


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.Мешник

« 28 » 12 2022 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
«ВЕНТИЛЯЦИЯ»**

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

Составитель: Сальникова Светлана Рудольфовна – старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Учреждения образования «Брестский государственный технический университет»

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета БрГТУ протокол №3 от 29.12.2022 г.

рег. в УАСК 28/13-79

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Актуальность изучения дисциплины

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

Основной задачей изучения дисциплины является подготовка инженера, способного успешно реализовать свои знания при разработке и эксплуатации систем ТГВ, усвоение студентами теоретических основ функционирования, конструктивных особенностей, принципов применения, принципов и способов управления работой нагнетателей, применяемых в теплогазоснабжении и вентиляции согласно квалификационной характеристики.

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 «Вентиляция» 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 «Вентиляция».

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 «Вентиляция»:

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

Практический раздел ЭУМК содержит материалы для проведения практических 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 «Вентиляция», 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 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

I ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Тема 1 Введение

Тема 2 Классификация систем вентиляции

Тема 3. Свойства воздуха и процессы изменения его состояния

Тема 4 Тепловой, влажностный и газовый режимы помещений

Тема 5 Балансы воздушный и вредных выделений

Тема 6 Организация воздухообмена в помещении. Струйные течения

Тема 7 Неорганизованный воздухообмен в помещении

Тема 8 Аэрация помещений общественных и промышленных зданий

Тема 9 Конструктивное выполнение вентиляционных систем

Тема 10 Вентиляционные каналы и воздуховоды

Тема 11 Аэродинамика систем вентиляции

Тема 12 Очистка вентиляционного воздуха

Тема 13 Нагревание воздуха. Калориферы

Тема 14 Защита от шума

Тема 15 Испытание и наладка вентиляционных систем

Тема 16 Системы местной вытяжной вентиляции

Тема 17 Системы местной приточной вентиляции

Тема 18 Системы аспирации и пневмотранспорта

Тема 19 Вентиляция помещений промышленных предприятий

Тема 20 Аварийная вентиляция. Система противодымной защиты

Тема 21 Вентиляция сельскохозяйственных зданий и сооружений

II ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Лабораторный практикум

III РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Вопросы к зачету

Вопросы к экзамену

Задачи к экзамену

IV ВСПОМАГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

І ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ТЕМА 1 ВВЕДЕНИЕ

ТЕМА 2 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

ТЕМА 3. СВОЙСТВА ВОЗДУХА И ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО СОСТОЯНИЯ

- 3.1. Основные параметры влажного воздуха
- 3.2. I-d диаграмма влажного воздуха
- 3.3. Понятие вентиляционного процесса
- 3.4. Расчетные параметры наружного воздуха
- 3.5. Расчетные параметры внутреннего воздуха
- 3.6. Расчетные параметры приточного воздуха
- 3.7. Расчетные параметры удаляемого воздуха

ТЕМА 4 ТЕПЛОВОЙ, ВЛАЖНОСТНЫЙ И ГАЗОВЫЙ РЕЖИМЫ ПОМЕЩЕНИЙ

- 4.1. Понятие вредности
- 4.2. Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в рабочей зоне
- 4.3. Классы опасности вредных веществ
- 4.4. Основные виды вредностей и их влияние на самочувствие человека
- 4.5. Расчет поступления вредностей от людей
- 4.6. Расчет теплоступлений в помещения общественных зданий
 - 4.6.1. Теплоступления от системы отопления
 - 4.6.2. Теплоступления от источников искусственного освещения
 - 4.6.3. Теплоступления от солнечной радиации через окна
 - 4.6.4. Теплоступления от солнечной радиации через покрытие

ТЕМА 5 БАЛАНСЫ ВОЗДУШНЫЙ И ВРЕДНЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ

- 5.1. Определение воздухообмена в помещении
- 5.2. Определение необходимого воздухообмена по нормативной кратности

ТЕМА 6 ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ. СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

- 6.1. Способы воздухораспределения
- 6.2. Распределение воздуха в помещении
- 6.3. Закономерности распространения приточных струй
- 6.4. Классификация приточных струй

ТЕМА 7 НЕОРГАНИЗОВАННЫЙ ВОЗДУХООБМЕН В ПОМЕЩЕНИИ

ТЕМА 8 АЭРАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ОБЩЕСТВЕННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

8.1. Аэрация зданий

8.2. Область действия

8.3. Цель расчета аэрации

8.4. Аэрация с использованием ветрового давления

8.5. Наиболее важные рекомендации архитектурно-планировочного и конструктивного характера по аэрации производственных зданий

8.6. Аэрационные устройства

ТЕМА 9 КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

9.1. Основные элементы вентиляционных систем

9.2. Конструкция общеобменной приточной вентиляции

9.3. Конструкция общеобменной вытяжной вентиляции

9.4. Естественная вытяжная канальная вентиляция

9.5. Основные элементы систем вентиляции

ТЕМА 10 ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ КАНАЛЫ И ВОЗДУХОВОДЫ

10.1. Каналы

10.2. Воздуховоды

ТЕМА 11 АЭРОДИНАМИКА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

11.1. Давление воздуха в системах вентиляции

11.2. Распределение давлений в системах вентиляции с механическим побуждением

11.3. Свойства вентиляционных сетей

11.4. Аэродинамический расчет механических систем вентиляции

11.5. Аэродинамический расчет систем вентиляции с естественным побуждением воздуха

ТЕМА 12 ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА

ТЕМА 13 НАГРЕВАНИЕ ВОЗДУХА. КАЛОРИФЕРЫ

13.1. Калориферы

13.2. Воздухонагревательные установки

13.3. Совмещение приточной вентиляции и воздушного отопления

ТЕМА 14 ЗАЩИТА ОТ ШУМА

- 14.1. Звук
- 14.2. Физические показатели оценки шума
- 14.3. Особенности физиологического воздействия звука
- 14.4. Источник возникновения шума в системах вентиляции
- 14.5. Нормирование шумов
- 14.6. Акустический расчет
- 14.7. Расчет снижения уровня звуковой мощности
- 14.8. Мероприятия по снижению шума в установках вентиляции и кондиционирования воздуха

ТЕМА 15 ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

- 15.1. Виды испытаний вентиляционных систем
- 15.2. Используемые приборы

ТЕМА 16 СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

- 16.1. Вытяжная локализирующая вентиляция
 - 16.1.1. Вытяжные зонты
 - 16.1.2. Бортовые отсосы
 - 16.1.3. Вытяжные шкафы
 - 16.1.4. Окрасочные камеры
 - 16.1.5. Отсосы с мягкими укрытиями

- 16.2. Пылеулавливающие отсосы

ТЕМА 17 СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

- 17.1. Воздушные души
- 17.2. Воздушные завесы. Классификация и конструкция воздушных завес
- 17.3. Расчёт воздушных завес

ТЕМА 18 СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ И ПНЕВМОТРАНСПОРТА

- 18.1. Движение материала в потоке воздуха
- 18.2. Аспирация
- 18.3. Очистка аспирационного воздуха
- 18.4. Классификация и схемы систем аспирации и пневмотранспорта
- 18.5. Оