кафе, рестораны, крытые стадионы.

Как и все кондиционеры, крышный кондиционер содержит стандартный набор узлов и агрегатов, а именно: конденсатор, компрессор, испаритель, вентиляторы. Кроме того, в комплектацию может входить смесительная камера, в которой осуществляется смешение рециркуляционного воздуха (забираемого непосредственно из помещения) и внешнего воздуха с улицы, а также электрический либо водяной калорифер, служащий для нагрева воздуха в холодное время года.

Свежий воздух забирается с улицы через заборную решетку крышного кондиционера. Рециркуляционный воздух забирается из помещения по системе воздуховодов и подается в смесительную камеру, где смешивается со свежим воздухом. Необходимое соотношение свежего и рециркуляционного воздуха обеспечивается изменением положения заслонок.

Автономный крышный кондиционер установлен на кровле одноэтажного здания магазина. Кондиционер работает на смеси наружного и рециркуляционного воздуха. Необходимое количество наружного воздуха поступает в смесительную камеру, где перемешивается с воздухом, забираемым из помещения.

Общее количество воздуха проходит через фреоновый воздухоохладитель и поступает в помещение через систему воздуховодов и воздухораспределителей. Удаление вытяжного воздуха осуществляется системой естественной вытяжной вентиляции через крышный дефлектор.



Рис.9.2 Применение крышного кондиционера

В кондиционерах малой мощности может отсутствовать смесительная камера с жалюзийными заслонками, поэтому смешение в этом случае необходимо выполнять в подводящем воздуховоде.

Из смесительной камеры воздух проходит через фильтр и подается к теплообменнику (испарителю или конденсатору) холодильной машины, где он охлаждается или нагревается (в кондиционерах с тепловым насосом). Для подогрева воздуха в кондиционер может использоваться дополнительный электрический или водяной нагреватель

После теплообменников воздух с требуемой температурой подается центробежным вентилятором в систему распределительных воздуховодов.

Воздух для охлаждения конденсатора холодильного цикла забирается из атмосферы специальным вентилятором, также входящим в конструкцию кондиционера, и затем выбрасывается на улицу.

### **Газовый нагрев**

Функция газового нагрева, используемая в крышных кондиционерах, позволяет подогревать воздух и подавать его в отапливаемое помещение на протяжении и переходного, и холодного периодов года. Кроме этого применение функции газового нагрева в крышном кондиционере значительно уменьшает

нагрузку на тепловой пункт здания и соответственно значительно уменьшает требуемую мощность котла.

Более того, при нагреве воздуха в помещении с помощью газовой горелки установленной непосредственно в крышном кондиционере уменьшаются потери, и увеличивается КПД системы за счет того, что пропадает промежуточное звено (система горячей воды) между природным газом и подогретым воздухом.

Термостат контроля пламени газовой горелки, исключает возможность выхода из строя агрегатов крышного кондиционера при работе на обогрев.

Крышные кондиционеры характеризуются широким диапазоном мощностей - от 8 до 140 кВт по холоду и теплу, и соответствующими расходами воздуха от 1500 до 25000 м<sup>3</sup>/ч.

### **9.3 Центральные СКВ на базе чиллера и фанкойлов.**

В данной системе кондиционирования источником холодоснабжения является чиллер, установленный на крыше. Местные неавтономные кондиционеры-доводчики (фанкойлы) напольной установки обеспечивают оптимальные температурные условия в помещениях.

Система "чиллер-фанкойлы" отличается от других СКВ тем, что между наружным блоком (чиллером) и внутренними блоками (фанкойлами) циркулирует не фреон, а вода или незамерзающая жидкость.

Фанкойлы включают в себя два теплообменника и подключены по четырехтрубной схеме, что позволяет использовать их в зимнее время как приборы центрального отопления. Четырехтрубная установка предполагает круглогодичное использование фанкойла. В период охлаждения в основной теплообменник поступает холодная вода из чиллера, в межсезонье теплая вода также поступает от чиллера, работающего в режиме теплового насоса. В отопительный (зимний) сезон через дополнительный теплообменник циркулирует горячая вода (с температурой теплоносителя 70-95 градусов) от системы центрального отопления. Воздухообмен осуществляется за счет естественной вытяжной вентиляции.

Чиллер снабжает холодной водой фанкойлы многоэтажного здания. Го-

рячая вода поступает в систему из городской теплосети через индивидуальный тепловой пункт в подвале. Такой вариант установки является наиболее дешевым, поскольку не требуется места в здании или во дворе. При этом выбрана установка с малошумными осевыми вентиляторами, чтобы их шум не проникал в обслуживаемое и рядом стоящие здания.

Насосная станция, обеспечивающая циркуляцию воды в системе "чиллер-фанкойлы", также устанавливается на крыше.

Преимущества системы "чиллер-фанкойлы":

- расстояние между чиллером и фанкойлами может достигать нескольких сотен метров и определяется мощностью насосной станции;
- для соединения чиллера с фанкойлами используются обычные водопроводные трубы (часто пластиковые), а не дорогие медные фреоновые коммуникации;
- каждый фанкойл может поддерживать свою заданную температуру в помещении.

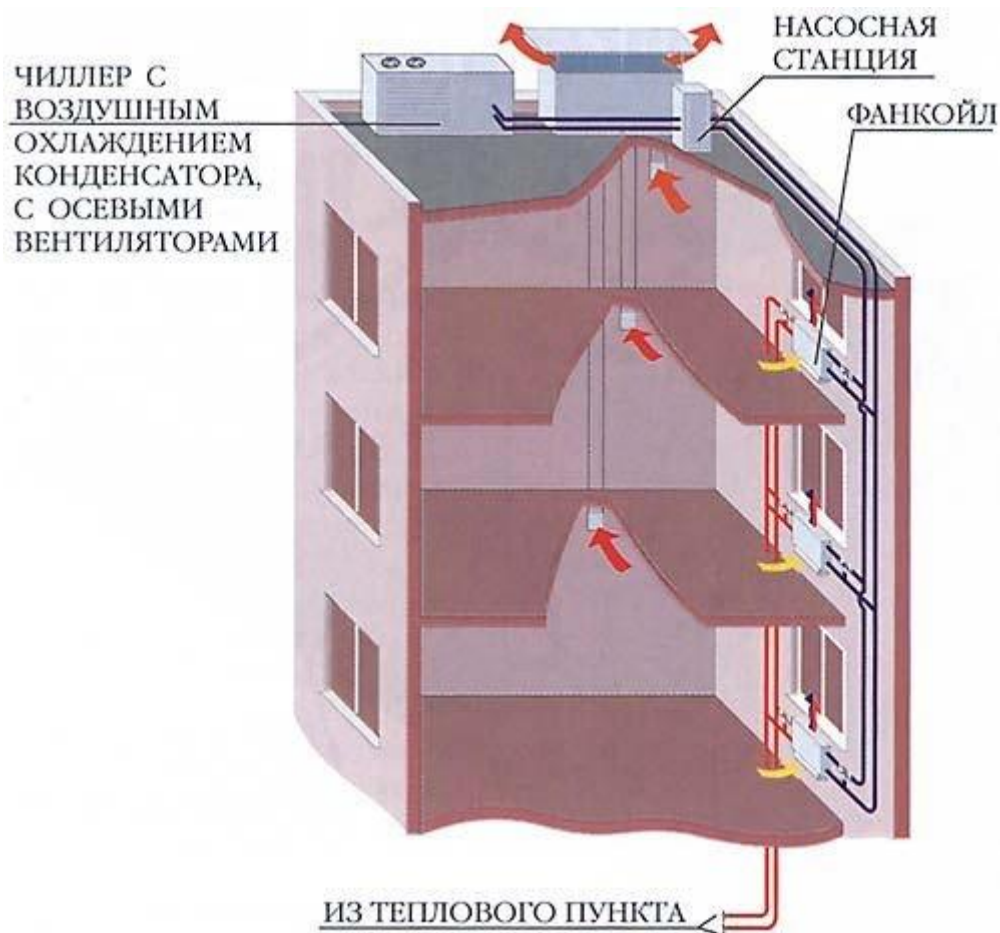


Рис. 9.3 Применение чиллеров и фанкойлов

Представленная система кондиционирования широко применяется, как правило, при строительстве или реконструкции здания целиком или хотя бы отдельного этажа в гостиницах, офисах, медицинских учреждениях и школах.

### **Преимущества центральных СКВ.**

Центральные СКВ характеризуются:

Простотой монтажа и установки.

Компактностью.

Высокой надежностью и экономичностью в эксплуатации.

Единой системой автоматики, позволяющей при задании необходимой температуры в помещении, автоматически выбирать режимы работы.

Работой с низкими шумовыми характеристиками.

### **Недостатки центральных СКВ.**

Крупные габариты и трудоемкость строительного-монтажных работ по установке кондиционеров, прокладке воздуховодов и трубопроводов.

Трудности применения центральных СКВ в существующих и реконструируемых зданиях.

Менее гибкое регулирование температуры и влажности в отдельных помещениях.

Лекция 10

## **Многозональные СКВ. VRF-системы**

Для современных зданий характерно многокомнатное расположение помещений, неравномерное распределение их по площади, а также различная интенсивность изменений тепло - и влаговывделений. При разработке системы кондиционирования воздуха таких объектов необходимо предусмотреть возможность одновременного обеспечения требуемых параметров внутреннего воздуха в нескольких зонах помещения. Для этих целей в каждой обслуживаемой зоне помещения предусматривают соответствующие устройства, обеспечи-

вающие тепловую обработку приточного воздуха в соответствии с особенностями изменения контролируемого параметра внутреннего воздуха в зоне.

Для зданий, где имеется много небольших помещений, и в каждом из которых нужно поддерживать свои климатические параметры, идеально подходят многозональные системы. Такие системы построены по принципу конструктора: в зависимости от требуемой производительности и пожеланий заказчика выбирают определенные виды наружных и внутренних блоков. Особенностью этого вида кондиционеров является то, что их монтаж может быть произведен в реконструируемых зданиях, а при необходимости даже после завершения строительных работ. Мультисплит-системы обеспечивают большой комфорт и независимость для пользователя по сравнению с другими. Суммарная длина магистрали в мультизональной системе может составлять до 400 м, а перепад высот до 50 м.

### **10.1 VRF системы**

Аббревиатура VRF – составлена из заглавных букв Variable Refrigerant Flow и в переводе с английского означает «переменный расход холодильного агента». Основное отличие VRF-систем от, ставших классическими, сплит-систем заключается в реализации принципа многозональности, то есть, перераспределение хладагента между внутренними блоками по мере необходимости. В таких кондиционерах к наружному блоку (компрессорно-конденсаторному агрегату) с помощью медных трубопроводов может быть подсоединено до 32 внутренних блоков. Все внутренние блоки могут работать и управляться независимо друг от друга.

Разработанные в качестве альтернативы традиционным центральным системам кондиционирования, VRF-системы имеют ряд преимуществ:

- возможность создавать индивидуальные параметры микроклимата в каждом помещении;
- отсутствие необходимости в постоянном обслуживании;
- широкие возможности в части выбора метода управления;

+/- энергоэффективность системы за счет использования инверторного способа регулирования работы компрессора;

- экономия на воздуховодах;

- отсутствие необходимости в помещениях для размещения оборудования.

Производительность внутренних блоков в многозональных системах регулируется за счет изменения потока хладагента через теплообменник. В свою очередь, поток регулируется электронным расширительным клапаном, который установлен во внутренних блоках. Одновременно меняется производительность компрессора.

Компрессор современной VRF-системы оснащен инверторным приводом, который позволяет плавно менять скорость вращения компрессора и соответственно его производительность. Блок инвертора в таких кондиционерах преобразует переменное напряжения питания в постоянное (этот процесс называется инвертирование), что позволяет плавно изменять частоту оборотов компрессора и тем самым регулировать мощность кондиционера. В процессе работы инверторного кондиционера не возникает постоянных циклов включения и отключения компрессора, поэтому инверторные блоки более точно поддерживает заданную температуру

Важным достоинством VRF-системы является разнообразие внутренних блоков. Они могут быть настенными, кассетными, канальными, подпотолочными, напольными, что дает возможность эффективно охлаждать помещения любой планировки, не вторгаясь в существующие интерьеры.

VRF-системы долговечны и экономичны. Они рассчитаны на эксплуатацию в течение 20-25 лет.

## **10.2 Подбор оборудования СКВ**

В состав многозональной мультисплит - системы входит один наружный блок и внутренние блоки различных типов установки и различной мощности.

Внутренние блоки подбираются исходя из расчетного значения теплопритоков, ограничений по длине трассы, места установки, интерьера помеще-

ний. Подбор оборудования может быть сделан вручную или с помощью компьютерной программы.

Подобрать внутренний блок это означает определить :

- тип блока (настенный, кассетный, канальный, подвесной, напольный);
- модель блока (согласовываем холодопроизводительность с теплопотуплениями);
- выбрать место расположения блока.

На правильный выбор внутреннего блока влияет общее архитектурное решение помещения. Модель блока выбирается обязательно с учетом заданных температуры и влажности воздуха в помещении. Самыми распространенными являются такие виды блоков:

1. Настенный
2. Кассетный
3. Канальный

### 10.3 Настенные внутренние блоки

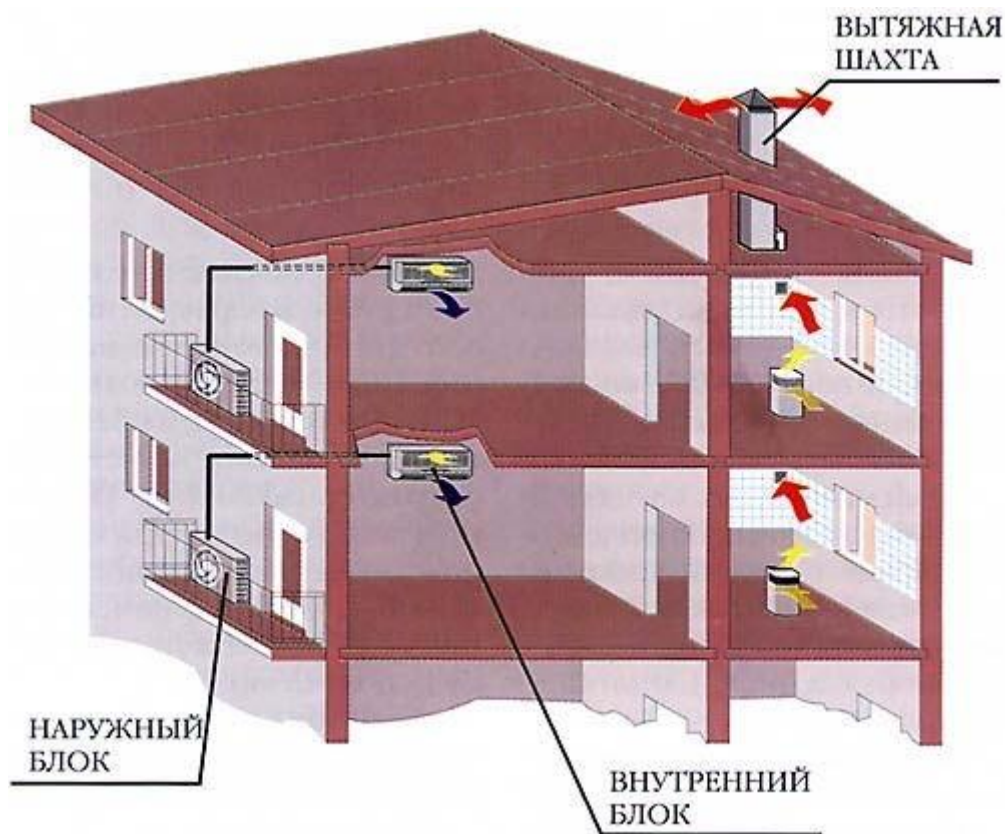


Рис. 10.1 Пример сплит-системы настенного типа



Настенный внутренний блок кондиционера самый распространенный и наиболее привычный тип блока, поскольку именно они чаще всего применяются в квартирах. Блок устанавливают в верхней части стены. Уровень шума внутренних блоков настенного типа фирмы на сегодняшний день является самым низким. – 26 дБ. Это значение находится за порогом слышимости для большинства людей.

Благодаря мощному вентилятору и специально подобранной режиму работы, жалюзи настенных блоков кондиционеров обеспечивают равномерное распределение охлажденного или нагретого воздуха в помещении. Угол подачи воздуха в горизонтальной плоскости составляет  $150^\circ$ , длина воздушной струи достигает 12 метров.

Внутренние блоки системы VRF оснащены уникальными фильтрами, которые позволяют нейтрализовать антиоксиданты, опасные для здоровья людей. Воздушный фильтр имеет специальное каталитическое покрытие, выполняющее антиоксидантную функцию. Дополнительный фильтр тонкой очистки – электростатический фильтр эффективно очищает воздух от частиц пыли размером 1 микрон.

#### **10.4 Кассетные внутренние блоки**

Внутренние блоки кассетного типа встраиваются в подвесной потолок. Нижняя часть такого блока имеет размер стандартной потолочной плитки — 600 x 600 мм и закрывается декоративной решеткой с распределительными жалюзи. Охлажденный воздух распределяется через нижнюю часть блока.

Основное достоинство кассетного кондиционера — незаметность, поскольку видна только декоративная решетка. Еще одно его преимущество — равномерное распределение воздушного потока по четырем направлениям, что позволяет использовать всего один блок для охлаждения большого помещения (при использовании настенных блоков для достижения аналогичного эффекта пришлось бы использовать 2 – 3 кондиционера меньшей мощности).

В кассетных блоках VRF-системы не все 4 жалюзи связаны друг с другом (либо одновременно двигаются, либо открыты под одинаковым углом). Каждый

имеет собственный привод, что позволяет зафиксировать их в определенном положении, исходя из конфигурации помещения и размещения людей. При выключении кондиционера все жалюзи автоматически закрываются.

Из-за контакта комнатного воздуха с холодными жалюзи декоративной решетки, на жалюзи может образовываться конденсат. Чтобы этого избежать, их покрывают ворсом. В кассетных блоках внутри жалюзи установлен нагреватель, который препятствует образованию конденсата.

### **10.5 Канальные внутренние блоки**

Канальные внутренние блоки устанавливаются за подвесным или подшивным потолком, который полностью скрывает этот блок. Они имеют более простую конструкцию, так как к ним не предъявляются особые требования дизайна. Видимыми остаются только декоративные решетки, по которым раздается по помещению.

К недостаткам канальных кондиционеров относится невозможность поддержания в каждом помещении индивидуальной температуры. Приточный воздух подается в количестве не более 15 % от общего воздухообмена, а зимой возможно обмерзание испарителя и выпадение конденсата.

К достоинствам канальных кондиционеров относятся низкая стоимость, возможность подачи наружного воздуха, возможность полностью скрыть внутренний блок за строительными конструкциями.

Распределение охлажденного воздуха осуществляется по системе теплоизолированных воздуховодов, которые также размещаются в межпотолочном пространстве. Забирается воздух также через декоративные решетки, проходит внутренний блок и системой воздуховодов снова подается в помещения через распределительные решетки.

Блок имеет вентилятор с мощным статическим напором, позволяющим преодолеть сопротивление распределительных воздуховодов и решеток.

Благодаря такой конструкции, канальный кондиционер может охлаждать сразу несколько помещений. Принципиальное отличие канального блока от ос-

тальных — в возможности подмешивания свежего воздуха в объемах, необходимых для полноценной вентиляции кондиционируемых помещений. Таким образом, использование канального блока позволяет обеспечить вентиляцию и кондиционирование помещения.

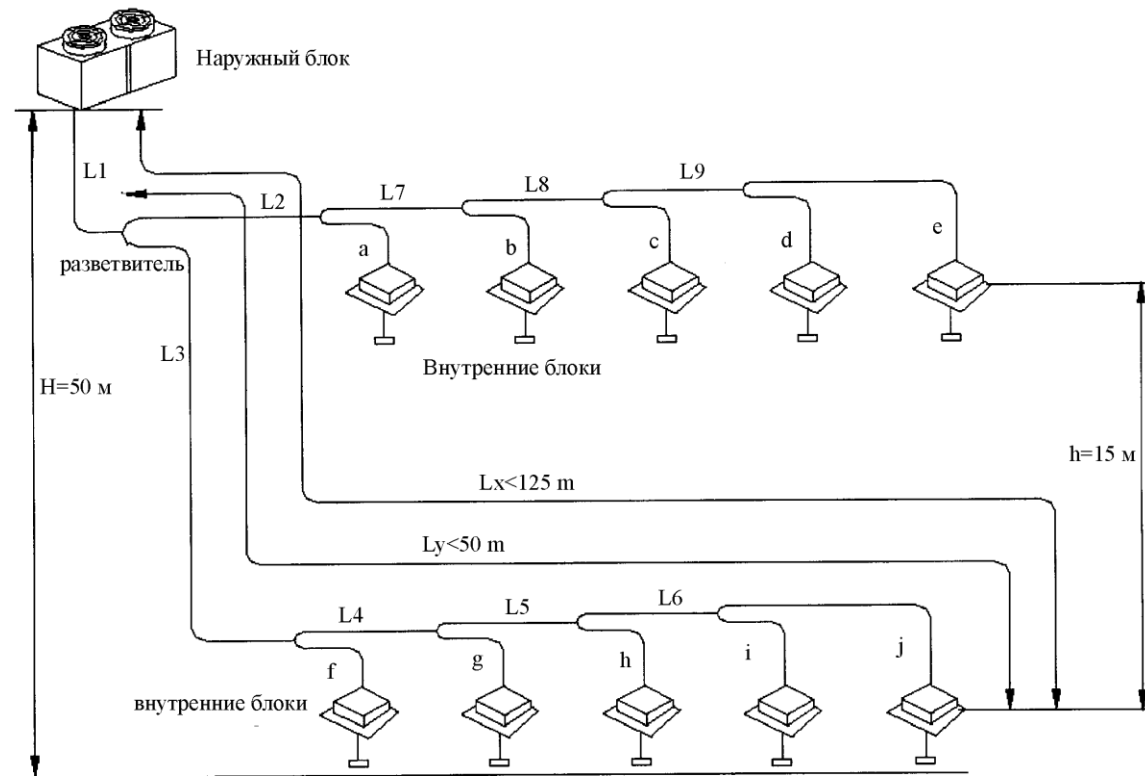


Рис. 10.1 Схема межблочной фреоновой трассы

$H$  – максимальный перепад высот между внутренним и наружным блоком;

$h$  – максимальный перепад высот между внутренними блоками

$L_x$  – максимальная эквивалентная длина трассы от наружного блока до наиболее удаленного внутреннего блока

$L_y$  – максимальная эквивалентная длина трассы от первого разветвителя до наиболее удаленного внутреннего блока.

Соединительные трубы фреоновой магистрали должны быть бесшовные и изготовлены из меди. Диаметры соединительных труб выбирают в зависимости от производительности внутреннего блока либо индексов производительностей в случае разветвления магистрали. Пайку труб системы производят в среде защитного газа – азота.

Лекция 11

## **Определение основных вредных выделений в помещениях**

Целью систем кондиционирования воздуха является создание комфортных условий для пребывания людей в помещениях. На тепловой комфорт человека влияют температурно-влажностные условия в помещении и подвижность воздуха, а на процессы дыхания, обмена веществ и другие функции организма – газовый состав воздуха, то есть наличие в воздухе вредных веществ, изменяющих нормальное функционирование различных подсистем организма.

### **11.1 Основные виды вредностей и их влияние на самочувствие человека**

В помещения жилых и общественных зданий поступают следующие вредности: а) углекислый газ; б) выделения тепла; в) выделения влаги. Поступление других вредностей наблюдается в производственных зданиях, так как связано с протеканием какого-либо технологического процесса.

Углекислый газ выделяется в воздух помещений при дыхании людей. Следует отметить, что углекислый газ в небольших концентрациях не является ядовитым и вредным для человека. Только при высоких концентрациях  $\text{CO}_2$  наблюдается его негативное воздействие на организм человека. Однако причиной его образования в общественных зданиях является дыхание людей, при котором из воздуха помещения потребляется кислород. Поэтому наличие углекислого газа является свидетельством понижения концентрации кислорода, что негативно сказывается на самочувствии человека. Именно поэтому углекислый

газ относят к вредным выделениям, и для него существуют предельно допустимые концентрации.

**Таблица 11.1** Влияние концентраций углекислый газ на человеческий организм

Концентрация CO <sub>2</sub>		Результат воздействия CO <sub>2</sub>
% по объему	л/м <sup>3</sup>	
1-2	10-20	При непрерывном воздействии нарушается электролитический баланс в теле человека
2	20	После нескольких часов воздействия появляется слабая головная боль и одышка
3	30	Сильная головная боль, обильное выделение пота, одышка
5	50	Депрессивное состояние
6	60	Ухудшается зрение, появляется озноб
10	100	Потеря сознания

Выделяющееся в помещении тепло влияет на тепловой комфорт человека. С точки зрения теплотехники тело человека представляет нагретое тело с внутренними источниками теплоты, температура которого должна поддерживаться на постоянном уровне 36,6°. Теплота от тела может отводиться следующими путями:

- а) за счет теплоотдачи с поверхности ввиду наличия разности температур тела и окружающего воздуха;
- б) за счет передачи явной и скрытой теплоты с выдыхаемым воздухом;
- в) за счет скрытой теплоты, затрачиваемой на испарение влаги с поверхности кожи.

Передача теплоты тем или иным путем зависит от параметров воздуха в помещении, средней радиационной температуры окружающих поверхностей.

Явное тепло с поверхности тела передается за счет конвективного и лучистого теплообмена. Когда температура окружающего воздуха низкая, то теплоотдача конвекцией идет интенсивно, и существенно снижается с понижением температуры. Когда температура внутреннего воздуха становится равной температуре тела, теплоотдача конвекцией равна 0. Можно считать, что теплоотдача конвекцией пропорциональна разнице температур тела человека и окружающего воздуха. Кроме того, теплоотдача конвекцией с поверхности кожи сильно зависит от подвижности воздуха в помещении. Наличие застойных зон с низкой подвижностью воздуха ухудшает теплоотдачу конвекцией и, кроме того, способствует локальному повышению в этих зонах концентрации вредных веществ. Теплоотдача излучением зависит от температуры окружающих поверхностей. Особенно чувствительны к излучению оголенные поверхности кожи человека.

В специальной литературе приводятся диаграммы комфортных условий человека, то есть сочетания параметров, при которых средний человек ощущает тепловой комфорт. Параметры микроклимата, при которых тепло отводится от тела человека естественным путем и не требуется напряжение системы терморегуляции организма, называются **оптимальными параметрами**. Параметры микроклимата, при которых система терморегуляции организма при небольшом напряжении способна успешно обеспечить отвод образующегося тепла от тела, и тем самым поддержать нормальную температуру тела, называются **допустимыми параметрами**. При других сочетаниях параметров человек чувствует сильный дискомфорт, так как система терморегуляции работает с большим напряжением. В некоторых ситуациях, например при высокой температуре и влажности, система терморегуляции не справляется со своей задачей и наступает перегрев организма.

## **11.2 Расчет поступления вредностей от людей**

Расчет поступлений всех вредностей от людей (тепла, влаги и углекислого газа), как правило, выполняется одновременно, так как при этом используется одна и та же методика и нормативная литература. Расчет следует выполнять

для трех периодов: холодного, переходного и теплого, и вести его с учетом принятого значения температуры внутреннего воздуха для каждого периода года.

$$Q_{я} = q_{я} N;$$

$$Q_n = q_n N;$$

$$M_w = m_w N;$$

$$V_{CO_2} = v_{CO_2} N,$$

где  $N$  — количество людей в помещении;

$q_{я}, q_n$  — удельные выделения явного и полного тепла, Вт/чел;

$Q_{я}, Q_n$  — общие тепlopоступления явного и полного тепла от людей,

Вт;

$m_w$  — удельные выделения влаги одним человеком, г/(час чел);

$M_w$  — общее поступление влаги от людей, г/час;

$v_{CO_2}$  — удельные выделения  $CO_2$  одним человеком, л/(час чел);

$V_{CO_2}$  — общее поступление углекислого газа от людей, л/час.

Удельные поступлений вредностей от людей зависят от тяжести выполняемой работы и температуры воздуха в помещении и принимаются по справочной литературе. Данные для людей, находящихся в состоянии покоя, приведены в таблице 11.2.

Таблица 11.2 Удельные выделения вредностей от людей, находящихся в состоянии покоя (взрослые мужчины)

Показатели	Единица измерения	Удельные выделения вредностей одним человеком при температуре воздуха в помещении, °С					
		10	15	20	25	30	35
Явное тепло	Вт/чел	140	120	90	60	40	10
Полное тепло	Вт/чел	165	145	120	95	95	95
Влага	г/(час чел)	30	33	40	50	75	115
Углекислый газ	л/(час чел)	23					

*Примечания:*

1) Для детей до 12 лет выделения вредностей принимать с коэффициентом 0,5.

2) Для женщин выделения вредностей принимать с коэффициентом 0,75.

### **11.3 Расчет тепlopоступлений в помещения жилых и общественных зданий**

Расчет тепlopоступлений и тепловых потерь для расчетного помещения следует выполнять для трех периодов: холодного, переходного и теплого.

Тепловые потери в жилых и общественных зданиях происходят через наружные ограждения и на нагрев воздуха, инфильтрирующего через неплотности в оконных и дверных проемах. Расчет тепловых потерь следует вести с учетом принятого значения температуры внутреннего воздуха для холодного периода.

Тепlopоступления от системы отопления  $Q_{co}$ , Вт, определяют путем пересчета тепловых потерь на расчетную температуру внутреннего воздуха для отопления. Расчетная температура внутреннего воздуха принимается по нормам.

**Тепlopоступления** в жилых и общественных зданиях складываются из следующих составляющих:

- а) тепло от людей;
- б) тепло от источников искусственного освещения;
- в) тепло от солнечной радиации через окна и покрытие;
- г) тепло от оборудования.

### **11.4 Расчет тепlopоступлений от людей**

От людей в помещения поступает явная теплота (за счет лучисто-конвективного теплообмена с воздухом и поверхностями помещения) и скрытая теплота (выделяемая с влагой выдыхаемого воздуха и за счет испарений с поверхности кожи). Полная теплота равна сумме явной и скрытой теплоты. Тепlopоступления от людей зависят от тяжести выполняемой работы; температуры и влажности окружающего воздуха, его подвижности, теплоизолирующими свойствами одежды;



особенностями терморегуляции самого человека. Теплопродукция человека и его способность к терморегуляции зависят от пола и возраста.

Таблица 11.3 Поступления теплоты и влаги от людей

<b>Количество теплоты и влаги, выделяемых взрослыми людьми (мужчинами)</b>						
Показатели	Количество теплоты, Вт, и влаги, г/ч, выделяемых людьми при температуре воздуха в помещении, °С					
	10	15	20	25	30	35
Теплота:	<i>В состоянии покоя</i>					
явная	140	120	90	60	40	10
полная	165	145	120	95	95	95
Влага	30	30	40	50	75	115
Теплота:	<i>При легкой работе</i>					
явная	150	120	100	65	40	5
полная	80	160	150	145	145	145
Влага	40	55	75	115	150	200
Теплота:	<i>При работе средней тяжести</i>					
явная	165	135	105	70	40	5
полная	215	210	205	200	200	200
Влага	70	ПО	140	185	230	280
Теплота:	<i>При тяжелой работе</i>					
явная	200	165	130	95	50	10
полная	290	290	290	290	290	290
Влага	135	185	240	295	355	415

*Примечания:*

1) Для детей до 12 лет выделения вредностей принимать с коэффициентом 0,5.

2) Для женщин выделения вредностей принимать с коэффициентом 0,75.

Применительно к встроенным и встроенно-пристроенным в жилое здание помещениям трудовую деятельность находящихся в них людей можно отнести к следующим категориям:

- состояние покоя: зрители в клубах, ожидающие посетители различных учреждений и т.п.;

- легкая работа: сидячая работа в мастерских, персонала поликлиник, покупателей магазинов, посетителей кафе и т.п.;

- работа средней тяжести: стоячая работа персонала магазинов, кафе, столовых, мастерских и т.д.

Следует суммировать теплопоступления от людей, занятых трудовой деятельностью различных категорий и находящихся в одном помещении.

$$Q_{я} = q_{я} \cdot n, \text{ где}$$

$q_{я}$  - явные тепловыделения одним человеком, Вт;

Удельные поступлений теплоты и влаги от людей зависят от тяжести выполняемой работы и температуры воздуха в помещении и принимаются по справочной литературе. Данные приведены в таблице 11.3.

### 11.5 Теплопоступления от источников искусственного освещения

Теплопоступления от источников искусственного освещения  $Q_{осв}$ , Вт, могут быть определены по величине нормируемой освещенности помещения и площади пола

$$Q_{осв} = E F q_{осв} \eta_{осв},$$

где  $E$  — нормативная освещенность, лк (для зрительных залов 200 лк при использовании люминесцентных светильников и 100 лк при использовании ламп накаливания);

$F$  — площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;

$q_{осв}$  — удельные тепловыделения от светильников, Вт/(лк м<sup>2</sup>) (от 0,05 до 0,15 для люминесцентных светильников и от 0,13 до 0,25 для ламп накаливания);

$\eta_{осв}$  — доля тепловой энергии, попадающей в помещение (если светильники установлены непосредственно в помещении, то  $\eta_{осв} = 1$ , а если вне помещения, то  $\eta_{осв} = 0,85$  для ламп накаливания и  $\eta_{осв} = 0,55$  для люминесцентных светильников).

Для кинотеатров теплопоступления от искусственного освещения учитывать не следует, так как в них освещение используется только в перерывах между сеансами и уровень освещенности значительно ниже.

## 11.6 Теплопоступления от солнечной радиации через окна

Теплопоступления от солнечной радиации через окна определяются только для теплого периода в том случае, если в расчетном помещении имеются окна или прозрачные застекленные двери.

Тепловое излучение от солнца, которое зависит от широты местности, ориентации проема и расчетного часа суток, может поступать через окна в помещение непосредственно с прямыми солнечными лучами (прямая радиация) и за счет отражения от окружающих поверхностей (рассеянная радиация). Часть теплового потока поглощается пылью, находящейся в атмосфере, часть, отражается от поверхности стекол, часть поглощается конструкцией переплетов. Поэтому в помещение поступает уменьшенный тепловой поток, величина которого определяется загрязненностью атмосферы и конструкцией окон. Тепло, поступившее в итоге в помещение, не может быть все передано воздуху помещения, так как некоторая его доля будет поглощена внутренними ограждениями помещения – полом, потолком и внутренними стенами. Степень поглощения зависит от количества и площади внутренних ограждений, их материала и периода времени поступления солнечной радиации в помещение.

Таким образом, подробный расчет требует учета большого количества факторов. В инженерной методике расчета за стандартный вариант принято поступление тепла через одинарное остекление толщиной 3 мм, а учет дополнительных факторов осуществляется путем введения поправочных коэффициентов. Расчет теплопоступлений от солнечной радиации через вертикальные проемы  $Q_{cp}$ , Вт, выполняется для конкретного часа суток по формуле

$$Q_{cp} = \sum (q_{np} K_{1np} + q_p K_{1p}) F K_2 K_{отн} K_{сз} K_{ак}$$

где  $q_{np}$ ,  $q_p$  — прямая и рассеянная солнечная радиация через стандартный оконный проем данной ориентации в расчетный час суток, Вт/м<sup>2</sup>, определяются по таблицам в справочной, учебной и нормативной литературе;

$K_{1np}$ ,  $K_{1p}$  — поправочные коэффициенты, учитывающие загрязнение атмосферы и затенение проема переплетами для облучаемого солнцем проема и необлучаемого;

$K_2$  — поправочный коэффициент, учитывающий загрязнение стекла;

$K_{отн}$  — поправочный коэффициент относительного проникания солнечной радиации через проем, отличающийся от стандартного (учитывает толщину и количество стекол и наличие солнцезащитных устройств);

$K_{ак}$  — поправочный коэффициент, учитывающий влияние аккумуляции тепла внутренними ограждениями.

Значения всех входящих в формулу параметров выбираются из нормативной литературы для расчетного часа суток и заданной ориентации ограждений. За расчетный час следует принимать такой час в период работы предприятия, когда имеют место максимальные значения теплоступлений от солнечной радиации.

При нескольких окнах, имеющих различную ориентацию, следует просчитать теплоступления в течение каждого часа рабочего периода предприятия и выбрать за расчетный час тот, в который теплоступления максимальны. Учитывая большое количество однотипных вычислений, обычно расчет выполняют на компьютере по имеющимся программам.

### **11.7 Теплоступления от солнечной радиации через покрытие**

Теплоступления от солнечной радиации через покрытие допускается определять только для теплого периода по среднесуточным значениям.

Теплоступления через покрытие не учитывают, если в помещении имеется подшивной потолок с вентилируемым пространством. Эта ситуация наиболее характерна для крупных зрительных залов, имеющих подшивной потолок для улучшения внутреннего интерьера, организации вытяжки воздуха и прокладки приточных воздуховодов к потолочным плафонам. Если имеется подшивной потолок или воздушная прослойка, но воздушное пространство не вентилируется, то теплоступления учитывают с коэффициентом 0,6.

Тепло солнечной радиации, поступающее на покрытие, нагревает его и повышает температуру наружной поверхности. За счет теплоотдачи к наружному воздуху (обдувания ветром и излучения в атмосферу) часть тепла отбира-

ется от покрытия, несколько снижая температуру наружной поверхности. Оставшаяся доля теплового потока, поступившего на покрытие, посредством теплопроводности передается через толщину конструкции покрытия к внутренней поверхности — потолку помещения. прогрев внутренней поверхности происходит постепенно, с запаздыванием из-за инерционных свойств ограждения. От нагретой внутренней поверхности тепло передается в помещение в основном конвективным путем. Однако при тонких покрытиях с малым сопротивлением теплопередачи (например, из листового железа по деревянной обрешетке) излучение от потолка может играть существенную роль за счет высокой температуры внутренней поверхности. Часть излученного тепла попадает на внутренние ограждения, например, пол, и частично поглощается ими. Остальная часть передается воздуху помещения.

Расчет теплопоступлений ведется по среднесуточным значениям теплового потока на покрытие по обычной формуле теплопередачи через покрытие

$$Q_{cp} = (t_{ny} - t_{в}) F_n / R_n ,$$

где  $t_{ny}$  — условная наружная температура воздуха над покрытием (примерно равна температуре наружной поверхности покрытия), °С;

$t_{в}$  — расчетная температура внутреннего воздуха в верхней зоне помещения под покрытием, °С;  $F_n$  — площадь покрытия, м<sup>2</sup>;  $R_n$  — сопротивление теплопередачи покрытия (берется по данным теплотехнического расчета), (м<sup>2</sup> °С)/Вт.

Условная наружная температура воздуха над покрытием определяется по формуле

$$t_{ny} = t_n + q_{cp} \rho_n / \alpha_n ,$$

где  $t_n$  — расчетная температура наружного воздуха (параметры А), °С;  $q_{cp}$  — среднесуточный тепловой поток солнечной радиации на горизонтальную поверхность, зависит от широты местности, Вт/м<sup>2</sup>;  $\rho_n$  — коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью покрытия,  $\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи к воздуху на наружной поверхности покрытия, Вт/(м<sup>2</sup> °С).

## Тепловой баланс помещения. Определение мощности кондиционера

### 12.1 Тепловой баланс помещения

Тепловой баланс расчетного помещения составляется для определения избытков или недостатков тепла, которые должна компенсировать система кондиционирования воздуха.

В помещении, в котором поддерживается постоянный (стационарный, не меняющийся во времени) тепловой режим, должен наблюдаться тепловой баланс.

$$\sum Q = 0 \quad \text{или} \quad Q_{\text{пост}} - Q_{\text{пот}} = 0 \quad \text{или} \quad Q_{\text{изб}} = 0.$$

Даже если бы в помещении не было систем обеспечения микроклимата, то есть систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, баланс тепла все равно бы соблюдался, просто баланс существовал бы при температурах внутреннего воздуха, неприемлемых для человека. Наличие системы кондиционирования воздуха позволяет обеспечить тепловой баланс при требуемой температуре внутреннего воздуха. Таким образом, если при расчетной температуре внутреннего воздуха баланс не наблюдается, то есть имеют место избытки или недостатки теплоты, СКВ должна скорректировать баланс, введя в помещение точно такое же количество теплоты, но с противоположным знаком.

Таким образом, для определения расчетной тепловой (холодильной или отопительной) способности системы следует произвести расчет избытков теплоты в помещении путем суммирования всех теплопоступлений и теплопотерь с учетом знака (теплопотери учитываются со знаком "минус"). Отметим, что термины **теплопоступлений** и **теплопотери** отражают лишь направление потоков теплоты: теплопоступления – это поток теплоты внутрь помещения, а теплопотери – поток теплоты из помещения.

Учитывая наличие знака "минус" перед значением тепловых потерь, результат суммирования теплопоступлений и теплопотерь может оказаться как

положительным, так и отрицательным. В первом случае говорят об **избытках** теплоты в помещении, а во втором случае – о **недостатках** теплоты.

Таблица теплового баланса составляется для трех периодов года.

Если в помещении выделяется влага, что обычно и бывает в жилых и общественных зданиях (влага поступает от людей), то избытки и недостатки теплоты в помещении подсчитываются отдельно.

Для жилых и общественных зданий характерно наличие водяной системы отопления с местными нагревательными приборами. Такая система является постоянно действующей и работает круглые сутки, в отличие от систем дежурного отопления промышленных зданий, которые могут отключаться в рабочее время (в первую очередь это касается систем воздушного отопления). Поэтому обычно при составлении таблицы теплового баланса общественных зданий предполагается, что система отопления будет работать, и тепловые поступления от нее включаются в одну из колонок графы "теплопоступления". Тепловой же баланс для промышленного здания обычно составляется без учета теплопоступлений от отопления.

Теплопотери через ограждения имеют место только в холодный и переходный период года, а поступления теплоты от солнечной радиации обычно учитывается только в теплый период года. Кроме того, если теплопоступления от солнечной радиации через остекление больше расчетных теплопоступлений от освещения, то при подсчете избытков теплоты учитываются только они, а если меньше – только теплопоступления от освещения.

Данная экспресс-методика в основном используется для разработки СКВ на базе несложного (в проектном отношении) климатического оборудования, такого, как: кондиционеры сплит-систем, а также кондиционеры оконного типа и моноблочного исполнения.

Для подбора необходимого по холодопроизводительности кондиционера надо рассчитать тепло, поступающее в помещение от солнечной радиации, освещения, людей, оргтехники и т. д.

Основные теплопритоки в помещение складываются из следующих составляющих:

### 12.2 Теплопритоки от солнечной радиации

Теплопритоки, возникающие за счет разности температур внутри помещения и наружного воздуха, а также солнечной радиации  $Q_1$ , рассчитываются по формуле:

$$Q_1 = V \cdot q_{уд}, \text{ Вт}$$

где  $V = S \cdot h$  — объем помещения;

$S$  — площадь помещения;

$h$  — высота помещения;

$q_{уд}$  — удельная тепловая нагрузка, принимается:

30–35 Вт/м<sup>3</sup> — если нет солнца в помещении,

35 Вт/м<sup>3</sup> — среднее значение;

35–40 Вт/м<sup>3</sup> — если большое остекление с солнечной стороны;

### 12.3 Теплопритоки от оборудования

Теплопритоки, возникающие за счет находящейся в нем оргтехники  $Q_2$ .

Теплопоступления от оборудования зависят в первую очередь от потребляемой мощности и частоты использования. Для различных видов офисного оборудования величина теплопоступлений будет следующая (с учетом частоты использования):

Таблица 12.1 Теплопоступления от различного оборудования

Вид оборудования	Теплопоступления, Вт	Коэф. одновременности использования
компьютер (системный блок + монитор)	300	0,8-1,0
лазерный принтер	400	0,3-0,6
копировальный аппарат	500	0,1-0,6
холодильник	150	0,4-0,6
электрочайник	300-600	0,1
Газовая плита	2500	Зависит от типа помещ.



В общем случае величина теплоступлений от электрооборудования определяется по формуле:

$$Q_2 = Q_{об} = N \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ Вт},$$

где  $N$  — потребляемая мощность, Вт;

$K_1$  — коэффициент перехода электроэнергии в тепловую (100–80%);

$K_2$  — коэффициент использования оборудования (30–80%).

#### **12.4 Теплопритоки от людей, находящихся в помещении**

Теплопритоки, возникающие от людей, находящихся в помещении  $Q_3$ .

$$Q_3 = q n, \text{ Вт},$$

где  $q$  — удельные теплоступления от одного человека, Вт

по таблице 11.3

$n$  — количество людей в помещении.

Суммарное количество теплоступлений, Вт

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ Вт}$$

К подсчитанным теплопритокам прибавляется 20% на неучтенные теплопритоки:

$$Q_{общ} = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot 1,2 \text{ Вт}.$$

В случае использования в помещении дополнительного тепловыделяющего оборудования (электроплит, производственного оборудования и т. п.) соответствующая тепловая нагрузка должна быть также учтена в данном расчете.

#### **12.5 Расчет влаговыделений в помещении**

Источниками влаговыделений в основных помещениях гражданских зданиях являются люди, в столовых и ресторанах — горячая пища, технологическое оборудование.

Влаговыделения от людей, кг/час

$$W = w \cdot n, \text{ где:}$$

$w$  — выделения влаги одним человеком, кг/час,

$n$  — количество людей в помещении.

Потребляемая кондиционером мощность примерно в 3 раза меньше мощности охлаждения, то есть бытовой кондиционер мощностью 2,5 кВт потребляет всего около 800 Вт.

Точный выбор мощности кондиционера очень важен. Недостаточная мощность может проявиться только в жаркую погоду. Избыточная мощность тоже ни к чему хорошему не приводит. Мощный кондиционер создает сильный поток холодного воздуха — создаются не совсем комфортные условия. Кондиционер будет чаще включаться и выключаться, что приведет к повышенному износу компрессора. Наконец, с экономической точки зрения, кондиционер будет дороже.

Лекция 13

### **Очистка воздуха в СКВ. Фильтры СКВ.**

Одна из главных задач кондиционера — очищать воздух в комнате. С этой задачей современные кондиционеры справляются прекрасно благодаря уникальным технологиям фильтрации и очистки.

Например, в современных кондиционерах реализован принцип двустороннего воздухообмена, позволяющий не только непрерывно очищать воздух в помещении, но и добавлять к нему свежий воздух, подвергая и его тщательной фильтрации. В оригинальной системе воздухообмена этих кондиционеров впервые применена встроенная система вентиляции, включающая в себя отдельный вентилятор для подачи воздуха с улицы и отбора воздуха из помещения. Воздух поступает в помещение после тщательной очистки в системе фильтров.

В кондиционере обычно установлены три фильтра. Один фильтр очищает воздух, поступающий с улицы, два других отвечают за чистоту воздуха в помещении. Большинство современных бытовых кондиционеров оборудуются только механическим фильтром, который, в основном, защищает от пыли теплообменник внутреннего блока. Замена такой фильтр не требует, но периодически его необходимо мыть или чистить.

Многоступенчатая система фильтров кондиционеров представляет собой непреодолимый барьер на пути пыли, запахов и микроорганизмов (рис.13.1).

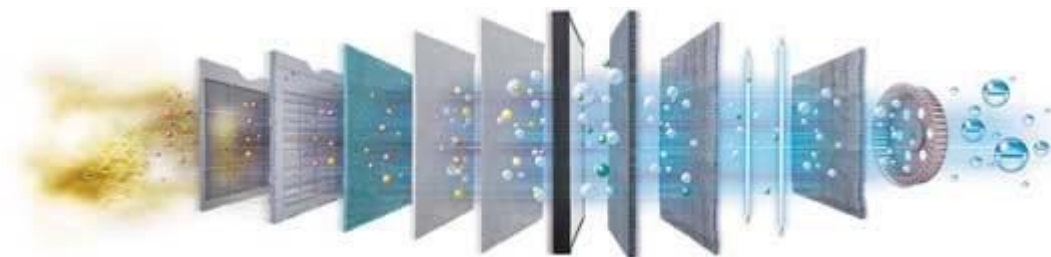


Рис.13.1 Многоступенчатая система фильтрации

В кондиционерах эта система включает в себя антиаллергический, дезодорирующий и электростатический фильтры (рис.13.2). Такие системы очистки не входят в стандартную комплектацию многих моделей кондиционеров и приобретаются отдельно.

Установка дополнительных фильтров приводит к увеличению стоимости кондиционера и к более сложной эксплуатации системы кондиционирования воздуха.



Рис.13.2 Система очистки воздуха в кондиционерах:

1 — ионизатор, 2 — вентилятор внутреннего блока, 3 — теплообменник Silver Nano, 4 — антиаллергический фильтр, 5 — дезодорирующий фильтр, 6 — электростатический фильтр.

Особым компонентом кондиционеров этой серии является ионизатор. Это устройство служит для генерации отрицательно заряженных частиц — анионов, благотворно влияющих на организм человека. Их наличие — один из факторов, обуславливающих освежающий и бодрящий эффект свежего природного воздуха. Попадая в кровь, анионы кислорода стимулируют метаболизм. Кроме того, анионы воздействуют на частицы пыли, содержащиеся в воздухе, как бы «прибивая» их к полу.

Другое «электрическое» устройство кондиционера — электростатический фильтр. Действует он так: на фильтр подается слабый электрический ток, благодаря чему на его поверхности создается электростатическое поле. В результате мельчайшие частицы пыли удерживаются фильтром и не попадают в воздух, которым мы дышим.

Электростатический фильтр кондиционеров серии покрыт ионами серебра и способен уничтожить порядка 99,99% частиц пыли, вирусов и бактерий. Ионы серебра уничтожают бактерии и препятствуют их размножению.

Поверхность теплообменника многих современных кондиционеров также покрыта ионами серебра, что препятствует появлению конденсата и подавляет размножение микроорганизмов внутри кондиционера.

Разработана уникальная система очистки воздуха, оснащенная 12 ступенями различных фильтров. Проходя через каждую ступень фильтра, воздух очищается от мелких частиц пыли и бытовых грибков, запахов пищи и табака. При этом разрушаются клеточные оболочки бактерий, благодаря чему система имеет высокую стерилизационную способность.

Антибактериальный фильтр системы удаляет крупные частицы пыли, грибки и волокна ткани. Следующий за ним тройной фильтр состоит из нескольких слоев с органическими компаундными наполнителями и удаляет из воздуха различные органические составляющие, которые раздражают глаза и горло. В составе пакета имеется фильтрующий элемент для удаления формальдегида. Третья составляющая фильтра позволяет удалять обычные запахи, ко-

торые, действуя коварно и незаметно, могут вызывать мигрень и хроническую усталость.

Угольный фильтр Nano-carbon (рис.13.3) задерживает мельчайшие частицы, составляющие запахи, облагораживая атмосферу помещения. Угольная структура фильтра состоит из частиц размером  $200\text{—}500 \times 10^{-9}$  м. Такой материал впервые использован в качестве материала для удаления запахов.

Системы кондиционирования воздуха могут содержать бактерии, рост которых происходит во время процесса обработки воздуха, его транспортировки и распределения. Эти бактерии чаще всего относят к виду легионелл. Они вызывают различные легочные заболевания. В ходе проектирования, монтажа и эксплуатации СКВ следует применять методы по предупреждению распространения бактерий.

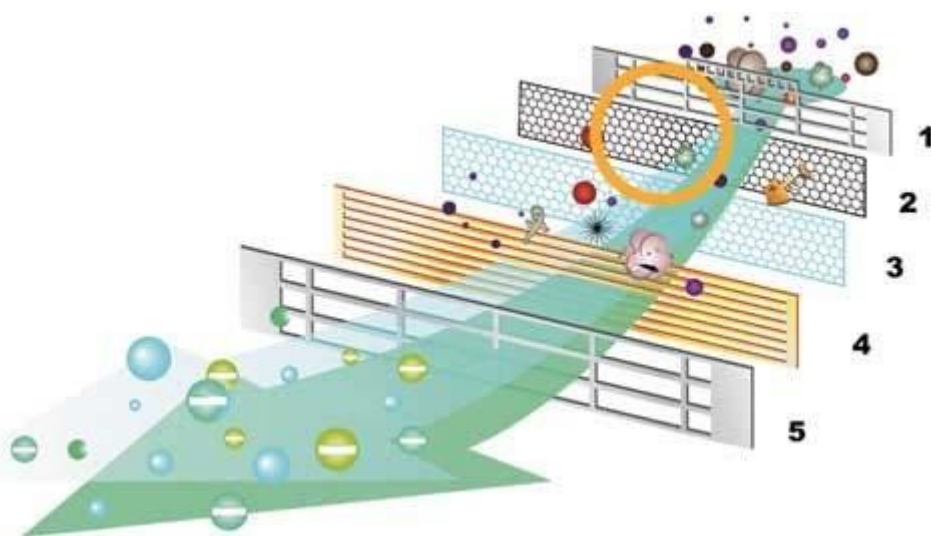


Рис.13.3 Фильтр Nano-carbon: 1 — решетка, 2 — структура из угольных наночастиц, 3 — фотокаталитическая сетка, 4 — ионизатор воздуха, 5 — крышка

Еще один барьер фильтра — биологический. С помощью микрочастиц фильтра, проникающих через клеточную оболочку бактерий и аллергенов, возможно полное разрушение ядра клеток. В то время как обычные методы только дезактивируют бактерии или разрушают их внешние клеточные оболочки, этот

инновационный метод стерилизации позволяет полностью уничтожить бактерии.

Система очистки воздуха Plasma, (рис.13.4), не только удаляет микроскопические загрязняющие частицы и пыль, но также удаляет бытовых клещей, пыльцу растений, ворсинки животных, предотвращая тем самым аллергические заболевания, в частности, астму.

Для эффективной работы фильтров их следует поддерживать в сухом состоянии, так как влага и конденсат образуют идеальную среду для распространения бактерий в помещениях. К помещениям повышенного риска относятся больницы, детские учреждения, гостиницы, офисы, спортивные сооружения и помещения общественного питания.

Замену фильтров следует проводить регулярно.

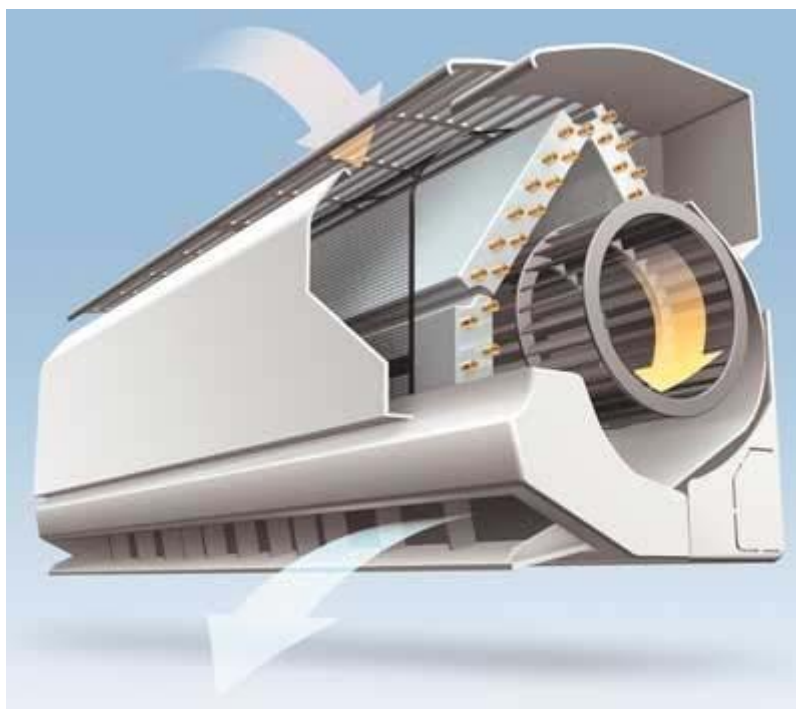


Рис.13.4 Внутренний блок кондиционера NEO-Plasma в разрезе.

Список технологий очистки воздуха в современных кондиционерах можно продолжить. Во многих моделях кондиционеров используются так называемые катехиновые фильтры, губительно действующие на вирусы. Катехин — это природное антибактериальное вещество, которое содержится, например, в

листьях чая. Интересен механизм борьбы катехина с вирусами: у этих зловередных микробов есть торчащие в стороны шипы, которыми они цепляются за клетки. Катехин покрывает собой шипы и не дает вирусу уцепиться за жертву. Обработанные катехином фильтры удерживают до 98% вирусов.

В современных кондиционерах применяются био-энзимные фильтры, эффективно уничтожающие бактерии, вирусы и плесень. Энзимы— это биологически активные вещества, обладающие способностью «резать» длинные органические молекулы. Не случайно энзимы широко используются в стиральных порошках, успешно борясь с загрязнениями биологической природы. В кондиционерах энзимам также нашлась работа: здесь они «режут» поглощенные фильтром бактерии.

Другая современная технология, применяемая в современных кондиционерах— это фотокаталитические цеолитные фильтры. Волокна такого фильтра содержат мельчайшие частицы оксида титана ( $\text{TiO}_2$ ). Это вещество под действием ультрафиолетового излучения становится сильнейшим окислителем и вступает в реакцию с попадающими на поверхность фильтра загрязнениями. В результате органические загрязнения разлагаются на углекислый газ, азот и воду. Периодическое промывание фильтра водой и воздействие прямого солнечного света полностью восстанавливают фильтр, который может эффективно служить в течение 3—5 лет.

Мозг человека, занятого длительное время интенсивной учебной или работой, нуждается в больших объемах кислорода. Недостаток кислорода вызывает чувство усталости, а по мнению ряда ученых, может даже стать причиной ракового перерождения клеток. Граница зоны безопасности по содержанию кислорода в воздухе составляет 18%. При уменьшении концентрации этого газа до 12—16% происходит учащение пульса, повышение частоты дыхания, нарушается внимание, появляются головные боли.

Проблема подачи свежего воздуха в помещение, обслуживаемое обычной бытовой сплит-системой настенного типа, решается разными способами. Современные технологии позволили не только очистить воздух от уличной пыли

и различных загрязнений, но даже увеличить содержание в воздухе кислорода. Это стало возможным благодаря применению мембранных технологий.

Принцип метода обогащения воздуха кислородом основан на различной скорости проникания газов через полимерную мембрану под действием перепада парциальных давлений в ней. Оказывается, эта скорость зависит от молекулярных свойств газа. Все газы можно условно разделить на два класса— легкопроникающие (к ним относится кислород) и труднопроникающие (например, азот). Основой генератора кислорода является полимерная мембрана, представляющая собой тонкую пленку из гомогенного слоя толщиной в несколько долей микрометра, обеспечивающего газоразделение, и технологических пористых подслоев толщиной до сотен микрометров.

Мембрана не имеет отверстий, поэтому частицы пыли, бактерии и прочие вредные компоненты не могут проникнуть в помещение.

Кислородообогащающие мембраны применяются в моделях бытовых кондиционеров ряда производителей. Так, генератор кислорода кондиционеров поддерживает концентрацию кислорода в помещении на уровне не ниже 21%.

Подача свежего наружного воздуха осуществляется также с помощью приточного клапана внутреннего блока кондиционера.

Лекция 14

## **Холодоснабжение СКВ.**

### **Утилизация тепла вытяжного воздуха в СКВ**

Для **холодоснабжения** систем кондиционирования воздуха используются естественные и искусственные источники холода. К естественным источникам относятся артезианские воды, воды холодных рек и озер; лед; естественное испарение воды в устройствах испарительного охлаждения.

Лед для использования в системах кондиционирования намораживается толщиной 2,5— 3 м в зимний период и закрывается слоем теплоизоляции для сохранения на теплое время года. В системах кондиционирования воздуха при



помощи льда охлаждается вода, подаваемая в кондиционер для охлаждения воздуха. Охлаждение воды льдом осуществляется в специальных теплообменниках, через которые пропускается охлаждаемая вода.

Охлаждение воды в системах испарительного охлаждения (брызгальные бассейны, градирни, камеры орошения) происходит за счет отдачи скрытого тепла при ее испарении в воздухе. Охлажденная таким образом вода используется в системе кондиционирования.

В брызгальных бассейнах охлаждаемая вода разбрызгивается под давлением из труб через форсунки вверх в виде фонтана. При движении капель воды в воздухе происходит ее испарение и, следовательно, охлаждение. Охлажденная вода собирается в бассейне и подается для использования. Брызгальные бассейны эффективно работают при небольшом ветре, увеличивающем интенсивность испарения.

В градирнях вода в виде пленки и капель стекает сверху вниз по развитой поверхности и испаряется. Развитая поверхность внутри градирни образуется путем установки многочисленных решеток из дерева или другого материала, перекрывающих многими ярусами внутренний объем градирни. По внешнему виду градирня представляет собой параллелепипед, усеченный конус или усеченную многоугольную пирамиду, в верхнюю часть которой на решетчатое заполнение подается теплая вода. Охлажденная вода собирается в нижней части градирни. Для увеличения интенсивности испарения, а следовательно, и охлаждения, производят продувку воздуха через градирню вентилятором. В этом случае градирня называется вентиляторной.

Камеры орошения для охлаждения воды работают в режиме возможно большего испарения воды, что достигается подбором соответствующих расходов воздуха и воды, а также тонкости распыления воды форсунками.

Системы испарительного охлаждения эффективны в районах с сухим и жарким климатом. Однако охлаждения воды, достигаемого в рассматриваемых системах, обычно недостаточно для ее использования при кондиционировании для непосредственного охлаждения воздуха до нужных параметров. Поэтому

системы испарительного охлаждения обычно используются в сочетании с системами искусственного холодоснабжения для отвода теплоты от конденсаторов холодильных машин. Воду, подаваемую в кондиционер, охлаждает в этом случае холодильная машина.

В качестве искусственных источников холодоснабжения для систем кондиционирования воздуха используются компрессионные, абсорбционные и пароэжекторные холодильные установки.

Наиболее широкое распространение для холодоснабжения систем кондиционирования воздуха имеют компрессионные холодильные машины.

В качестве холодильных агентов используются жидкости, кипящие в испарителе при температуре, обеспечивающей охлаждение среды, от которой должна быть отведена теплота, до нужной температуры. К таким жидкостям относятся фреон, аммиак и другие. Наибольшее распространение для систем кондиционирования воздуха получили фреоновые холодильные машины. В случае применения аммиачных машин в силу ядовитости аммиака должно применяться двухконтурное охлаждение.

В систему холодоснабжения часто включают несколько холодильных установок, что обеспечивает возможность работы их на оптимальных режимах в зависимости от требуемой холодопроизводительности в различные периоды года. Это также обеспечивает лучшие условия эксплуатации.

Аккумулятор холода в системе холодоснабжения необходим для экономической работы холодильных машин. В этом случае холодильные машины могут работать периодически на наиболее оптимальных режимах, создавая запас холода в аккумуляторе на некоторый период работы кондиционеров. Управление работой систем холодоснабжения, как и кондиционеров, осуществляется системой автоматики. В большинстве случаев, однако, источником холода являются механические или химические процессы. Все механические холодильные машины представляют собой не что иное, как тепловые насосы.

## 14.1 Хладагенты СКВ

Хотя в конкретных холодильных устройствах могут использоваться самые разнообразные летучие жидкости, некоторые специфические требования сужают количество хладагентов до одной-двух жидкостей, пригодных для широкого практического использования. Эти жидкости должны быть неядовитыми, негорючими, иметь высокую теплоту испарения, малый удельный объем. Как правило, желательно использовать хладагенты, имеющие такую зависимость давления насыщенных паров от температуры, чтобы небольшое избыточное давление соответствовало области разрежения компрессора и не слишком высокое - зоне сжатия. Небольшое избыточное давление в зоне разрежения позволяет избежать проблем, которые возникают, если давление разрежения ниже атмосферного, а умеренное давление в зоне сжатия позволяет облегчить конструкцию и снизить ее стоимость.

Наиболее употребительными хладагентами являются воздух, вода, аммиак, углекислота, хлористый метил, сернистый ангидрид и различные фреоны.

Первый, признанный историками техники комнатный кондиционер, выпущенный в 1929 году компанией General Electric, работал на аммиаке. Это вещество небезопасно для человека, что в значительной мере сдерживало развитие холодильной техники.

Проблема была разрешена в 1931 году, когда был синтезирован безвредный для человеческого организма хладагент – фреон. Впоследствии было синтезировано более четырех десятков различных фреонов, отличающихся друг от друга по свойствам и химическому составу. Самыми дешевыми и эффективными оказались R-11, R-12, которые долгое время всех устраивали. В последние годы они попали в немилость из-за своих озоноразрушающих свойств. Используемые в кондиционерах и холодильниках фреоны были названы главными виновниками печально известных озоновых дыр (что весьма сомнительно). Так это на самом деле или нет, но 1987 году был принят Монреальский протокол, ограничивающий использование озоноразрушающих веществ. В частности, согласно этому документу, производители вынуждены отказаться от использова-

ния фреона R-22, на котором сегодня работает много кондиционеров. В большинстве европейских стран продажа кондиционеров на этом фреоне прекращена и новые модели выпускают только на озонобезопасных хладагентах – R-407C и R-410A.

В отличие от других хладагентов, R-407C и R-410A являются смесями различных фреонов, а потому менее удобны в эксплуатации. Так в состав R-407C, созданного в качестве альтернативы R-22, входят три фреона: R-32 (23%), R-125 (25%) и R-134a (52%). Каждый из них отвечает за обеспечение определенных свойств: первый способствует увеличению производительности, второй исключает возгорание, третий определяет рабочее давление в контуре хладагента.

Таблица 14.1 Сравнение хладагентов

Свойства хладагента	Хладагент		
	R-22	R-410A	R-407C
Изотропность (возможность дозаправки кондиционера при утечке)	да	да	нет
Масло	минеральное	полиэфирное	полиэфирное
Давление при температуре конденсации +43°C	16 атм.	26 атм.	18 атм.

Эта смесь не является изотропной, а потому при любых утечках хладагента его фракции улетучиваются неравномерно, и оптимальный состав меняется. Таким образом, при разгерметизации холодильного контура кондиционер нельзя просто дозаправить. Остатки хладагента необходимо слить и заменить новым. Именно это и стало основным препятствием для распространения R-407C. Эвакуированный из кондиционеров фреон необходимо утилизировать. И хотя для озонового слоя R-407C не опасен, он является одним из наиболее сильных «парниковых газов».

Хладагент марки R-410A, состоящий из R-32 (50%) и R-125 (50%) является условно изотропным. То есть при утечке смесь практически не меняет своего состава, а потому кондиционер может быть просто дозаправлен. Однако и R-410A имеет ряд недостатков. В отличие от R-22, который хорошо растворим в

обыкновенном минеральном масле, новые хладагенты предполагают использование синтетического полиэфирного масла. Полиэфирное масло обладает одним очень существенным недостатком – оно быстро поглощает влагу, теряя при этом свои свойства. Причем при хранении, транспортировке и заправке необходимо исключить не только попадание капельной влаги, но и контакт с влажным воздухом, из которого масло впитывает воду. К тому же оно не растворяет любые нефтепродукты и органические соединения, которые становятся потенциальными загрязняющими веществами.

Кроме того, само климатическое оборудование на R-410A при той же производительности получается существенно дороже. Причина в более высоком рабочем давлении. Так при температуре конденсации +43°C, у R-22 оно составляет около 16 атм., а у R-410A – порядка 26 атм. По этой причине все узлы и детали холодильного контура кондиционера на R-410A, включая компрессор, должны быть более прочными. Это существенно увеличивает расход меди и делает всю систему более дорогой.

И, наконец, сами озонобезопасные хладагенты стоят в несколько раз дороже, в 6-7 раз. Следует учесть и тот факт, что с ростом рабочего давления количество утечек неизбежно увеличится, поскольку прочность паяных, а главное вальцованных соединений остается прежней.

## **14.2 Утилизация тепла вытяжного воздуха в СКВ**

Вытяжка отработанного воздуха из помещений осуществляется обычно через систему воздуховодов или воздушных каналов. При помощи теплообменников (теплоутилизаторов) почти 90 % содержащегося в воздухе тепла можно использовать для нагрева приточного воздуха.

Утилизация тепла отработанного воздуха способствует повышению энергоэффективности здания, поскольку, в отличие от естественной вентиляции через открытые окна, тепло отработанного воздуха не уходит, а используется вновь для нагрева свежего приточного воздуха.

В летний период автоматический байпасный клапан блокирует процесс рекуперации. Это позволяет использовать прохладный ночной воздух для охлаждения помещений.

Такая система обеспечивает здоровый и комфортный микроклимат, кроме того, система предотвращает возникновение плесени и повышенную влажность воздуха в помещениях.

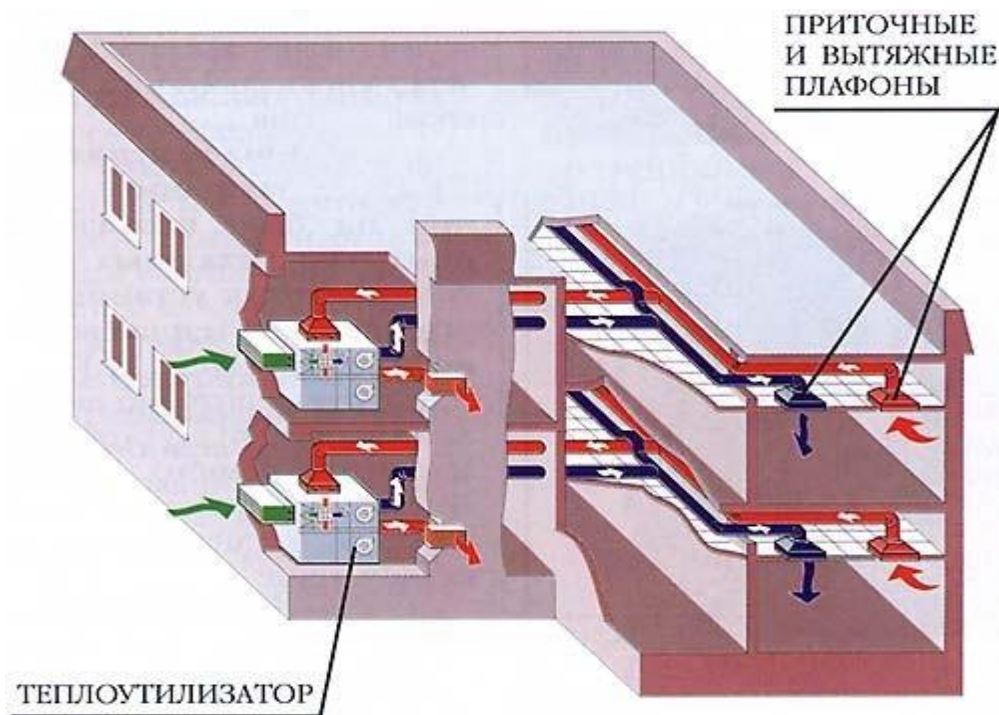


Рис. 14.1 Применение приточно-вытяжной установки СКВ.

В состав приточно-вытяжной установки входит воздухо-воздушный теплоутилизатор для нагрева приточного воздуха. Дополнительный нагрев происходит в калориферной установке. В приточно-вытяжных СКВ предусмотрена установка фильтров, воздухоохладителей, клапанов зонального регулирования и блоков автоматики. Теплоутилизаторы обеспечивают энергосбережение в СКВ.

Лекция 15

## Установка и эксплуатация оборудования СКВ

### 15.1 Порядок установки и монтажа

Установка и монтаж системы кондиционирования проводится в следую-

щей последовательности:

- установка внутренних блоков;
- установка наружных блоков;
- прокладка и пайка трубопровода фреоновой трассы;
- прокладка и подключение дренажного трубопровода;
- прокладка и подключение кабелей питания;
- прокладка и подключение кабелей управления;
- установка элементов управления, проводных пультов управления, подключение элементов централизованного управления;
- установка воздухопроводов для блоков канального типа;
- продувка трассы и проверка на герметичность;
- теплоизоляция трубопроводов;
- подключение трубопроводной системы к внутренним и наружным блокам;
- вакуумирование системы;
- дозаправка хладагента;
- открытие вентилях блоков;
- пуск, настройка и тестирование блоков.

Внутренние блоки системы кондиционирования устанавливают в зависимости от выбранной модели либо в потолочном пространстве (канальные), либо в подшивном потолке (кассетные), либо на стенах (настенные модели).

Требования к монтажу трубопроводной системы вытекают из необходимости обеспечить отсутствие влаги и грязи внутри труб, а также герметичность трубопроводной системы.

Соединительные трубы фреоновой магистрали должны быть бесшовные и изготовлены из меди. Диаметры соединительных труб выбирают в зависимости от производительности внутреннего блока либо индексов производительностей в случае разветвления магистрали. Рекомендуемый радиус изгиба труб при монтаже не менее 300 мм. Пайку труб системы производят в среде защитного газа – азота. Азот с минимальным расходом, обеспечивающим вытеснение воздуха, подают внутрь спаиваемых труб. Подача азота исключает образование окалины во внутренних полостях при пайке.

Для обеспечения гарантированного удаления из труб воздуха и влаги производят вакуумирование системы. После вакуумной сушки проводится дозаправка трубопроводной системы холодильным агентом.

Для обеспечения слива конденсата в системе кондиционирования организуется дренажный трубопровод. Для обеспечения слива конденсата дренажная труба должна устанавливаться с уклоном 1:100 в сторону слива. Для канального и кассетного типа блоков рекомендуется подключать общий трубопровод от каждого блока к общей дренажной трубе. Во внутренних блоках настенного типа организуется индивидуальный дренаж от каждого блока. Диаметр дренажных труб должен быть подобран в соответствии с производительностью внутреннего блока. Диаметр общей дренажной трубы должен быть не менее 35 мм. При необходимости к общей трубе подключается дренажная pompa с накопительной емкостью, рассчитанная на производительность блоков по конденсату. В среднем на 1 кВт по холоду приходится 0,5-0,8 л/ч производительности конденсата.

При подборе внутренних блоков необходимо учитывать длину трассы и перепад высот между наружными и внутренними блоками. Для расчета реальной производительности необходимо номинальную производительность умножить на коэффициент корректировки производительности в зависимости от длины трассы и коэффициент корректировки в зависимости от перепада высот между внутренним и наружным блоками.

При выборе высоты расположения решетки кондиционера и скорости струи воздуха нужно учитывать дальность распространения струи, потерю напора в решетке и уровень шума. Скорость выхода воздуха из решетки должна обеспечивать такое распределение воздуха, при котором струя холодного воздуха проходит выше рабочей зоны помещения.

После определения места расположения наружного блока производится трассировка трубопроводов. Определяется эквивалентная длина труб для системы (максимальная длина труб от наружного до внутреннего блока с учетом поворотов трассы).



## 15.2 Схема установки системы кондиционирования воздуха

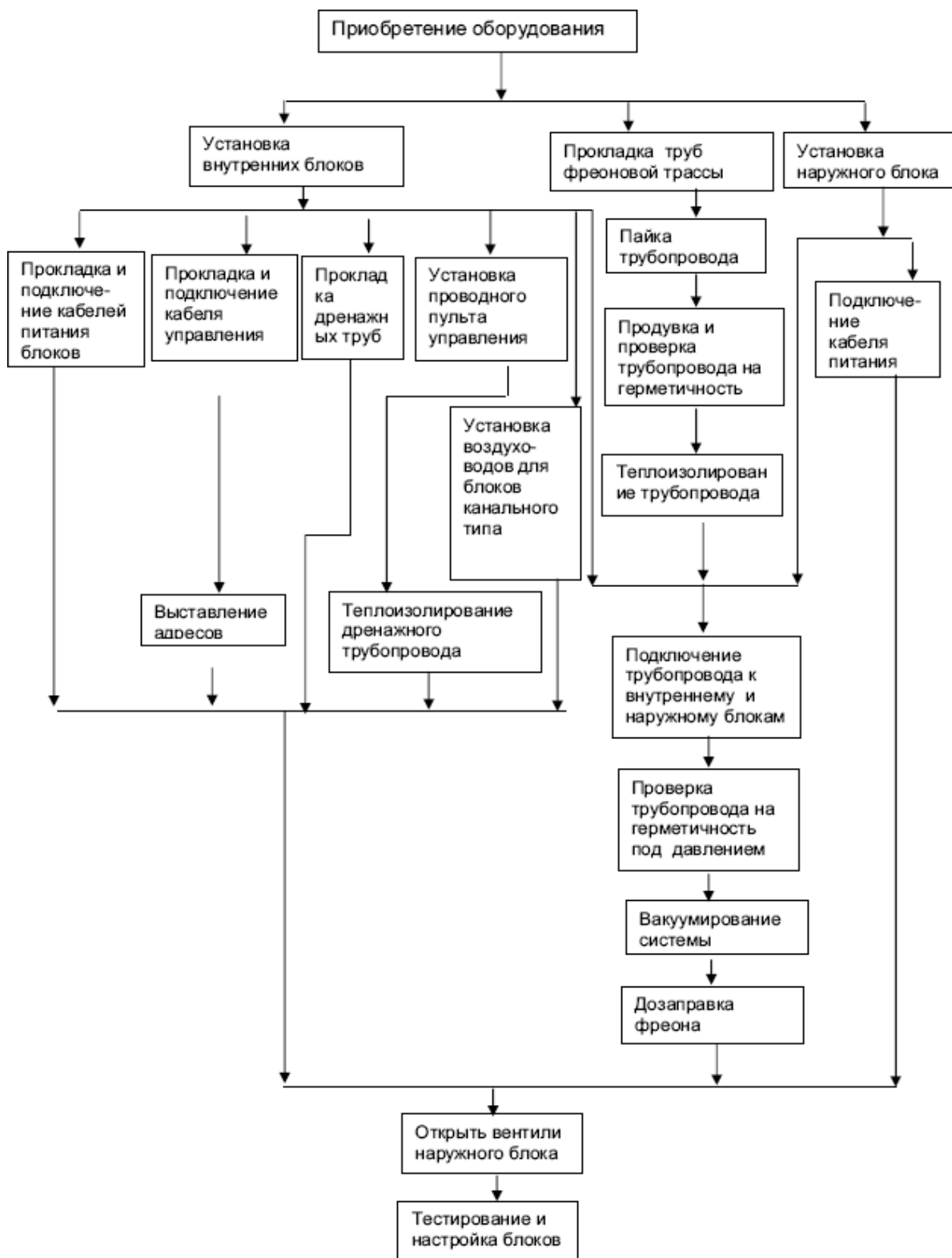


Рис.15.1 Схема установки СКВ

Прокладка кабеля электропитания разрабатывается в соответствии со схемами подключения блоков, схемами прокладки фреоновой трассы, дренажного трубопровода, расположения щита электропитания и элементов управления системой, требованиями безопасности правил эксплуатации электроустановок. Кабель питания подбирается в зависимости от потребляемой мощности блоков. Сечение общего кабеля питания внутренних блоков должно быть рассчитано на суммарный ток всех внутренних блоков, который не должен превышать максимально допустимый ток более чем в 1,5-2 раза.

### **15.3 Основные потребительские функции кондиционера**

Все бытовые сплит-системы имеют инфракрасный пульт дистанционного управления с жидкокристаллическим дисплеем и около десятка стандартных функций, причем по этому показателю «бюджетные» кондиционеры ничем не отличаются от «элитных». Причина такой унификации в том, что для реализации дополнительных функций не требуется изменять или усложнять конструкцию кондиционера, достаточно только перепрограммировать микроконтроллер, управляющий работой кондиционера и добавить кнопки на пульт ДУ.

Основные режимы работы кондиционера, используемые для кондиционирования и обогрева помещений:

**Вентиляция**, режим работы, при котором работает только вентилятор внутреннего блока, без включения компрессора. Используется для равномерного распределения воздуха по помещению и может использоваться, например, зимой, когда теплый воздух от обогревателей и батарей центрального отопления скапливается под потолком, а пол остается холодным.

**Автоматический режим.** В этом режиме кондиционер сам выбирает режим работы (Охлаждение, Обогрев или Вентиляция) для поддержания комфортной температуры.

**Осушение.** В режиме осушения кондиционер уменьшает влажность воздуха. Осушение воздуха всегда сопутствует его охлаждению. Теплый воздух соприкасается с холодным теплообменником (радиатором) внутреннего блока,

в результате на теплообменнике конденсируется влага, которая отводится через дренажный шланг. Поэтому в режиме осушения кондиционер работает так же, как и в режиме охлаждения, только температура воздуха в помещении понижается не более, чем на 1 °С. В тоже время увлажнить воздух не умеет ни один бытовой кондиционер, поскольку для этого в него пришлось бы встраивать дополнительное оборудование, а это привело бы к увеличению себестоимости.

**Очистка воздуха.** Для очистки воздуха перед теплообменником внутреннего блока устанавливают один или несколько фильтров. Основным фильтром кондиционера предназначен для очистки воздуха от крупной пыли (так называемый, фильтр грубой очистки). Этот фильтр представляет собой обычную мелкую сетку и защищает не столько обитателей кондиционируемого помещения, сколько внутренности кондиционера. Для очистки этого фильтра достаточно промыть его в холодной воде. Дополнительные фильтры (так называемые, фильтры тонкой очистки) предназначены для очистки воздуха от мелких пылевых частиц, дыма, пыльцы растений. Сплит-системы могут комплектоваться разными фильтрами тонкой очистки — угольными (устраняет неприятные запахи), электростатическим (задерживает мелкие частицы) и другими. Срок службы большинства таких фильтров — от 6 месяцев до 2 лет, после чего нужно покупать новые.

**Установка температуры.** Для режимов Охлаждение и Обогрев можно задать желаемую температуру с точностью до 1 °С в диапазоне от 16 — 18 до 30 °С. Обычно датчик температуры устанавливается во внутреннем блоке кондиционера, но некоторые модели имеют дополнительный датчик, встроенный в пульт дистанционного управления (ДУ). В этом случае пользователь сам выбирает, в какой точке будет производиться измерение температуры.

**Скорость вентилятора.** Вентилятор внутреннего блока может вращаться с разной скоростью, изменяя скорость. Количество проходящего через внутренний блок воздуха (этот параметр называется производительность по воздуху или «прокачка» кондиционера) измеряется в м<sup>3</sup>/ч. Обычно вентилятор имеет от 3 до 5 фиксированных скоростей плюс автоматический режим.

В автоматическом режиме скорость вентилятора выбирается исходя из текущей и заданной температуры. Чем больше текущая температура воздуха отличается от заданной, тем выше скорость вентилятора.

**Направление воздушного потока.** Направление воздушного потока, создаваемого внутренним блоком, может регулироваться по вертикали с помощью горизонтальных пластин (жалюзи), имеющих 5 — 7 фиксированных положений. В режиме охлаждения поток обычно направляют горизонтально вдоль потолка, чтобы холодный воздух не попадал на людей. В режиме же обогрева поток воздуха направляют вниз, поскольку горячий воздух легче холодного и поднимается вверх. Кроме этого, жалюзи могут автоматически качаться вверх — вниз, равномерно распределяя поток воздуха по помещению. В некоторых моделях кондиционеров мощностью свыше 5 кВт дополнительно есть автоматические вертикальные жалюзи, регулирующие поток воздуха в горизонтальном направлении.

**Таймер на включение и выключение.** С помощью 24-часового таймера можно установить время автоматического включения и выключения кондиционера, например, можно включать кондиционер за час до возвращения с работы.

**Ночной режим.** После включения этого режима кондиционер устанавливает минимальную скорость вентилятора (для уменьшения шума) и плавно повышает (в режиме охлаждения) или понижает (в режиме обогрева) температуру на 2 — 3 градуса в течение нескольких часов. Считается, что такие температурные условия оптимальны для сна. Через 7 часов после включения этого режима кондиционер выключается.

### **Уровень шума кондиционера**

Уровень шума измеряется в Децибелах (дБ) - относительной единице, показывающей во сколько раз один звук громче другого. За 0 дБ принят порог слышимости (заметьте, что звуки с уровнем менее 25 дБ фактически не слышны). Уровень шепота составляет 25 — 30 дБ, шум в офисном помещении, как и громкость обычного разговора, соответствует 35 — 45 дБ, а шум оживленной улицы или громкого разговора составляет 50 — 70 дБ.

Для большинства бытовых кондиционеров уровень шума внутреннего блока лежит в диапазоне 26 — 36 дБ, наружного блока составляет 38 — 54 дБ. Шум работающего внутреннего блока не превышает уровень шума офисного помещения.

При закрытых окнах, а иначе эксплуатировать кондиционер не допускается, шум наружного блока практически не слышен.

Расстояние между наружным и внутренним блоками кондиционера или межблочное расстояние имеет большое значение, как для стоимости установки кондиционера, так и для его срока службы. Это расстояние определяется длиной межблочных коммуникаций — медных труб и кабеля. В стандартную установку обычно включают 5-ти метровую трассу — в большинстве случаев этого вполне достаточно. Максимальная длина трассы для бытовых кондиционеров составляет 15 — 20 метров, однако использовать трассу такой длины не рекомендуется по ряду причин. Во-первых, существенно возрастает стоимость установки кондиционера. Во-вторых, при увеличении длины трассы падает мощность кондиционера и возрастает нагрузка на компрессор.

Если необходимо использовать трассу больше 15 — 20 метров, например, при размещении наружного блока на крыше здания, то придется использовать не бытовой кондиционер, а полупромышленную систему. Так, VRF-системы позволяют разносить блоки на 100 метров с 50-и метровым перепадом высот, но стоимость подобных систем значительно выше.

#### **15.4 Эксплуатация СКВ и защита кондиционера**

Если потребительские функции у всех кондиционеров одинаковы, то функции защиты от неправильной эксплуатации или неблагоприятных внешних условий, напротив, существенно отличаются. Полноценная система контроля за состоянием кондиционера увеличивает его стоимость на 20 — 30%. Даже в первой элитной группе многие кондиционеры имеют лишь частичную защиту от неправильной эксплуатации.

**Рестарт.** Эта функция позволяет кондиционеру включаться после перебоев с электропитанием. Причем кондиционер включится в тот же режим,

в котором работал перед сбоем. Эта простейшая функция реализуется на микропрограммном уровне и поэтому присутствует почти во всех кондиционерах.

**Контроль за фильтрами.** Если фильтры внутреннего блока кондиционера не чистить, то, за несколько месяцев на них нарастет такой слой пыли, что производительность кондиционера уменьшится в несколько раз. В результате нарушится нормальная работа холодильной системы и на вход компрессора вместо газообразного будет поступать жидкий фреон, что с большой вероятностью приведет к заклиниванию компрессора. Но даже если компрессор и не выйдет из строя, то со временем пыль налипнет на пластинах радиатора внутреннего блока, попадет в дренажную систему и внутренний блок придется везти в сервисный центр. То есть последствия эксплуатации кондиционера с грязными фильтрами могут быть самыми серьезными. Для защиты в кондиционер встраивают систему контроля за чистотой фильтров — если фильтры загрязнились, то загорается соответствующий индикатор.

**Контроль утечки фреона.** В любой сплит-системе количество фреона со временем уменьшается из-за нормируемой утечки. Для человека это не опасно, поскольку фреон— инертный газ, но кондиционер без дозаправки может прослужить только 2 — 3 года. Дело в том, что компрессор кондиционера охлаждается фреоном и при его недостатке может перегреться и выйти из строя. Сейчас большинство производителей переходит на электронные системы контроля, которые измеряют температуру в ключевых точках системы и/или ток компрессора и на основании этих данных вычисляются все рабочие параметры холодильной системы, в том числе и давление фреона.

**Защита по току.** По току компрессора можно определить целый ряд неисправностей холодильной системы. Пониженный ток говорит о том, что компрессор работает без нагрузки, то есть вытек фреон. Повышенный ток сигнализирует о том, что на вход компрессора поступает не газообразный, а жидкий фреон, что может быть вызвано либо слишком низкой температурой наружного

воздуха, либо грязными фильтрами внутреннего блока. Таким образом, датчик тока компрессора позволяет существенно повысить надежность кондиционера.

**Автоматическая разморозка.** При температуре наружного воздуха ниже +5 °С внешний блок кондиционера может покрыться слоем инея или льда, что приведет к ухудшению теплообмена, а иногда даже к поломке вентилятора из-за удара лопастей о лед. Что бы этого не происходило, система контроля следит за условиями работы кондиционера и если возникает риск обледенения, периодически включает систему авторазморозки (кондиционер работает 5 — 10 минут в режиме охлаждения без включения вентилятора внутреннего блока, при этом теплообменник наружного блока нагревается и оттаивает).

**Защита от низких температур.** Включать неадаптированный кондиционер при отрицательных температурах наружного воздуха категорически не рекомендуется. Для предотвращения поломки, некоторые модели кондиционеров автоматически отключаются, если температура на улице опустилась ниже определенной отметки (обычно минус 5 — 10°С).

Отношение мощности охлаждения к потребляемой мощности является основным показателем энергоэффективности кондиционера, в технических каталогах это отношение обозначается как ERR. Другой коэффициент — COP равен отношению мощности обогрева к потребляемой мощности. Коэффициент ERR бытовых сплит-систем обычно находится в диапазоне от 2.5 до 3.5, а COP — от 2.8 до 4.0. У новых современных кондиционеров значения коэффициентов энергоэффективности еще выше. Можно заметить, что значение COP выше, чем ERR. Это связано с тем, что в процессе работы компрессор нагревается и передает фреону дополнительно тепло. Именно поэтому кондиционеры всегда выделяют больше тепла, чем холода.

Для обозначения энергоэффективности бытовой техники существует семь категорий, обозначаемых буквами от А (лучшей) до G (худшей). Кондиционеры категории А имеют  $COP > 3.6$  и  $ERR > 3.2$ , а категории G —  $COP < 2.4$  и  $ERR < 2.2$ . Следует заметить, что потребляемая мощность и мощность охлаждения обычно измеряются в соответствии со стандартом ISO 5151 (температура внут-

ри помещения 27°C, снаружи 35°C). При изменении этих условий мощность и КПД кондиционера будут меньше.

Ограждающие конструкции, солнцезащитные устройства и другие конструктивно-планировочные средства можно отнести к пассивным методам кондиционирования микроклимата. Они позволяют снизить теплопоступления или потери тепла, обеспечить тепло- и влагоустойчивость помещений. От них зависит установочная мощность (а также годовое энергопотребление) систем отопления-охлаждения, вентиляции и кондиционирования воздуха, которые относятся к активным средствам кондиционирования микроклимата. В свою очередь отопление-и вентиляция являются системами ограниченного действия, а кондиционирование воздуха — универсальной системой в части поддержания заданных значений температуры и влажности воздуха в помещении.

Кондиционирование воздуха обеспечивает круглогодичное поддержание регулируемых значений температуры и влажности воздуха в обслуживаемых помещениях. Таким образом, остальные активные средства кондиционирования микроклимата являются частными случаями кондиционирования воздуха.

Применение СКВ может быть вызвано необходимостью поддержания заданного микроклимата в помещениях, обеспечения комфортных условий для людей, оптимизации технологических процессов, повышения производительности труда, качества продукции, продуктивности животных, сокращения потерь сырья и продукции.

Для решения вопроса о возможности применения кондиционирования воздуха необходимо иметь технико-экономическое обоснование, поскольку это связано с большими затратами — высокая стоимость оборудования для кондиционирования воздуха, систем холодоснабжения, автоматического регулирования и управления; дополнительное энергопотребление.



## **2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Кафедра теплогасоснабжения и вентиляции

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

для выполнения курсового проекта по дисциплине  
«Кондиционирование воздуха и холодоснабжение»  
специальности 1-70 04 02 «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана  
воздушного бассейна»

### **ЧАСТЬ I**

Расчёт центральной системы кондиционирования воздуха.  
Расчёт местной системы кондиционирования воздуха.

Брест 2021

## Оглавление

Введение	115
1. Общие требования к оформлению курсового проекта	115
2. Задание и состав курсового проекта	115
3. Общие сведения о кондиционировании	117
4. Выбор расчетных параметров наружного и внутреннего воздуха для двух периодов года	117
5. Определение количества вредностей, поступающих в рабочую зону расчетного помещения для двух периодов года	118
5.1. Выделение теплоты и влаги людьми	119
5.2. Теплопоступления от солнечной радиации	119
5.3. Теплопоступления от источников искусственного освещения	121
5.4. Газовые выделения в помещении	122
6. Определение воздухообмена для ассимиляции вредностей для двух периодов года и выбор расчетного воздухообмена	122
6.1. Общие рекомендации по выбору и обоснованию схемы организации воздухообмена в помещении. Общие положения	122
6.2. Помещения жилых и общественных зданий	123
6.3. Расчет требуемых воздухообменов в помещениях здания	124
6.4. Выбор расчетного воздухообмена	126
6.5. Определение углового коэффициента луча процесса в помещении	129
7. Расчет воздухораспределения для кондиционируемого помещения	129
7.1. Выбор типоразмеров распределительных решеток и плафонов	129
7.2. Проверка скорости воздуха на оси струи в точке входа в рабочую зону	129
7.3. Подбор воздухораспределительных устройств	130
8. Аэродинамический расчет СКВ	134
8.1. Подготовка аксонометрической схемы к расчету и выбор сечений	134
9. Расчёт и подбор приточно-вытяжных установок центральной системы кондиционирования воздуха	141
9.1. Компоновка приточно-вытяжных установок	142
9.2. Расчёт и подбор оборудования ПВУ центрального кондиционера	144
9.3. Подбор узла воздухозабора	145
9.3. Расчет потери давления в шахте	146
9.4. Основные типовые секции ПВУ	147
10. Пример расчета воздухообмена в помещении общественного здания	151
10.1. Определение количества вредностей	151
10.2. Выбор расчетного воздухообмена	155
10.3. Подбор узла воздухозабора	157
11. Пример подбора приточно-вытяжной установки	159
12. Конструирование СКВ	166
13. Расчёт и подбор местной системы кондиционирования воздуха	172
13.1. Пример расчета мощности местного кондиционера	176
Приложение 1	179
Приложение 2	180
Литература	181

## **Введение**

Настоящие методические указания подготовлены для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» в соответствии с учебной программой дисциплины «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение».

Основным назначением данных методических указаний является разъяснение физической сущности изучаемых процессов, ознакомление студентов с методикой проведения работ, а также закрепление теоретического материала по изучаемой дисциплине.

Краткое изложение теории изучаемого явления с подробным описанием методики выполнения работы облегчит самостоятельную подготовку и последовательность выполнения курсовой работы.

Курсовой проект по дисциплине «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» выполняется студентами специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» на тему «Кондиционирование общественного здания».

Цель курсового проекта:

- закрепить и углубить знания, полученные студентами в процессе изучения курса;
- научить студентов комплексно применять полученные знания при самостоятельном решении технических вопросов, связанных с комплексной механизацией основных производственных процессов;
- воспитать у студентов чувство ответственности за порученную работу и личной инициативы при решении поставленной задачи;
- подготовить студентов к самостоятельной работе со справочной литературой, действующими ГОСТами, ведомственными нормативами, инженерными методами расчета, применяемыми в проектных организациях и промышленности и выработать навыки в составлении расчетно-пояснительных записок.

Конечной целью курсового проектирования является подготовка студентов к выполнению дипломного проекта.

## **1. Общие требования к оформлению курсового проекта**

Курсовой проект должен содержать расчетно-пояснительную записку объемом 40-50 страниц и графический материал. Оформление расчетно-пояснительной записки осуществляется на одной стороне белой писчей бумаги формата А4 (210х297 мм). Графический материал выполняется на одной стороне белой писчей бумаги формата А1 (594х841 мм). Общие требования и правила оформления изложены в стандарте университета СТ БГТУ 01 – 2002.

## **2. Задание и состав курсового проекта**

Задания по курсовому проекту (индивидуальные для каждого студента) разрабатываются руководителем проекта и утверждаются заведующим кафедрой.

Вариант выполнения графической части курсового проекта определяется руководителем проекта в зависимости от задания и темы курсового проекта.

Все вопросы, возникающие у студентов в процессе проектирования, разрешаются руководителем проекта. Выполняемый курсовой проект сдается руководителю проекта.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

**Расчетно-пояснительная записка** включает:

- Титульный лист.
- Задание по курсовому проектированию.
- Содержание.
- Реферат.
- Введение.
- Расчетно-текстовая часть.
- Заключение.
- Список использованных литературных источников.

В **содержании** последовательно перечисляют заголовки разделов, подразделов и приложений (если они имеются) и указывают номера страниц, на которых они помещены.

Во **введении** дается краткое изложение современных задач, стоящих перед специалистами в области теплогазоснабжения и вентиляции.

В **расчетно-текстовой части проекта** должны быть приведены следующие данные:

1. Общие сведения о кондиционировании проектируемого объекта.
  - Описание проектируемого объекта.
  - Выбор расчетных параметров наружного и внутреннего воздуха для двух периодов года.
2. Определение количества вредностей, поступающих в рабочую зону расчетного помещения для двух периодов года.
  - Теплопоступления в помещение.
  - Влаговыведения в помещении.
  - Газовые выделения в помещении.
3. Определение воздухообмена для ассимиляции вредностей для двух периодов года и выбор расчетного воздухообмена.
  - Расчет по избыткам явной теплоты.
  - Расчет по массе выделяющихся вредных веществ.
  - Расчет по избыткам влаги.
  - Определение углового коэффициента луча процесса в помещении.
  - Выбор расчетного воздухообмена и схемы обработки воздуха.
4. Построение процессов изменения состояния воздуха на I-d-диаграмме при кондиционировании воздуха для двух периодов года. Анализ и выбор расчетных схем обработки воздуха.
5. Конструирование систем кондиционирования.
6. Расчет воздухораспределения для кондиционируемого помещения.
  - Выбор типоразмеров распределительных решеток и плафонов.
  - Проверка скорости воздуха на оси струи в точке входа в рабочую зону.
7. Аэродинамический расчет системы кондиционирования воздуха.
  - Подготовка аксонометрической схемы к расчету и выбор сечений.
  - Расчет аэродинамических сопротивлений.
8. Расчёт и подбор приточно-вытяжной установки центральной системы кондиционирования воздуха.
  - Компоновка ПВУ.
  - Расчет и подбор оборудования ПВУ.

В **заключении** пояснительной записки студент должен в краткой форме подвести итоги своей работы: перечислить основные вопросы, решаемые им, сделать необходимые выводы и рекомендации.

В **список использованных источников** включают все источники, расположенные в порядке появления ссылок в тексте расчетно-пояснительной записки.

**Графическая часть** содержит:

- План этажа, на котором находятся кондиционируемые помещения, с нанесенными воздуховодами, ПВУ с указанием диаметров, сечений, типоразмеров, привязок магистральных воздуховодов к строительным конструкциям.
- Аксонометрическая схема центральной и местной системы кондиционирования воздуха с обозначением расчетных участков, диаметров, сечений, типоразмеров, отметок параметров оборудования.
- План и разрез приточной камеры со спецификацией оборудования и принципиальной схемой теплоснабжения и холодоснабжения.

### **3. Общие сведения о кондиционировании**

Кондиционирование воздуха — это автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) на определённом уровне с целью обеспечения главным образом оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, обеспечения сохранности ценностей культуры.

Здоровье, работоспособность, самочувствие человека в значительной степени определяются условиями микроклимата и воздушной среды в помещениях. Современные автоматизированные системы кондиционирования воздуха поддерживают заданные параметры воздуха в помещении независимо от колебаний параметров окружающей среды. Кондиционирование воздуха осуществляется комплексом технических средств, называемых системой кондиционирования воздуха (СКВ).

Системы кондиционирования снабжаются средствами для очистки воздуха от пыли, бактерий и запахов; подогрева, увлажнения и осушения его; перемещения, распределения и автоматического регулирования температуры воздуха, его относительной влажности, а иногда и средствами регулирования газового состава и содержания заряженных ионов в воздухе; а также — средствами дистанционного управления и контроля. Системы кондиционирования больших общественных зданий обслуживаются комплексными автоматизированными системами управления.

### **4. Выбор расчетных параметров наружного и внутреннего воздуха для двух периодов года**

Расчетные параметры внутреннего воздуха в гражданских зданиях устанавливаются чаще исходя из санитарно-гигиенических и реже из технологических требований в зависимости от назначения помещения и уровня требований к метеорологической обстановке в помещении. Согласно п. 5.8 СН 4.02.03-2019 [1] — при

кондиционировании параметры микроклимата в обслуживаемой зоне общественных, административных и бытовых помещений следует обеспечивать в соответствии с ГОСТ 30494 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [2].

Согласно п. 7.1.2 [1] кондиционирование воздуха следует предусматривать для обеспечения нормируемых параметров микроклимата и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещения или отдельных его участков. Кондиционирование воздуха следует принимать:

а) для обеспечения параметров микроклимата, требуемых для технологического процесса, — при экономическом обосновании, по заданию на проектирование или в соответствии с требованиями ТНПА;

б) для обеспечения параметров микроклимата в пределах оптимальных норм (или отдельных параметров) — по заданию на проектирование;

в) для обеспечения параметров микроклимата в пределах допустимых норм, если они не могут быть обеспечены вентиляцией в теплый период года без применения искусственного охлаждения воздуха, — при экономическом обосновании или по заданию на проектирование.

С целью уменьшения затрат на тепло- и холодоснабжение СКВ расчетную температуру и относительную влажность воздуха в помещении следует принимать для теплого периода года максимальные, для холодного — минимальные из диапазона оптимальных значений.

В качестве расчетных параметров наружного воздуха при проектировании СКВ температура и энтальпия принимаются по Приложению Г в соответствии с п. 5.14 [1]: параметры Б — для систем отопления, вентиляции, воздушного душирования для холодного периода года и систем кондиционирования для теплого и холодного периодов года.

В примере приведён расчёт в соответствии с п. 5.14 [9]: для холодного периода года — по параметрам Б, для теплого периода года — для СКВ третьего класса следует принимать параметры А; для СКВ второго класса следует принимать температуру наружного на 2°С и удельную энтальпию на 2,0 кДж/кг ниже установленных для параметров Б. Класс кондиционирования следует принимать по п. 7.2 [9].

## **5. Определение количества вредностей, поступающих в рабочую зону расчетного помещения для двух периодов года**

При расчете системы кондиционирования воздуха необходимо учитывать следующие теплоступления:

- от людей;
- от солнечной радиации (в теплый период года);
- от искусственного освещения;
- от технологического оборудования, расположенного в помещении;
- от других источников теплоты (горячей пищи, нагретых поверхностей оборудования, горячей воды и пр.);
- от поступающего в воздух помещения водяного пара (скрытая теплота).

Источниками влаговывделений в основных помещениях гражданских зданий являются люди, в столовых и ресторанах — горячая пища, технологическое оборудование.

## 5.1. Выделение теплоты и влаги людьми

Теплопоступления (Вт) и влагопоступления (кг/час) от людей зависят от их физической активности и температуры воздуха в помещении и определяются по формулам:

$$Q_{я} = q_{я} \cdot N \quad (5.1)$$

$$Q_{п} = q_{п} \cdot N \quad (5.2)$$

$$W = m_{ч} \cdot N \quad (5.3)$$

где  $N$  – количество людей в помещении, чел;

$q_{я}$  – явные тепловыделения одним человеком, Вт/чел;

$q_{п}$  – полные тепловыделения одним человеком, Вт/чел;

$m_{ч}$  – выделение влаги одним человеком, кг/(ч·чел).

Тепло- и влагопоступления от людей определяют по нижеприведенной таблице 5.1.[3].

Таблица 5.1. Количество теплоты и влаги, выделяемое взрослыми людьми (мужчинами)

Показатель	Количество теплоты, Вт/чел, и влаги $m_{ч}$ , г/(ч·чел), выделяемых одним человеком при температуре воздуха в помещении, °С					
	10	15	20	25	30	35
В состоянии покоя						
Теплота явная $q_{я}$	140	120	90	60	40	10
Теплота полная $q_{п}$	165	145	120	95	95	95
Влага $m_{ч}$	30	30	40	50	75	115
При легкой работе						
$q_{я}$	150	120	99	65	40	5
$q_{п}$	180	160	151	145	145	145
$m_{ч}$	40	55	75	115	150	200
При работе средней тяжести						
$q_{я}$	165	135	105	70	40	5
$q_{п}$	215	210	205	200	200	200
$m_{ч}$	70	110	140	185	230	280
При тяжелой работе						
$q_{я}$	200	165	130	95	50	10
$q_{п}$	290	290	290	290	290	290
$m_{ч}$	135	185	240	295	355	415

Примечание: для женщин значения из таблицы необходимо умножить на 0,85; для детей – на 0,75.

## 5.2. Теплопоступления от солнечной радиации

Величина теплового потока солнечной радиации на плоскость перпендикулярную солнечным лучам, за пределами земной атмосферы  $1360 \text{ Вт/м}^2$ . Атмосфера рассеивает этот поток и на плоскость на уровне земли солнечной теплоты попадает значительно меньше. Тем менее, в тепловом балансе зданий теплопоступления через наружные ограждения играет существенную роль. Тепловой поток солнечной радиации, попадая в помещение, в основном через окна нагревает строительные конструкции и оборудование, а затем за счет конвекции повышает температуру внутреннего воздуха. Наиболее подробной является методика, изложенная в пособии 2.91 к СНиП 2.04.05-91 «Расчет поступления теплоты солнечной радиации в помещениях». Многие производители климатической техники предлагают автоматизированный расчёт теплопоступлений по

своей, либо по стандартной методике. Например, методика по СНиП 2.04.05-91 реализована в виде программы, которая находится в открытом доступе на сайте Mitsubishi Electric [6].

Теплопоступления можно определить:

1. по [5, стр. 89];
2. online-программе (<http://www.mitsubishi-aircon.ru/software/online.shtml>) [6];
3. по указанной ниже методике в данном методическом указании.

Для помещений общественных и промышленных зданий при наличии над окнами козырьков теплопоступления за счет солнечной радиации через заполнения световых проемов определяют по формуле, Вт:

$$Q_{max} = (q_{oc} \cdot F_{oc} + q_t \cdot F_t) \cdot k_{оп} \quad (5.4)$$

где  $k_{оп}$  – коэффициент относительного проникновения солнечной радиации через заполнение светового проема, отличающееся от обычного одинарного остекления (для двойного остекления можно принимать 0,9);

$q_{oc}, q_t$  – тепловой поток, поступающий в помещение через 1 м<sup>2</sup> одинарного стекла, освещенного солнцем и находящегося в тени, Вт/м<sup>2</sup>;

$F_{oc}, F_t$  – площади заполнения световых проемов, освещенных солнцем и находящихся в тени, м<sup>2</sup>;

$F_{oc}, F_t$  – находят графическим построением размеров тени от солнцезащитного козырька или других строительных конструкций.

Для зданий, у которых отсутствуют затеняющие устройства (таких зданий большинство), в зависимости от расчетного часа суток и ориентации, остекление может облучаться солнцем или находиться в тени. Когда окна облучаются солнечной радиацией формула (5.4) будет иметь вид:

$$Q_{max} = (q_{oc} \cdot F_{oc}) \cdot k_{оп} \quad (5.5)$$

$$q_{oc} = (q_{п} + q_{р}) \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (5.6)$$

где  $q_{п}, q_{р}$  – поступление теплоты, Вт/м<sup>2</sup>, соответственно прямой и рассеянной солнечной радиации, определяемое по максимальным значениям или исходя из расчетного часа, в зависимости от географической широты и ориентации окон (табл.2.7 [4]);

$K_1$  – коэффициент, учитывающий затенение остекления переплетами и загрязнение атмосферы. Для окон с двойным остеклением в деревянных переплетах, облучаемых солнцем,  $K_1 = 0,45$ ; то же в металлических  $K_1 = 0,54$ ;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий загрязнение стекла: для промышленных зданий  $K_2 = 0,9$ , для общественных  $K_2 = 0,95$ .

Расчетные теплопоступления в помещение с учетом аккумуляции теплоты внутренними ограждающими конструкциями:

$$Q_p = Q_{max} \cdot \left( \frac{F_1 m_1 + F_2 m_2 + F_3 m_3 + 0,5 \cdot F_4 m_4 + 1,5 \cdot F_5 m_5}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5} \right) \quad (5.7)$$

где  $F_1, F_2, F_3$  – площади отдельных внутренних стен помещений, м<sup>2</sup>;

$F_4, F_5$  – соответственно площади потолка и пола, м<sup>2</sup>;

$m_1, m_2, m_3, m_4, m_5$  – коэффициенты, учитывающие аккумуляцию теплоты соответственно внутренними стенами, потолком и полом (табл.5 [4]).



### 5.3. Теплопоступления от источников искусственного освещения

Теплопоступления от источников искусственного освещения учитываются в холодный период года. Эти теплопоступления зависят от принятого уровня освещенности помещения и удельных тепловыделений от установленных светильников и определяются с использованием таблиц по формуле:

$$Q_{\text{осв}} = E \cdot F \cdot q_{\text{осв}} \cdot \eta_{\text{осв}} \quad (5.8)$$

где  $E$  – освещенность помещения (нормируемая), Лк, таблица 5.2.;

$F$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;

$q_{\text{осв}}$  – удельные тепловыделения от ламп, Вт/(м<sup>2</sup>·Лк), таблица 5.3.;

$\eta_{\text{осв}}$  – коэффициент размещения,  $\eta_{\text{осв}} = 1$ , если светильники находятся непосредственно в помещении, и  $\eta_{\text{осв}} = 0,45$  – если светильники располагаются в вентилируемом подвесном потолке.

Таблица 5.2. Уровень общего освещения помещений

Помещения	Общая освещенность помещения $E$ , Лк
Проектные залы, конструкторские бюро	600
Читальные залы, проектные кабинеты, рабочие и классные комнаты и аудитории	300
Залы заседаний, спортивные, актовые, зрительные залы клубов, фойе театров, обеденные залы, буфеты	200
Крытые бассейны, фойе клубов и кинотеатров	150
Номера гостиниц	100
Зрительные залы кинотеатров, палаты и спальные комнаты санаториев	75
Торговые залы магазинов продовольственных товаров	400
То же, промышленных товаров	300
То же, хозяйственных товаров	200
Аптеки	150

Таблица 5.3. Удельные тепловыделения от светильников с люминесцентными лампами (верхние значения) и лампами накаливания (нижние значения)

Тип светильника	Средние удельные тепловыделения $q_{\text{осв}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·Лк), для помещений площадью, м <sup>2</sup> :					
	Менее 50		50-200		Более 200	
	При высоте помещения, м					
	До 3,6	Более 4,2	До 3,6	Более 4,2	До 3,6	Более 4,2
Прямого света	0,077	0,202	0,058	0,074	0,056	0,067
	0,212	0,280	0,160	0,204	0,154	0,187
Диффузного света	0,116	0,166	0,079	0,102	0,077	0,094
	0,319	0,456	0,217	0,280	0,212	0,268
Отраженного света	0,161	0,264	0,154	0,264	0,108	0,145
	0,443	0,726	0,424	0,726	0,297	0,399

Для помещений без световых проемов (зрительные залы и т.п.) теплопоступления от освещения учитывают во все периоды года в одинаковом размере. Теплопоступления от солнечной радиации в теплый период года учитываются, только если такое помещение находится на последнем или единственном этаже — это будут теплопоступления через покрытие или чердачное перекрытие.

При "глубоких" помещениях (глубиной больше 6 м от оконных проемов) теплопоступления от освещения учитывают также и в теплый период от источников,

освещающих ту часть помещения, которая удалена от окон более чем на 6 м от окон, совместно с тепlopоступлениями от солнечной радиации.

Частичный учет теплоты от искусственного освещения в теплый и переходный периоды года с коэффициентом 0,3-0,5 по сравнению с холодным периодом года также возможен в помещениях, в которых часть светильников работает днем (читальные залы, офисы, залы ресторанов и т.п.).

#### 5.4. Газовые выделения в помещении

Выделение в помещение углекислого газа, выдыхаемого людьми, л/ч, определяется в одинаковом размере для всех периодов года с учетом интенсивности физической нагрузки (таблица 5.4) по формуле:

$$V_{CO_2} = m_{CO_2} \cdot N \quad (5.9)$$

где  $m_{CO_2}$  – количество выделяемого углекислого газа одним человеком, л/ч;

Таблица 5.4. Количество углекислого газа, выделяемого взрослыми людьми (мужчинами)

Интенсивность нагрузки	Поступления CO <sub>2</sub> , $m_{CO_2}$ , л/ч от 1 чел.
Покой	18
Легкая работа	25
Работа средней тяжести	35
Тяжелая работа	50

Примечание: для женщин значения из таблицы необходимо умножить на 0,85; для детей – на 0,75.

## 6. Определение воздухообмена для ассимиляции вредных веществ для двух периодов года и выбор расчетного воздухообмена

### 6.1. Общие рекомендации по выбору и обоснованию схемы организации

#### воздухообмена в помещении. Общие положения

При расчете воздухообмена необходимо иметь представление о схеме организации воздухообмена в помещении. В том числе необходимо знать распределение параметров воздуха в объеме помещения и расход воздуха, подаваемого и удаляемого из отдельных частей помещения системами местной вентиляции. Основные принципы, которыми следует руководствоваться при выборе схем подачи-удаления воздуха в помещении:

- подача приточного воздуха (общеобменный приток) должна предусматриваться в зону дыхания, приточные струи не должны проходить через загрязненные зоны помещения;

- общеобменная вытяжка устраивается из зон помещения с наибольшим загрязнением воздуха;

- соотношение между потоками подаваемого и удаляемого из помещений воздуха выбирают таким, чтобы обеспечить направление и достаточный расход воздуха, перетекающего из «чистых» помещений в «загрязненные» смежные помещения;

- в здании и отдельных его частях и секциях, как правило, должен быть полный баланс между суммарным притоком и суммарной вытяжкой.

В большинстве помещений гражданских зданий приточные и вытяжные устройства можно размещать в верхней зоне помещения. Минимальный расход наружного воздуха обычно определяют из условия ассимиляции поступлений углекислого газа.

При выборе мест расположения в помещении приточных отверстий следует учитывать, что приточные струи на пути своего движения в помещении не должны встречать препятствия (балки, мебель, оборудование).

В помещениях с сосредоточенными источниками тепловыделений (плиты и кухни и т.п.) приточные струи не должны нарушать работы местных отсосов или разбивать естественную конвективную струю над нагретым оборудованием. Взаимное расположение приточных и вытяжных отверстий в плане помещения должно приниматься в соответствии с требованиями [7]. Вытяжные отверстия целесообразно размещать несколько выше приточных, учитывая наличие в верхней части помещения загрязненной "тепловой подушки".

## **6.2. Помещения жилых и общественных зданий**

*Жилые здания.* Приток наружного воздуха, как правило, через открывающиеся окна и неплотности наружных строительных ограждений, вытяжка канальная с естественным побуждением движения воздуха. Вытяжные отверстия, закрытые декоративными решетками, следует размещать в кухнях, санузлах и ваннных комнатах.

*Гостиницы.* В номерах предусматривают вентиляцию или кондиционирование воздуха в соответствии с "классом" гостиницы. Подача и удаление воздуха в помещениях гостиниц осуществляется по схеме "сверху-вверх".

*Здания научно-исследовательских институтов.* В кабинетах, служебных помещениях, проектных залах, библиотеках и других помещениях, характерных для зданий конструкторских и проектных организаций, НИИ и для административно-управленческих зданий, подачу и удаление вентиляционного воздуха предусматривают по схеме "сверху-вверх".

*Учебные заведения.* Для помещений профессионально-технических и средних специальных учебных заведений рекомендуют подачу и удаление воздуха осуществлять по схеме "сверху-вверх". В конференц-залах этих зданий при использовании рециркуляции воздуха — по схеме "сверху-вниз-вверх".

*Лечебно-профилактические учреждения.* В большинстве основных помещений данных учреждений применяют подачу и удаление приточного воздуха по схеме "сверху-вверх". Исключением являются помещения с выделением тяжелых газов, паров и аэрозолей (наркозная, некоторые процедурные кабинеты, грязелечебницы и т.д.). В этих помещениях рекомендуют схемы "сверху-вниз" или "сверху-вниз-вверх".

*Магазины.* Во всех торговых залах магазинов (кроме магазинов с товарами бытовой химии) допускается рециркуляция воздуха. Подача и удаление воздуха по схеме "сверху-вверх". Требуемое количество наружного воздуха определяется по расчету воздухообмена из условий ассимиляции углекислого газа. При этом расчетное количество людей принимают следующее:

- для мебельных магазинов, музыкальных, электротоваров, книжных, спортивных и ювелирных — 1 чел. на  $3,5 \text{ м}^2$  площади торгового зала;
- для других непродовольственных и продовольственных магазинов — 1 чел. на  $2,5 \text{ м}^2$  площади торгового зала.

В торговых залах площадью 3500 м<sup>2</sup> и более предусматривается кондиционирование воздуха при  $t_n > 25^\circ\text{C}$  (параметры А). В районах со среднемесячной температурой воздуха в июле 25°C и выше кондиционирование воздуха допускается в магазинах с торговыми залами площадью 1000 м<sup>2</sup> и более.

*Зрительные залы театров и кинотеатров.* Для систем вентиляции и кондиционирования воздуха в зрительных залах театров, клубов и кинотеатров допустимо применять рециркуляцию воздуха. Количество подаваемого наружного воздуха — не менее 20 м<sup>3</sup>/ч на одного зрителя. В зрительных залах, как правило, применяют подачу приточного воздуха, обеспечивающую равномерное распределение воздуха, исключаящее образование застойных зон, а также зон с подвижностью воздуха выше допустимой. Все приточные отверстия в зрительном зале должны быть оборудованы регулирующими устройствами, позволяющими изменять направление движения воздуха. Вытяжку осуществляют из верхней зоны помещения. В театрах и клубах 17% общего объема вытяжки удаляют через сцену.

*Кухни и торговые залы предприятий общественного питания.* В кухнях и цехах выпечки изделий из теста и в других подобных помещениях приток подается в рабочую зону помещений. В остальные помещения предприятий общепита подачу воздуха осуществляют в верхнюю зону. Общеобменную вытяжку устраивают из верхней зоны помещений. Основными особенностями устройства систем вентиляции в помещениях кухни и торгового зала являются:

- обязательное применение в кухне системы местной вытяжной вентиляции от основного теплового оборудования (для предотвращения поступления в объем помещения тепла, водяных паров и паров масла), а для модульного кухонного оборудования местной приточно-вытяжной вентиляции;
- организация перетекания воздуха из торгового зала в горячие цеха и другие технологические помещения предприятия.

Приточно-вытяжные локализирующие устройства (ПВЛУ), представляющие встроенный элемент модульного технологического оборудования кухни, присоединяются к приточному распределительному и к вытяжному сборному воздуховодам. Вытяжной воздух в ПВЛУ проходит через фильтр для улавливания аэрозолей масла. Приток через ПВЛУ подается в зону дыхания работников. В ПВЛУ подают либо наружный обработанный воздух, либо его смесь с воздухом, удаляемым из торгового зала. При кондиционировании воздуха в торговом зале целесообразно весь расход местного притока осуществлять воздухом, удаляемым из верхней зоны зала.

Перетекание воздуха из торгового зала в помещение кухни осуществляется за счет дисбаланса воздуха в этих помещениях. Расход перетекающего воздуха определяется по допустимой скорости воздуха в открытых дверных проемах в ограждениях между этими помещениями и раздаточном окне (0,2-0,3 м/с).

При выборе схемы организации воздухообмена следует учитывать конкретные особенности помещения, его назначение, конструктивные решения.

### **6.3. Расчет требуемых воздухообменов в помещениях здания**

Требуемым воздухообменом помещения называют минимальный воздухообмен, определяемый по одному из видов вредных выделений (теплота, влага, вредные газы или пары вредных веществ) в один из расчетных периодов года (теплый или холодный).

Основной метод определения требуемых воздухообменов — балансовый. Он называется так потому, что в его основе лежит составление для помещения системы уравнений баланса воздуха, теплоты, влаги и других вредных выделений. Решением этой системы и получаются соотношения для требуемого воздухообмена.

Требуемый расход воздуха определяют, исходя из тепловлажностной нагрузки помещения. Используем уравнения теплового и влажностного баланса для кондиционируемого помещения п. 7.4.1 [1]:

- по явной тепловой нагрузке:

$$Q_{\text{явн}} = G_{\text{тр}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{п}}) = L_{\text{тр}} \cdot \rho \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{п}}) \quad (6.1)$$

- по влажностной нагрузке:

$$W = G_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{в}} - d_{\text{п}}) \cdot 1000 = L_{\text{тр}} \cdot \rho \cdot (d_{\text{в}} - d_{\text{п}}) \cdot 1000 \quad (6.2)$$

- по полной тепловой нагрузке:

$$Q_{\text{п}} = G_{\text{тр}} \cdot (I_{\text{в}} - I_{\text{п}}) = L_{\text{тр}} \cdot \rho \cdot (I_{\text{в}} - I_{\text{п}}) \quad (6.3)$$

где  $Q_{\text{явн}}$ ,  $Q_{\text{п}}$  — тепловой поток в помещении соответственно явный и полный, кДж/ч;

$G_{\text{тр}}$  — требуемый массовый расход воздуха, кг/ч;

$c_{\text{в}}$  — удельная массовая теплоёмкость воздуха, равная 1,005 кДж/(кг·К);

$t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{п}}$  — температура воздуха соответственно в помещении и приточного, °С;

$L_{\text{тр}}$  — требуемый объемный расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho$  — плотность воздуха кг/м<sup>3</sup>;

$W$  — избыток влаги в помещении, кг/ч;

$d_{\text{в}}$ ,  $d_{\text{п}}$  — влагосодержание воздуха соответственно в помещении и приточного, г/кг;

$I_{\text{в}}$ ,  $I_{\text{п}}$  — энтальпия воздуха соответственно в помещении и приточного, кДж/кг.

Разность температур  $\Delta t_{\text{р}}$  называется *рабочей разностью температур* и выбирается в зависимости от назначения помещения, способа подачи и распределения воздуха. Температура приточного воздуха может быть определена по формуле:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{в}} - \Delta t_{\text{р}} \quad (6.4)$$

Если в помещение подается воздух с температурой ниже температуры воздуха в помещении, то при большой разности температур  $\Delta t_{\text{р}}$  ощущается холодное дутье из приточных отверстий. Поэтому практикой кондиционирования воздуха ограничивается разность температур  $\Delta t_{\text{р}}$ . Если воздух подается:

- непосредственно в рабочую зону  $\Delta t_{\text{р}} = 2^{\circ}\text{C}$ ;
- на высоту 3 м и выше  $\Delta t_{\text{р}} = 4\text{-}6^{\circ}\text{C}$ ;
- на высоту более 4 м от пола  $\Delta t_{\text{р}} = 6\text{-}8^{\circ}\text{C}$ ;
- воздухораспределителями (плафонами)  $\Delta t_{\text{р}} = 8\text{-}15^{\circ}\text{C}$ .

В дальнейшем значение  $t_{\text{п}}$  может быть уточнено с последующим пересчетом воздухообмена по результатам проверки параметров приточной струи на входе ее в обслуживаемую зону помещения, а также с учетом возможности получения выбранной величины  $t_{\text{п}}$  в теплый период года наиболее рациональным способом.

Температуру воздуха, удаляемого СКВ, из обслуживаемой зоны необходимо принимать  $t_{\text{у}} = t_{\text{в}}$ , а при вытяжке из верхней зоны можно определить по формуле:

$$t_y = t_B + grad\ t \cdot (H - h) \quad (6.5)$$

где  $grad\ t$  – градиент температуры по высоте помещения выше рабочей зоны, град/м;

$H, h$  – соответственно высота помещения и рабочей зоны, м.

Градиент температуры определяется в зависимости от избытков явного тепла в помещении по таблице 6.1. Удельные избытки явной теплоты, Вт/м<sup>3</sup> определяются по:

$$q_{явн} = \frac{Q_{явн}}{3,6 \cdot V} \quad (6.6)$$

где  $Q_{явн}$  – явный тепловой поток в помещении, кДж/ч;

$V$  – объем помещения по внутреннему обмеру, м<sup>3</sup>.

Таблица 6.1. Градиент температуры по высоте помещения выше рабочей зоны в зависимости от избытков явного тепла в помещении

Удельные выделения явной теплоты, $q_{явн}$ , Вт/м <sup>3</sup>	Градиент температуры по высоте $grad\ t$ , град/м	Примечание
более 23,2	0,8...1,5	Меньшие значения принимают для холодного периода года, большие — для теплого
11,6...23,2	0,3...1,2	
менее 11,6	0...0,5	

После выбора расчетного воздухообмена температуры  $t_{п}$  и  $t_y$  для некоторых периодов могут быть дополнительно уточнены. Если применяется *рециркуляция*, количество наружного воздуха должно быть не менее величины  $L_{CO_2}$ .

Учитывая уравнения (6.1) – (6.3) требуемый массовый расход воздуха (кг/ч), для ассимиляции каждой из вредностей в кондиционируемом помещении, определяется по формулам:

1. по условию удаления полной теплоты:

$$G_{тр} = \frac{Q_{п}}{(I_y - I_{п})} \quad (6.7)$$

2. по условию удаления явной теплоты:

$$G_{тр} = \frac{Q_{явн}}{c_B \cdot (t_y - t_{п})} \quad (6.8)$$

3. по условию удаления избыточной влаги:

$$G_{тр} = \frac{W \cdot 1000}{(d_y - d_{п})} \quad (6.9)$$

где  $I_y, t_y, d_y$  – энтальпия (кДж/кг), температура (°С), влагосодержание (кг/кг) воздуха, удаляемого из помещения соответственно.

Расход воздуха следует определять отдельно для теплого и холодного периодов года, принимая большую из величин, полученных по формулам (6.7) – (6.9). Данные формулы справедливы для случаев, когда воздух из помещения не удаляется местными отсосами и не забирается на технологические нужды.

Выбор наибольшего перепада температур  $\Delta t_p$  обеспечивает минимальную производительность СКВ.

#### 6.4. Выбор расчетного воздухообмена

Расчетную величину воздухообмена в помещении  $G^p$ , кг/ч, т.е. расход воздуха для подбора оборудования, выбирают, руководствуясь следующими соображениями: *расчетным является больший из требуемых воздухообменов по двум периодам.*

Если для раздачи приточного воздуха используются воздухораспределители, работающие на переменном расходе воздуха, то подача притока регулируется не только по сезонам, но и в течение рабочего времени. Это дает заметную экономию энергии. Так же возможен вариант, при котором устраиваются две приточные системы: одна, с производительностью, равной наименьшему из требуемых воздухообменов, работает в течение всего года, а вторая, дополнительная, подключается в тот период, для которого требуемый воздухообмен больше.

Поэтому, выбрав расчетную величину воздухообмена по какому-нибудь периоду, необходимо уточнить параметры приточного или, наоборот, внутреннего воздуха для остальных периодов, т.е. решить так называемую обратную задачу расчета воздухообмена. Это необходимо для правильного выбора теплопроизводительности калориферной установки. Уточняем параметры притока по формуле:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{у}} - \frac{Q_{\text{явн}}}{G^p \cdot c_{\text{в}}} \quad (6.10)$$

Здесь значения  $t_{\text{у}}$  и  $Q_{\text{явн}}$  принимаются для того периода, для которого уточняется температура притока. При этом уточненное значение  $t_{\text{п}}$  обязательно должно получиться выше, чем первоначально принятое.

После выбора  $G^p$  и решения обратной задачи воздухообмена вычисляют объемные расходы воздуха по притоку и вытяжке, м<sup>3</sup>/ч:

$$L_{\text{п}}^p = \frac{G^p}{\rho_{\text{п}}}; \quad L_{\text{у}}^p = \frac{G^p}{\rho_{\text{у}}} \quad (6.11)$$

Где плотность притока  $\rho_{\text{п}}$  и вытяжки  $\rho_{\text{у}}$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляется в зависимости от температур притока и вытяжки, взятых для того периода, для которого они являются наибольшими (обычно для теплого периода):

$$\rho = \frac{353}{t + 273} \quad (6.12)$$

Поскольку эти плотности неодинаковы, объемный расход по притоку и по вытяжке также может несколько не совпадать. После этого вычисляются фактические кратности воздухообмена, ч<sup>-1</sup>, также отдельно по притоку и по вытяжке:

$$K_{\text{п}}^{\phi} = \frac{L_{\text{п}}^p}{V} \quad (6.13)$$

где  $V$  – объем помещения по внутреннему обмеру, м<sup>3</sup>.

Требуемый расход воздуха (м<sup>3</sup>/ч), для ассимиляции по массе выделяющихся вредных или взрывоопасных веществ определяется:

$$L_{\text{вр}} = \frac{G_{\text{вр}}}{C_{\text{у}} - C_{\text{п}}} \quad (6.14)$$

где  $G_{\text{вр}}$  – расход каждого из вредных веществ, поступающих в помещение, л/ч;

$C_{\text{у}}$ ,  $C_{\text{п}}$  – концентрация вредного вещества соответственно в воздухе, удаляемом из рабочей зоны помещения и в приточном воздухе ( $C_{\text{у}} = \text{ПДК}$ ), л/м<sup>3</sup>;

При одновременном выделении в помещение нескольких вредных веществ, обладающих эффектом суммарного действия, воздухообмен следует определять по формуле (6.14), суммируя расходы воздуха, рассчитанные по каждому из этих веществ.

Практически во всех случаях в помещении выделяется углекислый газ. Для восполнения в газовом составе воздуха уменьшающегося содержания кислорода необходима подача в помещение наружного воздуха. Поэтому после расчета  $L^p$  необходимо сравнить их с минимальным количеством наружного воздуха  $L_{CO_2}$ , м<sup>3</sup>/ч, которое определяют по выделениям углекислого газа:

$$L_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{C_{ПДК} - C_{П}} \quad (6.15)$$

где  $V_{CO_2}$  – выделение в помещение углекислого газа, выдыхаемого людьми, л/ч;

$C_{ПДК}$ ,  $C_{П}$  – соответственно максимально допустимая концентрация углекислого газа во внутреннем воздухе и его концентрация в приточном воздухе, л/м<sup>3</sup>, определяемые по таблице 6.2.

Таблица 6.2 Концентрации углекислого газа

Район	$C_{П}$ , л/м <sup>3</sup>	Здание	$C_{ПДК}$ , л/м <sup>3</sup>
Центр города (более 1 млн.чел)	0,75	Лечебные и детские	1,0
Район в черте города	0,5	Актовые, зрительные, спортивные залы и т.п. с большим числом людей	1,5
Загородная зона, небольшие поселки	0,4	При временном пребывании (магазины, кинотеатры)	2,0

Требуемый расход воздуха (м<sup>3</sup>/ч), для ассимиляции по нормируемому удельному расходу приточного воздуха определяем:

$$L_{н} = N \cdot L_{п} \quad (6.16)$$

где  $N$  – количество людей в помещении;

$L_{п}$  – нормируемый расход воздуха на одного человека, м<sup>3</sup>/(ч·чел).

Величина  $L_{CO_2}$  должна быть не меньше, чем предусмотрено нормами подачи наружного воздуха на одного человека  $L_{п}$  для соответствующих зданий. Например, в зрительных залах и магазинах – не менее 20 м<sup>3</sup>/ч на человека, в спортивных залах – 80 м<sup>3</sup>/ч на одного занимающегося и не менее 20 м<sup>3</sup>/ч на одного зрителя [7], приложение II [1]. Если оказывается, что  $L_{CO_2}$  больше, чем  $L_{н}$ , то за расчетный воздухообмен принимается  $L_{CO_2}$  и еще раз уточняется температура притока или внутреннего воздуха.

Если расчётный воздухообмен окажется выше минимально необходимого (нормируемого), то следует рассмотреть вопрос о целесообразности применения рециркуляции. Соответственно, рециркуляционный воздухообмен определяется как разность расчётного воздухообмена  $L^p$  и максимального значения из двух величин: минимальным количеством наружного воздуха  $L_{CO_2}$  и требуемым расходом воздуха  $L_{н}$ . Рециркуляция возможна, если она допустима по санитарно-гигиеническим соображениям, т.е. если в помещении не выделяются токсичные, пахучие или пожароопасные и взрывоопасные вещества. Также она целесообразна, если затраты на устройство и эксплуатацию систем рециркуляции не превышают стоимости энергии, экономия которой достигается за счет ее применения.



Согласно п. 7.4.7 [1] — полная или частичная рециркуляция воздуха разрешается из систем местных отсосов (систем аспирации) после очистки пылевоздушной смеси, при этом концентрация примесей в возвращаемом в рабочую зону воздухе не должна превышать 80% ПДК рабочей зоны. Рециркуляция воздуха ограничивается: пределами одной квартиры, номера в гостинице или дома, занимаемого одной семьей; пределами одного или нескольких помещений, в которых выделяются одинаковые вредные вещества 1-го и 2-го классов опасности.

$$G_{\max} = L_n \cdot \rho_y \quad (6.17)$$

$$G_{\text{рец}} = G_p - G_{\max} \quad (6.18)$$

$$\%_{\text{рец}} = \frac{G_{\text{рец}}}{G_p} \cdot 100\% < 80\% \quad (6.19)$$

В этом случае условие удовлетворяет пункту 7.4.7 [1]

Если  $\%_{\text{рец}} > 80\%$ , то принимается процент рециркуляции равный 80%.

### 6.5. Определение углового коэффициента луча процесса в помещении

Направление процесса ассимиляции тепла и влаги в помещении характеризуется тепловлажностным отношением. На основании расчета тепловлажностных балансов определяют угловой коэффициент луча процесса в помещении для теплого  $\varepsilon_T$  и холодного  $\varepsilon_X$  периодов года, кДж/кг:

$$\varepsilon_T = \frac{\sum Q_{\text{П}}^T}{W^T} = \frac{\sum Q_{\text{Я}}^T + 2540 \cdot W^T}{W^T} \quad (6.20)$$

$$\varepsilon_X = \frac{\sum Q_{\text{П}}^X}{W^X} = \frac{\sum Q_{\text{Я}}^X + 2540 \cdot W^X}{W^X} \quad (6.21)$$

## 7. Расчет воздухораспределения для кондиционируемого помещения

### 7.1. Выбор типоразмеров распределительных решеток и плафонов

Предварительный выбор типоразмеров решеток и плафонов осуществляется через расход воздуха на одну решетку или плафон  $L_0$  и рекомендуемую скорость воздуха в проходном сечении решетки или плафона  $v_{\text{ор}}$ . Величина  $v_{\text{ор}}$  составляет около 1,5 м/с для приточных устройств. Расход  $L_0 = L/N$ , где  $L$  – воздухообмен помещения по притоку,  $N$  – число приточных решеток (плафонов). Тогда вычисляем ориентировочное живое сечение для прохода воздуха, м<sup>2</sup>:

$$f_{\text{ор}} = \frac{L_0}{3600 \cdot v_{\text{ор}}} \quad (7.1)$$

Затем по каталогу (Арктос, ВентАрт и др.) подбирается решетка или плафон с ближайшим фактическим сечением  $f_{\text{факт}}$ .

### 7.2. Проверка скорости воздуха на оси струи в точке входа в рабочую зону

Для приточных решеток и плафонов проверяется скорость на оси струи  $v_x$  в точке входа в рабочую зону, отклонение температуры от температуры рабочей зоны  $\Delta t_x$  в этой же точке и условие прилипания струи к потолку по следующим формулам [7]:

$$v_x = \frac{m \cdot v_o \cdot \sqrt{f_{\text{факт}}}}{x}, \text{ м/с} \quad (7.2)$$

Скоростной коэффициент  $m = 2.5$ , температурный коэффициент  $n = 3$ .

$$\Delta t_x = \frac{n \cdot \Delta t_o \cdot \sqrt{f_{\text{факт}}}}{x}, \text{ }^\circ\text{C} \quad (7.3)$$

Здесь  $x$  – длина пути струи до точки входа в рабочую зону, м.

При подаче воздуха решетками:

$$x = B + (H_{\text{пом}} - h_{\text{рз}}) \quad (7.4)$$

где  $H_{\text{пом}}$  – высота помещения, м;

$h_{\text{рз}}$  – высота рабочей зоны (2 м — люди в помещении стоят, и 1,5 м — сидят);

$B$  – глубина помещения от стены до стены в направлении развития струи, м.

При использовании плафонов:

$$x = C/2 + (H_{\text{пом}} - h_{\text{рз}}) \quad (7.5)$$

где  $C$  – расстояние между соседними плафонами (сторона ячейки), м.

Фактическую скорость воздуха в выпускном сечении –  $v_o$ , вычисляем по формуле:

$$v_o = \frac{L_o}{3600 \cdot f_{\text{факт}}}, \text{ м/с} \quad (7.6)$$

Параметр  $\Delta t_o$  представляет разность температуры воздуха в рабочей зоне и температуры притока:  $\Delta t_o = t_v - t_{\text{п}}$ . Значение  $\Delta t_o$  вычисляется с учетом возможного уточнения при построении процесса обработки воздуха на I-d диаграмме и берется для того периода года, в котором  $\Delta t_o$  будет наибольшим. Параметры  $m$  и  $n$  — это скоростной и температурный коэффициенты воздухораспределителей. Для плафонов СТ-КР и СТ-КВ величина  $m$  и  $n$  указана выше.

Вычисленные значения  $v_x$  и  $\Delta t_x$  сравнивают с максимально допустимыми. В общественных зданиях можно принимать [7]:  $v_{\text{доп}} = 0,24$  м/с,  $\Delta t_{\text{доп}} = 1^\circ\text{C}$  при кондиционировании. Если  $v_x > v_{\text{доп}}$ , увеличивают  $f_{\text{факт}}$ , подбирая другой типоразмер воздухораспределителя, а если  $\Delta t_x > \Delta t_{\text{доп}}$ , необходимо  $f_{\text{факт}}$  уменьшить.

После этого вычисляем геометрическую характеристику струи:

$$H = \frac{5,45 \cdot m \cdot v_o \sqrt[4]{f_{\text{факт}}}}{\sqrt{m \cdot \Delta t_o}}, \text{ м} \quad (7.7)$$

Условие прилипания струи соблюдается, если  $C/2 < 0,4H$  для плафонов.

### 7.3. Подбор воздухораспределительных устройств

Подбор приточных (воздухораспределительных) устройств можно осуществлять в программе Swegon “ProAirWeb 1.0”. Для этого необходимо во вкладке “помещение” выбрать назначение помещения, установить его размеры (рисунок 7.1).

ProAirWeb 1.0 - Версия 2008.10.1

Архив Связи Каталог продукции Помощь

Объект Помещение Вентиляция ОВ/ПерВ Размещение Изовела-результат Комната 1: ...

Наименование:  Тип: **Офис**

Принцип вентиляции помещения:

Смешивающая  Вытесняющая

Людй в помещении чаще: **Сидят**

Средний К абсорбции помещения: **0.15**

Значения:

Длина (L)  m

Ширина (W)  m

Высота (H)  m

Поверхность  m<sup>2</sup> Емкость  m<sup>3</sup>

Контроль характеристик:

уровень шума не выше  dB(A) с заслонкой

Скорость в зоне обслуживания не должна превышать

Длина выброса не должна превышать размеры зоны/ места для устройства

Контролируй требования по температуре

Добавить помещ. Копировать помещ. Удалить помещ.

**Рисунок 7.1 – Пример ввода основных параметров расчетного помещения**

Затем во вкладке “вентиляция” задаем температуру в расчетном помещении, расход воздуха и температуру воздуха при выходе из воздухораспределителя, количество людей в помещении и объем углекислого газа (расчет производился по формуле 5.9).

ProAirWeb 1.0 - Версия 2008.10.1

Архив Связи Каталог продукции Помощь

Объект Помещение Вентиляция ОВ/ПерВ Размещение Изовела-результат Комната 1: ...

Я хочу указать также:

CO<sub>2</sub> установивш. состояние  ppm

Температура в помещении  °C

Вносимый холод  W

Расход возд. в помещ.  m<sup>3</sup>/h

Расход возд. помещ./плоч.  m<sup>3</sup>/h, m<sup>2</sup>

Температура ПВ  °C

Обязательные сведения:

Углекислый газ  ppm

Людей в помещении:  перс.

Значения рассчитанные:

Мощность холода **9.6** W/m<sup>2</sup>

Нагрузка CO<sub>2</sub> **36** l/h

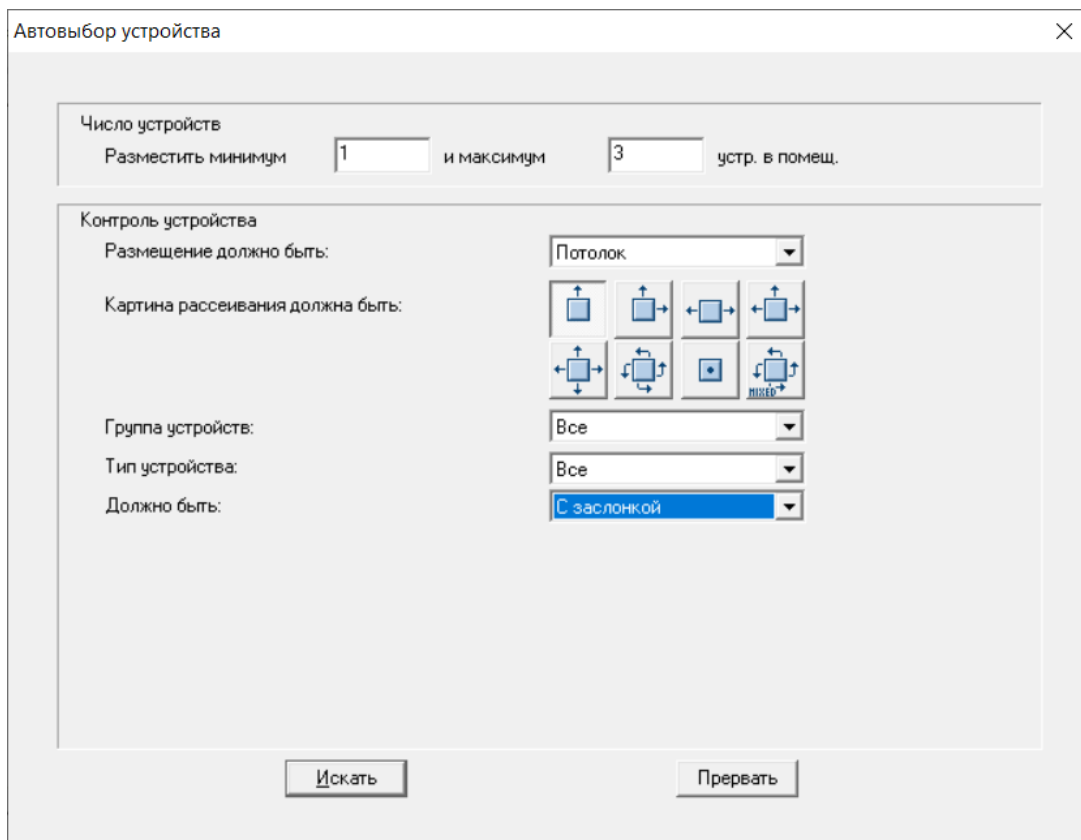
Время стабилизации **1:10** h:m

Время до 1000 ppm **0:00** h:m

График CO<sub>2</sub> концентрации (ppm) vs. время (h):

**Рисунок 7.2 – Пример ввода основных параметров расчетного помещения**

Во вкладке “размещение” выбираем “автовыбор устройства”



**Рисунок 7.3 – Пример ввода основных параметров расчетного помещения**

Нажимаем искать и из предложенного перечня воздухораспределителей выбираем наиболее подходящий по рекомендуемой скорости в рабочей зоне (0,15-0,2 м/с), уровню шума устройства и потерям давления.

Альтернатива

Данные устройства удовлетворяют требованиям

	№г	Наименов	Длина выброса, м	Расход возд...	Давление, Pa	Уровень шума, ...	Конечная скоро...
1	1	СВЕа 160-1V+ALSc 125-160	3.79	142.80	17/44/116	18/24/26	0.16
2	1	COLIBRI CRa 200-500-1V+ALSc 125-2...	4.39	142.80	14/48/162	17/26/30	0.19
3	1	COLIBRI CRa 200-500-1V+ALSc 160-2...	4.39	142.80	7/23/74	14/17/22	0.19
4	1	COLIBRI CRa 200-600-1V+ALSc 125-2...	4.39	142.80	14/48/162	18/27/31	0.19
5	1	COLIBRI CRa 200-600-1V+ALSc 160-2...	4.39	142.80	7/23/74	14/17/22	0.19
6	1	COLIBRI CRa L-200-500-1V+ALSc L-1...	4.39	142.80	15/51/173	19/28/31	0.19
7	1	COLIBRI CRa L-200-500-1V+ALSc L-1...	4.39	142.80	8/24/69	16/19/22	0.19
8	1	COLIBRI CRa L-200-600-1V+ALSc L-1...	4.39	142.80	15/51/176	21/28/32	0.19
9	1	COLIBRI CRa L-200-600-1V+ALSc L-1...	4.39	142.80	8/24/70	17/19/22	0.19
10	1	EAGLE Ca L-160-400-1V+ALSc L-125-...	3.57	142.80	19/58/176	22/28/30	0.16
11	1	PELICAN CSa 160-400-1V+ALSc 125-...	2.72	142.80	16/52/167	20/27/30	0.17
12	1	PELICAN CSa 200-600-1V+ALSc 125-...	2.27	142.80	13/43/150	13/25/28	0.17
13	1	PELICAN CSa L-160-400-1V+ALSc L-1...	2.72	142.80	18/55/168	24/29/32	0.17
14	1	PELICAN CSa L-200-600-1V+ALSc L-1...	2.27	142.80	14/48/168	19/28/31	0.17
15	2	СВЕа 125-1V+ALSc 100-125	2.37	71.40	12/28/68	14/20/21	<0.10
16	2	COLIBRI CRa 125-400-1V+ALSc 100-1...	2.84	71.40	13/33/82	20/23/27	<0.10
17	2	COLIBRI CRa 125-600-1V+ALSc 100-1...	2.84	71.40	13/33/82	20/23/27	<0.10
18	2	COLIBRI CRa L-125-400-1V+ALSc L-1...	2.84	71.40	13/32/80	21/23/27	<0.10
19	2	COLIBRI CRa L-125-600-1V+ALSc L-1...	2.84	71.40	13/32/80	21/23/27	<0.10
20	2	EAGLE Ca 125-400-1V+ALSc 100-125	3.46	71.40	12/31/80	16/19/23	<0.10
21	2	EAGLE Ca 125-600-1V+ALSc 100-125	3.46	71.40	13/32/80	17/20/24	<0.10

Разместить      Свойства      Закрыть

**Рисунок 7.4 – Воздухораспределительные устройства, удовлетворяющие введенным требованиям**

Выбираем “Разместить” выбранное устройства

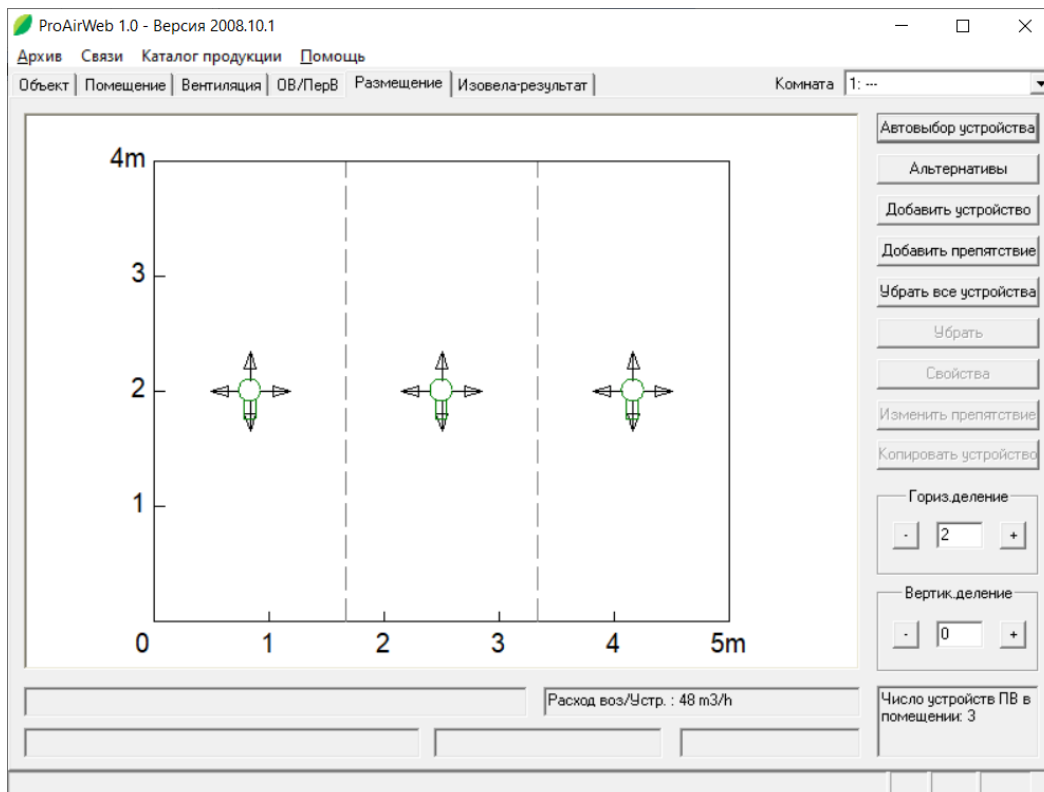


Рисунок 7.5 – Схема размещения воздухораспределителей

Подбор вытяжных (воздухозаборных) устройств возможен в программе MagiCAD. Для этого выбираем “MagiCAD Вентиляция” → “Установить оборудование” → “Вытяжное ВРУ”. Вводим расход воздуха и исходя из рекомендуемой скорости и положения рабочей точки (примерно по середине диаграммы) подбираем тип и размер воздухозаборного устройства.

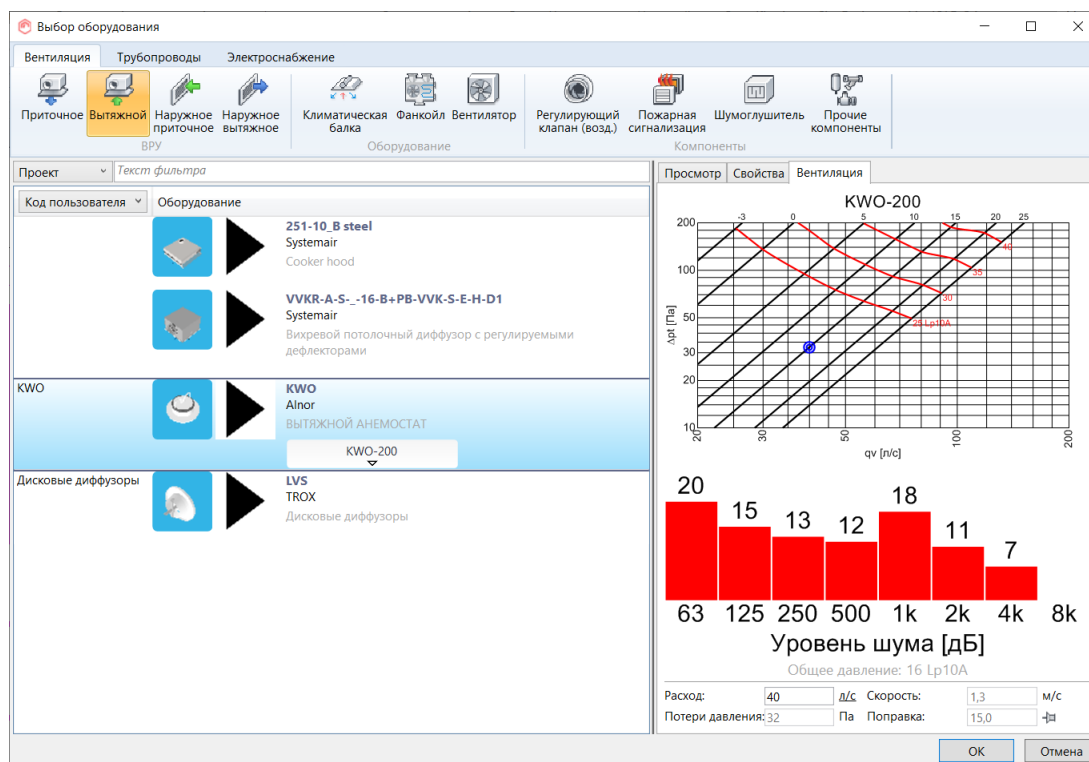


Рисунок 7.6 – Пример подбора воздухозаборного устройства

## 8. Аэродинамический расчет СКВ

### 8.1. Подготовка аксонометрической схемы к расчету и выбор сечений

Аэродинамический расчет систем кондиционирования воздуха проводится для определения диаметров или сечений воздуховодов или каналов, а также для нахождения потерь давления, возникающих при движении воздуха в сети. Эти потери являются одними из исходных данных для подбора вентилятора. Расчет производится в следующей последовательности. Сначала составляется аксонометрическая схема системы в масштабе 1:100. На схеме выбирается основное направление для расчета: для приточных систем — от наиболее удаленного воздухораспределителя (решетки, плафона и т.д.), причем, если система обслуживает несколько этажей, этот воздухораспределитель должен располагаться на последнем этаже, и далее через магистрали к приточной установке и затем к шахте воздухозабора, если она предусмотрена.

Основное направление разбивается на участки между всеми точками разветвлений. Участки нумеруются, начиная от наиболее удаленного воздухораспределителя. Затем для каждого участка определяется его длина  $l$ , м, и расход воздуха  $L$ , м<sup>3</sup>/ч. Длина измеряется непосредственно по аксонометрической схеме с учетом масштаба, а  $L$  определяется путем последовательного суммирования расходов через ответвления, присоединяющиеся к основному направлению. Поэтому вдоль основного направления расход должен постепенно возрастать. Принцип определения  $L$  на участках показан на рисунке 8.1.

Основное направление выделено жирной линией. Числа у приточных решеток обозначают расходы воздуха через эти решетки. Номера участков указываются в кружках при выносках, над выноской записывается расход на участке, под выноской — длина участка.

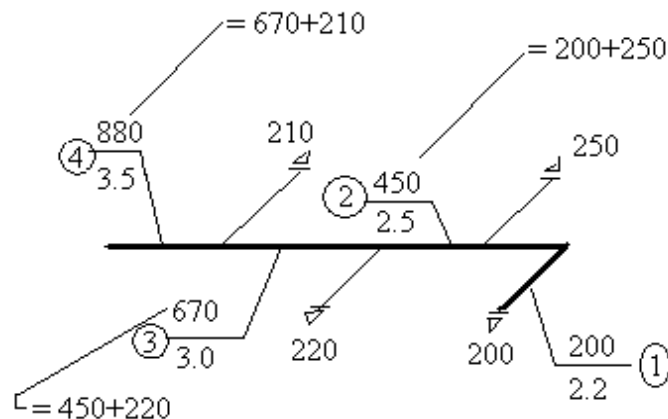


Рисунок 8.1 – Определение расхода воздуха на участках сети воздуховодов

Наибольшее значение  $L$  будет на участках, непосредственно примыкающих к приточным установкам. Для приточных систем расход в шахте воздухозабора, если она обслуживает сразу несколько систем через общий канал холодного воздуха, равен суммарной производительности всех обслуживаемых систем. Если на соседних участках расходы равны, но отличается форма сечения или материал воздуховодов, такие участки также считаются различными.

Для каждого участка расчет ведется следующим образом. Определяется ориентировочная площадь сечения воздуховода  $f_{ор}$ , м<sup>2</sup>, по величине  $L$  и рекомендуемой скорости движения воздуха  $v_p$ , равной 6–8 м/с на магистралях и 4–5 м/с — в воздухозаборной шахте и на конечных ответвлениях:

Воздуховоды, по которым транспортируется незапыленный воздух, обычно рассчитываются по методу удельной потери давления по формулам:

$$f_{op} = \frac{L}{3600 \cdot v_p} \quad (8.1)$$

$$\Delta P_{уч} = \Delta P_{тр} + Z \quad (8.2)$$

$$\Delta P_{тр} = L \cdot R \cdot \beta_{ш} \quad (8.3)$$

$$Z = P_d + \sum \xi \quad (8.4)$$

$$P_d = \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (8.5)$$

где  $\Delta P_{уч}$  – потери давления на участке воздуховода, Па;

$R$  – потери на трение на 1 м длины, Па;

$L$  – длина участка, м;

$v_p$  – рекомендуемая скорость в воздуховодах, м/с;

$Z$  – потери давления в местных сопротивлениях, Па;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$P_{тр}$  – потери давления на трение, Па;

$P_d$  – динамическое давление на участке, Па;

$\beta_{ш}$  – коэффициент шероховатости воздуховодов (для стальных и винипластовых воздуховодов  $\beta_{ш} = 1$ ).

Коэффициенты местных сопротивлений (КМС) можно определить в программе **Vent-Calc v2.0**. Для этого необходимо выбрать “элемент” (тройник, отвод, переход и т.д.), задать расход воздуха по направлениям **A, B, C** и выбрать автоматический подбор диаметра воздуховода (либо задать его, если он был подобран ранее).

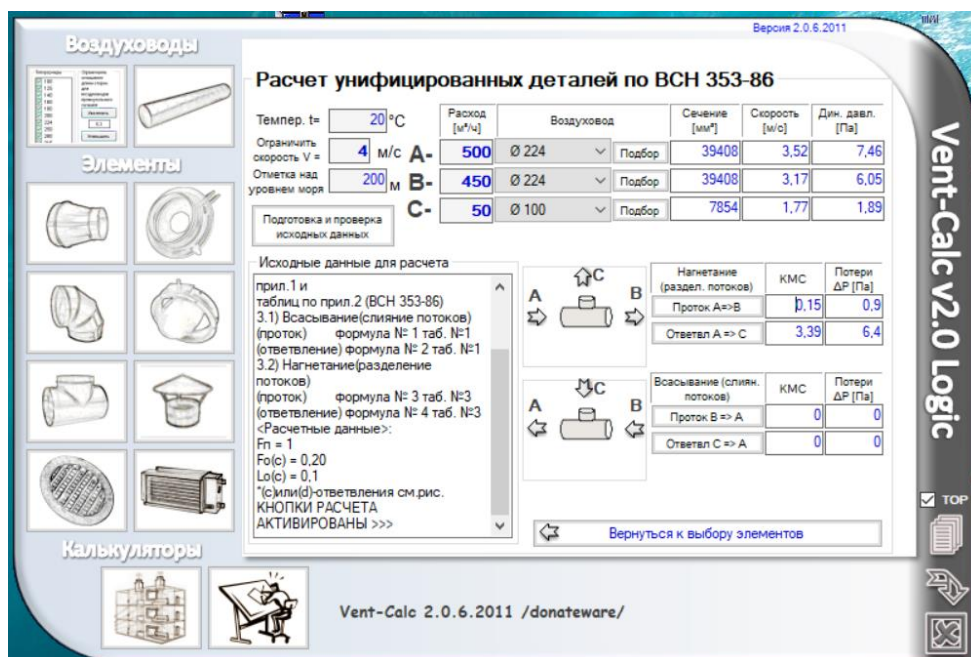


Рисунок 8.2 – Пример расчета фасонных элементов в программе Vent-Calc v2.0

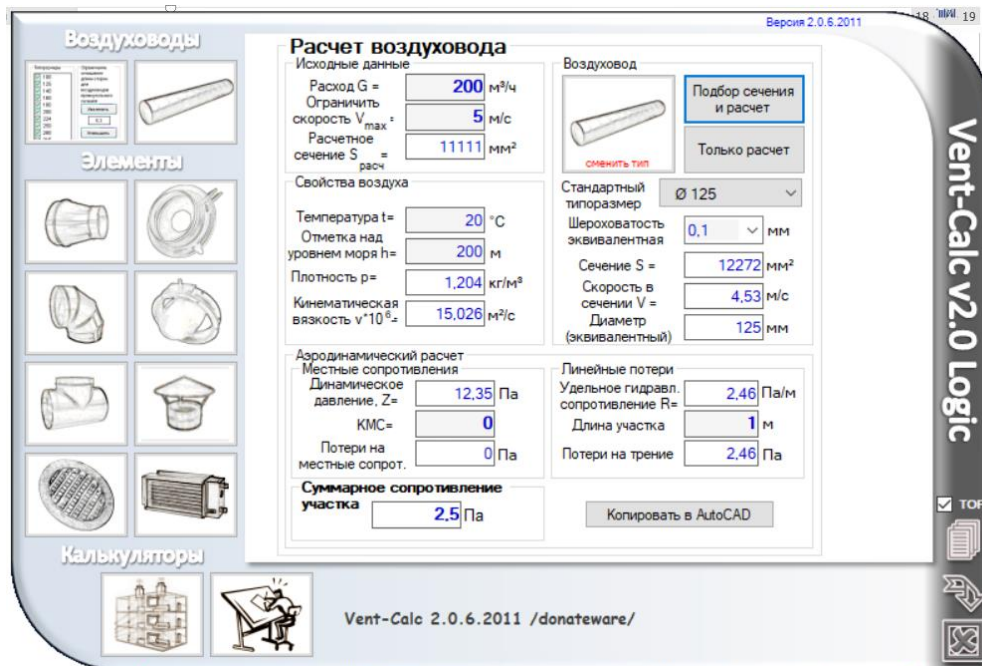


Рисунок 8.3 – Пример расчета воздуховода в программе Vent-Calc v2.0

При расчете воздуховода круглого или прямоугольного сечения, программа Vent-Calc v2.0 дает результаты расчета скорости ( $v$ ), удельного гидравлического сопротивления ( $R$ ), потери на трение ( $P_{тр}$ ). Данные величины можно также найти по формулам (8.1-8.5) пользуясь таблицами и номограммами.

Следует иметь в виду, что каждый тройник или крестовина соединяют два соседних участка, но относятся они к тому из этих участков, у которого расход воздуха  $L$  меньше. Различие между тройниками и крестовинами на проходе и на ответвлении связано с тем, как проходит расчетное направление. Это показано на рисунке 8.4.

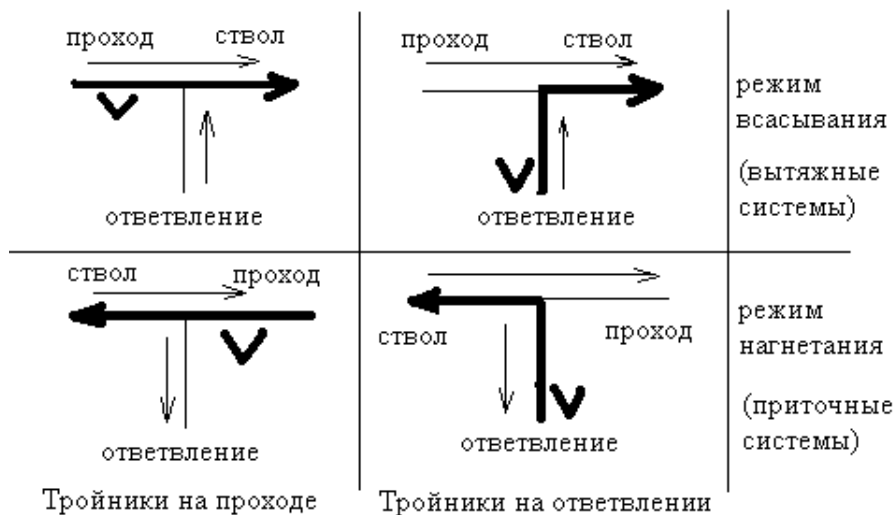


Рисунок 8.4 – Расчетное направление потоков воздуха

Расчетное направление изображено жирной линией, а направления потоков воздуха — тонкими стрелками. Кроме того, подписано, где именно в каждом варианте находится ствол, проход и ответвление тройника для правильного выбора отношений  $f_n/f_c$ ,  $f_o/f_c$  и  $L_o/L_c$ . Отметим, что в приточных системах расчет ведется обычно против движения воздуха, а в вытяжных — вдоль этого движения. Участки, к которым относятся рассматриваемые тройники, обозначены галочками. То же самое относится и к крестовинам. Как правило, хотя и не всегда, тройники и крестовины на проходе



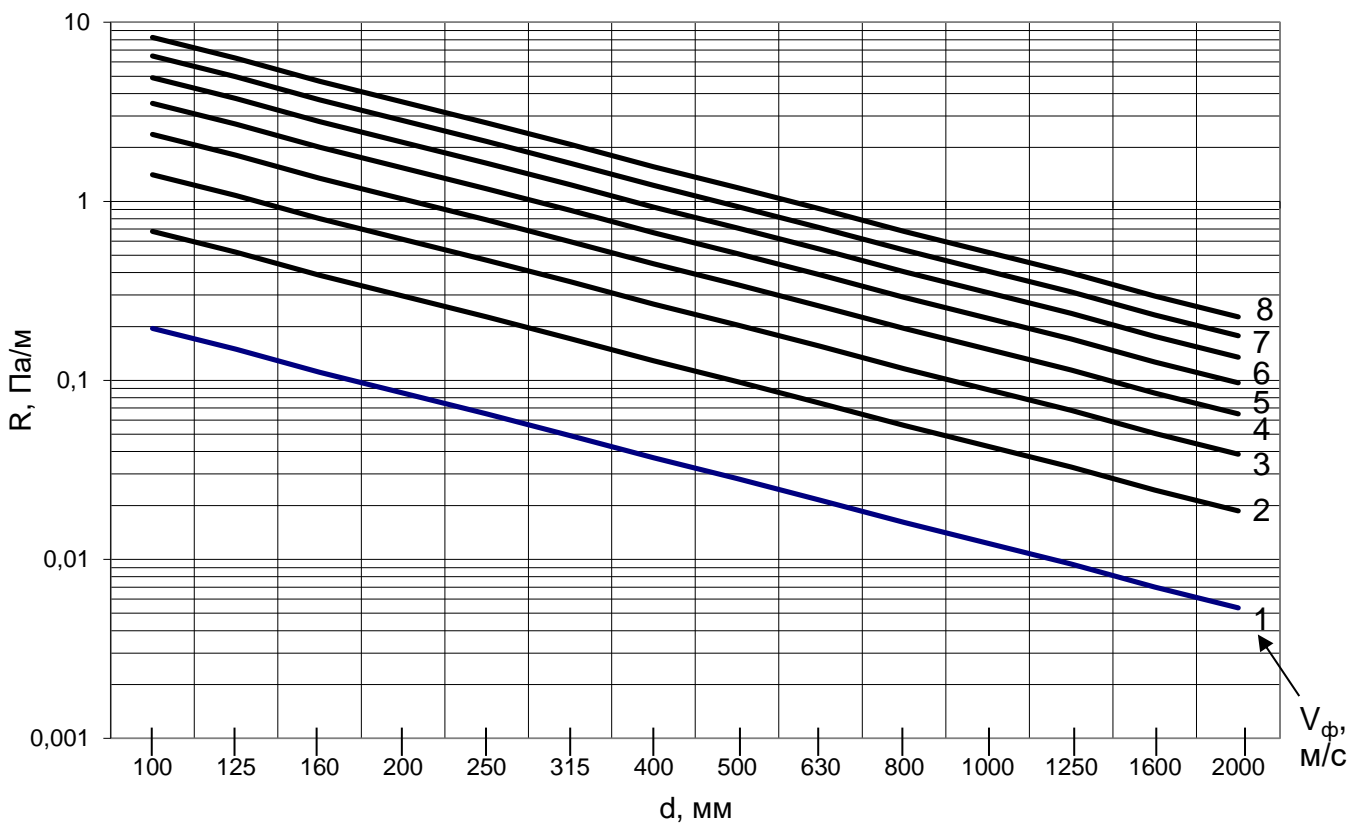
появляются при расчете основного направления, а на ответвлении возникают при аэродинамической увязке второстепенных участков. При этом один и тот же тройник на основном направлении может учитываться как тройник на проход, а на второстепенном — как на ответвление с другим коэффициентом.

Далее по величине  $v_\phi$  и  $d$  (или  $d_{\text{экв}}$ ) определяются удельные потери давления на трение  $R$ , Па/м. Это можно сделать по номограмме (промежуточные диаметры не подписаны), приведённой на рисунке 8.5.

Можно также воспользоваться приближенной формулой:

$$R = \frac{0,195 \cdot v_\phi^{1,8}}{(d(d_{\text{экв}})/100)^{1,2}} = 4,82 \text{ Па/м} \quad (8.6)$$

Ее погрешность не превышает 3–5%, что достаточно для инженерных расчетов. Полные потери давления на трение для всего участка  $Rl$ , Па, получаются умножением удельных потерь  $R$  на длину участка  $l$ . Если применяются воздухопроводы или каналы из других материалов, необходимо ввести поправку на шероховатость  $\beta_{\text{ш}}$ . Она зависит от абсолютной эквивалентной шероховатости материала воздуховода  $K_s$  и величины  $v_\phi$ .



**Рисунок 8.5 – Номограмма определения удельных потерь давления на трение  $R$ , Па/м**

Примерные значения  $\xi$  для часто встречающихся сопротивлений приведены ниже в таблице 8.1. Решетки и плафоны учитываются только на концевых участках. Коэффициенты для крестовин принимаются в таком же размере, как и для соответствующих тройников. После определения величины  $\Sigma\xi$  вычисляются потери давления на местных сопротивлениях  $Z = \Sigma\xi \cdot P_o$ , Па, и суммарные потери давления на участке  $Rl\beta_{\text{ш}} + Z$ , Па.

Таблица 8.1. Значения  $\xi$  некоторых местных сопротивлений

Наименование сопротивления	КМС ( $\xi$ )	Наименование сопротивления	КМС ( $\xi$ )
Отвод круглый $90^\circ$ , $r/d = 1$	0.21	Решетка нерегулируемая РС-Г (вытяжная или воздухозаборная)	2.9
Отвод прямоугольный $90^\circ$	0.3 ... 0.6		
Тройник на проходе (нагнетание)	0.25 ... 0.4	Внезапное расширение	1
Тройник на ответвлении (нагнетание)	0.65 ... 1.9	Внезапное сужение	0.5
Тройник на проходе (всасывание)	0.5 ... 1	Первое боковое отверстие (вход в воздухозаборную шахту)	2.5...4.5
Тройник на ответвлении (всасывание)	-0.5* ... 0.25		
Плафон (анемостат) СТ-КР, СТ-КВ	5.6	Колено прямоугольное $90^\circ$	1.2
Решетка регулируемая РС-ВГ (приточная)	3.8	Зонт над вытяжной шахтой	1.3

\* – отрицательный КМС может возникать при малых  $L_o/L_c$  за счет эжекции (подсасывания) воздуха из ответвления основным потоком.

Когда расчет всех участков основного направления закончен, значения  $Rl\beta_{ш} + Z$  для них суммируются, и определяется общее сопротивление вентиляционной сети:

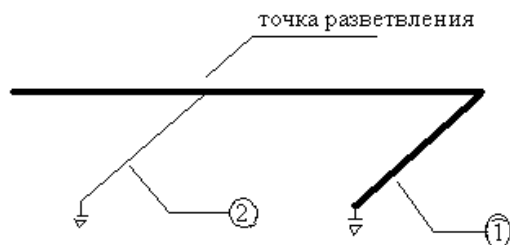
$$\Delta P_{сети} = \Sigma(Rl\beta_{ш} + Z) \quad (8.7)$$

Величина  $\Delta P_{сети}$  служит одним из исходных данных для подбора вентилятора. После подбора вентилятора в приточной системе делается акустический расчет вентиляционной сети и при необходимости подбирается глушитель.

После расчета основного направления производится увязка одного – двух ответвлений. Если система обслуживает несколько этажей, для увязки можно выбрать поэтажные ответвления на промежуточных этажах. Если система обслуживает один этаж, увязываются ответвления от магистрали, не входящие в основное направление. Расчет увязываемых участков производится в той же последовательности, что и для основного направления, и записывается в таблицу по той же форме. Увязка считается выполненной, если сумма потерь давления  $\Sigma(Rl\beta_{ш} + Z)$  вдоль увязываемых участков отклоняется от суммы  $\Sigma(Rl\beta_{ш} + Z)$  вдоль параллельно присоединенных участков основного направления на величину не более чем  $\pm 10\%$ .

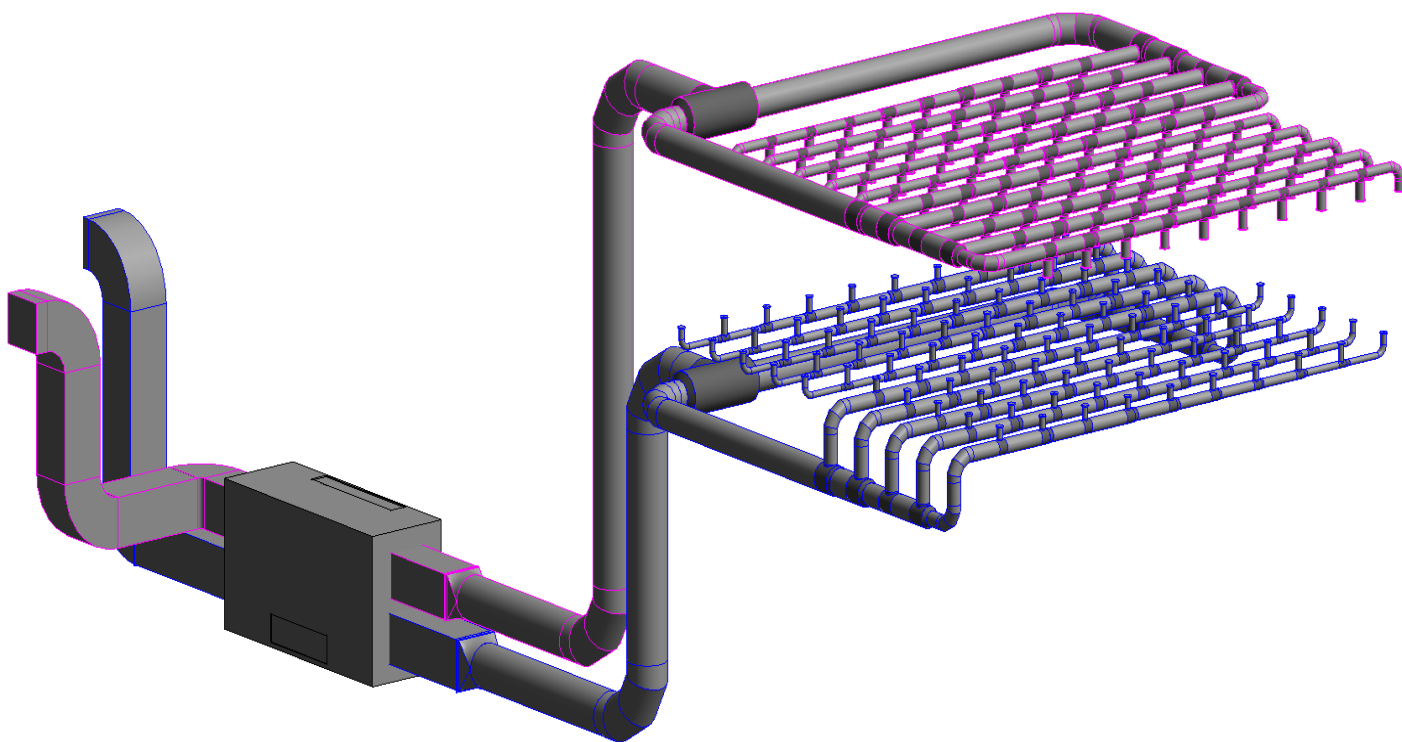
Параллельно присоединенными считаются участки вдоль основного и увязываемого направлений от точки их разветвления до конечных воздухораспределителей. Если схема выглядит так, как показано на рисунке 8.6 (основное направление выделено жирной линией), то увязка направления 2 требует, чтобы величина  $(Rl\beta_{ш} + Z)$  для участка 2 равнялась  $(Rl\beta_{ш} + Z)$  для участка 1, полученной из расчета основного направления, с точностью  $\pm 10\%$ .

Увязка достигается подбором диаметров или сечений на увязываемых участках, а если это невозможно, установкой на ответвлениях дроссель-клапанов или диафрагм.



**Рисунок 8.6 – Расчет параллельно присоединенных участков воздуховодов**

Аэродинамический расчет можно также произвести в программном комплексе MagiCAD 2016.4 for Revit 2016 (2017). После вычерчивания приточной и (или) вытяжной системы в данной программе, ее аэродинамический расчет производится автоматическим образом.



**Рисунок 8.7 – Схема СКВ-1**

Для расчета необходимо на вкладке “MagiCAD Вентиляция” выбрать → “Расчеты” → “Расчет сечений” и выбираем открытый конец приточной или вытяжной системы (рис. 8.8). Затем выбираем → “Расчеты” → “Балансировка” и выбираем открытый конец приточной или вытяжной системы (рис. 8.9).

Выбираем ОК–обновить модель. Суммарные потери давления составили **259 Па**.

В случае возникновения предупреждения о “**Вне диапазона  $\Delta p$** ”, то на участке перед воздухораспределительным (воздухозаборным) устройством необходимо предусмотреть **регулирующий воздушный клапан**.

### Параметры подбора сечений

Диапазон расчета

Участок  
 Сеть

Метод расчета

4-8 м/с

Прямоугольный воздуховод

Максимальная ширина 2000

Максимальная высота 600

OK Отмена

### Настройки балансировки

Диапазон расчета

Участок  
 Сеть

Ограничения

Мин. др для регулирующего клапана: 20 Па

Мин. др для ВРУ: 10 Па

Предел потери давления: 200 Па

Допустимая невязка при балансировке: 0 %

Метод расчета:

Балансировка по минимальному давлению  
 Балансировка по давлению насоса  
 Балансировка по показаниям сенсоров

Настройки

Показать наиболее нагруженный участок

OK Отмена

Рисунок 8.8 – Параметры подбора сечений

Рисунок 8.9 – Настройка балансировки

MagiCAD - Отчет - балансировка воздуховодов

Правка

Приточная  Наружная приточная  
 Вытяжная  Наружная вытяжная

Расположен	Уровень	Номер	Тип	Серия	Оборудован	Размер	L [м]	Изоляция	qv [л/с]	v [м/с]	dpt [Па]	dp/L [Па/м]	pt [Па]	pst [Па]	adj.	Предупреждения
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	Stand	L-1000-1000	1000x1000	2.6		4210	4.2	0.4	0.17	259	249		
	Уровень 1		ПЕРЕХОД	Rohrbergan	1000x1000/90				4210	4.2	0.8		259			
	Уровень 1		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-900	900	4.4		4210	6.6	1.8	0.40	258	232		
	Уровень 1		ОТВОД-90	BSFUSS-900	900				4210	6.6	3.7		256			
	Уровень 1		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-900	900	4.6		4210	6.6	1.8	0.40	253	226		
	Уровень 1		ОТВОД-90	BSFUSS-900	900				4210	6.6	3.7		251			
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-900	900	0.6		4210	6.6	0.2	0.40	247	221		
	Уровень 2	212	ТРОЙНИК	TCPUSS_DK	900/900				4210	6.6	35.1		247			
	Уровень 2		ПЕРЕХОД	RCFUSS_DK	900/600				2105	3.3			212			
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-600	600	8.3		2105	7.4	6.7	0.81	212	178		
	Уровень 2		ОТВОД-90	BSFUSS-600	600				2105	7.4	5.8		205			
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-600	600	0.1		2105	7.4	0.1	0.81	199	166		
	Уровень 2	200	ТРОЙНИК	TCPUSS-600	600/300				2105	7.4	37.5		199			
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-300	300	0.6		421	6.0	0.7	1.24	162	140		
	Уровень 2		ОТВОД-90	BSFUSS-300	300				421	6.0	5.3		161			
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-300	300	0.7		421	6.0	0.9	1.24	155	134		
	Уровень 2	3	ТРОЙНИК	TCPUSS-300	300/125				421	6.0	22.7		155			
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-125	125	0.2		42	3.4	0.3	1.35	132	125		
	Уровень 2	4	ПРИТОЧНА	DPGa 125-0-1	125				42	3.4	131.6		132			Вне диапазона др
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-300	300	1.0		379	5.4	1.0	1.03	154	136		
	Уровень 2	5	ТРОЙНИК	TCPUSS-300	300/125				379	5.4	18.7		153			
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-125	125	0.2		42	3.4	0.3	1.35	134	127		
	Уровень 2	6	ПРИТОЧНА	DPGa 125-0-1	125				42	3.4	133.7		134			Вне диапазона др
	Уровень 2		ПЕРЕХОД	RCFUSS_DK	300/280				337	4.8			152			
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-280	280	0.9		337	5.5	1.0	1.16	152	134		
	Уровень 2	7	ТРОЙНИК	TCPUSS-280	280/125				337	5.5	19.4		151			
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-125	125	0.2		42	3.4	0.3	1.35	132	124		
	Уровень 2	8	ПРИТОЧНА	DPGa 125-0-1	125				42	3.4	131.2		131			Вне диапазона др
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-280	280	1.0		295	4.8	0.9	0.91	150	136		
	Уровень 2	9	ТРОЙНИК	TCPUSS-280	280/125				295	4.8	15.2		149			
	Уровень 2		СЕГМЕНТ	LindabSmok	SRSS-125	125	0.2		42	3.4	0.3	1.35	134	127		
	Уровень 2	10	ПРИТОЧНА	DPGa 125-0-1	125				42	3.4	133.7		134			Вне диапазона др

OK - Обновить модель Отмена

Рисунок 8.10 – Пример аэродинамического расчета

Для этого необходимо на вкладке “MagiCAD Вентиляция” выбрать → “Установить оборудование” → “Воздушный клапан”. Подбор осуществляем по расходу воздуха распределительного устройства.

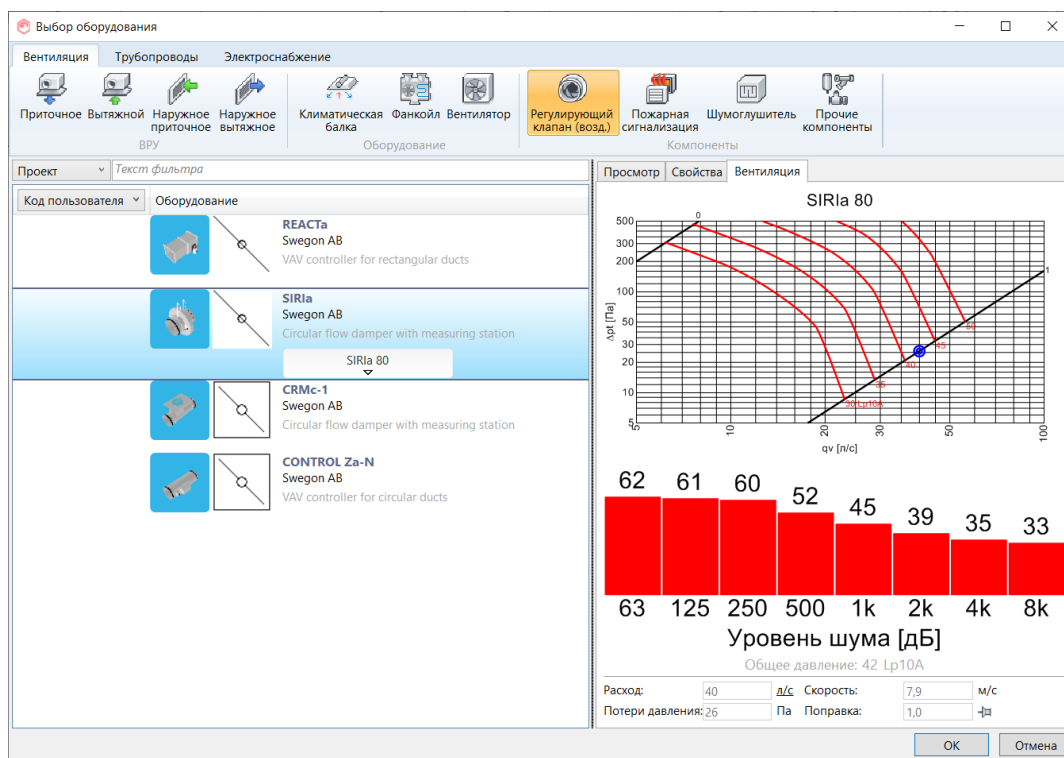


Рисунок 8.11 – Подбор воздушного регулирующего клапана

## 9. Расчёт и подбор приточно-вытяжных установок центральной системы кондиционирования воздуха

Центральные кондиционеры предназначены для применения в системах воздушного отопления, кондиционирования воздуха и вентиляции промышленных и гражданских зданий. Они позволяют осуществлять все процессы обработки воздуха: фильтрацию, нагрев, охлаждение, осушку, увлажнение, рекуперацию и регенерацию тепла и холода, шумоглушения, дезинфекцию (обеззараживание воздуха) и поддерживать в обслуживаемом помещении искусственный климат с заданными параметрами. Центральные кондиционеры предназначены для обслуживания нескольких помещений или одного большого помещения. Кондиционеры могут поставляться с приборами автоматики и управления собственной сборки. Принятая технология обработки воздуха в сочетании с надлежащей автоматикой, обеспечивает точность регулирования параметров, расширяет диапазон применения кондиционеров и дает возможность в каждом конкретном случае обеспечить оптимальные энергетические и экономические затраты.

Центральный кондиционер состоит из отдельных типовых секций, герметично соединенных между собой. Корпус кондиционера выполнен на базе каркаса из алюминиевых профилей, к которым крепятся постоянные и съемные панели. Панели состоят из наружного и внутреннего оцинкованных листов, между которыми устанавливается минераловатная теплоизоляционная прокладка. С целью облегчения подхода к узлам установки предусмотрены открываемые смотровые двери или съемные панели со стороны обслуживания. Требования к параметрам кондиционируемого воздуха лежат в основе технологической компоновки, поэтому набор секций может быть весьма

разнообразен. Секции могут быть скомпонованы в двухъярусном исполнении или с учетом рельефов помещений, в которых устанавливается кондиционер. Кроме стандартных типовых компоновок существует возможность создания собственной уникальной компоновки кондиционера.

### **9.1. Компоновка приточно-вытяжных установок**

Приточно-вытяжные установки кондиционирования воздуха, как правило, размещаются в подвале в специальных помещениях (венткамерах, приточных камерах). В пределах венткамеры установки размещаются так, чтобы была возможность их обслуживания, т.е. между ними должны быть проходы, по крайней мере, с одной стороны шириной, не меньшей ширины установки. Окончательные размеры установок определяются по результатам подбора оборудования, но на первоначальном этапе можно исходить из ширины 1-1,5 м и длины 6-7 м для центральных кондиционеров. Несколько приточных установок в пределах одной венткамеры могут присоединяться к общему каналу холодного воздуха, который отделяется от помещения утепленной перегородкой с дверью и через проем в наружной стене сообщается с воздухозаборной шахтой. *Шахта поднимается над уровнем земли на 2,5–3 м.* На высоте около 2 м над землей в стенках шахты устанавливается воздухозаборная решетка (или несколько решеток, в зависимости от требуемого сечения). Эти решетки подбираются по расходу воздуха в шахте и скорости около 3 м/с. При отсутствии на 1-м этаже в месте размещения шахты простенка между окнами подходящего размера, шахта устраивается на отnose от здания и сообщается с проемом в стене подвала через подземный канал (рисунки 8.7, 9.4).

Согласно п. 7.3.2 [1]: Приемные устройства наружного воздуха не допускается размещать: на расстоянии менее 8 м по горизонтали от мест сбора мусора, зон парковки для трех и более автомобилей, погрузочно-разгрузочных зон, систем испарительного охлаждения, верхних частей дымовых труб, мест выброса вытяжного воздуха систем канализации и мест с выделениями других загрязнений или запахов. Приемные устройства наружного воздуха в зданиях, расположенных на улицах и дорогах с интенсивным движением, следует располагать в верхней части здания, или на кровле, или с противоположной (от проезжей части) стороны здания. Приемные устройства наружного воздуха при размещении на кровле или на южном фасаде здания следует защищать от перегрева воздуха в теплый период года с учетом повышения температуры наружного воздуха по сравнению с установленной в 5.14–5.16 на 5°C.

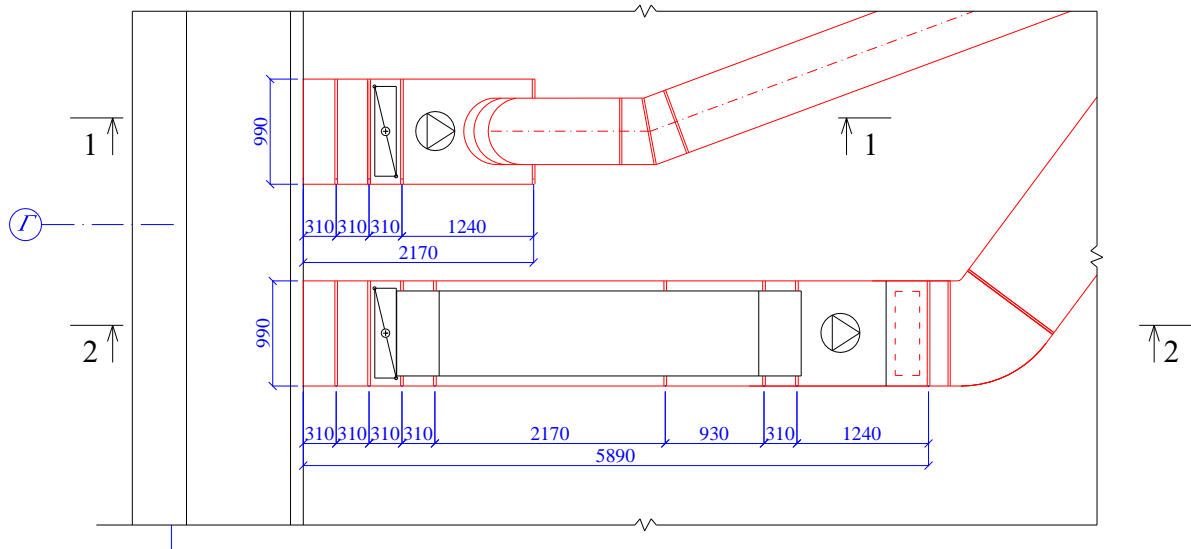
Низ отверстия приемного устройства должен быть на 2 м выше уровня земли (кроме систем противодымной вентиляции) и не менее чем на 1 м выше уровня устойчивого снегового покрова. Высота устойчивого снегового покрова определяется по данным метеорологических служб или расчетом. Защиту приемных устройств от загрязнения взвешенными примесями растительного происхождения следует предусматривать при наличии указаний в задании на проектирование [п.7.3.3, 1].

Типовой набор секций для вентиляции: приемный блок или передняя панель с вертикальным клапаном, панельный или ячеювый фильтр, медно-алюминиевый калорифер и вентиляторный блок с выхлопом вверх. Если требуется шумоглушитель, вентблок делается с выхлопом вперед, после него устанавливается промежуточная секция, затем глушитель и опять промежуточная секция с выхлопом вверх.

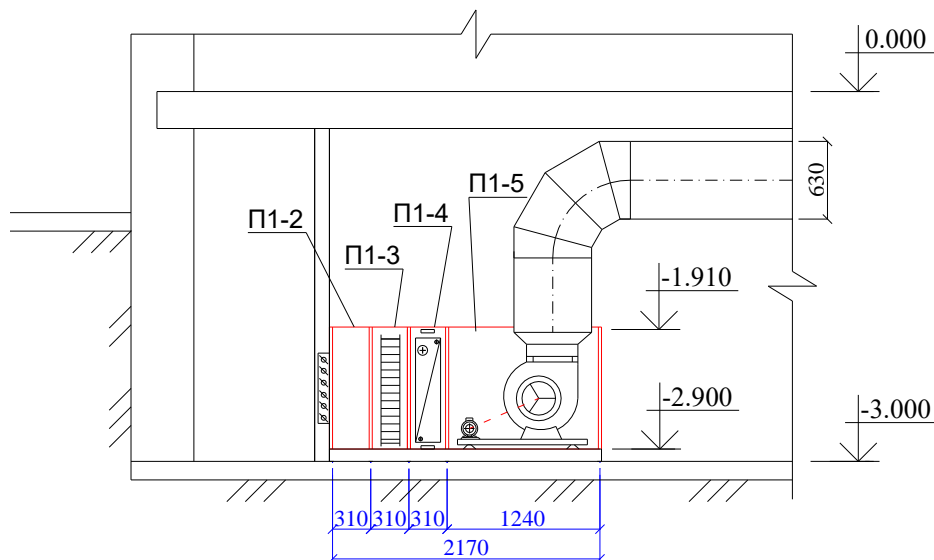
Набор секций для кондиционера определяется по построению процессов обработки воздуха на I-d-диаграмме. Как правило, по сравнению с обычной вентустановкой,

дополнительно требуется еще секция увлажнения (форсуночная камера или сотовый увлажнитель). Кроме того, нужен поверхностный воздухоохладитель с каплеуловителем и при необходимости с байпасом, а также калорифер второго подогрева.

План приточной камеры и разрезы по расчетным установкам вычерчиваются в масштабе 1:50 или 1:20 в зависимости от размеров установок. На чертежах указываются габаритные размеры секций, отметки, диаметры или сечения воздухопроводов и шахт в пределах венткамеры. Пример компоновки венткамеры и центрального кондиционера приведён на рисунке 9.1.



**Рисунок 9.1 – План приточной камеры**

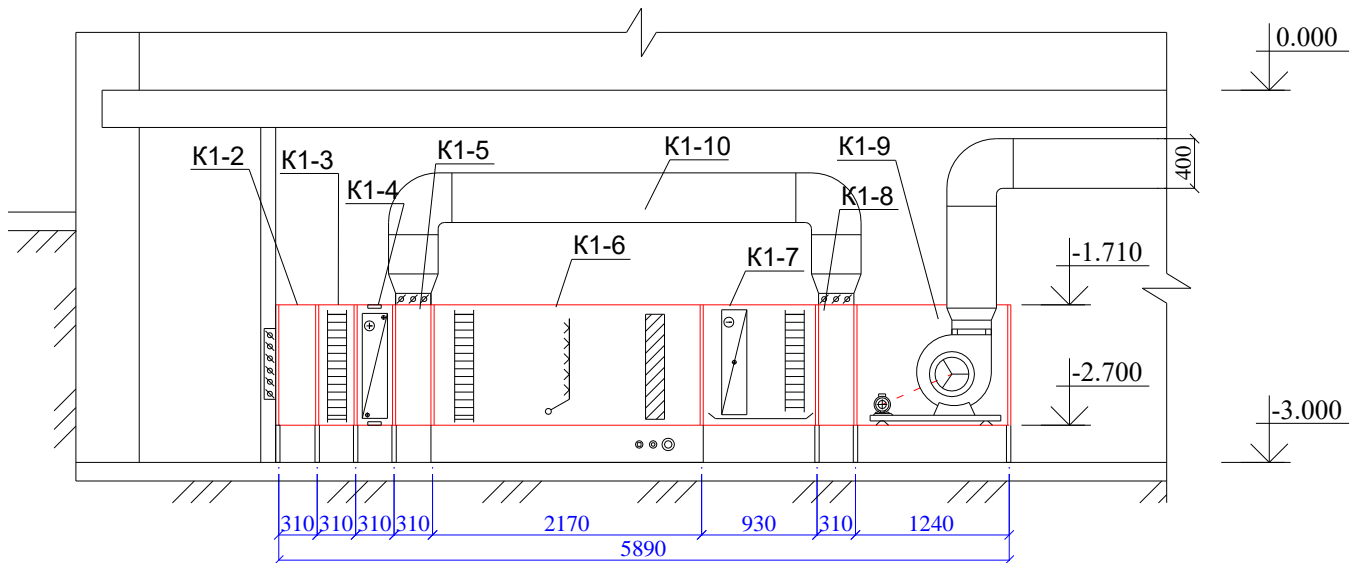


**Рисунок 9.2 – Разрез 1-1 приточной венткамеры**

П1-1 – шахта воздухозабора; П1-2 – приемный блок; П1-3 – панельный фильтр; П1-4 – калорифер медно-алюминиевый ВНВ 113; П1-5 – вентиляторный блок с выхлопом вверх

Секции на плане показываются условно, на разрезе — полностью с выявлением конструкции (рисунок 9.2, 9.3). На этом же листе изображается спецификация установок с указанием технических характеристик секций (класс фильтра, число рядов и шаг пластин

калориферов и охладителей, марка, подача, давление и частота вращения вентилятора, марка электродвигателя и т.д.) по результатам расчета.



**Рисунок 9.3 – Разрез 2-2 приточной камеры центрального кондиционера**

K1-2 – приемный блок; K1-3 – панельный фильтр; K1-4 – калорифер первого подогрева медно-алюминиевый ВНВ 113; K1-5 – промежуточная секция; K1-6 – форсуночная камера; K1-7 – поверхностный воздухоохладитель медно-алюминиевый с каплеуловителем ВОВ 113; K1-8 – промежуточная секция; K1-9 – вентиляторный блок с выхлопом вверх

## 9.2. Расчёт и подбор оборудования ПВУ центрального кондиционера

После составления технологической схемы обработки воздуха в центральном кондиционере необходимо выбрать его типоразмер, подобрать функциональные и вспомогательные блоки, скомпоновать центральный кондиционер из отдельных блоков в последовательности, соответствующей принятой технологической схеме.

Типоразмер центрального кондиционера, определяемый размерами фронтального сечения для прохода воздуха, выбирают по рекомендуемому значению скорости воздуха в этом сечении. Рекомендуются следующие диапазоны скорости: от 1,5 до 2,5 м/с, от 2,5 до 3,5 м/с, от 3,5 до 4,5 м/с. Значения скорости установлены из следующих соображений:

- ограничения по потерям давления в блоках центральных кондиционеров особенно при наличии большого количества блоков (до 2,5 м/с);
- недопустимость уноса капель, образующихся при конденсации водяных паров из воздуха в процессе охлаждения в поверхностных воздухоохладителях, а также из камер орошения (до 3,5 м/с);
- обеспечение высокой интенсивности теплообмена в воздухонагревателях (до 4,5 м/с);
- допустимым уровнем шума.

Для выбора необходимого типоразмера центрального кондиционера в каталогах фирм-производителей приводится график. **Выбирается центральный кондиционер по полной производительности  $L_{полн}$  с учётом коэффициента запаса, равного 1,1-1,2.**

Фирмы-производители кондиционеров имеют основные (базовые) схемы комплектации и множество производных схем, являющихся модификациями базовых.



Модификация базовых схем заключается в дополнительной их комплектации отдельными элементами кондиционера (камерами обслуживания, клапанами, утилизаторами) для увеличения эффективности подогрева или охлаждения воздуха; в изменении схемы компоновки элементов (вертикальное, горизонтальное, угловое и т.д.), в изменении применяемых материалов и т.п. Это позволяет для одной производительности кондиционера получить модификации с различными схемами забора воздуха, направлениями выхода его из кондиционера; местом расположения установки: в техническом помещении, на крыше здания и т.д.; горизонтального или вертикального движения потоков и т.п.

### 9.3. Подбор узла воздухозабора

Воздухоприемные устройства следует располагать так, чтобы в них поступал незагрязненный наружный воздух. Конструктивное оформление воздухоприемных устройств должно быть увязано с архитектурным оформлением здания. Забор воздуха следует осуществлять на высоте не менее 2 м от уровня земли до низа проема.

Требуемая площадь живого сечения определяется по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \frac{L}{3600 \cdot v}, \text{ м}^2 \quad (9.1)$$

$v$  – скорость движения воздуха, принимаем 5 м/с.

$L$  – расчетный расход воздуха, рассчитанный по формуле 6.11

Жалюзийные решетки типа АРН подбираем по таблице 9.1 или в каталоге производителя наружные решетки АРН (Арктос) ([www.arktika.ru](http://www.arktika.ru)). Или же другого производителя.

Таблица 9.1 Данные для подбора наружных решеток АРН.

Размер А × В, мм	F <sub>0r</sub> м <sup>2</sup>	F <sub>ж.с.г</sub> м <sup>2</sup>	L <sub>WA</sub> = 25 дБ(А)		L <sub>WA</sub> = 35 дБ(А)		L <sub>WA</sub> = 45 дБ(А)	
			L <sub>0r</sub> , м <sup>3</sup> /ч	ΔP <sub>пр</sub> , Па	L <sub>0r</sub> , м <sup>3</sup> /ч	ΔP <sub>пр</sub> , Па	L <sub>0r</sub> , м <sup>3</sup> /ч	ΔP <sub>пр</sub> , Па
Воздухозабор / Выброс воздуха								
200 x 200	0,036	0,014	300	32 / 40	550	108 / 135	800	229 / 286
300 x 150	0,041	0,014	300	25 / 32	600	102 / 127	800	176 / 220
300 x 300	0,084	0,036	650	28 / 35	1100	79 / 99	1600	168 / 210
400 x 200	0,075	0,029	550	25 / 32	1000	83 / 104	1400	163 / 204
400 x 400	0,152	0,069	1000	20 / 25	1800	65 / 81	2700	146 / 182
500 x 250	0,118	0,049	800	21 / 27	1400	65 / 82	2000	133 / 166
500 x 300	0,143	0,061	950	21 / 26	1600	58 / 73	2600	154 / 193
500 x 500	0,240	0,112	1500	18 / 23	2700	59 / 73	4800	185 / 231
600 x 300	0,172	0,074	1100	19 / 24	2000	63 / 78	3200	161 / 201
600 x 350	0,201	0,089	1250	18 / 22	2400	66 / 83	3500	140 / 175
600 x 600	0,348	0,165	1800	12 / 15	3700	52 / 65	6400	157 / 196
700 x 400	0,270	0,122	1600	16 / 20	3000	57 / 72	5000	160 / 200
700 x 700	0,476	0,228	2500	13 / 16	5000	51 / 64	8000	131 / 163
800 x 500	0,388	0,180	2100	14 / 17	4100	52 / 65	6800	142 / 178
800 x 800	0,624	0,302	3000	11 / 13	5500	36 / 45	9000	96 / 120
900 x 900	0,792	0,385	3600	10 / 12	6800	34 / 43	12000	106 / 133
1000 x 500	0,486	0,226	2500	14 / 15	5000	49 / 61	8000	125 / 157
1000 x 1000	0,980	0,480	4000	8 / 10	8000	31 / 39	15000	108 / 136
1200 x 1200	1,410	0,684	5500	7 / 9	10500	26 / 32	20000	93 / 116

Рассчитываем количество решеток:  $n = \frac{F_{\text{тр}}}{f_p}$ , шт. (9.3)

Рассчитываем фактическую скорость движения воздуха через решетку:

$$v_{\phi} = \frac{L}{n \cdot f_p \cdot 3600} \quad (9.4)$$

Рассчитываем аэродинамическое сопротивление при проходе воздуха через решетки:

$$\Delta P_{\text{ж.р.}} = \xi_{\text{реш.}} \cdot \frac{v_{\phi}^2 \cdot \rho}{2}, \text{ Па} \quad (9.5)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, принимаемая равной.

### 9.3. Расчет потери давления в шахте

Рекомендованная скорость в шахтах 3-5 м/с.

$$v_{\phi} = \frac{L}{f_p \cdot 3600}, \text{ м/с} \quad (9.6)$$

где  $f_p$  – фактическая площадь сечения шахты, м<sup>2</sup>

Удельные потери давления на трение  $R$ , Па/м определяют по формуле 9.7. Ее погрешность не превышает 3-5%, что достаточно для инженерных расчетов [7]. Или определяют по номограмме представленной на рисунке 8.5.

$$R = \frac{0,195 \cdot v_{\phi}^{1,8}}{(d(d_{\text{эКВ}})/100)^{1,2}}, \text{ Па/м} \quad (9.7)$$

Если размеры шахты  $a$  и  $b$  не равны, то необходимо рассчитать эквивалентный диаметр.

$$d_{\text{эКВ}} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}, \text{ м} \quad (9.8)$$

Полные потери давления на трение для всего участка, получают умножением удельных потерь  $R$  на длину участка  $L$ , Па. Если применяют воздухопроводы или каналы из других материалов, необходимо ввести поправку на шероховатость  $\beta_{\text{ш}}$  по табл. 9.2. Она зависит от абсолютной эквивалентной шероховатости материала воздухопровода  $K_{\text{э}}$  (табл.9.3) и величины  $v_{\phi}$ .

Таблица 9.2 Значения поправки  $\beta_{\text{ш}}$  [7]

$v_{\phi}$ , м/с	$\beta_{\text{ш}}$ при значениях $K_{\text{э}}$ , мм			
	1	1.5	4	10
3	1.32	1.43	1.77	2.2
4	1.37	1.49	1.86	2.32
5	1.41	1.54	1.93	2.41
6	1.44	1.58	1.98	2.48
7	1.47	1.61	2.03	2.54

Таблица 9.3 Абсолютная эквивалентная шероховатость материала воздухопроводов [7]

Материал	Сталь, винипласт	Фане ра	Шлако- алебастр	Шлако- бетон	Кирпич	Штукатурка по сетке
$K_{\text{э}}$ , мм	0.1	0.12	1	1.5	4	10

Затем определяют динамическое давление на участке по формуле 8.5

$$P_d = \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

Далее на участке выявляют местные сопротивления, определяют коэффициенты местного сопротивления (КМС)  $\xi$  по таблице 8.1 и вычисляют сумму КМС на данном участке ( $\Sigma\xi$ ). Более подробные данные для КМС указаны в табл. 22.16 – 22.43 [7].

После определения величины  $\Sigma\xi$  вычисляют потери давления на местных сопротивлениях во формуле 8.4. и суммарные потери давления на участке по формуле 9.9.

$$Z = P_d + \sum \xi$$

$$P_{\text{сумм}} = R \cdot L \cdot \beta_{\text{ш}} + Z \quad (9.9)$$

**Подбор узла выброса воздуха производим аналогичным образом.**

#### 9.4. Основные типовые секции ПВУ

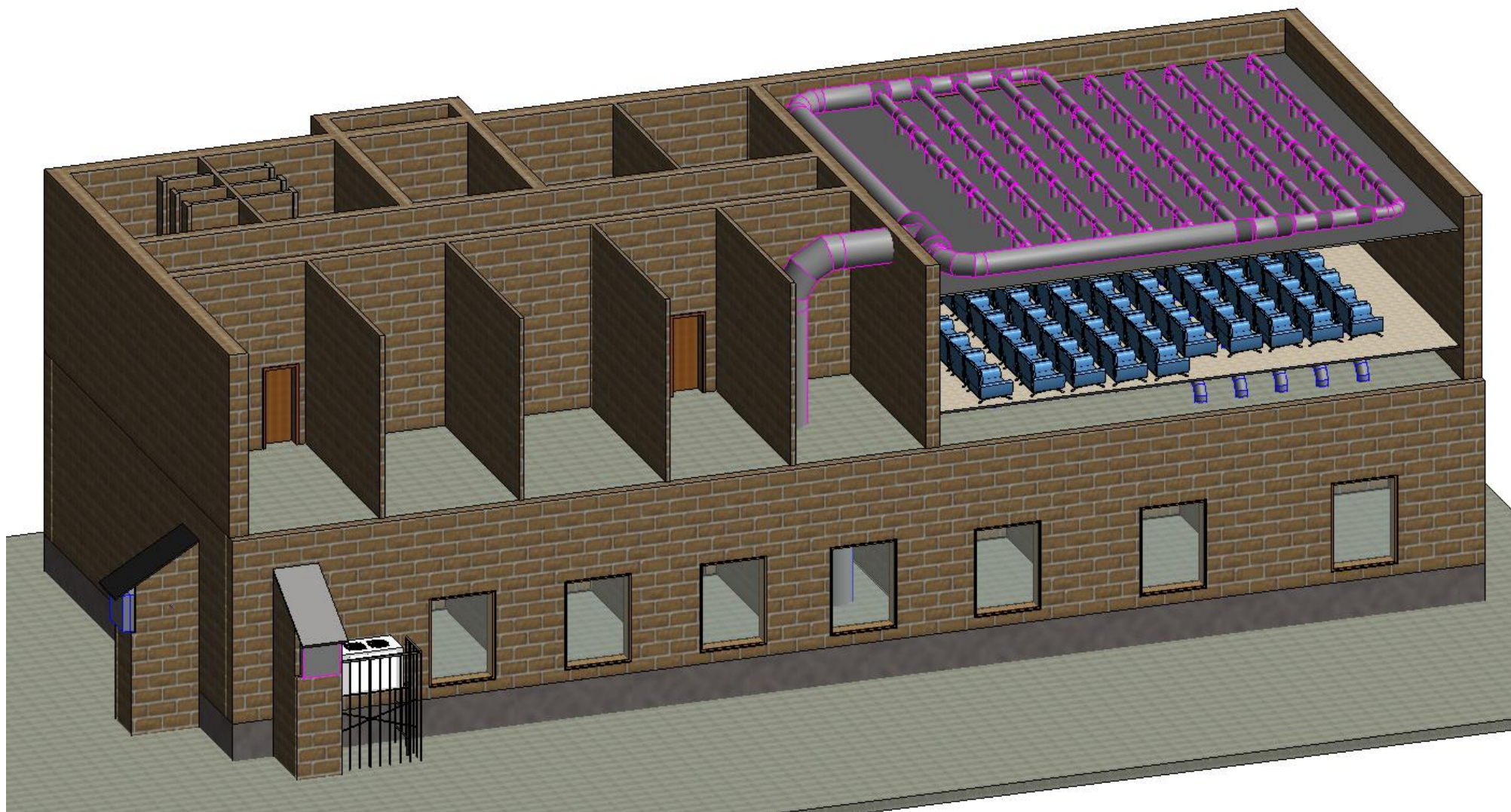
**Воздушные клапаны.** Регулирование количества воздуха, поступающего в центральный кондиционер, осуществляется воздушными клапанами. Регулирование осуществляется с помощью электропривода, устанавливаемого на клапане. Конструкция клапана, как правило, многостворчатая, с параллельно установленными лопатками.

**Секция фильтрации.** При необходимости обеспечения фильтрации повышенного качества в компоновку центрального кондиционера могут быть включены две секции: первичной и вторичной фильтрации.

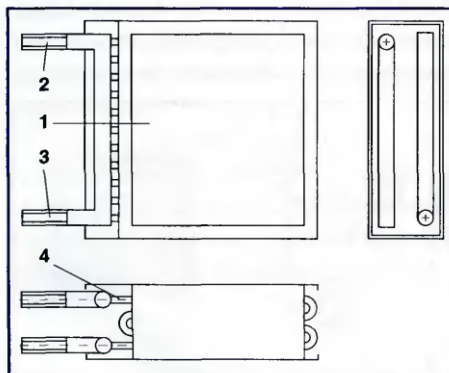
Фильтры размещаются в тех частях кондиционера, через которые проходит весь обрабатываемый воздух, и так, чтобы защитить от пыли возможно большее число секций кондиционера. Фильтр закреплен в установке с помощью направляющих, которые позволяют его легко демонтировать. Количество и размеры фильтрующих элементов, применяемых в установке, зависят от ее модели.

С целью текущего контроля загрязнения фильтров рекомендуется применение дифманометров. Дифманометр при определенном допуске конечном перепаде давления сигнализирует (электрический сигнал) о необходимости смены фильтра при его загрязнении. Допустимый конечный перепад давления указывается в техническом паспорте оборудования.

**Секция охлаждения.** Представляет собой водяной или фреоновый теплообменник-воздухоохладитель, изготовленный из медных трубок (от 4 до 8 рядов) с алюминиевыми ребрами. В качестве хладагента может быть: охлажденная вода, смесь воды и гликоля, фреон (например R-22). Коллекторы выполнены из стальной оцинкованной трубы. Входные и выходные патрубки коллектора имеют наружную резьбу. Стандартно коллекторы оснащаются дополнительными патрубками для спуска хладагента и отведения воздуха. Распределительный и обратный коллектор фреоновых теплообменников изготавливают из медных трубок. Обычно в секцию охлаждения устанавливается поддон для конденсатной воды, сделанный из нержавеющей листовой стали и оснащенный выведенным наружу сливным патрубком, к которому присоединяется переливной сифон, (водяной затвор).



**Рисунок 9.4 – 3D модель проектируемого здания с элементами СКВ-1**



**Рисунок 9.5 – Конструкция водяного трубчатого воздухоохлаждителя:**

1 – кожух из оцинкованной стали; 2, 3 – входной и выходной патрубки коллектора с резьбой; 4 – медные трубки с алюминиевым пластинчатым оребрением

За секцией охлаждения в центральном кондиционере устанавливаются при скоростях обрабатываемого воздуха выше 2,5 м/с эффективные сепараторы (каплеуловители). Скорость воздуха должна находиться в диапазоне от 2,5 до 5,0 м/с. Потери давления при этом составят до 16 Па. На рисунке 9.6 представлена одна из возможных конструкций каплеуловителя, собранного из специально спрофилированных пластмассовых пластин, которые вертикально размещены в кожухе из нержавеющей стали.



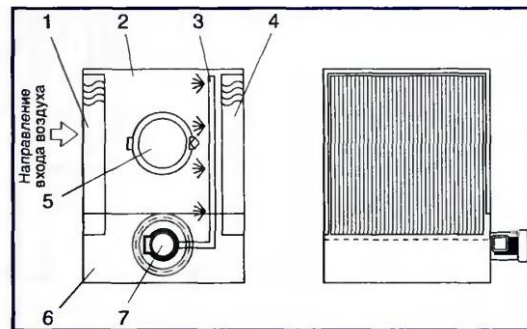
**Рисунок 9.6 – Профиль каплеуловителя**

**Секция нагревания.** В секции воздушнонагревания могут использоваться водяные, паровые или электрические нагреватели. Конструктивно воздушнонагреватели выполнены, как и воздухоохлаждители, из медных трубок с алюминиевым оребрением.

Электрически нагреватели выполнены в форме прямоугольного параллелепипеда с укрепленными в корпусе нагревательными элементами в виде спирали или оребренных ТЭНов. Электрические нагреватели подключаются в эл.сеть: 3/380 В/50 Гц. Такая конструкция позволяет легко демонтировать нагреватель из секции для осмотра и ремонта. Элементы нагревателя укреплены вертикально, а контакты выведены к клеммовой панели на боковой стенке корпуса нагревателя. Нагреватель имеет термостат безопасности, ограничивающий чрезмерный рост температуры внутри системы, а также отключение нагревателей в случае прекращения подачи воздуха.

**Секция увлажнения.** Увлажнение воздуха в центральном кондиционере осуществляется в секции оросительного увлажнения водой (форсуночной камере) или секции парового увлажнения. Камера орошения состоит из корпуса, в котором установлены трубные гребенки, поддон и насос. В форсуночной камере происходит

адиабатическое увлажнение воздуха циркуляционной водой, которая поступает из поддона. Воздух вступает в непосредственный контакт с поверхностью капель воды, распыляемой с помощью форсунок. Распыляясь, вода превращается в густой туман мелких капель, сквозь который движется воздух, поглощая водяные пары. Эффективность увлажнения в секции составляет около 90%.



**Рисунок 9.7 – Конструкция секции форсуночного увлажнения:**

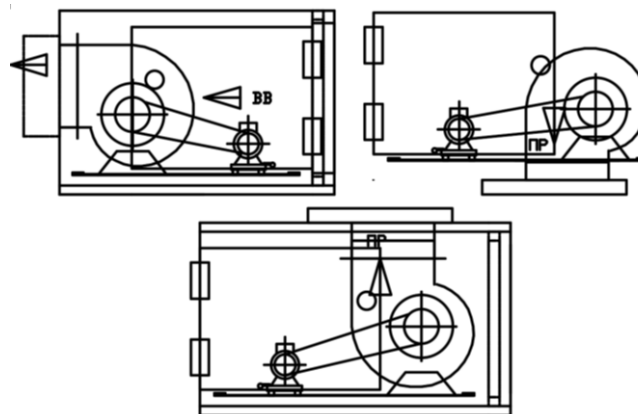
- 1 – первый сепаратор-каплеуловитель; 2 – кожух секции; 3 – трубные гребенки с форсунками; 4 – второй сепаратор-каплеуловитель; 5 – окно; 6 – поддон; 7 – циркуляционный насос

**Вентиляторная секция.** Предназначена для забора воздуха в центральный кондиционер и его подачи в обслуживаемые помещения. В кондиционерах применяются радиальные (центробежные) вентиляторы одностороннего и двухстороннего всасывания низкого и среднего давления. Напорный патрубок вентилятора отделен от кожуха эластичной вставкой, которая обеспечивает герметичность и предотвращает перенос вибрации. Расположение выходного напорного патрубка может быть различным: вверх, вниз, вбок, т.к. положение кожуха радиального вентилятора определяется углом поворота корпуса относительно исходного положения (рисунок 9.8).

Вентиляторная секция имеет два исполнения:

- нагнетательный патрубок является выходом из кондиционера;
- промежуточная секция.

Производительность вентиляторной секции соответствует мощности центрального кондиционера. Максимальная температура работы вентилятора 85°C, максимальная температура работы стандартного двигателя 40°C, диапазон рабочих (эксплуатационных) температур от минус 30 до +80 °C.



**Рисунок 9.8 – Различные ориентации выходных патрубков вентиляторной секции**

## 10. Пример расчета воздухообмена в помещении общественного здания

### 10.1. Определение количества вредностей

*Исходные данные:*

Общественное двухэтажное здание – кинотеатр.

Район строительства – г. Бобруйск.

Помещение – кинотеатр на 100 человек.

Для обеспечения параметров микроклимата в пределах оптимальных санитарно-гигиенических норм принимаем СКВ второго класса [п. 7.2, 9]. Расчетные параметры наружного воздуха (температура и энтальпия) для СКВ принимаем по приложению Е [9], при этом для холодного периода принимаем параметры Б, для теплого периода – для СКВ второго класса следует принимать температуру наружного на 2°C и удельную энтальпию на 2,0 кДж/кг ниже установленных для параметров Б [п. 5.14, 9].

Таблица 10.1 Расчетные параметры наружного воздуха

Период года	Температура $t_n$ , °C	Удельная энтальпия $I_n$ , кДж/кг	Скорость ветра $v$ , м/с
Теплый	24,9	50,2	3,2
Холодный	-23	-22,2	3,9

Расчетные параметры внутреннего воздуха в гражданских зданиях устанавливаются чаще исходя из санитарно-гигиенических и реже из технологических требований в зависимости от назначения помещения и уровня требований к метеорологической обстановке в помещении.

Согласно п. 5.4 [1] оптимальные параметры микроклимата в обслуживаемой зоне общественных помещений при кондиционировании следует обеспечивать в соответствии с ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [2].

С целью уменьшения затрат на тепло- и холодоснабжение СКВ расчетную температуру и относительную влажность воздуха в помещении следует принимать для теплого периода года максимальные, для холодного – минимальные из диапазона оптимальных значений, т.е.:

относительная влажность  $\phi$  в теплый период 30 – 60%, температура от 23°C до 25°C подвижность воздуха в рабочей зоне не более 0,3 м/с.

в холодный период года температура рабочей зоны рекомендуется от 20°C до 21°C, влажность 30 - 45%, подвижность воздуха в рабочей зоне не более 0,2 м/с.

Температуру и относительную влажность для помещений 3а категории (помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды) для двух периодов принимаем по таблице 1 «Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий» [2].

Таблица 10.2 Расчетные параметры внутреннего воздуха

Период года	Температура $t_v$ , °C	Относительная влажность $\phi_v$ , %	Скорость движения $v_v$ , м/с
Теплый	25	60	0,3
Холодный	20	30	0,2

## Выделение теплоты и влаги

**В теплый период года** теплота в помещение поступает от людей и в результате солнечной радиации. Теплопоступление явного тепла от одного человека при лёгкой работе при  $t_{в} = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $q_{я} = 65$  Вт/чел. Тогда от 100 человек (50 мужчин и 50 женщин): (по формуле 5.1):

$$Q_{я} = q_{я} \cdot N = 65 \cdot 50 + 65 \cdot 50 \cdot 0,85 = 6012,5 \text{ Вт}$$

Теплопоступление полного тепла от одного человека при лёгкой работе при  $t_{в} = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $q_{п} = 145$  Вт/чел. Тогда от 100 человек (50 мужчин и 50 женщин): (по формуле 5.2):

$$Q_{п} = q_{п} \cdot N = 145 \cdot 50 + 145 \cdot 50 \cdot 0,85 = 13412,5 \text{ Вт}$$

Влаговыведение одним человеком при лёгкой работе при  $t_{в} = 25^{\circ}\text{C}$  составляет  $m_{ч} = 115$  г/(ч·чел). Всего от 100 человек (50 мужчин и 50 женщин): (по формуле 5.3):

$$W = m_{ч} \cdot N = 115 \cdot 50 + 115 \cdot 50 \cdot 0,85 = 10637,5 \text{ г/ч}$$

### **Холодный период**

Поступление явного тепла от одного человека при лёгкой работе при  $t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $q_{я} = 99$  Вт/чел. Тогда от 100 человек (50 мужчин и 50 женщин): (по формуле 5.1):

$$Q_{я} = q_{я} \cdot N = 99 \cdot 50 + 99 \cdot 50 \cdot 0,85 = 9157,5 \text{ Вт}$$

Поступление полного тепла от одного человека при лёгкой работе при  $t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$  составляет  $q_{п} = 151$  Вт/чел. Тогда от 100 человек (50 мужчин и 50 женщин): (по формуле 5.2):

$$Q_{п} = q_{п} \cdot N = 151 \cdot 50 + 151 \cdot 50 \cdot 0,85 = 13967,5 \text{ Вт}$$

Влаговыведение одним человеком при лёгкой работе при  $t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$  составляет  $m_{ч} = 75$  г/(ч·чел). Всего от 100 человек (50 мужчин и 50 женщин): (по формуле 5.3):

$$W = m_{ч} \cdot N = 75 \cdot 50 + 75 \cdot 50 \cdot 0,85 = 6937,5 \text{ г/ч}$$

## Теплопоступления от солнечной радиации

При проектировании систем кондиционирования следует учитывать поступление теплоты солнечной радиации через световые проемы и через массивную ограждающую конструкцию (наружную стену или/и покрытие) с учетом занятости помещения людьми.

Теплопоступления от солнечной радиации равны нулю, т.к. в проекте принят вариант, когда отсутствуют световые проемы. Здание расположено в г. Бобруйске ( $54^{\circ}$  с. ш.).

При наличии в здании проветриваемого чердака теплопоступления через покрытие не учитываем. Теплопоступления через наружные стены незначительны, и их при выполнении курсового проекта не учитываем.



## Теплопоступления от источников искусственного освещения

Теплопоступления от источников искусственного освещения учитываются в холодный период года. Эти теплопоступления зависят от принятого уровня освещенности помещения и удельных тепловыделений от установленных светильников и определяются по формуле 5.8.

$$Q_{\text{осв}} = 75 \cdot 187 \cdot 0,264 \cdot 1 = 3702,6 \text{ Вт.}$$

Для помещения без световых проемов теплопоступления от источников искусственного освещения учитываются во все периоды года.

### Газовые выделения в помещении

Выделение в помещение углекислого газа, выдыхаемого людьми, л/ч, определяется в одинаковом размере для всех периодов года с учетом интенсивности физической нагрузки по формуле 5.9.

$$V_{\text{CO}_2} = 25 \cdot 50 + 25 \cdot 50 \cdot 0,85 = 2312,5 \text{ л/ч}$$

Расчет вредных выделений сводим в таблицы 1–2.

Таблица 10.3 Теплопоступления помещения

Наименование помещения	Объем помещения	Расчетный период года	Поступление в помещение явной теплоты				Теплопотупление в помещение, Вт			избыточная теплота	
			от людей		от солнечной радиации	от искусственного освещения	суммарные			явная	
			явная	полная			явные	полные	скрытые	Вт	Вт/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
205	935	ТП	6012,5	13412,5	0	3702,6	9715,1	17115,1	7400	9715,1	10,39
Кинотеатр		ХП	9157,5	13967,5	0	3702,6	12860,1	17670,6	4810	12860,1	13,75

$$\text{Произведем перевод: } 9715,5 \text{ Вт} \cdot 3,6 = 34974, \text{ кДж/ч}$$

$$12860,1 \text{ Вт} \cdot 3,6 = 46296,36 \text{ кДж/ч}$$

$$17115,1 \text{ Вт} \cdot 3,6 = 61614,36 \text{ кДж/ч}$$

$$17670,6 \text{ Вт} \cdot 3,6 = 63612,36 \text{ кДж/ч}$$

Таблица 10.4 Сводная таблица вредных выделений

№ помещения	Наименование помещения	Объем помещения	Расчетный период	Тепловые избытки, кДж/ч		Влаговыведения кг/ч	Газовые выделения л/ч	ε, кДж/кг	N
				Явные	Полные				
205	Кинотеатр	935	ТП	34974,36	61614,36	10,637	2312,5	5792,4565	100
			ХП	46296,36	63612,36	6,567	2312,5	9686,6697	100

Схему организации воздухообмена будем проектировать с подачей воздуха в нижнюю зону и удалением из верхней зоны.

Расход воздуха следует определять отдельно для каждого периода, **принимая большую из величин**, полученных по формулам (6.7) – (6.9).

На основании расчета тепловлажностных балансов определим угловой коэффициент луча процесса в помещении для теплого  $\varepsilon_T$  и холодного  $\varepsilon_X$  периодов года, кДж/кг по формулам 6.20-6.21:

#### Теплый период

$$\varepsilon_T = \frac{61614,36}{10,637} = 5792,45 \text{ кДж/кг}$$
$$\varepsilon_T = \frac{3,6 \cdot 9715,1 + 2540 \cdot 10,637}{10,637} = 5827,99 \text{ кДж/кг}$$

#### Холодный период

$$\varepsilon_X = \frac{63612,36}{6,567} = 9686,66 \text{ кДж/кг}$$
$$\varepsilon_X = \frac{3,6 \cdot 12860,1 + 2540 \cdot 6,567}{6,567} = 9589,84 \text{ кДж/кг}$$

Численные величины  $\varepsilon_T$  и  $\varepsilon_X$  характеризуют тангенс угла наклона луча процесса в помещении.

#### Теплый период

Определяем требуемый расход воздуха (кг/ч), для ассимиляции по нормируемому удельному расходу приточного воздуха.

$$q_{\text{явн}} = \frac{Q_{\text{явн}}}{3,6 \cdot V} = \frac{34974,36}{3,6 \cdot 935} = 10,39 \text{ Вт/м}^3$$
$$t_{\text{пр}} = t_{\text{в}} - 2 = 25 - 2 = 23^\circ\text{C}$$

Градиент температуры по высоте помещения выше рабочей зоны в зависимости от избытка явного тепла в помещении: от 0..0,5. Меньшие значения принимаем для холодного периода года, большие – для теплого.

$$t_{\text{yx}} = 25 + 0,5 \cdot (5 - 1,5) = 26,75^\circ\text{C}$$

По I-d диаграмме определяем параметры (энтальпия, влагосодержание) наружного и удаляемого воздуха. Для этого на I-d диаграмме отмечаем точку с внутренними параметрами воздуха  $t_g = 25^\circ\text{C}$ ,  $\varphi = 60\%$ . Соединяем тепловлажностный коэффициент  $\varepsilon = 5792,45$  кДж/кг с нулем. Полученный луч переносим параллельно в т. **В** и на пересечении изотерм  $t_{\text{yx}}$  и  $t_{\text{пр}}$  отмечаем точки **У** и **П** и снимаем значения влагосодержания и энтальпии.

$$t_{\text{yx}} = 26,75^\circ\text{C}, I_{\text{yx}} = 58,4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, d_{\text{yx}} = 12,4 \text{ г/кг}$$
$$t_{\text{пр}} = 23^\circ\text{C}, I_{\text{пр}} = 51,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, d_{\text{пр}} = 11,3 \text{ г/кг}$$

Тогда:

$$G_{\text{я}}^{\text{тр}} = \frac{34974,36}{1,005(26,75 - 23)} = 9280,09 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{п}}^{\text{тр}} = \frac{61614,36}{(58,4 - 51,8)} = 9335,50 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{w}}^{\text{тр}} = \frac{10637,5}{(12,4 - 11,3)} = 9670 \text{ кг/ч}$$

### Холодный период

Определяем требуемый расход воздуха (кг/ч), для ассимиляции по нормируемому удельному расходу приточного воздуха.

$$q_{\text{явн}} = \frac{Q_{\text{явн}}}{3,6 \cdot V} = \frac{46296,36}{3,6 \cdot 935} = 13,75 \text{ Вт/м}^3$$

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{в}} - 2 = 20 - 2 = 18^{\circ}\text{C}$$

Градиент температуры по высоте помещения выше рабочей зоны в зависимости от избытка явного тепла в помещении: от 0,3...1,2. Меньшие значения принимаем для холодного периода года, большие – для теплого.

$$t_{\text{yx}} = 20 + 0,3 \cdot (5 - 1,5) = 21,05^{\circ}\text{C}$$

По I-d диаграмме определяем параметры (энтальпия, влагосодержание) наружного и удаляемого воздуха. Для этого на I-d диаграмме отмечаем точку с внутренними параметрами воздуха  $t_{\text{с}} = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi = 30\%$ . Соединяем тепловлажностный коэффициент  $\varepsilon = 9689,66 \text{ кДж/кг}$  с нулем. Полученный луч переносим параллельно в т. В и на пересечении изотерм  $t_{\text{yx}}$  и  $t_{\text{пр}}$  отмечаем точки У и П и снимаем значения влагосодержания и энтальпии.

$$t_{\text{yx}} = 21,05^{\circ}\text{C}, I_{\text{yx}} = 32,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, d_{\text{yx}} = 4,5 \text{ г/кг}$$

$$t_{\text{пр}} = 18^{\circ}\text{C}, I_{\text{пр}} = 27,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, d_{\text{пр}} = 4 \text{ г/кг}$$

Тогда:

$$G_{\text{я}}^{\text{тр}} = \frac{46296,366}{1,005(21,05 - 18)} = 15103,62 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{п}}^{\text{тр}} = \frac{64211,76}{(32,3 - 27,9)} = 14457,35 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{w}}^{\text{тр}} = \frac{6567,5}{(4,5 - 3,8)} = 9381,42 \text{ кг/ч}$$

## 10.2. Выбор расчетного воздухообмена

Расчетную величину воздухообмена в помещении  $G^P$ , кг/ч, т.е. расход воздуха для подбора оборудования, выбирают, руководствуясь следующими соображениями: *расчетным является больший из требуемых воздухообменов по двум периодам.* Тогда:

$$G_{\text{п}}^{\text{тр}} \text{ max} = 15103,62 \text{ кг/ч для ХП.}$$

Выбрав расчетную величину воздухообмена по холодному периоду, необходимо уточнить параметры приточного воздуха для теплого периода, т.е. решить так называемую обратную задачу расчета воздухообмена. Это необходимо для правильного выбора теплопроизводительности калориферной установки.

Уточняем параметры притока по формуле:

$$t_{\text{П}}^{\text{ТП}} = t_y - \frac{Q_{\text{явн}}}{G^{\text{P}} \cdot c_{\text{в}}} = 26,75 - \frac{34974,368}{15103,62 \cdot 1,005} = 24,34^{\circ}\text{C}$$

Здесь значения  $t_y$  и  $Q_{\text{явн}}$  принимаются для того периода, для которого уточняется температура притока, т.е для теплого периода. При этом уточненное значение  $t_{\text{П}}$  обязательно должно получиться выше, чем первоначально принятое.

Вычисляем объемный расход воздуха и фактическую кратность воздухообмена, принимая температуры притока и уходящего воздуха наибольшими из всех расчетных периодов, т.е. в данном случае по ХП. Расчет ведем по формулам 6.10-6.13

$$\rho_{\text{П}} = \frac{353}{18 + 273} = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

$$L_{\text{П}}^{\text{P}} = \frac{15103,62}{1,19} = 12122,88 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$K_{\text{P}}^{\Phi} = \frac{12122,88}{935} \approx 12,96 \text{ ч}^{-1}$$

$$\rho_y = \frac{353}{21,05 + 273} = 1,177 \text{ кг/м}^3$$

$$L_y^{\text{P}} = \frac{15103,62}{1,177} = 12276,46 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$K_{\text{P}}^{\Phi} = \frac{12276,46}{935} \approx 13,12 \text{ ч}^{-1}$$

Таким образом, объемные расходы притока и вытяжки отличаются незначительно.

После расчета  $L_{\text{P}}$  необходимо сравнить их с минимальным количеством наружного воздуха  $L_{\text{CO}_2}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , которое определяют по выделениям углекислого газа:

$$L_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{C_{\text{ПДК}} - C_{\text{П}}} = \frac{2312,5}{2,0 - 0,75} = 1850 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для расчетного помещения по табл. 6.2  $C_{\text{П}}=0,75 \text{ л/м}^3$  и  $C_{\text{ПДК}}=2,0 \text{ л/м}^3$ .

Проверяем расчетный воздухообмен на соответствие санитарной норме:

$$M_{\text{CO}_2} = 2312,5 \text{ л/ч}; L_{\text{CO}_2} = \frac{M_{\text{CO}_2}}{C_{\text{ПДК}} - C_{\text{П}}} = \frac{2312,5}{2 - 0,75} = 1850 \text{ м}^3/\text{ч}; L_{\text{CO}_2} < L^{\text{P}}$$

$L_{\text{CO}_2} < L^{\text{P}}$ , поэтому оставляем воздухообмен, вычисленный по избыткам явной теплоты.

Требуемый расход воздуха для ассимиляции по нормируемому удельному расходу приточного воздуха определяем по формуле 6.16:

$$L_{\text{Н}} = 100 \cdot 20 = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Т.к. расчетный воздухообмен оказался выше минимально необходимого, то следует рассмотреть вопрос о целесообразности применения рециркуляции [п. 7.46, 1 Согласно п. 7.48 [1] – частичная или полная рециркуляция допускается из систем местных отсосов после очистки пылевоздушной смеси, при этом концентрация примесей в возвращаемом в рабочую зону воздухе не должна превышать 80% ПДК рабочей зоны (формулы 6.17-6.19).

$$G_{\max} = 2000 \cdot 1,177 = 2355,29 \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{реци}} = G_p - G_{\max} = 15103,62 - 2355,29 = 12748,32 \text{ кг/ч}$$

$$\%_{\text{реци}} = \frac{12748,32}{15103,62} \cdot 100\% = 88,1\% > 80\%,$$

Что не удовлетворяет пункту 7.48 [1]

Принимаем процент рециркуляции равный 80%.

### 10.3. Подбор узла воздухозабора

Плотность воздуха была рассчитана по формуле 6.11

$$\rho_{\text{п}} = \frac{353}{18 + 273} = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{у}} = \frac{353}{21,05 + 273} = 1,177 \text{ кг/м}^3$$

$$G_{\text{я}}^{\text{тр}} \text{ max} = 15103,62 \text{ кг/ч}$$

По формуле 6.11 определили расход воздуха.

$$L_{\text{п}} = \frac{G_{\text{я}}^{\text{тр}} \text{ max}}{\rho_{\text{п}}} = \frac{15103,62 \text{ кг/ч}}{1,19} = 12122,88 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$F_{\text{тр}} = \frac{12122,88}{3600 \cdot 5} = 0,673 \text{ м}^2$$

Принимаем к установке жалюзийные решетки типа АРН размером 1000 x 500 мм, живое сечение  $f_p=0,226 \text{ м}^2$  – жалюзийная неподвижная воздухозаборная решетка, которая препятствует проникновению осадков предназначена для установки в воздухозаборных устройствах систем приточной вентиляции и кондиционирования воздуха. Скорость воздуха в живом сечении решетки должна быть не более 5 м/с,  $\xi_{\text{реш.}}=1,2$ .

Рассчитываем количество решеток:

$$n = \frac{0,673}{0,226} = 2,97 \approx 3 \text{ шт.}$$

Рассчитываем фактическую скорость движения воздуха через решетку:

$$v_{\text{ф}} = \frac{12122,88}{3 \cdot 0,226 \cdot 3600} = 4,96 \text{ м/с}$$

Рассчитываем аэродинамическое сопротивление при проходе воздуха через решетки по формуле:

$$\Delta P_{\text{ж.р}} = 1,2 \cdot \frac{4,96^2 \cdot 1,19}{2} = 17,56 \text{ Па}$$

## Расчет потери давления в шахте

Рекомендованная скорость в шахтах 3-5 м/с.

Полные потери давления на трение для всего участка, получаем умножением удельных потерь  $R$  на длину участка  $L$  RL, Па. Если применяют воздухопроводы или каналы из других материалов, необходимо ввести поправку на шероховатость  $\beta_{ш}$  по табл. 9.2. Она зависит от абсолютной эквивалентной шероховатости материала воздуховода  $K_s$  (табл.9.3) и величины  $v_{\phi}$ .

Затем определяют динамическое давление на участке по формуле 8.5

$$\rho_{п} = \frac{353}{18 + 273} = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

$$P_{д} = 1,19 \cdot \frac{3,39^2}{2} = 6,83 \text{ Па}$$

Далее на участке выявляют местные сопротивления, определяют коэффициенты местного сопротивления (КМС)  $\xi$  по таблице 8.1 и вычисляют сумму КМС на данном участке ( $\Sigma\xi$ ). Более подробные данные для КМС указаны в табл. 22.16 – 22.43 [7].

КМС 2 отвода на 90°

$$\Sigma\xi = 0,5 + 0,5 = 1$$

После определения величины  $\Sigma\xi$  вычисляют потери давления на местных сопротивлениях по формуле 8.4. и суммарные потери давления на участке по формуле 9.9.

$$d_{\text{экв}} = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 1}{1,2 + 1} = 1,09 \text{ м}$$

$$v_{\phi} = \frac{13335,1}{1,09 \cdot 3600} = 3,39 \text{ м/с}$$

По величине  $v_{\phi}$  и  $d$  (или  $d_{\text{экв}}$ ) определяются удельные потери давления на трение  $R$ , Па/м. Это можно сделать и по номограмме (промежуточные диаметры не подписаны), приведённой на рисунке 8.5.  $R=0,1$  Па/м

$$\rho_{п} = \frac{353}{18 + 273} = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

$$P_{\text{сумм}} = 0,1 \cdot 3 \cdot 1,8 + 1 \cdot 6,83 = 7,37 \text{ Па}$$

Для вытяжной шахты расчет производим аналогичным способом.

## 11. Пример подбора приточно-вытяжной установки

Кондиционер выбирается по его полной производительности и комплектуется из отдельных секций. В данном курсовом проекте подбираем центральный кондиционер, используя компьютерную программу WinClim II (ver. 2.0.81). Центральный кондиционер подбирается по полной производительности (расходу приточного воздуха и расходу возвращенного воздуха) с учетом коэффициента запаса, равного 1,1.

$$L_{\text{п}} = \frac{15103,62 \text{ м}^3/\text{ч}}{1,19} = 12122,88 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} \cdot 1,1 = 13335,1 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$L_{\text{у}} = \frac{15103,62 \text{ м}^3/\text{ч}}{1,177} = 12276,46 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 1,1 = 13504,1 \text{ м}^3/\text{ч}$$

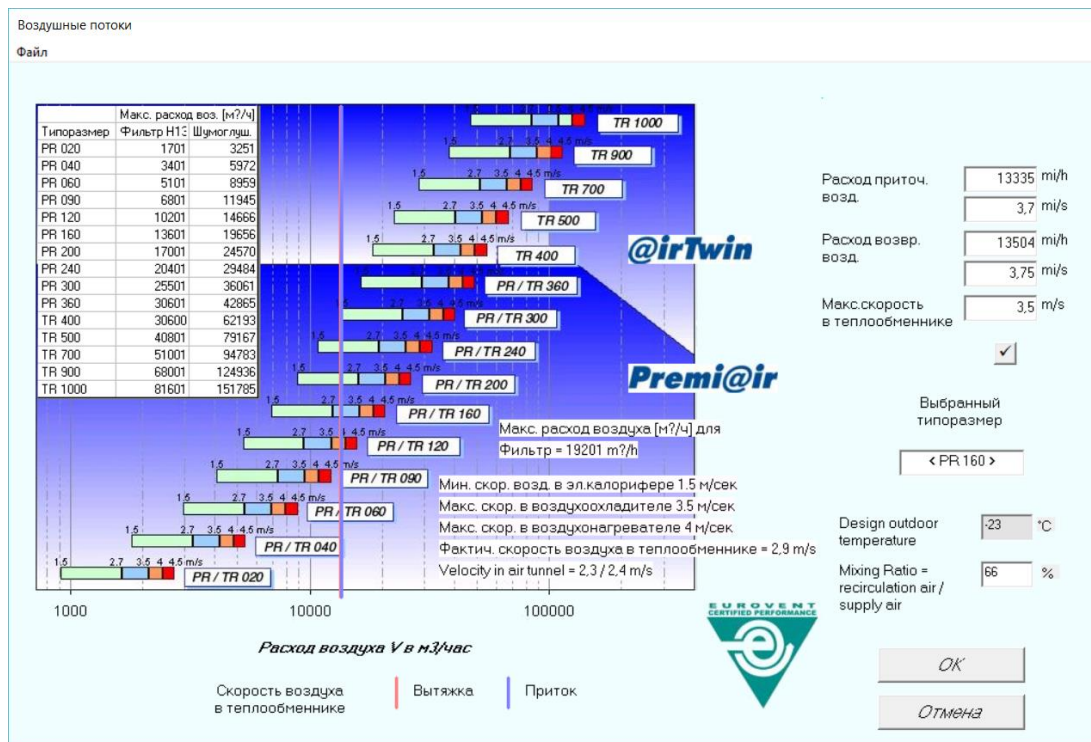


Рисунок 11.1 Подбор ПВУ

По результатам подбора принимаем следующий тип центрального кондиционера – PR 160 (Premi@ir 160 французской фирмы Airwell).

### Секция фильтрации

Фильтры размещаются в тех частях кондиционера, через которые проходит весь обрабатываемый воздух, и так, чтобы защитить от пыли большее число секций кондиционера. Фильтр закреплен в установке с помощью направляющих, которые позволяют легко его демонтировать.

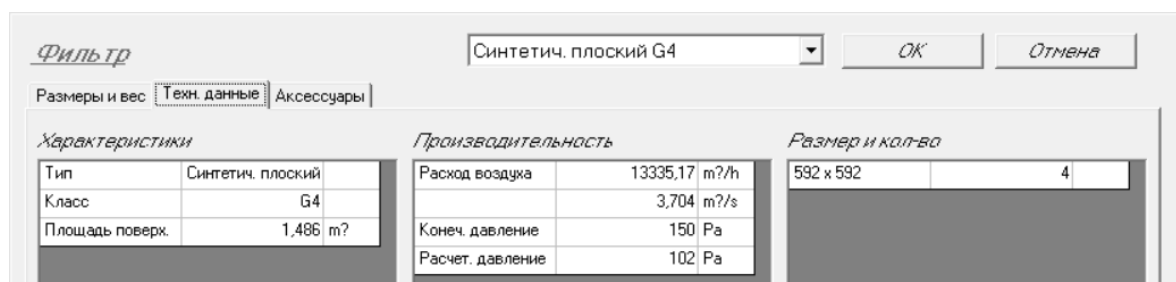


Рисунок 11.2 Подбор фильтра

## Подбор рекуператора

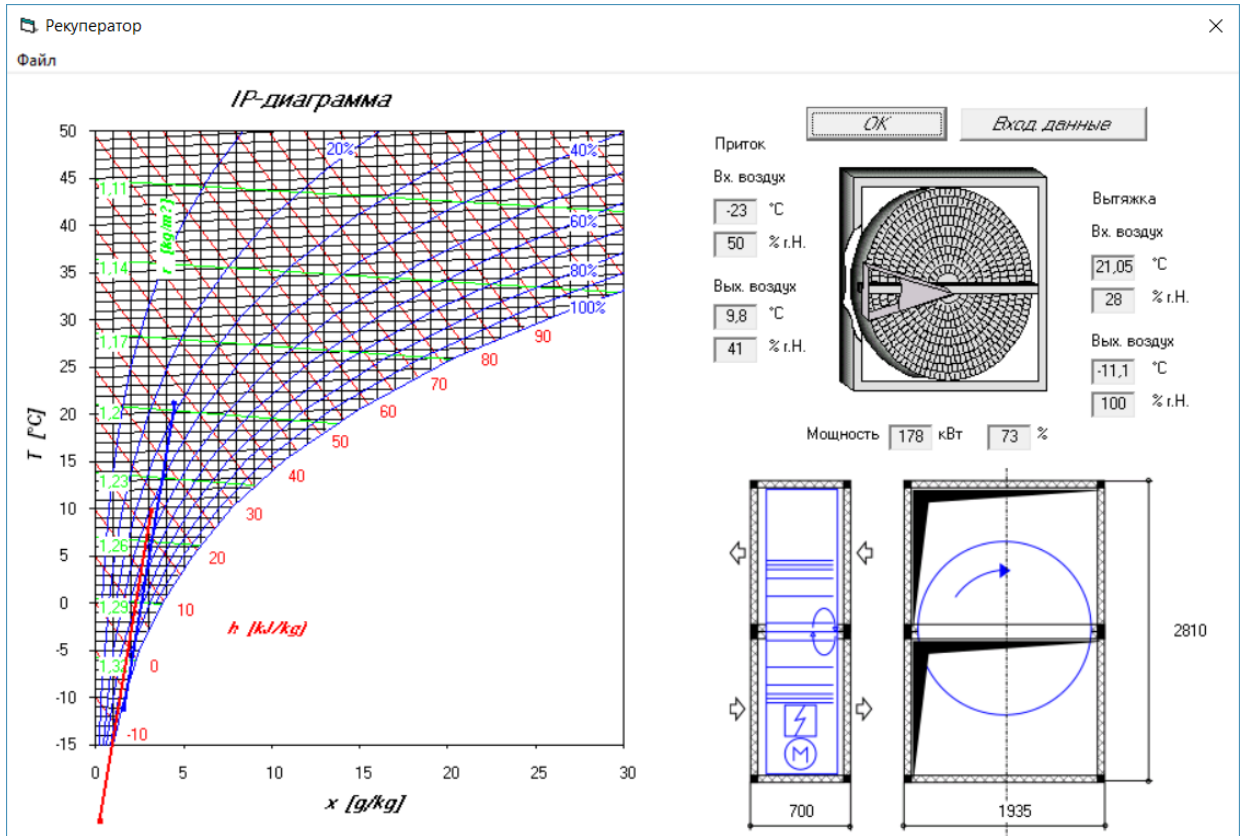


Рисунок 11.3 Схема ротационного рекуператора

Характеристики		Производительность		Энергоноситель	
Тип	Ротационный High Efficiency	Расход воздуха	13504 м <sup>3</sup> /h 3,751 м <sup>3</sup> /с	Тип	180W - 400V / 3 / 50Hz - IP55
Материал	Ероху Coated	Вход. воздух	21,05/28 °C/%г.Н.		
Фронт. скорость	4,1 м/с	Выход. воздух	-11,1/100 °C/%г.Н.		
Расст. м. ребр.	1,5 мм	Полная произв.	178 кВт		
		Эффективность	73 %		
		Падение давл.	209 Па		

Рисунок 11.4 Характеристика ротационного рекуператора

### Секция охлаждения

Представляет собой фреоновый теплообменник-воздухоохладитель, изготовленный из медных трубок с алюминиевыми ребрами. Стандартно в секцию охлаждения устанавливается поддон для конденсатной воды, изготовленный из нержавеющей листовой стали и оснащенный выведенным наружу сливным патрубком, к которому присоединяется переливной сифон.



Теплообменник  
Расчет смешан. воздуха

Энергоноситель: Непоср. исп.

Расход воздуха: 13335 м<sup>3</sup>/час, 3,7 м<sup>3</sup>/сек  
 Вход. воздух: 26,75 °C, 50 % г.Н.  
 Выход. воздух: 23 °C  
 Мощность: Calc кВт

Параметры вх. возд. из буфера

Темп. испарения: 5 °C  
 Перегрев: 5 K  
 Темп. конденсации: 50 °C  
 Потеря давления: 25 кПа  
 Хладагент: R22

Материал: Cu/Al Коэф. безопасн.: 1  
 Ряды: Внут. диам. труб: 8,92 мм  
 Ходы: Толщина ребра: мм  
 Расст. м. ребрами: 2,1 мм Длина оребрения: мм  
 Ступени: 1 Труб на ряд: мм

Стандартный  Специальный

OK Отмена

Рисунок 11.5 Расчет воздухоохладителя

Возможные теплообменники

			Воздух						Энергоноситель					
Ряды	Ходы	Ребра	Qt [кВт]	Qs [кВт]	t вых [°C]	x вых [%]	c [м/сек]	dp [Па]	m [л/ч]	t вых [°C]	c [м/сек]	dp [кПа]	Цена Eur	
2	24	2,1	40,5	35,6	18,7	78	2,9	47	961	50	0,1	23	1450	
4	32	2,1	72,6	54,4	14,4	91	2,9	107	1725	50	0,2	36	2379	
6	48	2,1	90,5	63,9	12,2	97	2,9	155	2148	50	0,2	38	2892	
8	64	2,1	107,8	72	10,4	99	2,9	219	2560	50	0,1	45	3830	

Рисунок 11.6 Выбор возможного воздухоохладителя

Из предложенных вариантов компоновки воздухоохладителя принимаем первый вариант, который лучше всего удовлетворяет необходимым параметрам выходного воздуха из теплообменника.

*Воздухоохладитель* Изменить OK Отмена

Размеры и вес: Техн. данные Аксессуары

Характеристики		Производительность		Энергоноситель	
Тип	Теплообменник	Расход воздуха	13335 м <sup>3</sup> /h	Тип	R22
Материал	Cu/Al		3,704 м <sup>3</sup> /s	Темп. испарения	5 °C
Фронт. скорость	2,9 м/с	Вход. воздух	26,75/50 °C/%г.Н.	Перегрев	5 °C
Площадь поверхн.	1,28 м <sup>2</sup>	Выход. воздух	18,7/78 °C/%г.Н.	Расход	961 л/ч
Ряды/ходы	2/24	Полная произв.	40,5 кВт	Скорость	0,1 м/с
Ступени	1	Явная произв.	35,6 кВт	Потеря напора	23 кПа
Расст. м. ребр.	2,1 мм	Конденсация	9,6 л/ч		
Соединения	1x7/8" & 1x1"5/8"	Падение давл.	141 Па		

Рисунок 11.7 Характеристика воздухоохладителя

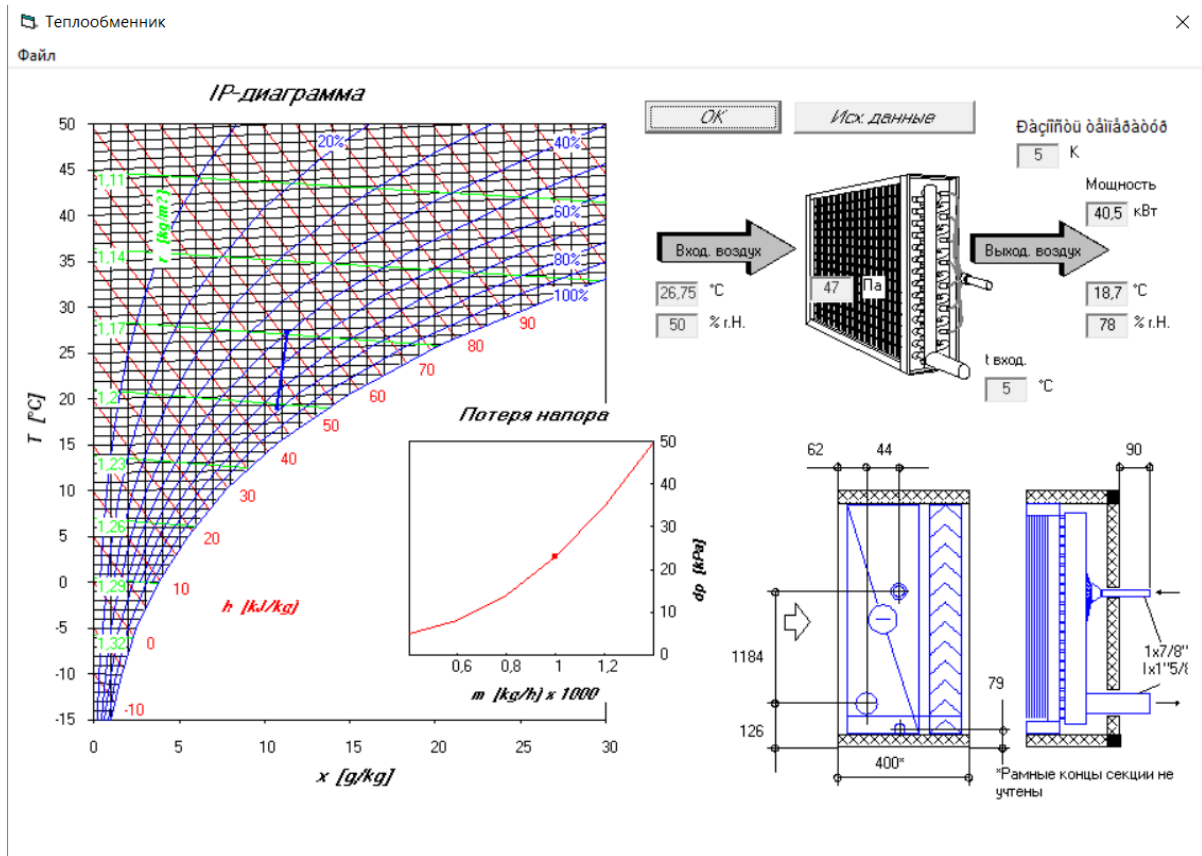


Рисунок 11.8 Воздухоохладитель



По запросу

[Заказать](#)



Бесплатная доставка до транспортной компании



3 года гарантии



В наличии на складе

Применяемые технологии:



Обозначения серии:

- ◆ DK - Компрессорно-конденсаторные блоки Dantex
- ◆ 22-105 - Холодопроизводительность 22-105 кВт
- ◆ W - Наружный блок
- ◆ C - Только охлаждение
- ◆ S - Сеть электропитания 380 В/3 ф/50 Гц, без S - 220 В/1 ф/50 Гц
- ◆ F - Хладагент R410a

Серия:	DK-22-105WC/SF
Размер (ШxВxГ)	1825x1245x899 мм
Вес	395 кг
Уровень шума	73 дБ
Максимальная потребляемая мощность	23,7 кВт
Тип хладагента	R410a
Рабочие температуры наружного воздуха	+18~+46 °C
Производительность в режиме охлаждения	53 кВт
Электропитание	380-415-50-3 В/Гц/Ф
Масса управляемого хладагента	11 кг
Количество контуров циркуляции хладагента	12+12
Потребляемая мощность (охлаждение)	16,8 кВт

## Подбор наружного компрессорно-конденсаторного блока

Рисунок 11.9 Технические характеристики DK-53WC/SF

Наружный компрессорно-конденсаторный блок подбираем по рассчитанной холодопроизводительности выбранного процесса (в нашем случае для процесса обработки воздуха с первой рециркуляцией и фреоновым охладителем, холодопроизводительность составила 16,78 кВт (часть II методических указаний)). Подбор осуществляем по каталогам производителя (<https://dantex.ru>), либо других производителей ("Nordet", "Kitano", "МаксАЭРО").

### Вентиляторная секция.

#### Приточный вентилятор

Приточный вентилятор предназначен для забора воздуха в ЦК и его подачи в обслуживаемые помещения.

По результатам аэродинамического расчёта определили, что потери возникающих при движении воздуха в сети составляют 985,6 Па. (потери давления в воздухозаборной решетке; потери в двух фильтрах; на клапане воздухоохладителе; шумоглушителе, в воздухозаборной шахте; приточной системе).

$$\Delta P = 1,1 \cdot (P_{\text{реш}} + 2 \cdot P_{\text{фильтра}} + P_{\text{кл}} + P_{\text{охл}} + P_{\text{шум}} + P_{\text{шахта}} + P_{\text{сети}})$$

$$\Delta P = 1,1 \cdot (17,96 \cdot 3 + 2 \cdot 150 + 10 + 141 + 32 \cdot 4 + 7,37 + 256) = 985,6 \text{ Па}$$

При выборе "параметры группы" возможно подобрать вентилятор с загнутыми лопатками назад/вперед или безулиточный вентилятор. Выбор вентилятора производим по его наибольшей эффективности (%).

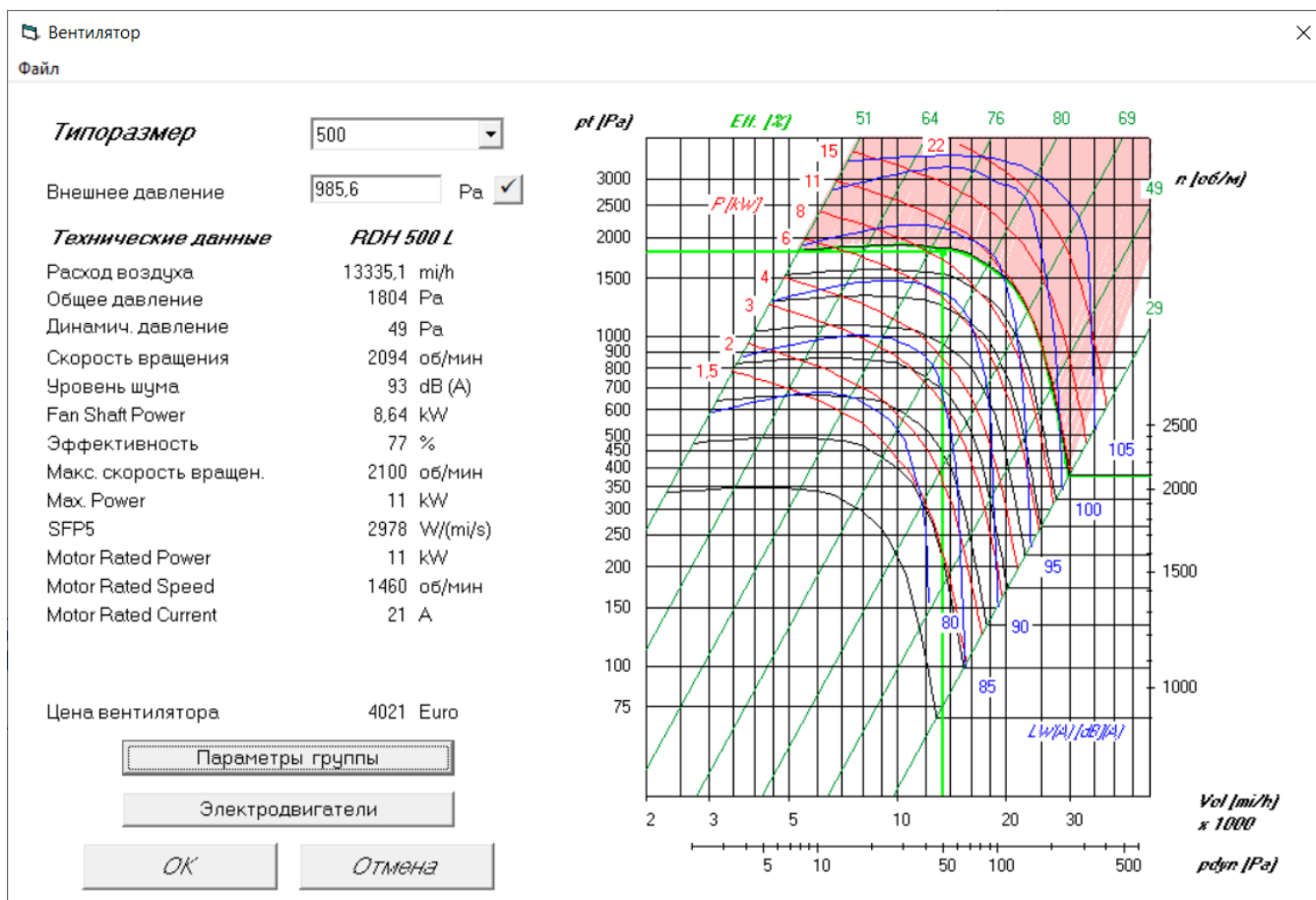
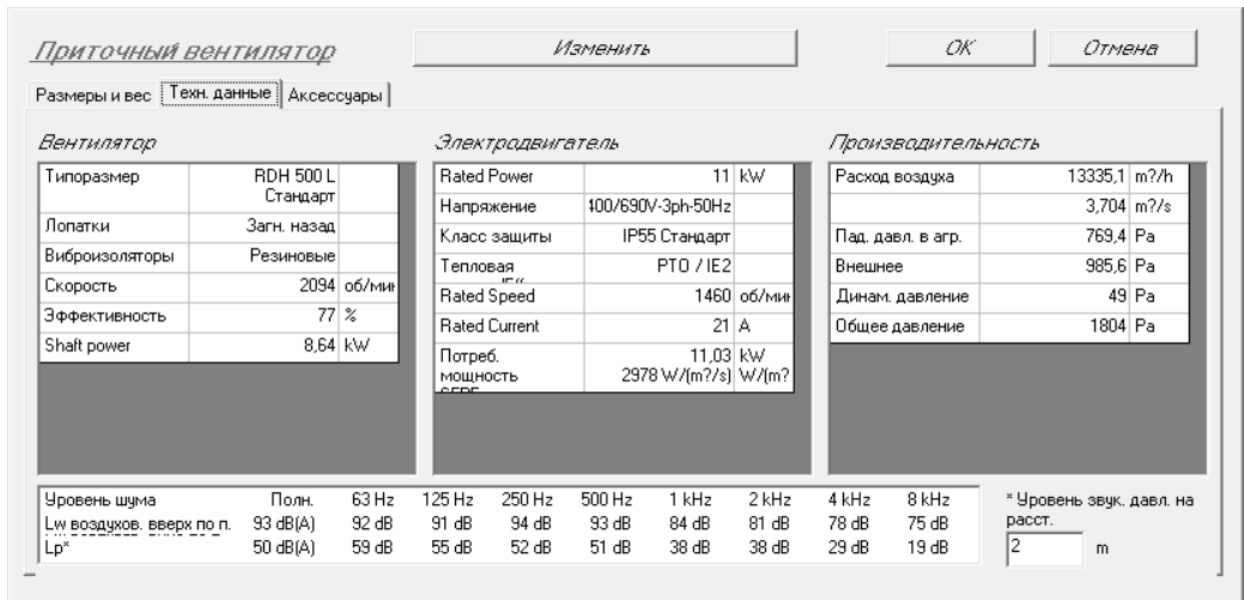


Рисунок 11.10 Подбор приточного вентилятора



**Рисунок 11.11 Характеристика приточного вентилятора**

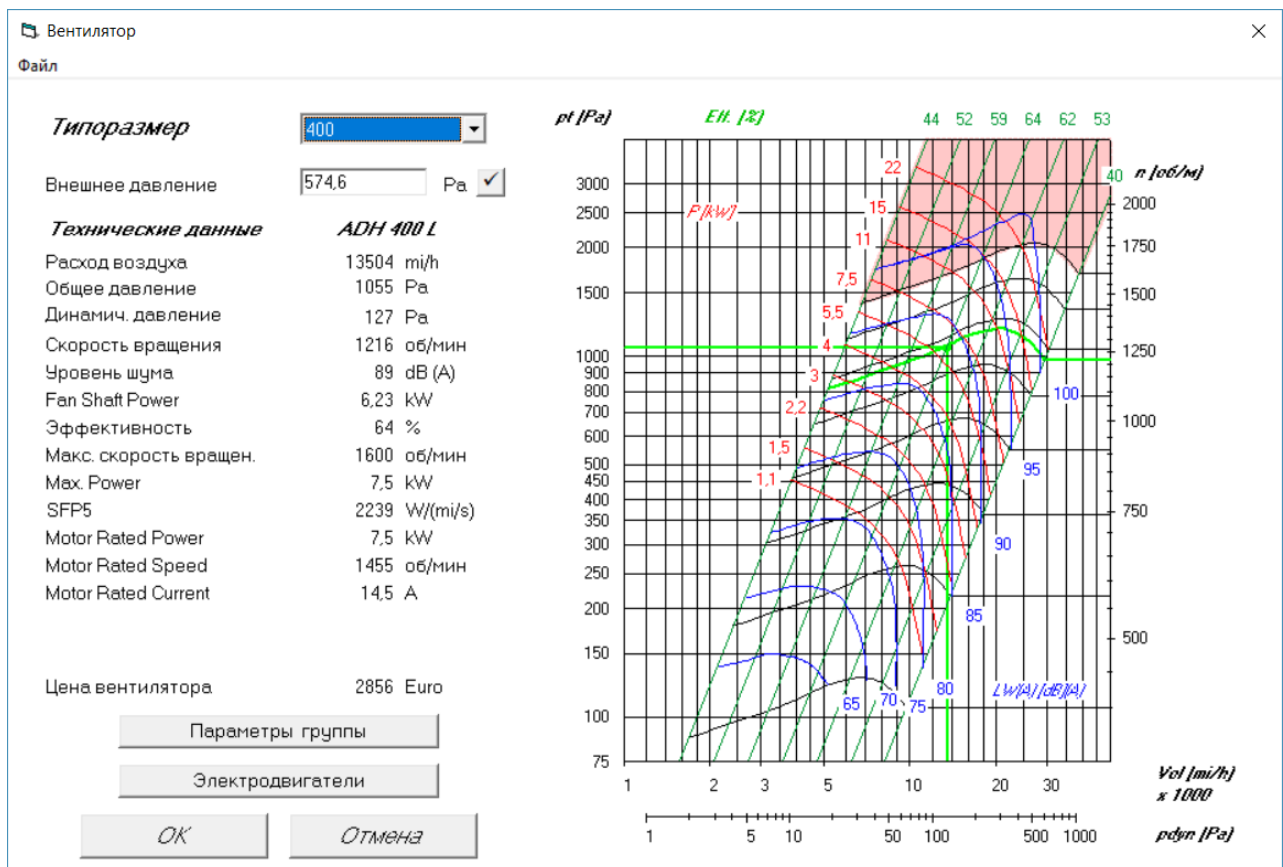
Принимаем приточный вентилятор ADH 500L Стандарт.

### Вытяжной вентилятор

По результатам аэродинамического расчёта определили, что потери возникающих при движении воздуха в сети на вытяжку составляют 574,6 Па. (потери давления в выбросной решетке; потери фильтре; на клапане, шумоглушителе, в выбросной шахте; вытяжной системе).

$$\Delta P = 1,1 \cdot (P_{\text{реш}} + P_{\text{фильтра}} + P_{\text{кл}} + P_{\text{шум}} + P_{\text{шахта}} + P_{\text{сети}})$$

$$\Delta P = 1,1 \cdot (17,96 \cdot 3 + 150 + 10 + 32 \cdot 4 + 7,17 + 265) = 574,6 \text{ Па}$$



**Рисунок 11.12 Подбор вытяжного вентилятора**

Вытяжной вентилятор		Изменить		OK		Отмена						
Размеры и вес		Техн. данные		Аксессуары								
<b>Вентилятор</b>		<b>Электродвигатель</b>		<b>Производительность</b>								
Типоразмер	ADH 400 L Стандарт	Rated Power	7,5 kW	Расход воздуха	13504 m <sup>3</sup> /h							
Лопатки	Загн. вперед	Напряжение	100/690V-3ph-50Hz		3,751 m <sup>3</sup> /s							
Виброизоляторы	Резиновые	Класс защиты	IP55 Стандарт		Пад. давл. в агр.	353,4 Pa						
Скорость	1216 об/мин	Тепловая	PTO / IE2		Внешнее	574,6 Pa						
Эффективность	64 %	Rated Speed	1455 об/мин		Динам. давление	127 Pa						
Shaft power	6,23 kW	Rated Current	14,5 A		Общее давление	1055 Pa						
		Потреб. мощность	8,4 kW 2239 W/(m <sup>3</sup> /s) W/(m <sup>3</sup> /s)									
Уровень шума		Полн.		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	* Уровень звук. давл. на расст. <input type="text" value="2"/> м
L <sub>w</sub> воздухов. вверх по п.		89 dB(A)	84 dB	89 dB	85 dB	84 dB	84 dB	81 dB	80 dB	75 dB		
L <sub>p</sub> "		45 dB(A)	51 dB	53 dB	43 dB	42 dB	38 dB	38 dB	31 dB	19 dB		

Рисунок 11.13 Характеристика вытяжного вентилятора

Принимаем вытяжной вентилятор ADH 400L Стандарт.

## Шумоглушители

Шумоглушитель		Шумоглушитель 600 мм		OK		Отмена			
Размеры и вес		Техн. данные		Аксессуары					
Ширина разделит.	200 мм	Кол-во разделит.	4	Ск. воздуха	6,9 m/s				
Длина разделит.	600 мм			Потеря давл.	32 Pa				
Уровень шума		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Затухание		5 dB	7 dB	11 dB	17 dB	22 dB	19 dB	17 dB	11 dB

Рисунок 11.14 Характеристика шумоглушителя

В секциях шумоглушения, которые по конструкции аналогичны другим секциям центрального кондиционера, используются шумоглушители пластинчатого типа. Каркас пластин шумоглушителя из оцинкованной стали заполнен звукопоглощающим материалом толщиной не менее 100 мм. Поверхность пластин покрыта слоем волокна, устойчивого к высоким температурам, что и препятствует уносу частиц звукопоглощающего материала при скоростях воздуха не более 15 м/с. Подбор шумоглушителя производили в программе WinClim – длина секции составляет 600 мм.

## Переходы

Переход – короткий воздуховод для соединения между собой деталей воздуховодов разной формы или (и) размера. Например: переход с круглого на квадратный,

прямоугольный воздуховод. Производится в любом соотношении размеров, кроме случаев технологических ограничений.

### **Гибкая вставка**

Гибкая вставка предназначена для ограничения передачи вибрации от установки к воздуховоду. Гибкие вставки применяются в вентиляционных установках, перемещающих неагрессивные воздушные смеси в интервале температур от - 50 до + 80 °С и влажностью до 95%.

В курсовом проекте применяем 2 гибкие вставки размерами В=1020мм и Н=895мм. Конструктивную длину гибкой вставки принимаем 140 мм.

## **12. Конструирование СКВ**

Выбор и обоснование типа СКВ осуществляют на основе анализа условий функционирования кондиционируемого объекта. Исходя из количества помещений, предусматривают одно- или многозональные системы кондиционирования воздуха, а затем производят оценку возможности их применения.

В здании может быть запроектировано несколько систем кондиционирования. При распределении помещений по системам нужно иметь в виду следующее — отдельные системы предусматриваются в отдельных блоках, корпусах или других четко выраженных с архитектурно-планировочной точки зрения частях здания. В крупных отдельных помещениях со специфическим назначением, режимом эксплуатации и характером вредных выделений, например, торговых и спортивных залах, конференц-залах, столовых, гаражах и т.д. также проектируются отдельные системы. Производительность каждой приточной системы кондиционирования равна суммарному воздухообмену соответственно по притоку для всех помещений, обслуживаемых данной системой.

Воздуховоды, как правило, рекомендуются металлические из оцинкованной стали круглого сечения с прокладкой в пространстве подвесного потолка. При малой высоте этого пространства допускаются воздуховоды прямоугольного сечения с шириной, превышающей высоту, но не более чем в 3 раза. Оценку имеющихся возможностей по прокладке следует проводить, исходя из минимальной высоты подвесного потолка над полом, равной 2-4 м. В подвале, технических и подсобных помещениях воздуховоды можно прокладывать открыто.

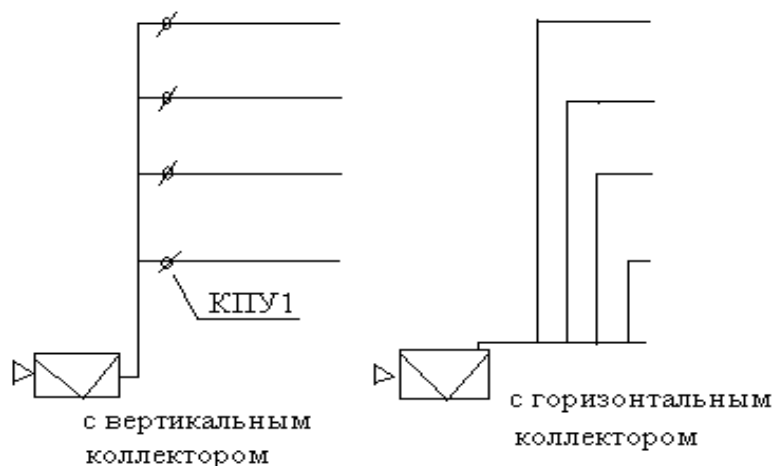
Рекомендуются две основные схемы разводки воздуховодов и размещения воздухораспределителей. В крупных помещениях типа залов, раздача воздуха осуществляется с потолка веерными струями в направлении рабочей зоны через плафоны (анемостаты). Плафоны располагаются, как правило, в центрах квадратов или прямоугольников, на которые разбивается помещение. В зависимости от соотношения сечения воздуховода и размера плафона присоединение плафона может быть непосредственным (через отвод) или через коробку. Пример расположения воздуховодов и воздухораспределителей на план этажа приведен на рисунке 12.1 (вытяжка осуществляется вдоль стен, а приток с центральной части помещения).

Количество плафонов первоначально выбирается из конструктивных соображений, а затем уточняется по расчету приточной струи. Вытяжка в таких помещениях обычно осуществляется через жалюзийные решетки РР, РС-Г и т.д. (с одинарными жалюзи), установленные в днище вытяжного воздуховода, совпадающего с подвесным потолком. Такой воздуховод прокладывается у внутренней стены помещения. Возможно осуществление вытяжки и в пространстве подвесного потолка — аналогично притоку

(рисунок 12.2) (приток и вытяжка предусмотрены в межпотолочном пространстве за подшивным потолком и располагаются равномерно по всей площади потолка). После расчета на плане указываются диаметры или сечения воздуховодов и типоразмеры воздухораспределителей. В кружках помещены номера помещений, а у кружков над и под дробной чертой – воздухообмен соответственно по притоку и по вытяжке, м<sup>3</sup>/ч. Полные правила оформления чертежей приведены в [8]. Подача воздуха в нижнюю часть помещения и удаление его с верхней зоны (рисунок 12.3)

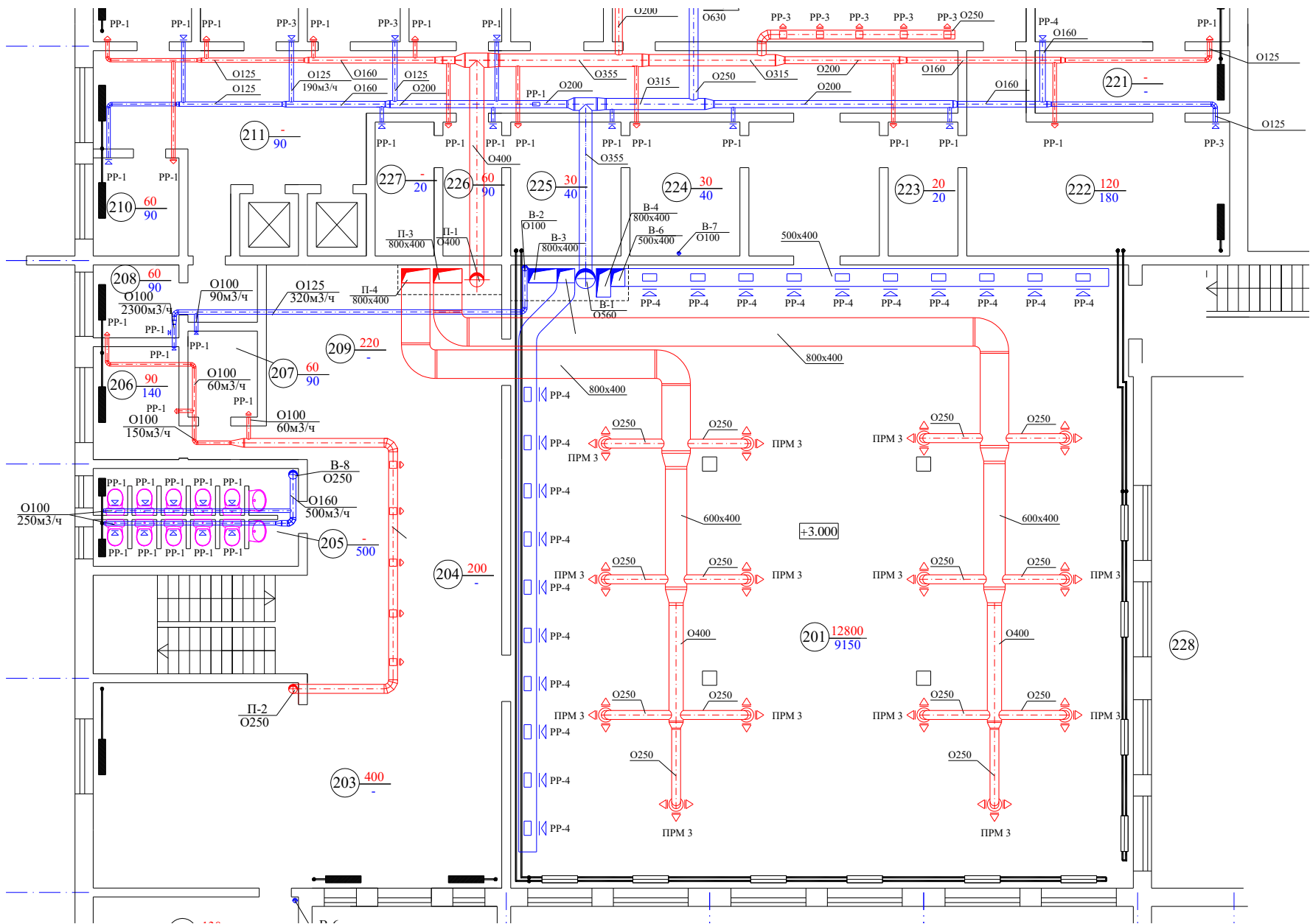
Для группы рядовых помещений, объединенных общим коридором, рекомендуется так называемая коридорная раздача. В этом случае магистральный приточный воздуховод прокладывается по коридору в пространстве подвесного потолка. От него к расположенным по обе стороны помещения подводятся ответвления, заканчивающиеся приточными устройствами. Как правило, в этом качестве используются воздухораспределительные устройства. Если сечение воздуховода и требуемый размер воздухораспределителя не совпадают, распределитель может присоединяться через коробку.

Вертикальные каналы прокладываются, как правило, во внутренних углах помещений, у стен или у колонн так, чтобы каналы можно было скрыть, не уменьшая ширину проходов (см. фрагменты плана, приведенного выше). Если система обслуживает помещения, расположенные на нескольких этажах, объединение этажных ветвей может осуществляться через общий вертикальный или горизонтальный коллектор. Способ соединения воздуховодов при этом показан на рисунке 12.5.



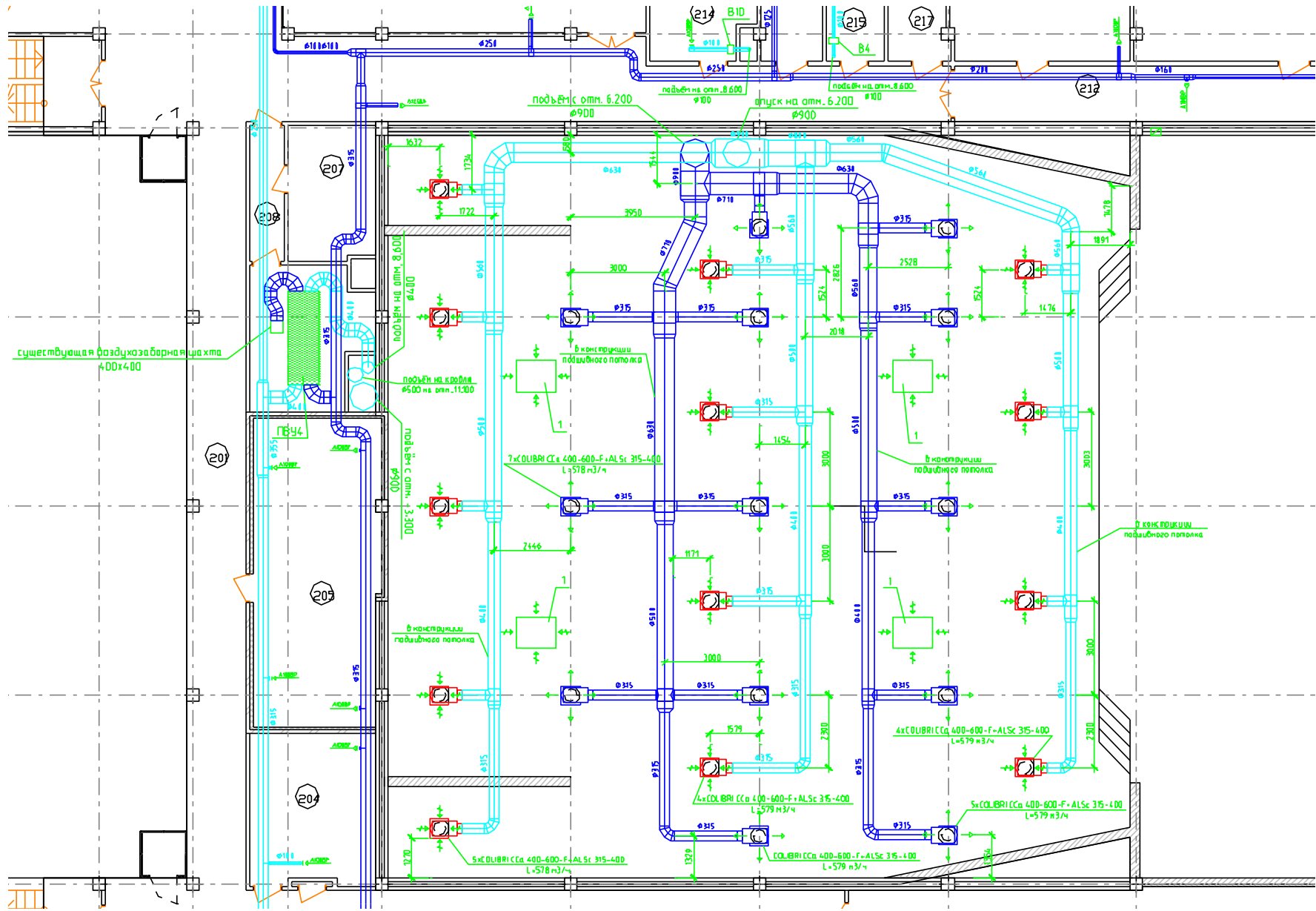
**Рисунок 12.5 – Способы соединения воздуховодов**

В схеме с вертикальным коллектором для предотвращения перетекания дыма при пожаре на поэтажных ответвлениях устанавливаются огнезадерживающие клапаны КПУ1, КОМ, КЛОП и т.д. Размер клапана совпадает с диаметром или сечением ответвления. В схеме с горизонтальным коллектором создается воздушный затвор в виде петли, поскольку дым должен сначала опуститься к коллектору (прямоугольный воздуховод большого сечения), а затем опять подняться на этаж. Однако такая схема более громоздка, т.к. требуется больше места для прокладки нескольких параллельных вертикальных каналов и для самого коллектора.

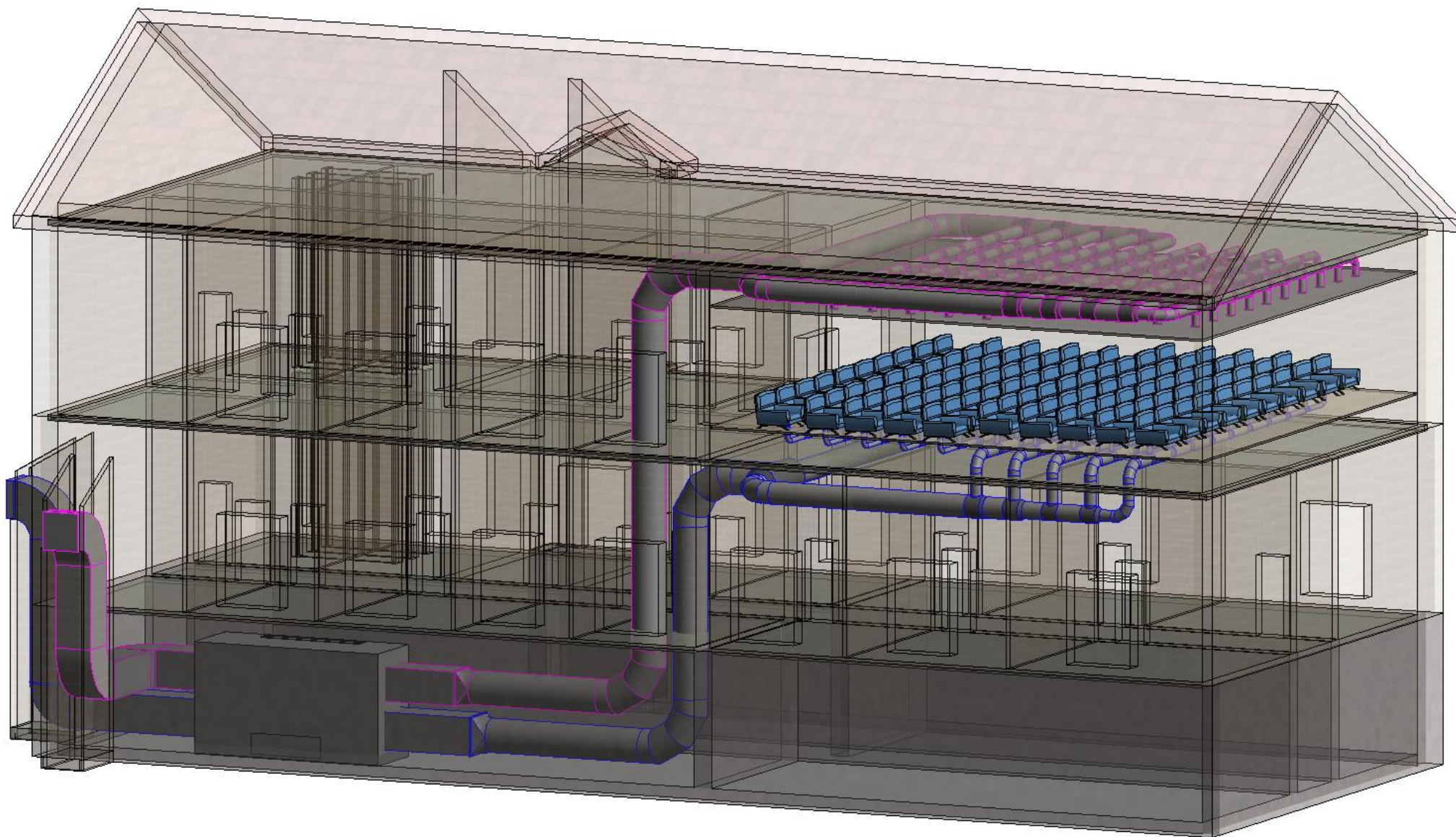


**Рисунок 12.1 – Схема разводки воздуховодов и размещения воздухораспределителей (удаление воздуха вдоль стен, а приток по всей площади потолка)**





**Рисунок 12.2 – Схема разводки воздуховодов и размещения воздухораспределителей (приток и удаление воздуха осуществляются равномерно по всей площади потолка)**



**Рисунок 12.3 – Схема разводки воздуховодов и размещения воздухораспределителей (приток предусмотрен в нижнюю зону помещения, а удаление осуществляется с верхней части помещения)**



### 13. Расчёт и подбор местной системы кондиционирования воздуха

Охлаждение внутренних помещений — это основная функция местной системы кондиционирования воздуха, поэтому выбор кондиционера определяется в первую очередь мощностью охлаждения. В свою очередь, необходимая мощность кондиционера напрямую зависит от размеров помещения, которое требуется охладить.

Правильный выбор мощности бытового кондиционера очень важен. Если мощность кондиционера недостаточна, то он просто не сможет выполнять свою работу — создавать прохладу в помещении (по крайней мере, в жаркую погоду). Но и избыточная мощность нежелательна. Во-первых, чем кондиционер мощнее, тем он дороже и расходует больше электроэнергии. Во-вторых, он будет часто включаться и выключаться, а в результате его срок службы уменьшится.

Используют два способа определения необходимой мощности кондиционера:

- *Примерная мощность кондиционера* — принимается 1 кВт мощности охлаждения на 25-30 м<sup>3</sup> помещения или 1 кВт мощности охлаждения на 10 м<sup>2</sup>.
- *Расчет мощности кондиционера с учетом особенностей помещения и его использования* — более точно необходимую мощность кондиционера можно посчитать исходя из площади помещения и его особенностей, с помощью учета дополнительных теплопритоков, теплопотерь и воздухообмена.

Если нужен недорогой кондиционер и не очень важен уровень шума, можно выбрать оконные кондиционеры — самый дешевый и простой тип кондиционера. Оконный кондиционер очень надежен, а его монтаж прост и не требует высокой квалификации монтажников.

Настенный кондиционер (сплит-систему) выбирают чаще всего за низкий уровень шума, маленькие размеры внутреннего блока и большое разнообразие функций. Он подходит и для офиса, и для жилой комнаты. Именно в настенных кондиционерах в основном устанавливаются ионизаторы воздуха, самые совершенные фильтры, системы обогащения кислородом.

Если нужно, чтобы кондиционер был абсолютно незаметен в помещении, подойдет:

- канальный кондиционер. Он раздает кондиционированный воздух по сети воздуховодов. В самих помещениях размещаются только практически незаметные воздуховыпускные отверстия.
- кассетный кондиционер. У кондиционеров этого типа видны только декоративные решетки в ячейках подвесного потолка. Сам же внутренний блок находится за подвесным потолком.

Напольно-потолочный кондиционер похож по конструкции на настенный, только мощность больше (рассчитан на площадь до 160 м<sup>2</sup>). Крепится к потолку, а некоторые модели можно и устанавливать вертикально на пол у стены. Устанавливается обычно, если в помещении нет подвесного потолка.

Мощность (точнее, мощность охлаждения) является основной характеристикой любого кондиционера. Ориентировочный расчет мощности охлаждения  $Q$  производится по общепринятой методике. Для того чтобы правильно подобрать кондиционер, необходимо вычислить теплопоступления, которые он должен погасить. Мощность кондиционера должна перекрывать их максимальное значение, которое рассчитывается по формуле:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (13.1)$$

где  $Q_1$  – теплопоступления от солнечной радиации (теплопритоки от окна, стен, и потолка), Вт.

$$Q_1 = S \cdot h \cdot q \quad (12.2)$$

где  $S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$h$  – высота помещения, м;

$q$  – коэффициент, Вт/м<sup>3</sup>, равный:

$q = 30$  для затененного помещения, в помещение не попадают прямые солнечные лучи (северная сторона здания);

$q = 35$  для обычных условий при средней освещенности;

$q = 40$  для помещений, в которые попадает много солнечного света (если помещение имеет большое остекление с солнечной стороны).

Если в помещение попадают прямые солнечные лучи, то на окнах должны быть светлые шторы или жалюзи. Расчет по этой методике применим для квартир и небольших офисов, в других случаях погрешности могут быть слишком велики.

$Q_2$  – теплопоступления от находящихся в помещении людей, Вт.

Один человек (взрослый) в зависимости от рода занятий выделяет:

- Отдых в сидячем положении – 120 Вт.
- Легкая работа в сидячем положении – 130 Вт.
- Умеренно активная работа в офисе – 140 Вт.
- Легкая работа стоя – 160 Вт.
- Легкая работа на производстве – 240 Вт.
- Медленные танцы – 260 Вт.
- Работа средней тяжести на производстве – 290 Вт.
- Тяжелая работа – 440 Вт.

$Q_3$  – теплопоступления от офисного оборудования, бытовой кухонной техники, Вт.

Теплопритоки от приборов:

- Компьютер – 300-400 Вт.
- Лазерный принтер – 400 Вт.
- Копировальный аппарат – 500-600 Вт.
- Телевизор – 100-200 Вт.
- Кофеварка с греющей поверхностью – 300 Вт.
- Кофемашина и электрочайник – 900-1500 Вт.
- Электроплита – 900-1500 Вт на 1 м<sup>2</sup> верхней поверхности.
- Газовая плита – 1800-3000 Вт 1 м<sup>2</sup> верхней поверхности.
- Тостер – 1100-1250 Вт.
- Вафельница – 850 Вт.

При наличии вытяжного зонта, теплопоступления от плиты делятся на 1,4. При расчете теплопоступлений от бытовой кухонной техники необходимо учитывать, что все приборы сразу никогда не включаются. Поэтому берется наивысшая для данной кухни комбинация. Например, две из четырех конфорок на плите и электрочайник.

Для других приборов можно считать, что они выделяют в виде тепла 30% от максимальной потребляемой мощности (то есть предполагается, что средняя потребляемая мощность составляет 30% от максимальной).

$Q_4$  – тепlopоступления от системы отопления, Вт.

В ряде случаев, в высоких зданиях с большой площадью остекления, кондиционирование бывает необходимо уже в марте, когда отопительный сезон еще не закончен. В этом случае в расчете необходимо учитывать теплоизбытки от системы отопления, которые можно принять равными 80-125 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади. В этом случае надо учитывать не тепlopоступления от внешних стен, а тепlopотери, которые можно принять равными 18 Вт на 1 м<sup>2</sup>.

Мощность выбранного кондиционера должна лежать в диапазоне от –5% до +15% расчетной мощности  $Q$ . Расчет кондиционера по этой методике является не слишком точным и применим только для небольших помещений в капитальных зданиях: квартир, отдельных комнат коттеджей, офисных помещений площадью до 50-70 м<sup>2</sup>. Для административных, торговых и промышленных объектов используются другие методики, учитывающие большее количество параметров.

*Учет притока свежего воздуха от приоткрытого окна*

Приведённая выше методика расчёта мощности кондиционера предполагает, что кондиционер работает при закрытых окнах и свежий воздух в комнату не поступает. В инструкции к кондиционеру обычно также говорится о том, что эксплуатировать его необходимо при закрытых окнах, иначе наружный воздух, попадая в помещение, будет создавать дополнительную тепловую нагрузку. Следуя инструкции, пользователю приходится периодически отключать кондиционер, проветривать помещение и снова включать его. Это создает определенные неудобства, поэтому возможно ли сделать так, чтобы и кондиционер работал, и воздух был свежим.

Для начала нужно разобраться, почему кондиционер может эффективно работать вместе с приточной вентиляцией, но не может с открытым окном. Дело в том, что система вентиляции имеет вполне определенную производительность и подает в помещение заданный объём воздуха, поэтому при расчете мощности кондиционера можно легко учесть эту тепловую нагрузку. С открытым окном ситуация иная, ведь объём воздуха, попадающий через него в комнату, никак не нормируется, и дополнительная тепловая нагрузка неизвестна. Эту проблему можно попробовать решить, установив окно в режим «зимнего» проветривания (приоткрыв форточку) и закрыв в комнате дверь. Тогда в помещении не будет сквозняков, но небольшое количество свежего воздуха будет постоянно поступать внутрь. Но работа кондиционера с приоткрытым окном не предусмотрена инструкцией, поэтому гарантировать нормальную работу кондиционера в таком режиме нельзя. Тем не менее, во многих случаях такое техническое решение позволит поддерживать в помещении комфортные условия без периодического проветривания. Если планируется использовать кондиционер в таком режиме, то необходимо учесть следующее — мощность  $Q_1$  должна быть увеличена на 20-25% для компенсации тепловой нагрузки от приточного воздуха. Эта величина получена исходя из однократного дополнительного воздухообмена при температуре 33°C и влажности наружного воздуха 50% и температуре внутреннего воздуха 22°C. Потребление электроэнергии возрастет на 10-15%. Это является одной из основных причин запрета эксплуатации кондиционеров при открытых окнах в офисах, отелях и других общественных помещениях. В некоторых случаях тепlopотоки могут оказаться

слишком большими (например, при очень жаркой погоде) и кондиционер не сможет поддерживать заданную температуру. В этом случае окно нужно закрыть.

*Желательно выбрать инверторный кондиционер, поскольку он имеет переменную мощность охлаждения и будет эффективно работать в широком диапазоне тепловых нагрузок. Обычный (не инверторный) кондиционер увеличенной мощности из-за специфики своей работы может создавать некомфортные условия, особенно в небольшом помещении.*

Отношение мощности охлаждения к потребляемой мощности является показателем энергетической эффективности кондиционера, которая имеет обозначение коэффициента ERR (Energy Efficiency Ratio) в технических каталогах. Ещё один показатель — COP (Coefficient of Performance — то есть тепловой коэффициент) равняется отношению мощности обогрева к мощности потребления.

Коэффициент ERR сплит-систем бытового назначения обычно находится в диапазоне параметре от 2,5 до 3,5, а COP — от 2,8 до 4,0. Значение COP существенно выше чем ERR. Объясняется это тем, что во время работы компрессор подвергается нагреванию и фреону передает дополнительно тепло. Именно потому кондиционерами всегда выделяется больше тепла, чем холода. Таким фактом довольно часто пользуются недобросовестные изготовители, указывая в рекламе для свидетельства высокой энергетической эффективности своих кондиционеров вместо коэффициента ERR — COP. Для обозначения энергетической эффективности бытовой техники имеются семь категорий, которые обозначаются буквами от А (наилучшей) до G (наихудшей). Кондиционеры из категории А обладают  $ERR > 3,2$  и  $COP > 3,6$ , а кондиционеры из категории

G	—	ERR	<	2,2	и
Значение EER (режим охлаждения)					
A	EER > 3,2				
B	EER > 3,0				
C	EER > 2,8				
D	EER > 2,6				
E	EER > 2,4				
F	EER > 2,2				
G	EER ≤ 2,2				
		Значение COP (режим нагрева)			
		A	COP > 3,6		
		B	COP > 3,4		
		C	COP > 3,2		
		D	COP > 2,8		
		E	COP > 2,6		
		F	COP > 2,4		
		G	COP ≤ 2,4		

$COP < 2,4$ .

**Рисунок 13.1 – Значения энергетической эффективности в режиме охлаждения и нагрева**

Следует отметить, что потребляемая мощность и мощность охлаждения, как правило, измеряются по стандарту ISO 5151 (внутри помещения температура 27°C, а снаружи 35°C). В случае изменения этих условий КПД кондиционера и мощность будут меньше (например, при температуре воздуха снаружи равной минус 20°C, показатель мощности кондиционера составит лишь 30% от её номинала).

Кондиционеры из модельного ряда (таблица 13.1) часто называют «7» (семерка), «9» (девятка), «12», «18» «24» и даже маркировка кондиционеров выполняется с использованием этих чисел, которые отражают мощность кондиционера не в киловаттах,

а в БТЕ/час. Связано это с тем, что первые кондиционеры появились в США, где до сих пор используется британская система единиц (дюймы, фунты). Для удобства покупателей мощность кондиционера выражалась в круглых цифрах: 7000 BTU/h, 9000 BTU/h и т. д. Эти же цифры использовались при маркировке кондиционера, чтобы по названию можно было легко определить его мощность. Однако некоторые производители, например Daikin, привязывают названия моделей к мощности, выраженной в ваттах.

Таблица 13.1. Соответствие модельных рядов и мощности кондиционера в BTU и кВт

Модельный ряд	BTU	кВт
7	7000	2,1
9	9000	2,6
12	12000	3,5
18	18000	5,3
24	24000	7,0
28	28000	8,2
36	36000	10,6
42	42000	12,3
48	48000	14,0
54	54000	15,8
56	56000	16,4
60	60000	17,6

БТЕ (BTU) — Британская Тепловая Единица (British Thermal Unit). 1000 БТЕ/час = 293 Вт.

Существуют и более точные методики расчета, учитывающие широту и долготу города, для которого производится расчет, материалы из которого сделаны стены здания и толщину этих слоев, облицовку, наличие утепления, тип остекления, наличие штор или жалюзи и многие другие нюансы. Наиболее подробной является методика, изложенная в пособии 2.91 к СНиП 2.04.05-91 «Расчет поступления теплоты солнечной радиации в помещениях». Многие производители климатической техники предлагают автоматизированный расчёт параметров по своей, либо по стандартной методике. Например, методика по СНиП 2.04.05-91 реализована в виде программы, которая находится в открытом доступе на сайте Mitsubishi Electric [6]. Программа позволяет проводить вычисления в режиме on-line, выдавая результат в виде удобных таблиц, показывающих почасовые поступления тепла в помещение.

### 13.1. Пример расчета мощности местного кондиционера

Рассчитаем мощность кондиционера для жилой комнаты площадью 26 м<sup>2</sup> с высотой потолков 2,75 м в которой проживает один человек, а также есть компьютер, телевизор и небольшой холодильник с максимальной потребляемой мощностью 165 Вт. Комната расположена на солнечной стороне.

Сначала определим теплопритоки от окна, стен, пола и потолка. Коэффициент  $q$  выберем равным 40 Вт/м<sup>3</sup>, так как комната расположена на солнечной стороне:

$$Q_1 = S \cdot h \cdot q = 26 \cdot 2,75 \cdot 40 = 2860 \text{ Вт}$$

Теплопритоки от одного человека в спокойном состоянии составят 120 Вт.

$$Q_2 = 120 \text{ Вт}$$

Далее, найдем теплопритоки от бытовой техники. Если таковой много, то принимаем, что все они одновременно не работают, поэтому в расчетах необходимо учитывать только один из этих приборов, а именно тот, который выделяет больше тепла.



В нашем случае компьютер и телевизор могут одновременно работать, суммарные тепловыделения составят 500 Вт. Холодильник выделяет в виде тепла около 30% максимальной потребляемой мощности, то есть  $165 \text{ Вт} \cdot 0,3 \approx 50 \text{ Вт}$ .

$$Q_3 = 500 + 50 = 550 \text{ Вт}$$

Теперь можно определить расчетную мощность кондиционера:

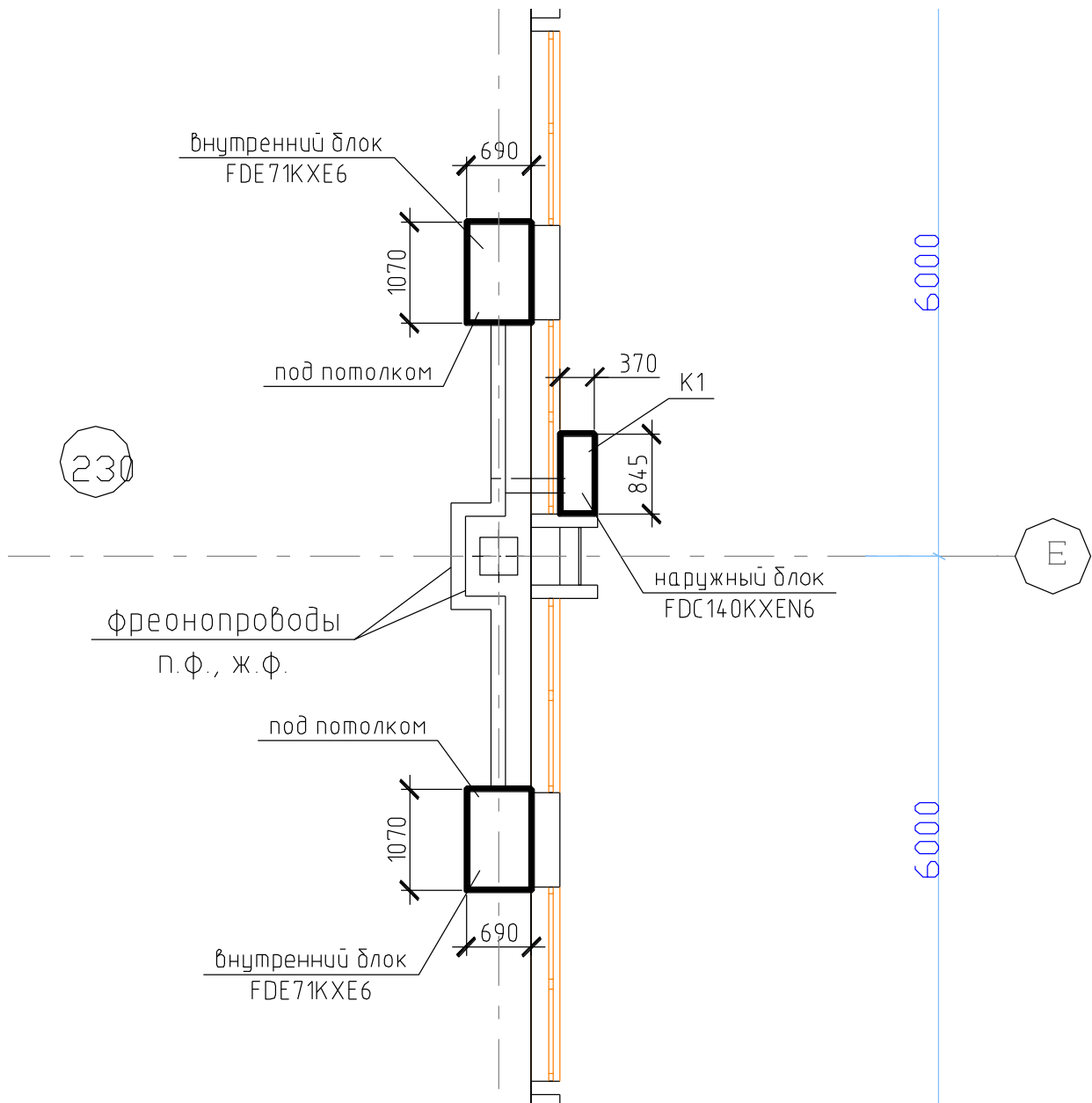
$$Q = 2860 + 120 + 550 = 3530 \text{ Вт}$$

Рекомендуемый диапазон мощности  $Q_{\text{рек}}$  (от  $-5\%$  до  $+15\%$  расчетной мощности  $Q$ ):

$$3350 \text{ Вт} < Q_{\text{рек}} > 4060 \text{ Вт}$$

Осталось выбрать модель подходящей мощности. Большинство производителей выпускает сплит-системы с мощностями, близкими к стандартному ряду: 2,1 кВт; 2,6 кВт; 3,5 кВт; 5,3 кВт; 7,0 кВт. Из этого ряда выбираем модель мощностью 3,5 кВт.

На рисунке 13.1 для примера показано размещение оборудования кондиционера: для кондиционирования воздуха в небольшом лекционном зале спроектирован инверторный мультизональный кондиционер фирмы Mitsubishi с одним наружным и двумя внутренними блоками.

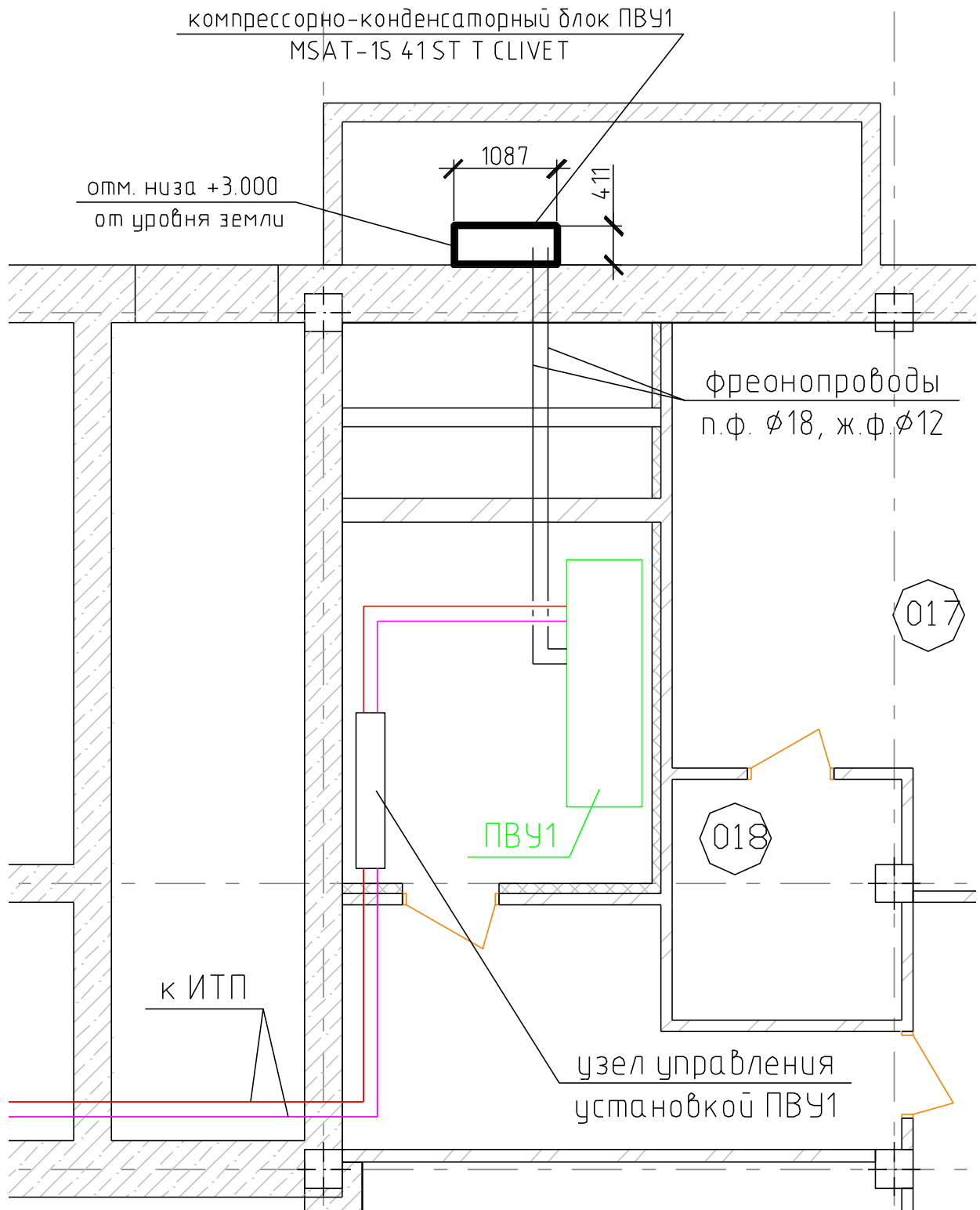


**Рисунок 13.2 – Расположение элементов кондиционера мультисплит-системы**

# Приложение 1

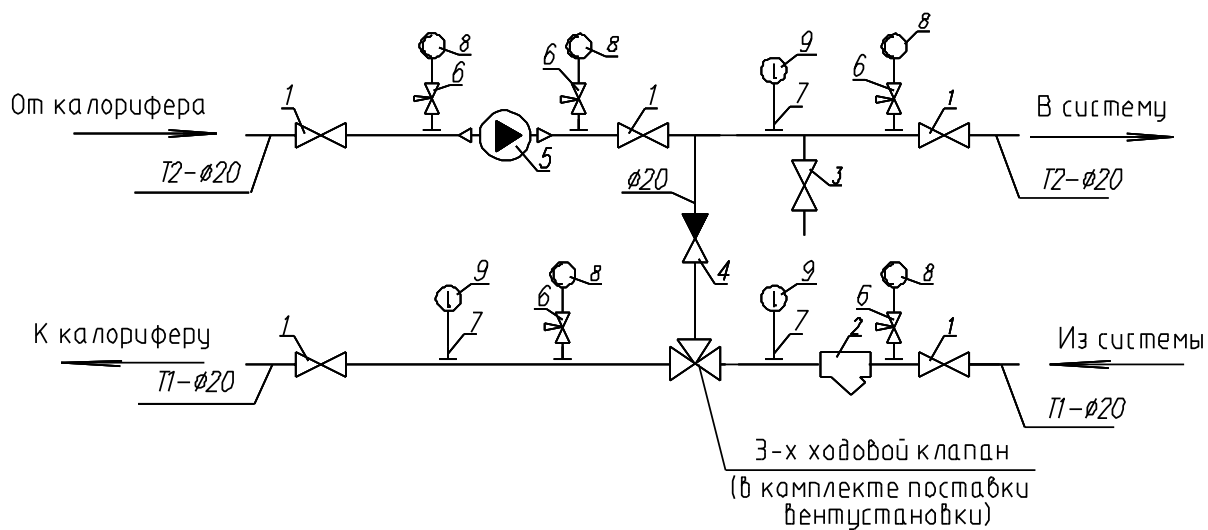
## Пример расположения наружного блока (конденсатора) и узла управления приточно-вытяжной установкой

Для кондиционирования воздуха в агрегате ПВУ1 запроектированы фреоновые охладители, в качестве холодильных машин для них приняты компрессорно-конденсаторные блоки воздушного охлаждения с осевыми вентиляторами фирмы CLIVET (Италия).



## Приложение 2

### Пример узла теплоснабжения калорифера агрегата ПВУ1.



Марка, поз	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примечание
1	Кран шаровой муфтовый DN 20	5		
2	Фильтр осадочный муфтовый DN 20	1		
3	Кран шаровой муфтовый DN 15	1		
4	Клапан обратный муфтовый DN 20	1		
5	Насос Wilo-Star-RS 25/6	1		
	$G=0,35\text{ м}^3/\text{ч}$ $H=4,0$ м в.ст.			
	$N=39$ Вт, $n=2550$ об/мин			
6	Отборное устройство ОУ 16-225П с краном трехходовой натяжным муфтовым 11Б18бк для манометра	5		
7	Закладная конструкция для оправы термометра	3		
8	Манометр технический МТ-100	5		
9	Термометр стеклянный технический ТТЖ-М (0...150°C) с защитной оправой	3		

## Литература

1. СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск, 2020.
2. ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М, 1999.
3. СНИП 41–01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование (носит рекомендательный характер).
4. Методическое пособие к курсовым проектам по вентиляции «Расчет поступлений и потерь теплоты для помещений общественных и промышленных зданий». В.П. Пилюшенко, Минск, 1996.
5. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование/ под ред. Б.М. Хрусталева – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 784 с., 183 ил.
6. <http://www.mitsubishi-aircon.ru/software/online.shtml>
7. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн.1./под ред. Н.Н. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн.2. / Под ред. Н.Н.Павлова и Ю.И.Шиллера. – М.: Стройиздат, 1992. – 416 с.
8. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: Учеб. пособие/ П.И.Дячек. – М.: Издательство АСВ, 2017. – 676 с.
9. СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск, 2004. (носит рекомендательный характер)

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

### *Лабораторная работа № 1* ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

#### *Цель работы*

Изучить различные способы определения параметров влажного воздуха.

#### *Задача работы*

1. Изучить устройство и принцип действия приборов для измерения относительной влажности воздуха.
2. Провести замеры параметров влажного воздуха с помощью различных приборов.
3. Провести сравнение замеренных параметров воздуха с полученными графическим и аналитическим путем.

#### *Инструменты и оборудование*

Электрокалорифер, психрометры, гигрометры, барометр.

#### *Порядок проведения работы*

1. За 15–20 минут до проведения опыта включить электрокалорифер.
2. Изучить устройство приборов для измерения относительной влажности воздуха.
3. Произвести замеры параметров воздуха на входе и выходе из калорифера не менее трех раз с интервалом 15 минут.
4. Усреднить результаты опыта и полученные величины занести в табл. 2.1.

#### *Обработка результатов измерений*

1. На  $i, d$ -диаграмму влажного воздуха по известным параметрам  $t$  и  $\varphi$  нанести точки, характеризующие состояние воздуха перед и за калорифером и графически определить остальные параметры воздуха ( $p_n$ ,  $p'_n$ ,  $d$ ,  $i$ ,  $t_p$ ) (рис. 1.2).

2. Используя результаты измерений, психрометрическую таблицу влажного воздуха (прил. 5) и уравнения связи между термодинамическими параметрами влажного воздуха (см. разд. 1.2), *аналитически* определить  $p_n$ ,  $d$ ,  $i$  по следующим формулам:

$$p_n = \varphi p'_n, \quad (2.1)$$

$$d = 0,622 \frac{\varphi p'_n}{p_6 - \varphi p'_n}, \quad (2.2)$$

$$i = t_c + (1,89t_c + 2500)d. \quad (2.3)$$

3. Результаты вычислений занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты обработки опытных данных

№ опыта	Средние за режим значения параметров воздуха	Опытные данные			Искомые параметры						Способ определения
		$t_c$ , °C	$\varphi$ , %	$P_{6a}$ , Па	$p_n$ , Па	$p''_n$ , Па	$t_p$ , °C	$t_m$ , °C	$d$ , г/кг	$i$ , кДж/кг	
	На входе в калорифер										Графический
											Аналитический
	На выходе из калорифера										Графический
											Аналитический

4. После заполнения таблицы необходимо проанализировать полученные данные:

- оценить сходимость значений термодинамических параметров, найденных различным способом;
- по изменению температуры, влагосодержания и энтальпии воздуха сделать вывод о характере изменения состояния влажного воздуха в процессе нагрева его в калорифере;

– на основе сопоставления полученных расчетных и графических данных сделать вывод о качестве проделанной работы.

*Контрольные вопросы*

1. Какие величины относятся к параметрам влажного воздуха?
2. Что такое диаграмма влажного воздуха Л.К. Рамзина?
3. Как изображаются на  $i,d$ -диаграмме процессы изменения состояния влажного воздуха?
4. Какие существуют способы измерения относительной влажности воздуха?
5. Как с помощью  $i,d$ -диаграммы определить параметры влажного воздуха?

***Лабораторная работа № 2***  
***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ***  
***ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО ВЕНТИЛЯТОРА***

*Цель работы*

Изучение устройства вентиляторов и снятие характеристик вентилятора и сети воздухопроводов.

*Задача работы*

Экспериментальное определение характеристик центробежного вентилятора: производительности  $L$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), напора  $H$  (Па), потребляемой мощности на валу электродвигателя  $N$  (кВт), характеристики сети  $H_c = f(L)$ , а также параметров рабочей точки.

*Описание экспериментальной установки*

Установка, изображенная на рис. 2.1, состоит из центробежного вентилятора 1, смонтированного на одном валу с электродвигателем постоянного тока 2. Двигатель постоянного тока дает возможность легко изменять число оборотов вентилятора.



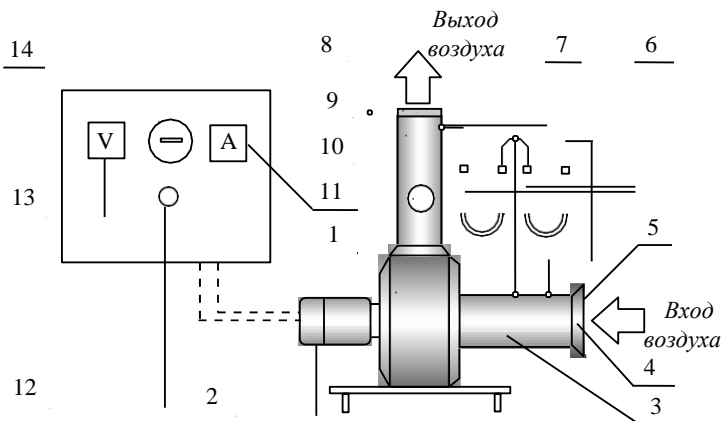


Рис. 2.1. Схема экспериментальной установки: 1 – вентилятор; 2 – электродвигатель; 3 – всасывающая труба; 4 – раструб; 5 – сетка; 6 – дифференциальные манометры; 7 – трубка Пито-Прандтля; 8 – диафрагма; 9 – нагнетательная труба; 10 – анемометр; 11 – амперметр; 12 – ручка тахометра; 13 – вольтметр; 14 – счетчик электроэнергии

К вентилятору присоединены всасывающий воздуховод 3 и нагнетательный воздуховод 9. На входе всасывающего воздуховода имеется плавный конфузор 4, за которым установлена сетка 5 для предохранения от засасывания в воздуховод посторонних предметов. На стороне нагнетания воздуха установлены направляющие для сменных диафрагм 8, позволяющих изменять площадь выходного отверстия и, следовательно, сопротивление нагнетательного воздуховода.

На измерительном щите и воздуховодах установлены следующие контрольно-измерительные приборы:

- вольтметр 13 и амперметр 11 для определения напряжения и силы тока;
- трубки Пито-Прандтля 7, соединенные с дифференциальными манометрами 6. Разность уровней воды в коленах дифманометра, выраженная в мм, соответствует перепаду давлений в мм вод. ст. (1 мм вод. ст. = 9,81 Па).

### Порядок проведения работы

1. Включить вентиляторную установку.
2. Для получения характеристик вентилятора, т. е.

$$H = f(L), \quad N = f(L), \quad \eta = f(L), \quad (2.4)$$

провести серию наблюдений при постоянном числе оборотов, но при разных сопротивлениях воздухопроводов, т. е. при разных диафрагмах  $\delta$ . Скорость воздуха измеряется чашечным анемометром. Давление  $H$  замеряют дифференциальным манометром  $\delta$ .

3. Для получения характеристики сети  $H_c = f(L)$  наблюдения проводят при установке какой-либо одной диафрагмы, т. е. при постоянной геометрической характеристике сети и переменном расходе воздуха. Расход воздуха регулируется изменением числа оборотов электродвигателя.

4. Необходимые для построения характеристик значения  $H$ ,  $L$ ,  $N$ ,  $H_c$  определяют во время испытаний путем снятия показаний контрольно-измерительных приборов и последующей соответствующей обработки результатов измерений. Все измерения вносят в табл. 2.2.

Технические характеристики вентиляторов приводятся для стандартных условий чистого воздуха при барометрическом давлении.

Производительность  $L$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) определяется объемом газа, подаваемым вентилятором в единицу времени.

Напор  $H$  (Па) характеризует развиваемое вентилятором полное давление.

Полезная мощность  $N_n$  (кВт), передаваемая газу, определяется как

$$N_n = \frac{LH}{3600 \cdot 1000}. \quad (2.5)$$

Потребная мощность на валу электродвигателя  $N$  (кВт) рассчитывается по формуле

$$N = \frac{LH}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta}, \quad (2.6)$$

где  $\eta$  – КПД вентилятора.

Таблица 2.2

**Опытные значения величин по испытанию центробежного вентилятора**

№ опыта	Число оборотов $n$	Положение диафрагмы	Показания приборов				Расчетные величины				
			$H$	$\omega$	$I$	$U$	$L$	$N$	$N_{п}$	$\eta$	
	об/мин		мм рт. ст.	Па	м/с	А	В	м <sup>3</sup> /ч	кВт	кВт	
Характеристика вентилятора											
Характеристика сети											

При испытании вентиляторов обычно определяют производительность  $L$ , напор  $H$  и вычисляют КПД вентилятора. Получаемые при постоянном числе оборотов колеса вентилятора зависимости

$$H = f(L), \quad N = f(L), \quad \eta = f(L) \quad (2.7)$$

изображают в виде графиков, которые называются характеристиками вентилятора.

Характеристики вентиляторов, построенные для различных чисел оборотов, используются при исследовании работы вентиляторов и при проектировании систем воздухораспределения в помещениях с различными типами СКВ.

При подборе вентилятора для какой-либо сети воздуховодов необходимо построить характеристику этой сети, т. е. иметь зависимость сети  $H_{\varepsilon} = f(L)$ .

Все результаты измерений необходимо занести в таблицу опытных величин (табл. 2.2). Для дальнейшего использования экспериментальных данных определяют средние значения замеренных величин (они также заносятся в табл. 2.2) и строят

на миллиметровке следующие зависимости:  $H = f(L)$ ,  
 $N = f(L)$ ,  $H_{\epsilon} = f(L)$ ,  $\eta = f(L)$ .

Это позволит графически определить рабочую точку при совместной работе вентилятора и системы воздухопроводов.

Положение рабочей точки позволяет оценить эффективность использования вентилятора в данных условиях и получить действительные значения расходов воздуха, напора, развиваемого вентилятором, а также его мощности.

#### *Обработка результатов измерений*

1. Вычисляется мощность, потребляемая вентилятором:

$$N = 10^{-3}UI, \quad (2.8)$$

где  $U$  – напряжение, В;  
 $I$  – сила тока, А.

2. Вычисляется мощность на валу вентилятора:

$$N_{\eta} = N\eta, \quad (2.9)$$

где  $\eta$  – КПД электродвигателя (задается преподавателем).

3. Определяется производительность вентилятора  $L$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) из уравнения расхода для всасывающего воздуховода:

$$L = 3600\omega F, \quad (2.10)$$

где  $\omega$  – скорость воздуха во всасывающем трубопроводе, м/с;  
 $F$  – площадь поперечного сечения всасывающего воздуховода,  $\text{м}^2$ .

4. Определяется полезная мощность вентилятора, передаваемая воздуху:

$$N_n = \frac{LH}{60 \cdot 1000}, \quad (2.11)$$

где  $H$  – напор, характеризующий развиваемое вентилятором полное давление, Па (замеряется с помощью дифференциального манометра).

5. Определяется КПД вентилятора:

$$\eta = \frac{N_n}{N}. \quad (2.12)$$

6. Расчет значений заносят в табл. 2.2.

7. Используя данные таблицы 2.2, строят графические зависимости:

$$H = f(L), \quad N = f(L), \quad \eta = f(L), \quad H_c = f(L).$$

8. Определяют параметры рабочей точки путем пересечения графических зависимостей  $H = f(L)$  и  $H_c = f(L)$  (рис. 2.2).

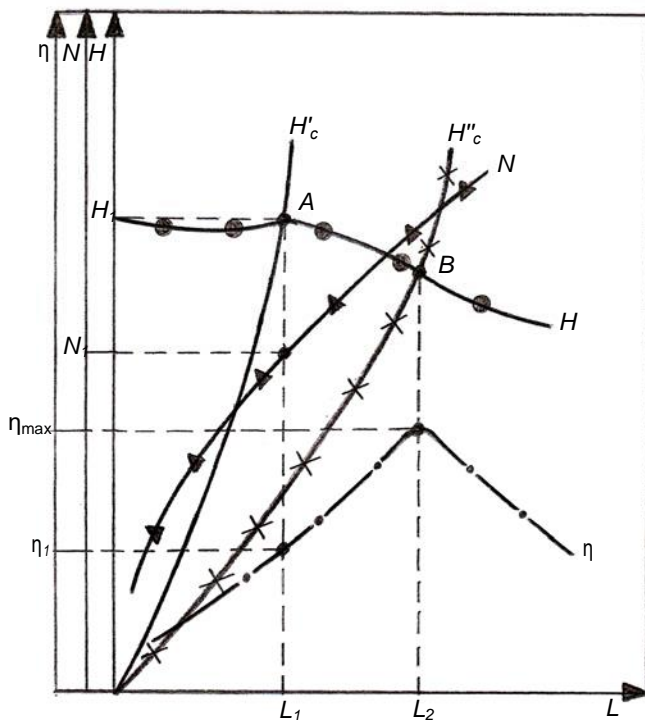


Рис. 2.2. Совместные характеристики вентилятора и сети

Если положение рабочей точки (рис. 2.2) соответствует точке  $A$ , то это говорит о том, что вентилятор работает с КПД, которое значительно меньше своего максимального значения  $\eta_{\max}$ , и система воздухопроводов имеет большие сопротивления ( $H_c$ ). Если положение рабочей точки на рис. 2.2 соответствует

точке  $B$ , то такая сеть ( $H_c^*$ ) позволяет обеспечить более эффективную работу вентилятора.

9. Делают выводы о правильности подбора вентилятора для различных характеристик сети.

*Контрольные вопросы*

1. Какие параметры характеризуют работу центробежного вентилятора?
2. От чего зависит полное сопротивление воздуховода при движении в нем воздуха?
3. Как определяется производительность вентилятора?
4. Как находят среднюю скорость в воздуховоде?
5. Как определяется полезная мощность, необходимая для создания напора?
6. Что такое КПД вентилятора?

***Лабораторная работа № 3***  
***ИЗУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ***  
***АВТОНОМНОГО КОНДИЦИОНЕРА***

*Цель работы*

Ознакомление с устройством автономных агрегатированных кондиционеров.

*Задача работы*

1. Изучить устройство автономного кондиционера БК-1500, определить его производительность по воздуху и холодопроизводительность.
2. Изучить устройство автономного кондиционера КТА1-2-04.

*Описание экспериментальной установки*

На рис. 1.29 (см. разд. 1.7) приведено устройство кондиционера БК-1500. Внутренняя перегородка 7 делит кондиционер на два отсека. В наружном отсеке размещается герметич-

ный компрессор 12, воздушный конденсатор 13, рабочее колесо осевого вентилятора 1. Во внутреннем отсеке размещается испаритель 5, рабочее колесо центробежного вентилятора 4, панель управления 8. Все конструктивные элементы кондиционера заключены в общем кожухе 14.

Кондиционер устанавливают в оконном проеме таким образом, что наружный отсек сообщается с атмосферным (наружным) воздухом, а внутренний отсек – с обслуживаемым помещением. Наружный воздух обдувает конденсатор 13, а воздух помещения охлаждается в испарителе-воздухоохладителе 5.

Необходимой принадлежностью данной лабораторной установки является психрометр.

На рис. 1.33 (см. разд. 1.7) приведено устройство автономного кондиционера КТА1-2-04. Он состоит из корпуса 1, в нижней части которого установлена холодильная машина 5. В средней части кондиционера размещены: фильтр воздушный 4, воздухоохладитель 3, воздухонагреватель 2, пульт управления 6. В верхней части кондиционера установлен центробежный вентилятор 7.

#### *Порядок проведения лабораторной работы*

1. Изучить правила техники безопасности.
2. С кондиционера БК-1500 снимают лицевую панель и верхнюю крышку корпуса.
3. Изучают устройство кондиционера и составляют его принципиальную схему.
4. По окончании изучения лицевую панель и верхнюю крышку кожуха монтируют на место.
5. Включается кондиционер и электрокалорифер, установленный за кондиционером.
6. Через 10 минут после включения измеряется температура воздуха по сухому и мокрому термометру на входе и выходе кондиционера.
7. Определяют с помощью анемометра скорость движения воздуха, выходящего из кондиционера. Результаты замеров заносят в табл. 2.3.

## Результаты измерения опытных величин

№ п/п	Температура воздуха на входе в кондиционер		Температура воздуха на выходе из кондиционера		Скорость воздуха $\omega$ , м/с	Продолжительность опыта $\tau$ , с	Количество сконденсировавшейся влаги $W$ , кг/кг
	$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_c, ^\circ\text{C}$			

8. Определяют с помощью сборника массу выпавшего конденсата. Фиксируют продолжительность опыта.
9. С кондиционера КТА1-2-04 снимают лицевые панели и изучают его устройство.
10. Составляют схемы водяных и фреоновых трубопроводов кондиционера КТА1-2-04.
11. По окончании изучения кондиционера КТА1-2-04 панели монтируют на место.
12. Выписывают паспортные данные кондиционера.

*Обработка результатов измерений*

1. Составить принципиальную схему кондиционера БК-1500.
2. Определить производительность кондиционера по воздуху, кг/с:

$$G = \omega_{\text{cp}} ab \rho_{\text{в}}, \quad (2.13)$$

где  $\omega_{\text{cp}}$  – скорость движения воздуха, выходящего из конденсатора, м/с;

$a, b$  – размеры выходного патрубка кондиционера, м;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

3. По  $i, d$ -диаграмме определить энтальпию и влагосодержание воздуха до и после кондиционера и построить процесс обработки воздуха.

4. Вычислить холодопроизводительность кондиционера, Вт:



$$Q = G(i_1 - i_2), \quad (2.14)$$

где  $i_1, i_2$  – энтальпии воздуха до и после кондиционера, кДж/кг.

5. Определить осушающую способность кондиционера:

$$W = G(d_1 - d_2)10^{-3}, \quad (2.15)$$

где  $d_1, d_2$  – влагосодержание воздуха до и после кондиционера, г/кг.

6. Определить осушающую способность кондиционера по массе выпавшего конденсата:

$$W' = \frac{G_k}{\tau}. \quad (2.16)$$

7. Сравнить значения  $W$  и  $W'$  и определить расхождение (в %).

*Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое автономный кондиционер?
2. В чем состоят преимущества и недостатки автономных кондиционеров?
3. Как осуществляется подача свежего воздуха в автономных кондиционерах?
4. Как осуществляется пуск и остановка кондиционера?
5. Как изменяется температура воздуха на выходе из кондиционера?
6. Как регулируется относительная влажность воздуха в автономных кондиционерах?
7. Как обеспечивается снижение шума в автономных кондиционерах?

### **Лабораторная работа № 4** **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ОСУШИТЕЛЯ**

*Цель работы*

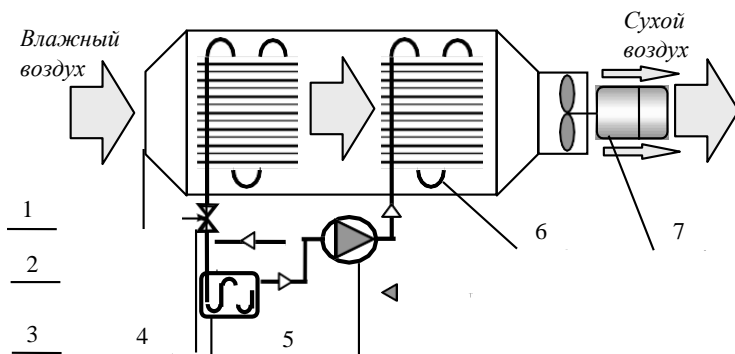
Ознакомление с процессами осушения воздуха в механическом осушителе.

### *Задача работы*

Изучить устройство и принцип работы механического осушителя. Определить его осушающую способность.

### *Описание экспериментальной установки*

Схема механического осушителя представлена на рис. 2.3. Установка состоит из холодильной машины, включающей в себя компрессор 5, испаритель 2, конденсатор 6, терморегулирующий вентиль 3, теплообменник 4, осевой вентилятор 7. Конденсатор 6 и испаритель 2 заключены в один кожух 1, образующий камеру осушения воздуха. Это обеспечивает прохождение воздуха, подвергающегося обработке, сначала через испаритель, где понижается его температура и влагосодержание, а затем через конденсатор. Воздух, проходя через конденсатор, воспринимает тепло при неизменном влагосодержании. При этом относительная влажность воздуха падает. Таким образом, на выходе из установки получается сухой подогретый воздух.



*Рис. 2.3. Принципиальная схема механического осушителя:  
1 – кожух; 2 – испаритель; 3 – терморегулирующий вентиль;  
4 – теплообменник; 5 – компрессор; 6 – конденсатор;  
7 – вентилятор осевой*

Процесс осушения осуществляется следующим образом: при прохождении влажного воздуха через ребристый испаритель происходит его охлаждение с одновременным снижением

влажносодержания (осушения) воздуха. Если температура поверхности испарителя ниже точки росы, то в поддон выпадет влага.

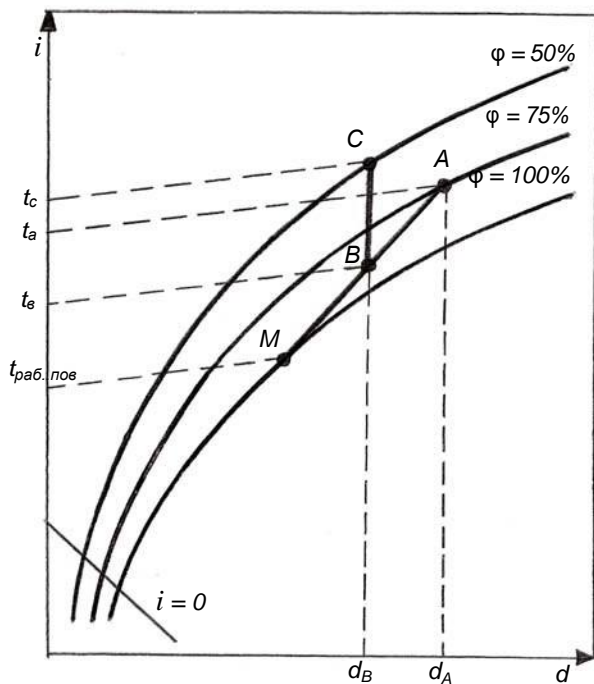


Рис. 2.4. Процессы осушения воздуха в  $i, d$ -диаграмме

Изменение параметров воздуха при прохождении его через механический осушитель можно представить в  $i, d$ -диаграмме (рис. 2.4), где:

- точка  $A$  соответствует параметрам воздуха на входе в механический осушитель;
- точка  $B$  соответствует параметрам воздуха на выходе из испарителя;
- точка  $C$  отвечает параметрам воздуха на выходе из механического осушителя;
- точка  $M$  отвечает состоянию воздуха у рабочей поверхности воздухоохладителя;
- $AB$  процесс осушения и охлаждения воздуха;

– *BC* – процесс нагрева воздуха при прохождении его через конденсатор механического осушителя.

Экспериментальная установка снабжена психрометром для измерения параметров воздуха по ходу его движения через механический осушитель, а также анемометром для измерения скорости воздуха на входе и выходе из механического осушителя.

#### *Порядок проведения работы*

1. Изучить устройство механического осушителя.
2. Перед проведением работы необходимо убедиться в герметичности системы.
3. За 15–20 мин до проведения измерений включить установку.
4. Замерить скорость воздуха на входе в испаритель и температуру по «сухому» и «мокрому» термометру по ходу движения воздуха в механическом осушителе.
5. Определить температуру в камере по «сухому» и «мокрому» термометру.
6. Зафиксировать время проведения опыта.
7. По завершении опыта взвесить влагу, сконденсировавшуюся в поддоне в процессе опыта.
8. Результаты замеров занести в табл. 2.4.
9. Замеры в опыте произвести 3–4 раза.

*Таблица 2.4*

#### **Результаты измерения опытных величин**

№ опыта	Температура на входе в испаритель		Температура в камере		Температура на выходе из конденсатора		Скорость воздуха $\omega$ , м/с	Время $\tau$ , с	Количество сконденсированной влаги $\bar{W}$ , кг/кг
	$t_c$ , °C	$t_m$ , °C	$t_c$ , °C	$t_m$ , °C	$t_c$ , °C	$t_m$ , °C			

#### *Обработка опытных данных*

1. Усреднить результаты опыта.
2. На *i, d*-диаграмме построить процессы происходящие в механическом осушителе, и определить параметры точек *A, B, C, И*.

3. Вычислить расход воздуха (кг/с):

$$G = \omega F \rho, \quad (2.17)$$

где  $\omega$  – скорость воздуха на входе в испаритель, м/с;

$F$  – площадь поперечного сечения воздуховода на входе в испаритель, м<sup>2</sup>. Определяется путем замера сторон прямоугольного поперечного сечения воздуховода перед испарителем с последующим вычислением  $F$ ;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

4. Определить количество влаги, выпавшее в процессе осушения:

$$W = G(d_A - d_B)\tau \cdot 10^{-3}, \quad (2.18)$$

где  $d_A, d_B$  – влагосодержание воздуха на входе и на выходе в механический осушитель, г/кг;

$\tau$  – продолжительность процесса осушения, с.

5. Полученный результат сравнить с количеством влаги, которое сконденсировалось в поддон в течение времени проведения опыта.

6. Сравнить значения  $W$  и  $W^1$  и определить расхождение.

*Вопросы для самоконтроля*

1. В чем заключается принцип работы механического осушителя?
2. Какие процессы происходят в механическом осушителе?
3. Какие вы знаете способы осушения воздуха?
4. Как оценить эффективность работы механического осушителя?
5. Каковы преимущества и недостатки существующих способов осушения воздуха?

### ***Лабораторная работа № 5***

#### ***ИЗУЧЕНИЕ АДИАБАТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА ВОДОЙ В КАМЕРЕ ОРОШЕНИЯ***

##### ***Цель работы***

Изучение физических принципов обработки воздуха в контактном аппарате (оросительной камере), а также процесса

адиабатического охлаждения и увлажнения воздуха в установленном режиме его работы.

### *Задача работы*

Исследовать процесс адиабатического охлаждения и увлажнения воздуха в камере орошения.

### *Описание лабораторного стенда*

Лабораторный стенд представляет собой модель горизонтальной двухрядной форсуночной камеры орошения, которая позволяет осуществить политропические и адиабатные процессы обработки воздуха водой.

Схема экспериментального стенда представлена на рис. 2.5.

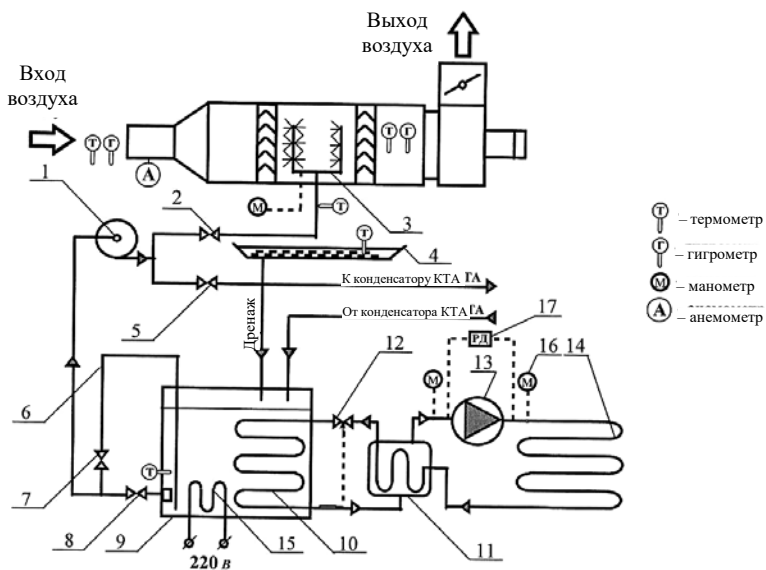


Рис. 2.5. Схема разводки водяных и фреоновых трубопроводов:  
 1 – насос центробежный; 2, 5 – вентиль запорно-регулирующий;  
 3 – стояк форсуночный; 4 – поддон; 6 – линия дренажная водяная;  
 7, 8 – вентиль запорный; 9 – бак водяной; 10 – испаритель;  
 11 – теплообменник; 12 – вентиль терморегулирующий; 13 – компрессор;  
 14 – конденсатор; 15 – электроводонагреватель;  
 16 – манометр фреоновый; 17 – реле давления

Стенд состоит из горизонтальной двухрядной камеры орошения. Верхняя часть камеры покрыта стеклом, что позволяет осуществлять визуальные наблюдения за процессами, происходящими в ней.

На стойках 6 (рис. 2.7) смонтированы тангенциальные широкофакельные форсунки, устройство которых представлено на рис. 2.6.

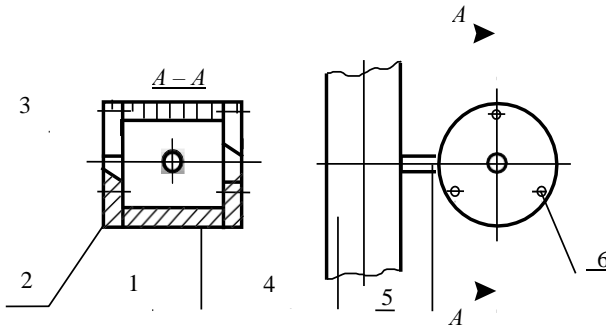


Рис. 2.6. Форсунка тангенциальная широкофакельная односторонняя:  
1 – корпус; 2 – крышка торцевая; 3 – отверстие тангенциальное;  
4 – стойка форсуночный; 5 – трубка соединительная; 6 – болт стяжной

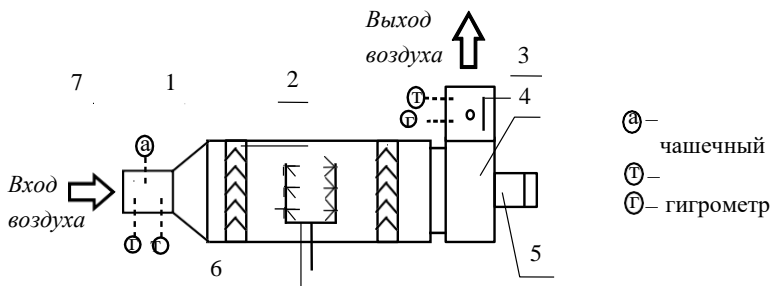


Рис. 2.7. Камера орошения:  
1 – корпус; 2 – каплеуловитель; 3 – заслонка воздушная;  
4 – вентилятор; 5 – электродвигатель; 6 – стойка форсуночный;  
7 – всасывающий воздуховод

Диаметр выходного отверстия форсунок составляет 1 мм. Количество форсунок в ряду – 6 штук.

Первый ряд форсунок распыляет воду по ходу движения воздуха и против него, второй ряд – против движения воздуха. Подача воды к форсункам осуществляется с помощью центробежного насоса 1 (рис. 2.5). Для сбора воды предусмотрен поддон 4, сообщающийся с емкостью, выполненной в виде бака для воды 9. Для заправки и опорожнения водяного бака предусмотрена дренажная линия 6. Для изменения температуры воды, подаваемой к форсункам, в водяном баке установлен водонагреватель 15, представляющий собой электрический спиралевидный нагревательный элемент мощностью 3,1 кВт, способный нагревать воду до заданных параметров. Охлаждение воды обеспечивает холодильная машина, состоящая из компрессора 13, испарителя 10, воздушного конденсатора 14, регенеративного теплообменника 11 и терморегулирующего вентиля 12. Кроме этого холодильная машина оснащена контрольно-измерительными приборами, манометрами 16 и приборами защиты 17 (реле низкого и высокого давлений).

Вынужденное движение воздуха через камеру орошения обеспечивается центробежным вентилятором 4 (рис. 2.7). Для изменения расхода воздуха через оросительную камеру предусмотрена воздушная заслонка 3, позволяющая менять сечение нагнетательного воздуховода в пределах от 0 до 100%. Для предотвращения уноса воды, разбрызгиваемой в камере орошения, предусмотрены каплеуловители 2, состоящие из ряда Г-образных пластин, скрепленных между собой и обеспечивающих частичное выравнивание воздушного потока.

Стенд оснащен контрольно-измерительными приборами, обеспечивающими проведение необходимых замеров. На рис. 2.8 представлена схема расположения медь-константановых термопар, предназначенных для измерения следующих параметров сред:

– термопара № 1, 3 – температура воздуха по «сухому» термометру  $t_c$  на входе и выходе камеры соответственно, °С;



- термопара № 2, 4 – температура воздуха по «мокрому» термометру  $t_m$  на входе и выходе камеры соответственно, °С;
- термопара № 5 – температура воды  $t_w$ , поступающей в камеру орошения, °С;
- термопара № 6 – температура воды  $t_w$ , выходящей из камеры, °С;
- термопара № 0 – температура воды  $t_w$ , находящейся в водяном баке, °С.

Термопары работают в комплекте с УКТ-38.

Для удобства обслуживания лабораторного стенда предусмотрена панель управления. На ней располагаются выключатели насоса и водонагревателя, сигнальные лампы и многозонный измеритель-регулятор температур УКТ-38.

Скорость воздуха, проходящего через оросительную камеру, определяют с помощью чашечного анемометра, расположенного во всасывающем воздуховоде 7 (рис. 2.7), пользуясь прил. 7. Массовый расход воды определяют весовым методом путем заполнения емкости (ведро, банка) за определенный отрезок времени.

*Работа камеры орошения в режиме адиабатического охлаждения и увлажнения воздуха.* В этом режиме холодильная установка не работает. Водяной бак 9 (рис. 2.5) заполнен водой частично (30–40 л). Из бака вода по всасывающему трубопроводу, минуя приемную сетку и всасывающий запорный вентиль 8, через нагнетательный трубопровод и запорно-регулирующий вентиль 2 подается центробежным насосом 1 к форсункам, при этом запорные вентили 5 (линии обратного водоснабжения автономного кондиционера КТА1-2-04) и 7 (линии опорожнения бака) перекрыты. После контакта с воздухом вода стекает в поддон 4. Для изменения количества распыляемой форсунками воды (изменения коэффициента орошения) в адиабатическом режиме служит запорно-регулирующий вентиль 2 (запорный вентиль 8 при этом полностью открыт).

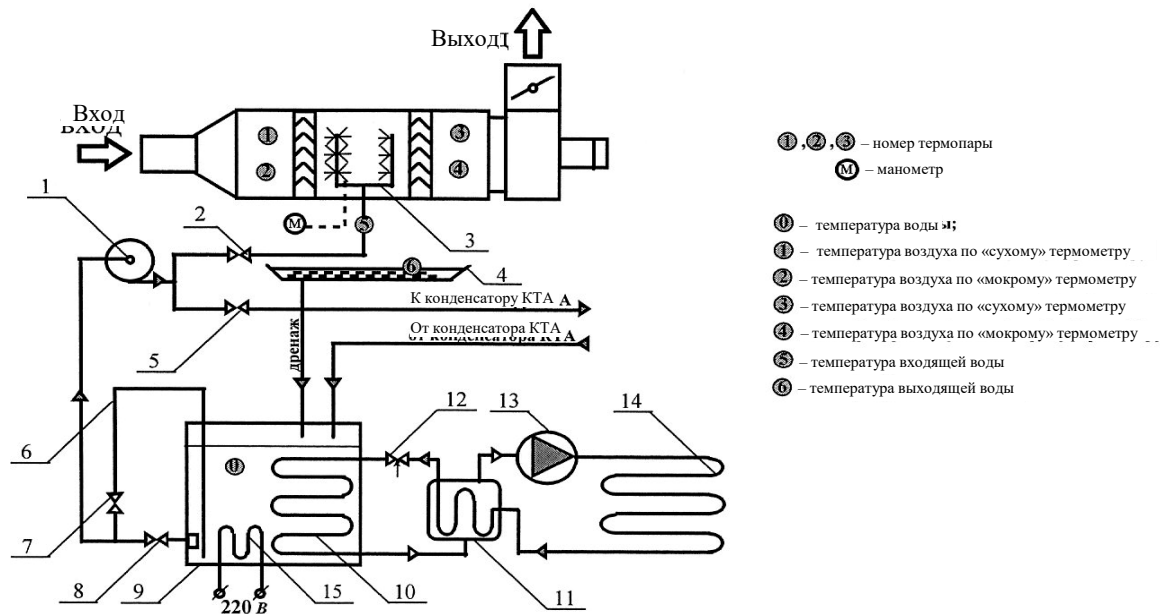


Рис. 2.8. Расположение термомпар:

1 – насос центробежный; 2, 5 – вентиль запорно-регулирующий; 3 – стояк форсуночный; 4 – поддон;  
 6 – линия дренажная водяная; 7, 8 – вентиль запорный; 9 – бак водяной; 10 – испаритель; 11 – теплообменник;  
 12 – вентиль терморегулирующий; 13 – компрессор; 14 – конденсатор; 15 – электроводонагреватель

Таким образом, в результате длительного контакта воды, циркулирующей по замкнутому контуру, с воздухом постоянных начальных параметров вода приобретает температуру, близкую к температуре «мокрого» термометра обрабатываемого воздуха. Отсюда можно сделать вывод, что процесс обработки воздуха в таком режиме работы оросительной камеры идет по линии  $i = \text{const}$ .

#### *Порядок проведения лабораторной работы*

Подготовка стенда к испытанию в режиме адиабатного увлажнения воздуха происходит в следующем порядке:

1. Подать питание на лабораторный стенд.
2. Залить бак обратного водоснабжения 9 (рис. 2.5) водой на 1/4 объема (30–40 литров);
3. Полностью открыть запорно-регулирующий вентиль 2 и запорный вентиль 8 (убедиться в том, что запорные вентили 5 и 7 полностью закрыты);
4. Подать питание на электронасос 1.
5. Подать питание на центробежный вентилятор.
6. Дать установке время войти в стационарный режим (15–20 минут);
7. Включить УКТ-38.
8. Снять показания контрольно-измерительных приборов (рис. 2.8), значения занести в табл. 2.5.

Перед непосредственным выполнением лабораторной работы преподаватель проводит расстановку курсантов по местам замеров параметров и назначает старшего.

По команде старшего одновременно производятся измерения параметров воздуха (температуры воздуха по «сухому» и «мокрому» термометрам, скорость воздуха, температуры воды на входе и выходе из камеры, давление воды).

При смене режимов работы оросительной камеры (изменение расходов сред) особое внимание следует обращать на то, чтобы замеры производились в установившемся режиме. В силу того что адиабатический процесс обладает значительной инерционностью, нежелательным является изменение начальных параметров воздуха.

Таблица 2.5

## Результаты измерения опытных величин

№ п/п	Число делений анемометра в секунду	$w$ , м/с	$L_B$ , м <sup>3</sup> /с	$G_{B^*}$ , кг/с	$G_{W^*}$ , кг/с	$p_{W^*}$ , Па	Параметры воздуха					
							на входе в камеру			на выходе из камеры		
Время		$t_c^{в.н}$ , °С	$t_M^{в.н}$ , °С	$\Phi_{в.н}$ , %	$t_c^{в.к}$ , °С	$t_M^{в.к}$ , °С	$\Phi_{в.к}$ , %	$t_{ин}$ , °С	$t_{нк}$ , °С			
1												
2												
1												
2												

В ходе выполнения лабораторной работы первоначально устанавливают максимально возможный расход воздуха через орошаемую камеру заслонкой 3 (рис. 2.7) и максимально возможный расход воды запорно-регулирующим вентилем 2 (рис. 2.5).

Для получения иного режима последовательно изменяют расход воды и воздуха, влияя, таким образом, на коэффициент орошения.

Такие измерения производятся последовательно с интервалом в 5 минут. По значениям измеряемых величин судят о стационарности режима обработки воздуха.

Для дальнейшей обработки определяют средние значения замеренных величин, которые заносят в табл. 2.6.

Таблица 2.6

## Результаты обработки опытных данных

Средние за режим значения параметров воздуха	Опытные данные		Искомые параметры						Способ определения
	$t_c$ , °С	$\phi$ , %	$p_{п''}$ , Па	$p_{п'}$ , Па	$t_{p'}$ , °С	$t_m$ , °С	$d_{п'}$ , г/кг	$i$ , кДж/кг	
На входе в камеру									Графически
									Аналитически
На выходе из камеры									Графически
									Аналитически

При исследовании процессов обработки воздуха в камере орошения определяют следующие величины:

- 1) объемный расход воды, проходящей через аппарат;
- 2) температуру воздуха  $t_{в.к}$ , поступающего в аппарат, и выходящего из него, по «сухому» и «мокрому» термометру, °С;
- 3) скорость воздуха с помощью анемометра;
- 4) температуру воды  $t_{вн}$ , поступающей в аппарат, и температуру воды  $t_{вр}$ , выходящей из него, °С;
- 5) давление воды  $p_w$  перед форсунками, Па.

*Обработка результатов измерений*

1. Определить объемный расход воздуха  $L_v$  (в м<sup>3</sup>/с):

$$L_v = w_v F_k, \quad (2.19)$$

где  $w_v$  – линейная скорость воздуха на измеряемом участке, м/с (в прил. 7 приводится график зависимости числа делений анемометра в секунду  $n$  от скорости направленного воздушного потока  $w$ , м/с);

$F$  – площадь для прохода воздуха измерительного участка лабораторного стенда, на котором установлен чашечный анемометр, м<sup>2</sup> ( $F_k = 0,0196$  м<sup>2</sup>).

2. Определить массовый расход воздуха  $G_B$  (в кг/с):

$$G_B = L_B \rho_B, \quad (2.20)$$

где  $\rho_B$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

3. Определить массовую скорость  $w_B p_B$  прохода воздуха через оросительную камеру (в кг/(м<sup>2</sup> · с)), пользуясь формулой

$$\left( \frac{w}{B} \frac{p}{B} \right) = G_B | F. \quad (2.21)$$

Массовый расход воздуха относится к поперечному сечению оросительной камеры ( $F = 0,116 \text{ м}^2$ ).

4. Определить расход воды  $G_w$  (в кг/с) через оросительную камеру:

$$G_w = \frac{V \rho}{\tau}, \quad (2.22)$$

где  $V$  – объем воды в емкости, м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – время заполнения емкости, с.

5. Определить удельный расход воды через форсунку по формуле

$$g_\phi = G_B | n, \quad (2.23)$$

где  $n$  – число форсунок.

6. Определить эффективность изобатальпийного процесса, которая зависит от скорости обрабатываемого воздуха, плотности воздуха, коэффициента орошения, количества форсунок в камере орошения, диаметра выходного отверстия форсунки, направления потока обрабатываемого воздуха и оценивается коэффициентом эффективности  $E_a$ :

$$E_a = \frac{t_{B.H} - t_{B.K}}{t_{B.H} - t_{B.M}}, \quad (2.24)$$

где  $t_{B.H}$ ,  $t_{B.K}$  – соответственно температуры воздуха по «сухому» термометру начального и конечного состояний, °С;

$t_{B.M}$  – температура воздуха по «мокрому» термометру, °С.

В лабораторной работе для установившегося адиабатического режима работы оросительной камеры определяются

значения фактического коэффициента эффективности процесса  $E_a^\Phi$ , а также значения массовой скорости прохода воздуха  $w_B p_B$  (в  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ) и коэффициента орошения  $\mu$  ( $\text{кг}/\text{кг}$ ).

Значение фактического коэффициента эффективности процесса  $E_a^\Phi$  сравнивают со значением  $E_a^\Psi$ , полученным по эмпирической зависимости

$$E_a^\Psi = 0,423(w_B p_B)^{0,427} \mu^{0,68}, \quad (2.25)$$

$$E_a = \frac{E_a^\Phi - E_a^\Psi}{E_a^\Phi} 100\%. \quad (2.26)$$

7. Определить значение коэффициента орошения  $\mu$  ( $\text{кг}/\text{кг}$ ) по эмпирической формуле

$$\mu = 2,89 ux (w_B p_B)^{-0,565} \left( \lg \frac{1}{1 - E_a} \right)^{1,13}, \quad (2.27)$$

где  $x, y$  – поправочные коэффициенты (для нашего случая  $x = 0,28, y = 0,61$ ).

$E_a$  – коэффициент эффективности камеры орошения, определяемый по формуле (2.24).

8. По полученным для отдельных режимов значениям коэффициента орошения  $\mu$  и фактического коэффициента эффективности строят зависимость  $E_a^\Phi = f(\mu)$  и определяют количество испарившейся в воздух влаги  $g_w$  (в  $\text{кг}/\text{с}$ ):

$$g_w = G_B (d_k - d_n), \quad (2.28)$$

где  $d_n, d_k$  – влагосодержание воздуха соответственно в начале и конце процесса его обработки,  $\text{г}/\text{кг}$ .

*Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое адиабатический процесс обработки воздуха водой?
2. Что такое коэффициент эффективности камеры орошения?
3. От чего зависит коэффициент эффективности камеры орошения?
4. Как рассчитывают тепло- и влагообмен между воздухом и водой?
5. Как изображается в  $i, d$ -диаграмме адиабатический процесс?
6. Как определяют расход воды и воздуха?
7. Как определяют давление воды перед форсунками?

**Лабораторная работа № 6**  
**ИЗУЧЕНИЕ ПОЛИТРОПИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**  
**ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА ВОДОЙ В КАМЕРЕ ОРОШЕНИЯ**

*Цель работы*

Изучение физических принципов обработки воздуха в контактном аппарате (оросительной камере), а также политропических процессов обработки воздуха водой в установившемся режиме его работы.

*Задача работы*

Исследовать следующие политропические процессы обработки воздуха водой (рис. 1.18):

- 1) охлаждением и осушением (процесс  $A-1$ );
- 2) сухим охлаждением (процесс  $A-2$ );
- 3) охлаждением и увлажнением при  $t_p < t_w < t_m$  (процесс  $A-3$ );
- 4) охлаждением и увлажнением при  $t_m < t_w < t_b$  (процесс  $A-5$ );
- 5) увлажнением без изменения температуры (процесс  $A-6$ );
- 6) нагреванием и увлажнением (процесс  $A-7$ ).

Исследуемый политропический процесс задается преподавателем.

Важно, чтобы любой процесс носил стационарный характер. Стационарным будет считаться тот процесс, при котором параметры сред остаются неизменными в течение 10–15 минут.

*Описание лабораторной установки*

Лабораторная установка описана в лабораторной работе № 5.

В политропических режимах работы камеры орошения включается холодильная установка или электроводонагреватель в зависимости от вида политропического процесса обработки воздуха (заданные значения температур воды должны лежать в диапазоне от +5 до +30°C).

Водяной бак 9 (рис. 2.8, лабораторная работа № 5) заполнен водой полностью (8–10 ведер). Из бака вода по всасывающему трубопроводу, минуя приемную сетку и всасывающий запорный вентиль 8, через нагнетательный трубопровод



и запорно-регулирующий вентиль 2 подается центробежным насосом 1 к форсункам, при этом запорные вентили 5 (линии обратного водоснабжения автономного кондиционера КТА1-2-04) и 7 (линии опорожнения бака) перекрыты. После контакта с воздухом вода стекает в поддон 4. Для изменения количества распыляемой форсунками воды (изменения коэффициента орошения) в политропическом режиме служит запорно-регулирующий вентиль 2 (запорный вентиль 8 при этом полностью открыт).

Таким образом, подавая в камеру орошения воду с определенной температурой, можно осуществлять все известные политропические процессы обработки воздуха водой.

#### *Порядок подготовки лабораторной установки стенда к работе*

Порядок подготовки стенда к работе при изучении политропических процессов обработки воздуха, связанных с охлаждением воды, следующий:

1. Подать питание на лабораторный стенд.
2. Залить бак обратного водоснабжения 9 водой (рис. 2.8) на 3/4 объема (80–10 л).
3. Подать питание на холодильную машину и пустить ее в работу.
4. Дать установке время войти в стационарный режим:
  - в режиме охлаждения и увлажнения воздуха – охладить воду до температуры ниже температуры воздуха по «мокрому» термометру в помещении, но выше температуры точки росы (на рис. 1.18 процесс А–3);
  - в режиме охлаждения воздуха без конденсации влаги (сухое охлаждение) – охладить воду до температуры воздуха в помещении, соответствующей точке росы;
  - в режиме охлаждения и осушения воздуха – охладить воду до температуры ниже температуры воздуха в помещении, соответствующей точке росы.
5. Полностью открыть запорно-регулирующий вентиль 2 и запорный вентиль 8 (убедиться в том, что запорные вентили 5 и 7 полностью закрыты).

6. Подать питание на электронасос *I* (на панели управления выключатель насоса в положении «ВКЛ»).
7. Подать питание на центробежный вентилятор.
8. Включить прибор УКТ-38, расположенный на панели управления.
9. Снять показания контрольно-измерительных приборов, значения занести в табл. 2.7 данной лабораторной работы.

#### *Пуск холодильной машины*

Перед пуском путем внешнего осмотра установите исправность машины, отсутствие подтеков масла, натяжение натяжного ремня, надежность заземления.

Нагнетательный и всасывающий двухходовые вентили установить в рабочее положение (вращать шпиндель против часовой стрелки до упора, затем на пол-оборота – по часовой).

Включить машину и постепенно открывать жидкостный вентиль. Необходимо следить за показаниями всасывающего и нагнетательного манометров, не допускать возможной работы компрессора влажным ходом.

Во избежание подсоса воздуха системой следует не допускать понижения давления на стороне всасывания ниже атмосферного.

В случае аварийного режима работы машины (повышение давления нагнетания, понижение давления всасывания) приборы защиты – реле давления всасывания (РДВ) и нагнетания (РДН) – отключают машину при давлении конденсации выше  $12 \cdot 10^5$  Па и при давлении всасывания ниже атмосферного.

Следует учесть, что первые циклы работы машины не соответствуют установившемуся режиму.

#### *Остановка холодильной машины*

После проведения лабораторной работы необходимо выключить холодильную машину. Для этого закройте торцевым ключом жидкостный вентиль на линейном ресивере – машина несколько минут будет работать, а затем выключится. В случае отказа РДВ следует выключить машину при достижении стороной всасывания давления, соответствующего атмосферному давлению. Не следует оставлять систему под вакуумом

во избежание попадания в нее воздуха. После этого закройте торцевым ключом всасывающий вентиль и обесточьте установку. Закройте нагнетательный вентиль.

*Порядок подготовки стенда к работе при изучении политропических процессов обработки воздуха, связанных с подогревом воды*

Подготовка стенда к испытанию в режиме политропического увлажнения воздуха происходит в следующем порядке:

1. Подать питание на лабораторный стенд.
2. Залить бак оборотного водоснабжения 9 водой (рис. 2.8) на 3/4 объема (80–10 л).
3. Включить электроводонагреватель 15 (переключатель водонагревателя установить в положение «ВКЛ» на панели управления).
4. Дать установке время войти в стационарный режим:
  - в режиме охлаждения и увлажнения воздуха – нагреть воду до температуры выше температуры воздуха по «мокрому» термометру в помещении, но ниже температуры воздуха в помещении по «сухому» термометру;
  - в режиме увлажнения воздуха (изотермический процесс А–6) – нагреть воду до температуры воздуха в помещении по «сухому» термометру;
  - в режиме нагрева и увлажнения воздуха (процесс А–7) – нагреть воду до температуры выше температуры воздуха в помещении по «сухому» термометру.
5. Полностью открыть запорно-регулирующий вентиль 2 и запорный вентиль 8 (убедиться в том, что запорные вентили 5 и 7 полностью закрыты).
6. Подать питание на электронасос 1 (на панели управления установить выключатель насоса в положение «ВКЛ»).
7. Подать питание на центробежный вентилятор.
8. Включить УКТ-38, расположенный на панели управления.
9. Снять показания контрольно-измерительных приборов, значения занести в табл. 2.7.

*Порядок проведения лабораторной работы*

Перед непосредственным выполнением лабораторной работы преподаватель производит расстановку курсантов по местам замеров параметров и назначает старшего.

По команде старшего одновременно производятся измерения параметров воздуха и воды и их расходы. Результаты замеров по каждому режиму сводятся в табл. 2.7.

Таблица 2.7

**Результаты измерения опытных величин**

№ п/п	Число делений анемометра в секунду	$w$ , м/с	$L_B$ , м <sup>3</sup> /с	$G_B$ , кг/с	$G_w$ , кг/с	$p_w$ , Па		
1								
2								
3								
τ, мин	Время	Параметры воздуха					Параметры воды	
		на входе в камеру			на выходе из камеры		на входе в камеру	на выходе из камеры
	$t_{c.в.н}^{\text{в.н}}$ , °С	$t_{м.в.н}^{\text{в.н}}$ , °С	$\Phi_{в.н.}$ , %	$t_{c.в.к}^{\text{в.к}}$ , °С	$t_{м.в.к}^{\text{в.к}}$ , °С	$\Phi_{в.к.}$ , %	$t_{ин.}$ , °С	$t_{вк.}$ , °С
1	Вид исследуемого политропического процесса							
2	Вид исследуемого политропического процесса							
3	Вид исследуемого политропического процесса							

При смене режимов работы оросительной камеры особое внимание следует обращать на то, чтобы замеры производи-

лись в установившемся режиме. Смена режимов осуществляется за счет изменения параметров и расходов сред. Политропические процессы характеризуются относительно малой инерционностью, поэтому за время лабораторной работы можно исследовать несколько стационарных режимов работы оросительной камеры.

В ходе выполнения лабораторной работы первоначально устанавливают максимально возможный расход воздуха через камеру орошения заслонкой 3 (рис. 2.7) и максимально возможный расход воды запорно-регулирующим вентилем 2 (рис. 2.5).

Измерение значений параметров производится соответствующими приборами, установленными на стенде.

Все результаты измерений сводятся в таблицу результатов измерений опытных величин (табл. 2.7). Для дальнейшей обработки определяют средние значения замеренных величин (они заносятся в табл. 2.8 данной лабораторной работы).

Таблица 2.8

**Результаты обработки опытных данных**

Средние за режим значения параметров воздуха	Опытные данные		Искомые параметры						Способ определения
	$t_c, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$p_n'', \text{Па}$	$p_n, \text{Па}$	$t_p, ^\circ\text{C}$	$t_m, ^\circ\text{C}$	$d_n = d, \text{г/кг}$	$i, \text{кДж/кг}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вид исследуемого политропического процесса									
На входе в камеру									Графически
									Аналитически
На выходе из камеры									Графически
									Аналитически
Вид исследуемого политропического процесса									
На входе в камеру									Графически
									Аналитически

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
На выходе из камеры									Графически
									Аналитически
Вид исследуемого политропического процесса									
На входе в камеру									Графически
									Аналитически
На выходе из камеры									Графически
									Аналитически

При исследовании процессов обработки воздуха в камере орошения определяют следующие величины:

- 1) объемный расход воды, проходящей через аппарат;
- 2) температуру воздуха  $t_{в.н}$ , поступающего в аппарат, и температуру воздуха  $t_{в.к}$ , выходящего из него, по «сухому» и «мокрому» термометру, °С;
- 3) скорость воздуха с помощью анемометра;
- 4) температуру воды  $t_{в.н}$ , поступающей в аппарат, и температуру воды  $t_{в.к}$ , выходящей из него, °С;
- 5) давление воды  $p_w$  перед форсунками, Па.

#### *Обработка результатов измерений*

1. Определяют объемный расход воздуха  $L_b$  (в м<sup>3</sup>/с):

$$L_b = w_b F, \quad (2.29)$$

где  $w_b$  – скорость воздуха на измеряемом участке, м/с;

$F$  – площадь для прохода воздуха измерительного участка лабораторного стенда, на котором установлен чашечный анемометр, м<sup>2</sup> ( $F = 0,0196$  м<sup>2</sup>).

2. Определяют массовый расход воздуха  $G_b$  (в кг/с):

$$G_b = L_b \rho_b, \quad (2.30)$$

где  $\rho_b$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

3. Определяют массовую скорость  $w_B p_B$  прохода воздуха через оросительную камеру (в  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ) по формуле

$$\left( w_B p_B \right) = G_B \left| F_K \right. \quad (2.31)$$

Массовый расход воздуха относится к поперечному сечению камеры орошения ( $F_K = 0,116 \text{ м}^2$ ).

4. Определяют расход воды  $G_w$  (в  $\text{кг}/\text{с}$ ) через оросительную камеру:

$$G_w = \frac{V \rho_B}{\tau}, \quad (2.32)$$

где  $V$  – объем воды в емкости,  $\text{м}^3$ ;

$\rho$  – плотность воды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\tau$  – время заполнения емкости, с.

5. Определяют удельный расход воды через форсунку по следующей формуле:

$$g_{\phi} = G_B / n, \quad (2.33)$$

где  $n$  – число форсунок.

6. Определяют коэффициент эффективности камеры орошения  $E$  по формуле (2.24).

Эффективность политропических процессов зависит от скорости обрабатываемого воздуха, плотности воздуха, коэффициента орошения, количества форсунок в камере орошения, диаметра выходного отверстия форсунки, направления потока обрабатываемого воздуха и оценивается коэффициентами эффективности  $E_a$ , определяемыми по формулам 2.34, 2.35:

$$E_a = 1 - \frac{t_{\text{м.к}} - t_{\text{в.к}}}{t_{\text{м.н}} - t_{\text{в.н}}}, \quad (2.34)$$

$$E_a = 1 - \frac{t_{\text{в.к}} - t_{\text{м.к}}}{t_{\text{в.н}} - t_{\text{м.н}}}, \quad (2.35)$$

где  $t_{\text{в.н}}$ ,  $t_{\text{в.к}}$  – соответственно температуры воды,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{м.н}}$ ,  $t_{\text{м.к}}$  – температура воздуха по «сухому» термометру соответственно начального и конечного состояний,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{м.н}, t_{м.к}$  – температура воздуха по «мокрому» термометру соответственно начального и конечного состояний, °С.

В расчетах процессов, протекающих с изменением энтальпии воздуха, дополнительно используют уравнение теплового баланса между воздухом и водой

$$G \left( i_{в.н} - i_{в.к} \right) = 4,187 G \left( t_{w.к} - t_{w.н} \right) \quad (2.36)$$

или

$$\Delta i_{в} = 4,187 \mu \Delta t_w, \quad (2.37)$$

где  $\mu = G_w / G_{в}$  – коэффициент орошения, кг/кг.

7. Значение коэффициента орошения  $\mu$  (в кг/кг) находим по эмпирической формуле

$$\mu = 2,89 u x \left( w_{в} p_{в} \right)^{-0,565} \left( \lg \frac{1}{1-E} \right)^{1,13}, \quad (2.38)$$

где  $x$  – поправочный коэффициент:

$x = 1$  – для процесса  $A-1$  (рис. 1.18);

$x = 0,35$  – для процесса  $A-2, A-3$  (рис. 1.18);

$x = 0,95$  – для процесса  $A-5, A-6, A-7$  (рис. 1.18);

$u = 0,61$  – коэффициент, зависящий от диаметра выходного отверстия форсунки.

8. Определяют количество тепла (в Вт), отданного воздухом в процессе охлаждения, по формуле

$$Q = G \left( i_{в} - i_{в.к} \right), \quad (2.39)$$

где  $i_{в}, i_{в.к}$  – энтальпия воздуха в начале и конце процесса обработки его водой, кДж/кг.

9. Определяют количество тепла, подведенного к воде в процессе ее нагревания электроводонагревателем, Вт:

$$Q_w = c_w G_w \left( t_{w.к} - t_{w.н} \right), \quad (2.40)$$

где  $c_w$  – теплоемкость воды, кДж/(кг °С);

$t_{w.к}, t_{w.н}$  – температура воды на выходе и на входе в камеру орошения, °С.

После заполненной табл. 2.7 анализируют полученные результаты, а именно:



- оценивают сходимость значений термодинамических параметров, найденных различным образом;
- по изменению температуры, влагосодержания, энтальпии и температуры мокрого термометра воздуха делают вывод о характере изменения состояния влажного воздуха в процессах обработки его в контактном аппарате;
- строят процессы обработки воздуха на  $i, d$ -диаграмме;
- по изменению параметров обрабатываемого воздуха и воды делают вывод о направленности процесса в соответствующую точку на диаграмме, условно характеризующую состояние проходящей через аппарат воды;
- делают вывод о качестве проведенной работы на основе использования уравнений теплового баланса, определяя для этого количество теплоты, отданной воздухом в процессе охлаждения  $Q_b$  и подведенной к воде в процессе ее нагревания  $Q_w$  (п. 5);
- оценивают выполнение равенства

$$Q_b = Q_w; \quad (2.41)$$

- определяют количество испарившейся в воздух влаги  $g_w$ , кг/с:

$$g_w = G (d_k - d_n), \quad (2.42)$$

где  $d_n, d_k$  – соответственно влагосодержание воздуха в начале и конце процесса его обработки, г/кг;

- определяют относительное количество испарившейся влаги  $\Delta w$  (в %) от общего количества, прошедшего через аппарат:

$$\Delta w = \frac{g_w}{G_w} 100\% . \quad (2.43)$$

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Каково устройство камеры орошения?
2. Как осуществляются пуск и остановка холодильной машины?
3. Что такое коэффициент орошения?
4. Что такое коэффициент эффективности камеры орошения?
5. Как обеспечить процессы охлаждения воздуха на экспериментальном стенде?
6. Как обеспечить процессы нагревания воздуха на экспериментальном стенде?

*Лабораторная работа № 7*  
*ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА*  
*ПУТЕМ АДСОРБЦИИ*

*Цель работы*

Ознакомиться с процессами осушения воздуха при использовании адсорбентов.

*Задача работы*

Построить процессы осушения воздуха адсорбентом. Определить тепловлажностное отношение процесса осушения. Построить график зависимости  $d = f(\tau)$ . Определить количество влаги, отведенной от воздуха в процессе осушения.

*Описание экспериментальной установки*

Схема лабораторной установки представлена на рис. 2.9.

Лабораторный стенд состоит из камеры осушения 1, в которую помещаются кассеты с адсорбентом 2 для осушения воздуха. Движение воздуха через камеру осушения обеспечивается с помощью центробежного вентилятора 7, смонтированного на одном валу с электродвигателем 4, нагнетательного 9 и всасывающего 4 воздуховодов.

В камере осушения установлены «мокрый» 14 и «сухой» 15 термометры для измерения температур. На измерительном щите установлены вольтметр 8 и амперметр 11 для определения напряжения и силы тока. Предусматривается возможность установления нескольких кассет с адсорбентом в камере осушения.

Для регенерации адсорбента в камере осушения установлен электрокалорифер 17. Во время регенерации клапаны 3 должны быть закрыты.

В табл. 2.9 приведены физические характеристики сорбентов.

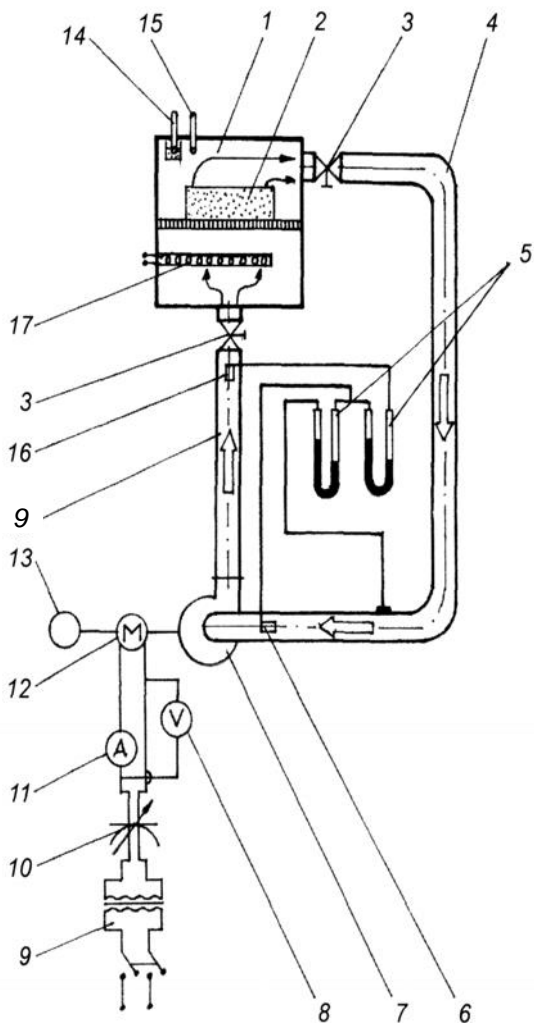


Рис. 2.9. Схема лабораторной установки:

- 1 – камера осушения; 2 – кассета с силикагелем; 3 – клапаны воздушные;  
 4 – воздуховод всасывающий; 5 – манометр дифференциальный;  
 6, 16 – трубка Пито-Прандтля; 7 – вентилятор; 8 – вольтметр;  
 9 – воздуховод нагнетательный; 10 – выпрямитель; 11 – амперметр;  
 12 – электродвигатель; 13 – тахометр; 14 – термометр «мокрый»;  
 15 – термометр сухой»; 17 – электрокалорифер

**Физические характеристики сорбентов**

Характеристика	Силикагель	Аллюмогель
Объем капилляров, % от объема самого вещества	40–50	30
Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	600–700	830
Пористость, % объема	70	57
Поверхность капилляров, м <sup>2</sup> на 1 кг вещества	$4 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^5$
Поглотительная способность, % к сухой массе сорбента	25–50	18–24
Рекомендуемая (предельная, наибольшая) температура осушаемого воздуха, °С	35	25
Температура регенерации, °С	140–150	200–300
Длительность регенерации, ч	4–6	5–8

*Порядок проведения работы*

1. Изучить устройство лабораторного стенда.
2. Измерить начальные значения температур воздуха по «сухому» и «мокрому» термометру.
3. Взвесить и установить заданную кассету с силикагелем в камеру осушения (предварительно определяется толщина адсорбирующего слоя).
4. Включить вентиляторную установку на период, необходимый для достижения установившихся значений параметров воздуха.
5. При помощи чашечного анемометра определить скорость воздуха.
6. Через каждые 10 мин в течение 1 ч 20 мин снимать показания по «сухому» и «мокрому» термометрам.
7. Результаты замеров занести в табл. 2.10.
8. Отключить вентиляторную установку.
9. Вынуть кассету с силикагелем из камеры осушения и взвесить.
10. Подготовить стенд к следующему опыту при другой толщине адсорбирующего слоя и выполнить пункты 2–9.

## Результаты измерений и обработки опытных величин

№ опы-та	$\tau$ , с	$t_{\text{сух1}}$ , °С	$t_{\text{м1}}$ , °С	$\varphi_1$ , %	$i_1$ , кДж/кг	$d_1$ , г/кг	$i_2$ , кДж/кг	$d_2$ , г/кг	$\varepsilon$ , кДж/кг	$\varphi_2$ , %	$W$ , кг/с	$\Delta d$ , г/кг	$\Delta i$ , кДж/кг
При толщине $\delta_{\text{але}} = \delta_1$													
1													
2													
3													
При толщине $\delta_{\text{але}} = \delta_2$													
1													
2													
3													

*Обработка опытных данных.*

1. По измеренным значениям  $t_{\text{сух}}$  и  $t_{\text{м}}$  на входе и выходе из камеры осушения определяется относительная влажность воздуха на входе и выходе из камеры осушения –  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ .

2. По таблице сухого насыщенного воздуха по  $t_{\text{сух}}$  находят парциальное давление насыщенного пара  $p_{\text{н}}$ .

3. Вычисляется влагосодержание  $d_1$ ,  $d_2$  (в г/кг):

$$d_1 = 0,622 \frac{\varphi_1 p_{\text{н}}}{p_{\text{б}} - \varphi_1 p_{\text{н}}}, \quad d_2 = 0,622 \frac{\varphi_2 p_{\text{н}}}{p_{\text{б}} - \varphi_2 p_{\text{н}}}, \quad (2.44)$$

где  $p_{\text{н}}$  – давление насыщенного воздуха, Па;

$p_{\text{б}}$  – барометрическое давление, Па;

$\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  – относительная влажность воздуха.

4. Строятся на  $i, d$ -диаграмме процессы осушения воздуха адсорбентом при разной толщине адсорбирующего слоя.

5. Определяют энтальпии и влагосодержание до и после осушения воздуха.

6. Рассчитывают удельную осушающую способность  $\Delta d$  (в г/кг) адсорбента.

7. Определяют тепловлажностные коэффициенты  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  и сравнивают их значения:

$$\varepsilon_1 = \Delta i_1 / \Delta d_1, \varepsilon_2 = \Delta i_2 / \Delta d_2. \quad (2.45)$$

8. Вычисляется расход воздуха  $G$  (в кг/с):

$$G = wF\rho, \quad (2.46)$$

где  $w$  – скорость воздуха, м/с;

$F$  – площадь поперечного сечения воздуховода на входе в камеру осушения, м<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

9. Вычисляется количество влаги  $W$ , удаленной из воздуха в процессе осушения (в кг/с):

$$W = G(d_1 - d_2)\tau, \quad (2.47)$$

где  $d_1$  – влагосодержание воздуха в начале процесса осушения, кг/кг;

$d_2$  – влагосодержание воздуха в конце процесса осушения, г/кг;

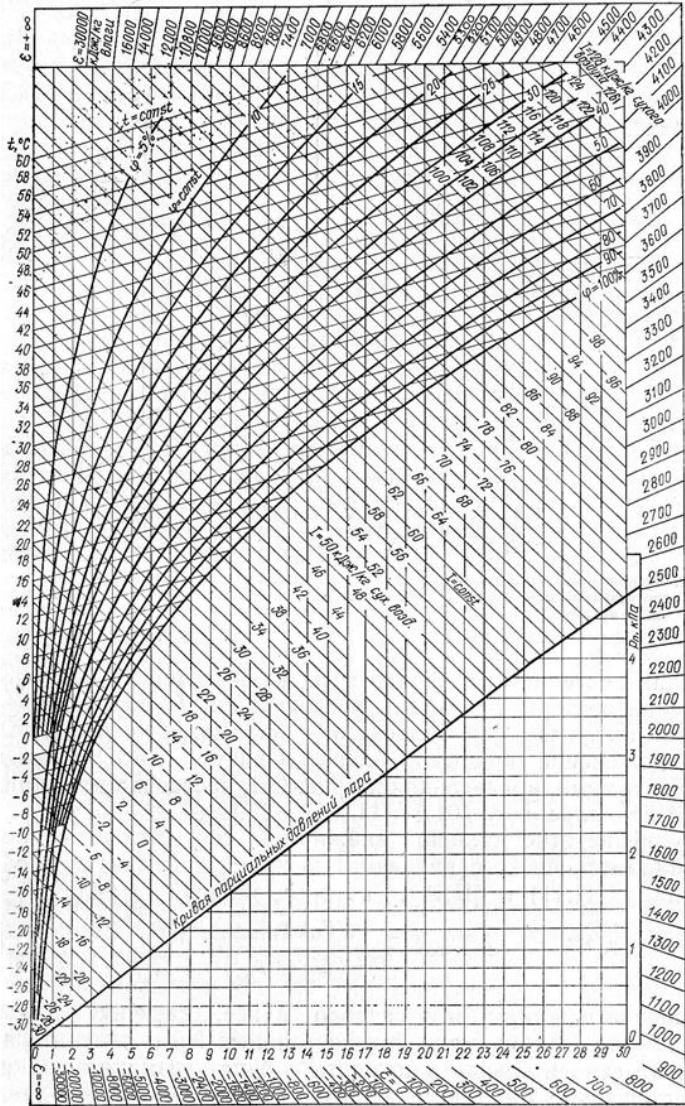
$\tau$  – продолжительность процесса осушения, с.

10. Полученные результаты занести в табл. 2.9.

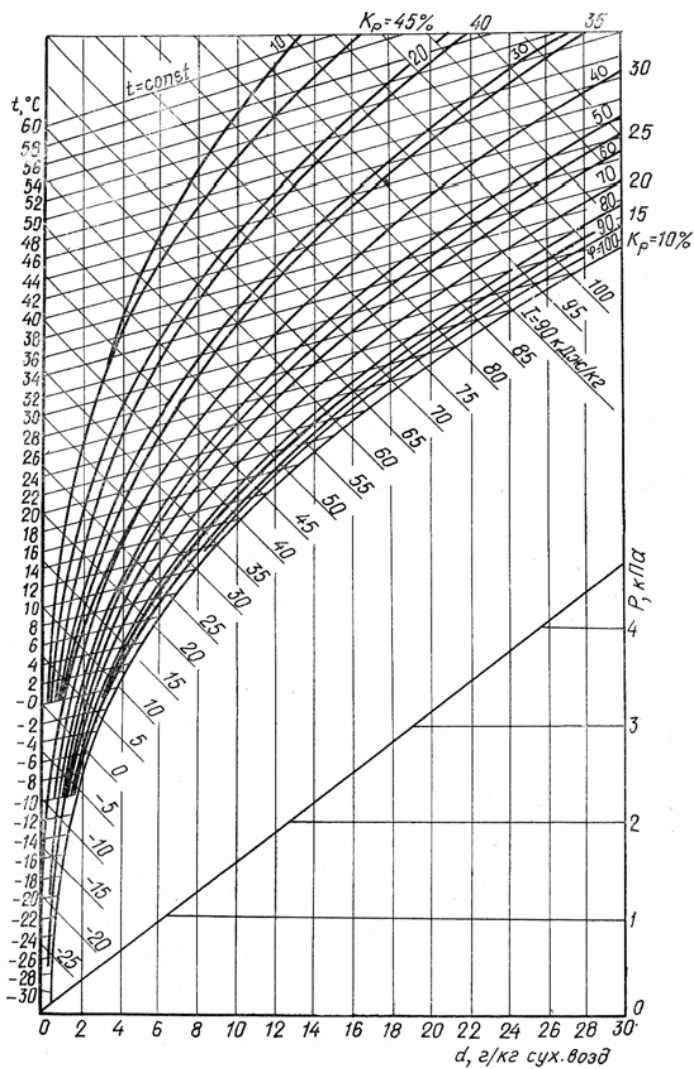
#### *Контрольные вопросы*

1. Какие вы знаете способы осушения?
2. Какие вещества называются адсорбентами?
3. Какие адсорбенты используются для осушения воздуха?
4. Как осуществляется регенерация адсорбентов ?
5. В чем заключается физическая сущность процессов осушения адсорбентами?
6. Как зависит осушающая способность силикагеля от температуры воздуха?
7. Как влияет толщина слоя адсорбента на процесс осушения воздуха?

*i, d-диаграмма влажного воздуха*



*i, d-диаграмма равновесного состояния водяного пара над поверхностью раствора хлористого лития*





**Свойства влажного воздуха**

$t, ^\circ\text{C}$	$p'', \text{Па}$	$d'', \text{г/кг}$	$c_r, \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$	$i_r, \text{кДж/кг}$	$i''_n, \text{кДж/кг}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
0	610,8	3,823	1,006	0	9,561	1,276
1	656,6	4,111	1,006	1,01	10,289	1,272
2	705,4	4,419	1,006	2,01	11,068	1,267
3	757,5	4,748	1,006	3,02	11,901	1,262
4	812,9	5,098	1,006	4,02	12,788	1,258
5	871,8	5,470	1,006	5,03	13,732	1,253
6	934,6	5,868	1,006	6,04	14,742	1,249
7	1001,2	6,290	1,006	7,04	15,814	1,244
8	1072,1	6,741	1,006	8,05	16,960	1,240
9	1147,3	7,219	1,006	9,05	18,176	1,236
10	1227,1	7,727	1,006	10,06	19,470	1,231
11	1311,8	8,268	1,006	11,07	20,848	1,227
12	1401,5	8,841	1,006	12,07	22,310	1,223
13	1496,7	9,451	1,006	13,08	23,867	1,218
14	1597,4	10,097	1,006	14,08	25,517	1,214
15	1704,1	10,783	1,006	15,09	27,271	1,210
16	1817,0	11,511	1,006	16,10	29,133	1,206
17	1936,4	12,282	1,006	17,10	31,108	1,201
18	2062,6	13,100	1,006	18,11	33,204	1,197
19	2196,0	13,966	1,006	19,11	35,425	1,193
20	2336,8	14,883	1,006	20,12	37,779	1,189
21	2485,5	15,854	1,006	21,13	40,277	1,185
22	2642,4	16,882	1,0061	22,13	42,916	1,181
23	2807,9	17,970	1,0061	23,14	45,716	1,177
24	2982,4	19,121	1,0061	24,14	48,680	1,173
25	3166,3	20,338	1,0061	25,15	51,816	1,169
26	3360,0	21,626	1,0061	26,16	55,138	1,165
27	3563,9	22,987	1,0061	27,16	58,651	1,161
28	3778,5	24,425	1,0061	28,17	62,366	1,158
29	4004,3	25,946	1,0062	29,18	66,298	1,154
30	4241,7	27,552	1,0062	30,19	70,453	1,150

**Теплофизические свойства воды на линии насыщения**

$t, ^\circ\text{C}$	$p \cdot 10^{-5},$ Па	$\rho<,$ кг/м <sup>3</sup>	$i_r,$ кДж/кг	$c_r,$ кДж/(кг · К)	$\lambda,$ Вт/(м · К)	$\nu \cdot 10^8,$ м <sup>2</sup> /с	$\mu \cdot 10^6,$ Па · с
0	1,013	999,9	0	4,212	0,560	13,2	1788
20	1,013	999,7	42,04	4,191	0,580	13,8	1306
30	1,013	999,2	83,91	4,183	0,507	14,3	1004
40	1,013	995,7	125,7	4,174	0,612	14,7	801,5
50	1,013	992,2	167,5	4,174	0,627	15,1	653,3
60	1,013	998,1	209,3	4,174	0,640	15,5	549,4
70	1,013	983,1	251,1	4,179	0,650	15,8	469,9
80	1,013	977,8	293,0	4,187	0,662	16,1	406,1
90	1,013	971,8	335,0	4,195	0,669	16,3	355,1
100	1,013	965,3	337,0	4,208	0,676	16,5	314,9

**Психрометрическая таблица для определения относительной влажности воздуха**

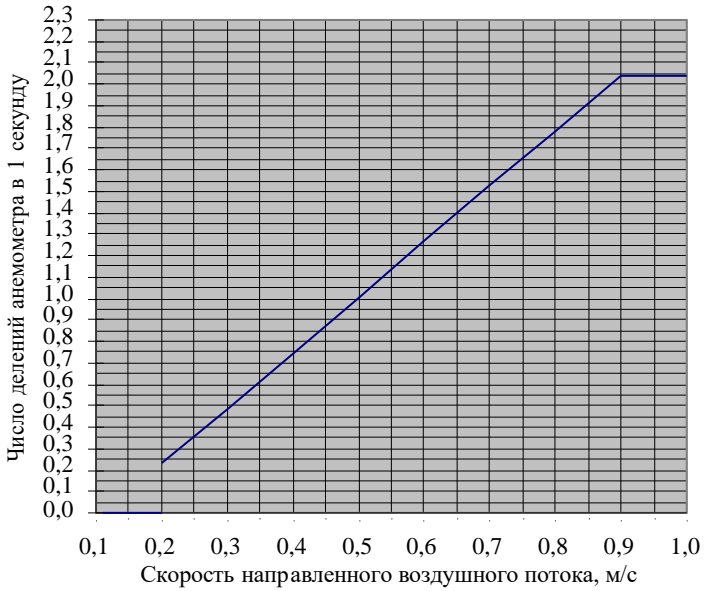
Температура по «сухому» термометру, °С	Разность показаний термометров, °С																					
	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5												
	Относительная влажность, %																					
5	91	83	75	66	58	50	42	34	26	19												
6	92	84	76	67	60	52	45	37	30	22	15											
7	92	84	77	69	62	54	48	40	33	26	19											
8	92	85	78	70	63	56	49	42	36	29	22	16										
9	93	86	79	71	65	58	51	45	38	32	25	19										
10	93	86	79	73	66	60	53	47	41	34	28	22	16									
11	93	87	80	74	67	61	55	49	43	37	31	26	20									
12	93	87	81	75	69	63	57	51	45	40	34	28	23	18								
13	94	88	82	76	70	64	58	53	47	42	36	31	26	20								
14	94	88	82	76	71	65	60	54	49	44	39	33	28	23	18							
15	94	88	83	77	72	66	61	56	51	46	41	36	31	26	21	18						
16	94	89	83	78	73	68	63	57	52	48	43	38	33	29	24	20						
17	95	89	84	79	74	69	64	59	54	49	45	40	35	31	27	22	19					
18		90	84	79	74	70	65	60	55	51	47	42	37	33	29	24	21	17				
19		90	85	80	75	70	66	61	57	52	48	44	39	35	31	27	23	19				
20		90	85	81	76	71	67	63	58	54	50	45	41	37	33	29	25	22	18			
21		90	85	81	77	72	68	64	59	55	51	47	43	39	35	31	28	24	21	17		
22		91	85	82	77	73	69	64	61	56	52	48	44	41	37	33	30	26	23	19		
23		91	86	82	78	74	70	65	62	58	54	50	46	42	39	35	32	28	25	21	18	
24		91	87	83	78	74	70	66	62	59	55	51	48	44	40	37	33	30	27	24	20	
25		91	87	83	79	75	71	67	63	60	56	52	49	45	42	38	35	32	29	26	22	19

**Давление насыщенного водяного пара  
при температурах от –20 до 100°С**

$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$
-20	102,9	5	871,8	29	4004,3	53	14 289	77	41 869
-19	113,3	6	934,4	30	4241,6	54	14 996	78	43 629
-18	124,6	7	1001,0	31	4492,2	55	15 729	79	45 455
-17	136,9	8	1079,0	32	4753,5	56	16 502	80	47 334
-16	150,3	9	1147,7	33	5029,4	57	17 302	81	49 281
-15	165,0	10	1227,7	34	5318,6	58	18 142	82	51 307
-14	180,9	11	1311,6	35	5622,6	59	19 008	83	53 399
-13	198,0	12	1402,3	36	5939,8	60	19 915	84	55 559
-12	216,8	13	1496,9	37	6274,4	61	20 848	85	57 798
-11	237,3	14	1598,2	38	6578,3	62	21 834	86	60 104
-50	259,4	15	1704,9	39	6990,2	63	22 847	87	62 477
-9	283,3	16	1816,9	40	7374,1	64	23 900	88	64 930
-8	309,4	17	1936,8	41	7776,7	65	24 993	89	67 463
-7	337,5	18	2063,5	42	8197,7	65	26 140	90	70 089
-6	368,0	19	2196,8	43	8637,8	67	27 326	91	72 795
-5	400,9	20	2338,0	44	9099,0	68	28552	92	75 581
-4	436,7	21	2486,0	45	9581,6	69	29 819	93	78 432
-3	475,3	22	2643,3	46	10 084,0	70	31 152	94	81 432
-2	517,0	23	2808,6	47	10 610,7	71	32 511	95	84 499
-1	561,9	24	2983,2	48	11 158,5	72	33 933	96	87 658
0	610,4	25	3167,2	49	11 733,0	73	35 417	97	90 923
1	657,1	26	3360,5	50	12 331,0	74	36 950	98	94 283
2	705,1	27	3564,4	51	12 956,0	75	38 537	99	97 735
3	758,5	28	3779,0	52	13 609,0	76	40 175	100	101 308

**Зависимость числа делений шкалы анемометра  
от скорости воздуха**

График зависимости числа делений шкалы анемометра  
в 1 секунду от скорости направленного воздушного  
потока, изменяемой в пределах 0,3–1,0 м/с



### 3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

#### Вопросы к итоговому контролю знаний по дисциплине «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение»

1. История развития техники кондиционирования воздуха.
2. Комфортные и технологические, архитектурно-строительные и конструктивные, экономические и эксплуатационные требования к СКВ.
3. Классификация систем кондиционирования воздуха по назначению и принципу расположения кондиционера.
4. Классификация систем кондиционирования воздуха по наличию собственного источника тепла и холода и по принципу действия.
5. Классификация систем кондиционирования воздуха по способу регулирования выходных параметров.
6. Классификация систем кондиционирования воздуха по классами и по давлению, развиваемому вентиляторами кондиционеров.
7. Классификация центральных систем кондиционирования воздуха.
8. Термодинамические параметры влажного воздуха: температура, давление, температура мокрого термометра.
9. Термодинамические параметры влажного воздуха: плотность, влажность, температура мокрого термометра.
10. Термодинамические параметры влажного воздуха: теплоемкость, температура точки росы, температура мокрого термометра.
11. Исходные данные для разработки СКВ. Расчетные параметры наружного воздуха.
12. Исходные данные для разработки СКВ. Расчетные параметры внутреннего воздуха.
13. I-d диаграмма влажного воздуха. Определение параметров влажного воздуха по I-d диаграмме.
14. Процессы изменения тепловлажностного состояния воздуха.
15. Построение процессов обработки воздуха в I-d диаграмме — чистый нагрев. Тепловлажностный коэффициент  $\epsilon$ .
16. Построение процессов обработки воздуха в I-d диаграмме — чистое охлаждение. Тепловлажностный коэффициент  $\epsilon$ .
17. Построение процессов обработки воздуха в I-d диаграмме — охлаждение с конденсацией водяных паров. Тепловлажностный коэффициент  $\epsilon$ .
18. Построение процессов обработки воздуха в I-d диаграмме — осушение воздуха сорбентами. Тепловлажностный коэффициент  $\epsilon$ .
19. Построение процессов обработки воздуха в I-d диаграмме — адиабатическое охлаждение воздуха. Тепловлажностный коэффициент  $\epsilon$ .
20. Построение процессов обработки воздуха в I-d диаграмме — смешение воздуха с различными параметрами. Тепловлажностный коэффициент  $\epsilon$ .
21. Процессы тепловлажностной обработки воздуха при контакте с водой.
22. Основные виды вредностей и их влияние на самочувствие человека.
23. Тепловлажностная нагрузка помещения. Тепловлажностный коэффициент.
24. Определение теплопритоков для кондиционируемого помещения.

25. Определение влагопритоков для кондиционируемого помещения.
26. Определение производительности СКВ.
27. Схемы обработки воздуха в системах кондиционирования.
28. Контрольно-измерительные приборы для измерения основных параметров воздуха.
29. Применение рециркуляции воздуха в СКВ.
30. Рекуператоры, применяемые в СКВ.
31. Эффективность рекуперации в центральных системах кондиционирования.
32. Классификация сплит-систем СКВ.
33. Мультисплит-система, принцип действия, область применения.
34. Основные блоки, входящие в центральный кондиционер, их функции.
35. Принцип работы модульного центрального кондиционера.
36. Мобильные кондиционеры, принцип действия, область применения.
37. Крышные кондиционеры, принцип действия, область применения.
38. Зональные кондиционеры, принцип действия, область применения.
39. Чиллер-фанкойлы, принцип действия, область применения.
40. Прецизионные кондиционеры, принцип действия, область применения.
41. Мультизональные VRV и VRF кондиционеры, принцип действия.
42. Сравнение разных типов кондиционеров, достоинства и недостатки разных типов кондиционеров.
43. Основные функции местных кондиционеров, мощность кондиционера (охлаждения/нагрева и потребляемая).
44. Принцип работы местного кондиционера. Основные узлы.
45. Компрессоры, типы и принцип работы.
46. Конденсаторы, типы и принцип действия.
47. Испарители, типы и принцип действия.
48. Естественные источники холода. Искусственные источники холода.
49. Холодильная техника. Хладагенты, применяемые в холодильной технике.
50. Термодинамические свойства хладагентов.
51. Экологическая безопасность хладагентов.
52. Схема парокомпрессионного холодильного цикла.
53. Энтальпия хладагента. Эффективность цикла охлаждения ХМ.
54. Теоретический цикл охлаждения ХМ.
55. Реальный цикл охлаждения ХМ.
56. Термоэлектрическое охлаждение.
57. Многоступенчатое сжатие в холодильном процессе.
58. Многократное дросселирование в холодильном процессе.
59. Многократное сжатие в холодильном процессе.
60. Абсорбционные холодильные установки.
61. Пароэжекторная холодильная установка.
62. Наладка и испытание систем кондиционирования.
63. Общие сведения об обслуживании систем кондиционирования.
64. Техническое обслуживание СКВ, что входит в данный комплекс работ.
65. Ремонт оборудования СКВ (восстановительный, текущий, капитальный, реконструкция).
66. Комплекс технических, организационных и экономических мероприятий, повышающих надежность и эффективность эксплуатации оборудования.

## **Нормативная литература**

1. СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск, 2020.
2. СНБ 2.04.02-2000. Строительная климатология. – Мн., 2001. – 40с.
3. ГОСТ 21.602-79. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Рабочие чертежи.
4. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
5. ТКП 45-2.04-43-2006. Строительная теплотехника. – Мн., 2007. – 36с.
6. СТО НП АВОК 1.05-2006. Условные графические обозначения в проектах отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплохолодоснабжения. – М., 2006. – 57с.
7. ГОСТ 12.3.018-79. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний. – М., 1987. – 11с.

## **Основная литература**

8. Дячек П.И. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: Учеб. пособие. – Издательство АСВ, 2017. – 676 с.
9. Богословский В.Н. и др. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: Учебник для вузов / В.Н.Богословский, О.Я. Кокорин, Л.В. Петров; Под ред. В.Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1985. – 367 с.
10. Отопление и вентиляция. Ч. II. Вентиляция. / Под ред. В.Н.Богословского. – М.: Стройиздат., 1976, 439 с.
11. А.В.Нестеренко. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. Учеб. пособие. изд. 3, доп. М., изд-во «Высшая школа», 1971, 460 с.
12. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях.- М.: Евроклимат, 2006.- 640с.: ил.- (Библиотека климатехника).
13. Липа А.И. Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха. Изд. второе, перераб., доп., Одесса: ОГАХ, Издательство: «Издательство ВМВ», 2010. - 607 с.
14. Ананьев В.А. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. - М.: Евроклимат, 2001.- 416с.
15. Кокорин О.А. Современные системы кондиционирования. - М.: Издательство физико-математической литературы. 2003. – 272с.
16. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн.1. / под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – М: Стройиздат, 1992, 320 с.
17. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – М.: Стройиздат., 1971, 263 с.
18. Хрусталёв Б. М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование/ Под ред. Проф. Б. М. Хрусталёва – М.: Издательство АСВ, 2007. – 784 с.



## Дополнительная литература

19. Куценко Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок: Учеб. пособие. - Мн.: Дизайн ПРО, 2003.
20. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий: 5-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 2002.
21. Лэнгли Б. Руководство по устранению неисправностей в оборудовании для кондиционирования воздуха и в холодильных установках (перевод с английского) / под ред. Гальперина А.Д. - М.:Евроклимат, 2013. 220с.
22. Ананьев В.А. и др. Холодильное оборудование для современных центральных кондиционеров. Расчёт и методы подбора. Учебное пособие. М.: . «Евроклимат». Изд. Диксис Трейдинг. 2011. 96 с.
23. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фанкойлами. М.: «Евроклимат». Изд. Арина, 2003. 400с.

## ЗАДАЧИ

### Построить на I-d диаграмме процессы обработки приточного воздуха:

1. Основные процессы изменения состояния воздуха (чистый нагрев) и их изображение на диаграмме.
2. Основные процессы изменения состояния воздуха (чистое охлаждение, без конденсации водяных паров) и их изображение на диаграмме.
3. Основные процессы изменения состояния воздуха (нагрев, охлаждение, смешение) и их изображение на диаграмме.
4. Основные процессы изменения состояния воздуха (охлаждение с конденсацией водяных паров) и их изображение на диаграмме.
5. Процесс адиабатического охлаждения воздуха и его отображение на I-d диаграмме.
6. Процесс увлажнения воздуха паром и его отображение на I-d диаграмме.
7. Осушение воздуха. Обработка воздуха сорбентами и отображение процесса на I-d диаграмме.
8. Смешивание влажного воздуха, отображение процесса на I-d диаграмме.
9. Прямоточный процесс с адиабатным охлаждением воздуха в теплый период года.
10. Политропная обработка в камере орошения в теплый период года.
11. Охлаждение и осушение воздуха в воздухоохладителе в теплый период года.
12. Прямоточный процесс с адиабатным охлаждением воздуха в холодный период года.
13. Процесс с первой рециркуляцией в холодный период года.
14. Процесс с рекуператором теплоты в холодный период года.
15. Построить процессы изменения состояния приточного воздуха на I-d-диаграмме по нескольким схемам обработки воздуха в центральном кондиционере для двух периодов года, выполнить их анализ, выбрать расчетные схемы и подобрать оборудование.

## **4. ВСПОМАГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ**

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый проректор БрГТУ

\_\_\_\_\_ А.М.Омельянюк

«    » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Регистрационный № УД- \_\_\_\_\_ /уч.

### **«КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ»**

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для  
специальности:

1-70 04 02 Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна

2020 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта (образовательных стандартов) ОСРБ 1- 70 04 02-2013, утв. постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 88 от 30.08.2013, и учебных планов специальностей, направлений специальностей, специализаций.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

Янчилин П.Ф., старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, магистр технических наук

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Новик Ю.Н., главный эксперт отдела экспертизы инженерного обеспечения управления экспертизы проектно-сметной документации дочернего республиканского унитарного предприятия «Госстройэкспертиза по Брестской области»

Яловая Н.П., проректор по воспитательной работе, кандидат технических наук, доцент.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции

Заведующий кафедрой

В.Г.Новосельцев

(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_);

Методической комиссией факультета инженерных систем и экологии

Председатель методической комиссии

О.П.Мешик

(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Место учебной дисциплины

Дисциплина «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» является специальной дисциплиной для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».

### Цель преподавания учебной дисциплины

Изучение устройства и принципов функционирования систем кондиционирования воздуха и холодоснабжения.

### Задачи учебной дисциплины

Основной задачей изучения дисциплины являются подготовка специалистов, усвоивших устройство и теоретические основы функционирования систем кондиционирования воздуха (СКВ) — современных технологий, позволяющих в автоматическом режиме создать в закрытых помещениях оптимальные параметры воздушной среды (температуру, влажность, чистоту, состав, скорость движения) для деятельности людей и при реализации технологических процессов. Умение вести подбор и применение СКВ и их элементов в практической деятельности и пользоваться современными программными комплексами с целью проектирования надёжных и экономичных систем. Полученные знания будут полезны при подготовке коммерческого предложения, проектировании СКВ и подборе оборудования, монтаже и техническом обслуживании объектов. Они помогут избежать ошибок при проектировании, учесть все требования и особенности объекта.

В результате изучения учебной дисциплины формируются следующие **компетенции:**

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- СКЛ-4. Владеть навыками здоровьесбережения.
- СКЛ-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.
- ПК-8. Анализировать перспективы и направления развития систем кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна.
- ПК-9. Выбирать оптимальный критерий развития систем кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна и осуществлять их оптимизацию.
- ПК-13. Рассчитывать и анализировать режимы работы систем кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна и намечать пути их оптимизации.
- ПК-21. Проводить различные инженерные мероприятия по охране воздушного бассейна.

- ПК-30. При строительстве и эксплуатации систем кондиционирования воздуха соблюдать требования охраны окружающей среды.
- ПК-32. Осуществлять авторский надзор за монтажом систем кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна в пределах соответствующей компетенции.
- ПК-35. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективам развития систем кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна; инновационным технологиям, проектам и решениям.

**В результате изучения дисциплины студент должен:**

**знать:**

- санитарно-технические и технологические основы кондиционирования воздуха;
- свойства влажного воздуха и процессы изменения его состояния;
- процессы кондиционирования воздуха;
- функциональные блоки и состав систем кондиционирования воздуха;
- номенклатуру выпускаемых кондиционеров;
- физические основы функционирования основных типов холодильных машин (ХМ);
- функциональные блоки и состав основных типов ХМ и систем холодоснабжения;
- элементы установок холодильных машин.

**уметь:**

- определять расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха;
- определять расчетный воздухообмен в помещениях;
- разрабатывать процессы и схемные решения СКВ;
- анализировать условия работы СКВ и выбирать экономически обоснованные методы обработки воздуха;
- определять нагрузки на холодильное оборудование;
- анализировать условия работы и подбирать холодильное оборудование.

**владеть:**

- методами расчета и подбора оборудования;
- методами анализа технических характеристик оборудования в зданиях различного назначения;
- методиками испытания и наладки систем кондиционирования.

**Связи с другими учебными дисциплинами**

Для изучения дисциплины «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» необходимо изучение дисциплины «Механика жидкости и газа», «Насосы и вентиляторы», «Вентиляция», «Отопление».

Для закрепления теоретического материала, овладения методикой проектирования и расчета предусмотрено проведение практических и лабораторных занятий по всем ключевым темам и выполнение курсового проекта.

## План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70-04-02	ТГВиОВБ	4	7	220	3	80	32	16	32		60	экзамен
1-70-04-02	ТГВиОВБ	4	8	56	2	14	32	8				зачет

## План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70-04-02	ТГВиОВБ	5	9	220	3	10	4	2	4		60	экзамен
1-70-04-02	ТГВиОВБ	5	10	56	2	8	4	2	2			зачет

## План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70-04-02	ТГВиОВБ	3	5	220	3	10	4	2	4		60	экзамен
1-70-04-02	ТГВиОВБ	3	6	56	2	8	4	2	2			зачет

### 1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

#### 1.1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

##### **Введение. Дисциплина, ее предмет и задачи.**

Назначение систем кондиционирования воздуха (СКВ) в общем комплексе кондиционирования микроклимата зданий различного назначения. Общие понятия и определения. Параметры воздушной среды и влияние их на самочувствие людей

и технологические процессы. Назначение систем кондиционирования воздуха в общем комплексе средств обеспечения требуемых параметров микроклимата зданий различного назначения. Краткий исторический обзор и особенности развития техники кондиционирования воздуха.

### **Санитарно-гигиенические и технологические основы кондиционирования воздуха.**

Внутренний режим помещений. Микроклимат кондиционируемых помещений различного назначения. Условия теплового комфорта. Основные нормативные документы, используемые при определении расчетных параметров внутреннего воздуха. Характеристика и расчетные параметры наружного климата. Понятие обеспеченности параметров в кондиционируемых помещениях. Основные нормы по выбору расчетных параметров наружного климата при проектировании СКВ. Требования к СКВ. Основные положения, структурная схема и классификация СКВ.

### **Свойства воздуха и процессы изменения его состояния.**

Термодинамика влажного воздуха. Определение параметров воздуха по результатам измерений психрометрической разности температур. Построение на  $I-d$  диаграмме процессов изменения состояния кондиционируемого воздуха. Режимы увлажнения, нагрева, охлаждения и осушения воздуха. Режимы увлажнения с понижением энтальпии воздуха. Изменение параметров воздуха при осушке его сорбентами. Увлажнение воздуха паром. Построение на  $I-d$  диаграмме процессов кондиционирования.

### **Термодинамическое и физико-математическое описание процессов обработки воздуха в установках кондиционирования.**

Термодинамические и физико-математические основы протекания процессов тепло- и массообмена в аппаратах установок кондиционирования воздуха (УКВ). Безразмерные параметры и общие характеристики процесса тепломассообмена в аппаратах УКВ.

### **Процессы и средства кондиционирования воздуха.**

Основные характеристики изменения теплового режима в кондиционируемом помещении. Выбор рабочей разности температур, определение количества наружного воздуха и производительности СКВ по воздуху. Кондиционирование воздуха с применением испарительного охлаждения. Методы прямого и косвенного испарительного охлаждения. Методы многоступенчатого испарительного охлаждения. Кондиционирование воздуха в теплый период года. Методы изменения параметров кондиционируемого воздуха в теплый период года. Построение на  $I-d$  диаграмме процессов кондиционирования с использованием холодной воды в секциях увлажнения. Охлаждение воздуха в воздухоохладителях. Кондиционирование воздуха в холодный период года. Методы изменения параметров кондиционируемого воздуха в холодный период года. Рециркуляция при кондиционировании воздуха. Построение на  $I-d$  диаграмме процессов кондиционирования при различных способах формирования теплового режима в здании. Кондиционирование воздуха с применением сорбентов. Особенности обработки кондиционируемого воздуха при использовании жидких и твердых сорбентов. Построение на  $I-d$  диаграмме процессов кондиционирования. Борьба с запахами при кондиционировании воздуха. Ионизация воздуха.

## **Схемы и решения систем кондиционирования воздуха в зданиях различного назначения.**

Факторы, определяющие выбор СКВ. Влияние на выбор принципиальной схемы СКВ назначения помещений и архитектурно-строительного решения здания, особенностей эксплуатации производственного оборудования, интенсивности и характера выделяемых вредностей, расположения рабочих мест, климатического района строительного объекта, СКВ для помещений значительных размеров. СКВ центральные прямоточные и с рециркуляцией. Многозональные СКВ, двухканальные и с местными доводчиками. Непроизводительные потери тепла и холода в СКВ. СКВ для многозональных зданий. СКВ для случаев регулирования температуры и влажности в помещениях. Анализ процессов круглогодичной обработки воздуха. СКВ для отдельных помещений зданий.

### **Центральные УКВ. Принципиальные схемы. Основное оборудование и методы расчета.**

Базовые схемы центральных УКВ, собираемых из типовых секций. Модификация центральных УКВ. Конструкция и методы расчета камер орошения. Конструктивная схема водоснабжения типовых камер орошения. Конструкция и методы расчета воздухонагревателей. Базовые схемы, конструктивные разновидности воздухонагревателей в зависимости от регулирования по воде и по воздуху. Показатели для расчета режимов работы. Конструкция и методы расчета воздухоохладителей. Базовые схемы, конструктивные разновидности воздухоохладителей. Расчет режимов охлаждения и осушения воздуха. Воздушные фильтры, клапаны, вентиляторные агрегаты. Конструктивные особенности. Материалы. Режимы работы.

### **Местные и местно-центральные СКВ. Основное оборудование и методы расчета.**

Отличительные особенности оборудования для местных СКВ. Агрегатные автономные и неавтономные УКВ. Конструктивная схема, модельный ряд, принцип работы. Методика расчета режимов работы. Автономные кондиционеры с водяным и воздушным охлаждением конденсатора. Принципиальная схема и принцип работы.

#### **Режим работы, регулирования и управления СКВ.**

Изменение теплового режима кондиционируемого помещения в течение года. Установочная мощность оборудования СКВ. Продолжительность теплового, переходного и холодного периодов работы СКВ. Годовой режим работы СКВ. Определение годовых расходов энергии СКВ. Режимы работы, регулирования и управления СКВ. Методы регулирования.

#### **Эффективное использование и экономия энергии в СКВ.**

Повышение эффективности систем кондиционирования микроклимата. Пути экономии энергии в здании. Повышение эффективности схемных решений, применения отдельных элементов СКВ, технологии управления СКВ. Использование нетрадиционных и низкопотенциальных источников энергии. Классификация и конструкции теплоутилизаторов. Виды теплоутилизаторов. Термодинамические особенности видов утилизаторов. Рекуператоры. Утилизаторы с промежуточным теплоносителем, их технологические схемы и методы расчета. Эффективность СКВ с утилизаторами теплоты. Оценка эффективности и технико-



экономических показателей. Выбор схемных решений. Оптимизация режимов работы.

### **Перспективы развития и совершенствования систем кондиционирования воздуха.**

Особенности СКВ для новых видов зданий. Изменение схемных решений СКВ для зданий с эффективным использованием энергии. Повышение эксплуатационной надежности и эффективности работы СКВ. Пути повышения надежности работы аппаратов в составе СКВ.

### **Классификация источников холода и систем холодоснабжения.**

Краткий исторический обзор способов развития способов охлаждения различных тел. Сведения о применении холода в различных областях науки и техники. Основные понятия, термины и определения. Температурные уровни использования холода. Классификация и структурные схемы источников холода для СКВ. Природные источники холода, искусственные источники холода, испарительное охлаждение, комбинированные схемы охлаждения. Централизованное холодоснабжение. Комбинированные методы охлаждения. Принципиальные схемы.

### **Физические принципы получения низких температур.**

Охлаждение с помощью фазовых превращений. Использование естественного холода. Заготовка и хранение искусственного и естественного льда. Охлаждение путем расширения газов. Охлаждение с помощью дросселирования. Термоэлектрическое охлаждение. Магнитокалорическое охлаждение. Охлаждение с использованием вихревого эффекта. Испарительное охлаждение.

### **Парокомпрессорная холодильная машина.**

Воздушная холодильная машина. Идеальная холодильная машина. Термодинамические основы работы паровых холодильных машин. Обратный цикл Карно. Принципиальная схема паровой компрессорной холодильной машины. Дросселирование холодильных агентов. Расширение холодильных агентов. Сжатие холодильного агента в компрессоре. Холодильный цикл. Параметры холодильного цикла. Необратимые потери обратного цикла Карно. Методы сокращения необратимых потерь холодильной машины. Сокращение потерь, вносимых регулирующим вентилем. Переохлаждение холодильного агента. Холодильные машины с двух и многоступенчатым сжатием холодильного агента. Каскадные холодильные машины. Комбинированное использование холодильной машины.

### **Холодильные агенты.**

Свойства хладагентов и предъявляемые им требования (физико-химические, технические, физиологические, экологические, экономические, эксплуатационные; взрывопожароопасность хладагентов). Маркировка хладагентов. Классификация хладагентов. Выбор холодильных агентов.

### **Теплоиспользующие холодильные машины.**

Принцип действия абсорбционной холодильной машины. Свойства бинарных растворов. Диаграммы состояния растворов. Холодильные циклы абсорбционных холодильных машин. Компоновочные схемы и виды АХМ. Анализ работы абсорбционных холодильных машин. Абсорбционные безнасосные холодильные машины. Пароэжекторные холодильные машины.

### **Функциональные блоки холодильных машин.**

Компрессоры холодильных машин. Расширительные машины. Устройство, принцип действия и рабочие процессы расширительных машин. Аппараты холодильных машин. Конденсаторы, испарители, устройство и основы эксплуатации. Аппараты теплоиспользующих холодильных машин. Вспомогательные аппараты холодильных машин.

#### **Характеристики и основы автоматизации холодильных машин.**

Характеристики, регулирование и автоматизация пароконпрессорных холодильных машин. Характеристики, регулирование и автоматизация теплоиспользующих холодильных машин.

#### **Машины и системы, использующие низкопотенциальные тепловые ресурсы.**

Тепловые насосы. Виды и характеристики тепловых насосов. Пути использования различных видов тепловых ресурсов для нужд холодоснабжения.

#### **Системы холодоснабжения.**

Состав систем холодоснабжения. Состав систем транспорта холода. Холодоносители, их характеристики и область применения. Тепло- и пароизоляция холодопроводов.

#### **Монтаж и эксплуатация холодильных установок.**

Монтаж холодильных установок. Испытание холодильных установок. Надежность холодильных установок. Техника безопасности при эксплуатации холодильных установок.

## **1.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ**

Определение параметров внутреннего и наружного воздуха. Определение параметров состояния влажного воздуха. Выбор методов обработки воздуха. Построение области параметров внутреннего и приточного воздуха. Построение характерных зон на  $I-d$  диаграмме. Выбор методов обработки воздуха. Построение принципиальных технологических схем (прямоточных и с рециркуляцией). Построение процессов обработки воздуха для теплого и холодного периодов года на  $I-d$  диаграмме. Изучение технологической схемы и компоновки центрального кондиционера. Экскурсия или просмотр учебного фильма с целью знакомства с установками искусственного климата и их элементами. Расчет производительности УКВ. Выбор типоразмера кондиционера. Расчет оборудования УКВ. Расчет требуемой эффективности. Расчет поверхностных теплообменников (воздухоохладителей и воздухонагревателей). Выбор конструкций. Расчет требуемой поверхности теплообмена. Расчет конструкции камер орошения центрального кондиционера. Расчет элементов системы утилизации энергии. Расчет системы с промежуточным теплоносителем. Подбор оборудования центрального кондиционера по каталогам ведущих предприятий-производителей. Выбор элементов кондиционера с помощью ПЭВМ. Расчет воздухораспределения для кондиционируемого помещения. Выбор типоразмеров распределительных решеток и плафонов. Проверка скорости воздуха на оси струи в точке входа в рабочую зону. Аэродинамический расчет системы кондиционирования воздуха.

### **1.3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ**

Исследование метеорологических параметров в помещении. Ознакомление с методикой измерения температуры, относительной влажности, температуры точки росы и плотности воздуха, определение влагосодержания, энтальпии, парциального давления, давления насыщения, а также составление заключения о соответствии этих измеренных параметров воздуха нормативным требованиям.

Изучение устройства и испытание автономного (оконного) кондиционера. Определение производительности по воздуху и холодопроизводительность.

Ознакомление с устройством, принципом работы и схемой монтажа кондиционера сплит-системы.

Изучение принципа действия и конструкции функциональных блоков центрального кондиционера, режимов работы в различные периоды года.

Изучение принципа действия и конструкции парокомпрессорной холодильной машины.

Ознакомление с устройством домашних холодильников и с методикой испытания. Анализ изменения температур воздуха внутри холодильного шкафа и температур на поверхности аппаратов по времени.

## **2. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ**

В рамках изучения дисциплины программой предусмотрено выполнение курсового проекта на тему «Кондиционирование воздуха общественного здания». Количество часов по учебному плану – 60 (1,5 з.е.).

В курсовой проект входят следующие разделы: выбор расчетных параметров наружного и внутреннего воздуха для двух периодов года; определение количества вредностей, поступающих в рабочую зону; определение воздухообмена для ассимиляции вредностей и выбор расчетного воздухообмена; построение процессов кондиционирования воздуха для теплого и холодного периодов года; анализ различных процессов обработки воздуха; построение компоновочной схемы кондиционера; расчет воздухораспределения для кондиционируемого помещения; аэродинамический расчет СКВ; расчет и подбор основного оборудования (калориферов, секции увлажнения воздуха, вентиляторной секции и т.д.) СКВ.

Графическая часть проекта состоит из чертежа, на котором изображаются планы здания с нанесением оборудования и воздуховодов запроектированной системы кондиционирования; аксонометрическая схема системы кондиционирования воздуха с нанесением оборудования и воздухораспределителей; схема приточно-вытяжной установки с нанесением оборудования; детали; условные обозначения.

Объем проекта:

- Пояснительная записка с обоснованием проектных решений, расчётами с необходимыми пояснениями и окончательными результатами, списком использованной литературы. Объем пояснительной записки – около 60 страниц.
- Объем графической части - 2 листа формата А1.

### 3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для дневной формы получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Семинарские занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение. Дисциплина, ее предмет и задачи	2						экзамен
2	Санитарно-гигиенические и технологические основы кондиционирования воздуха	4						экзамен
3	Свойства воздуха и процессы изменения его состояния	4	4	2				экзамен
4	Термодинамическое и физико-математическое описание процессов обработки воздуха в установках кондиционирования	6	6					экзамен курсовой проект
5	Процессы и средства кондиционирования воздуха	6	6	4				экзамен курсовой проект
6	Схемы и решения систем кондиционирования воздуха в зданиях различного назначения	2	2	2				экзамен курсовой проект
7	Центральные СКВ. Принципиальные схемы. Основное оборудование и методы расчета	6	6	6				экзамен курсовой проект
8	Местные и местно-центральные СКВ. Основное оборудование и методы расчета	4	2	2				экзамен
9	Режим работы, регулирования и управления СКВ	2	2	2				экзамен курсовой проект
10	Эффективное использование и экономия энергии в СКВ	4	2	2				экзамен курсовой проект

11	Перспективы развития и совершенствования систем кондиционирования воздуха	2	2					экзамен
12	Классификация источников холода и систем холодоснабжения. Физические принципы получения низких температур	2						зачет
13	Парокомпрессионная холодильная машина	4		4				зачет
14	Холодильные агенты	4						зачет
15	Теплоиспользующие холодильные машины	2						зачет
16	Функциональные блоки холодильных машин. Характеристики и основы автоматизации холодильных машин	4		2				зачет
17	Машины и системы, использующие низкопотенциальные тепловые ресурсы	2						зачет
18	Монтаж и эксплуатация холодильных установок	2						зачет
	Итого	64	32	24				

### 3.2 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Семинарские занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение. Санитарно-гигиенические и технологические основы кондиционирования воздуха. Свойства воздуха и процессы изменения его состояния. Термодинамическое и физико-математическое описание процессов обработки воздуха в СКВ.	2	2					экзамен курсовой проект

2	Центральные СКВ. Принципиальные схемы. Основное оборудование и методы расчета. Местные и местно-центральные СКВ. Основное оборудование и методы расчета	2	2	2				экзамен курсовой проект
3	Классификация источников холода и систем холодоснабжения. Физические принципы получения низких температур. Парокомпрессионная холодильная машина	2						зачет
4	Холодильные агенты. Теплоиспользующие холодильные машины. Функциональные блоки холодильных машин. Характеристики и основы автоматизации холодильных машин	2	2	2				зачет
	Итого	8	6	4				

### 3.3 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения образования, интегрированного со средним специальным образованием

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Семинарские занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение. Санитарно- гигиенические и технологические основы кондиционирования воздуха. Свойства воздуха и процессы изменения его состояния. Термодинамичес- кое и физико-математичес- кое описание процессов обработки воздуха в СКВ.	2	2					экзамен курсовой проект
2	Центральные СКВ.	2	2	2				экзамен

	Принципиальные схемы. Основное оборудование и методы расчета. Местные и местно-центральные СКВ. Основное оборудование и методы расчета							курсовой проект
3	Классификация источников холода и систем холодоснабжения. Физические принципы получения низких температур. Парокомпрессионная холодильная машина	2						зачет
4	Холодильные агенты. Теплоиспользующие холодильные машины. Функциональные блоки холодильных машин. Характеристики и основы автоматизации холодильных машин	2	2	2				зачет
	Итого	8	6	4				

#### 4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

##### 4.1. Перечень литературы (учебной, учебно-методической, научной, нормативной, др.)

###### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 4.1.1. СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск, 2020.
- 4.1.2. Дячек П.И. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: Учеб. пособие. – М.: изд-во АСВ, 2017, 676 с.
- 4.1.3. Богословский В.Н. и др. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: Учебник для вузов / В.Н.Богословский, О.Я. Кокорин, Л.В. Петров; Под ред. В.Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1985. – 367 с.
- 4.1.4. Отопление и вентиляция. Ч. II. Вентиляция. / Под ред. В.Н.Богословского. – М.: Стройиздат., 1976, 439 с.
- 4.1.5. А.В.Нестеренко. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. Учебн. пособие. изд. 3, доп. М., изд-во «Высшая школа», 1971, 460 с.
- 4.1.6. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях.- М.: Евроклимат, 2006.- 640с.: ил.- (Библиотека климатехника).
- 4.1.7. Липа А.И. Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха. Изд. второе, перераб., доп., Одесса: ОГАХ, Издательство: «Издательство ВМВ», 2010. - 607 с.

- 4.1.8. Ананьев В.А. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. - М.: Евроклимат, 2001.- 416с.
- 4.1.9. Кокорин О.А. Современные системы кондиционирования. - М.: Издательство физико-математической литературы. 2003. – 272с.
- 4.1.10. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн.1. / под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – М: Стройиздат, 1992, 320 с.
- 4.1.11. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – М.: Стройиздат., 1971, 263 с.
- 4.1.12. Хрусталёв Б. М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование/ Под ред. Проф. Б. М. Хрусталёва – М.: Издательство АСВ, 2007. – 784 с.

#### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

- 4.1.1. Куценко Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок: Учеб. пособие. - Мн.: Дизайн ПРО, 2003.
- 4.1.2. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий: 5-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 2002.
- 4.1.3. Лэнгли Б. Руководство по устранению неисправностей в оборудовании для кондиционирования воздуха и в холодильных установках (перевод с английского) / под ред. Гальперина А.Д. – М.: Евроклимат, 2013. 220с.
- 4.1.4. Ананьев В.А. и др. Холодильное оборудование для современных центральных кондиционеров. Расчёт и методы подбора. Учебное пособие. М.: . «Евроклимат». Изд. Диксис Трейдинг. 2011. 96 с.
- 4.1.5. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фанкойлами. М.: Евроклимат. Изд. Арина, 2003. 400с.

#### **4.2. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся по учебной дисциплине**

Для поведения самостоятельной работы студентами используются литературные источники, приведенные в п. 4.1.



## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Механика жидкости и газа	Природо-обустройства		
2. Насосы и вентиляторы	Теплогазоснабжения и вентиляции		
3. Вентиляция	Теплогазоснабжения и вентиляции		
3. Отопление	Теплогазоснабжения и вентиляции		

Содержание учебной программы  
согласовано с выпускающей кафедрой

Заведующий выпускающей кафедрой,  
кандидат технических наук, доцент

В.Г.Новосельцев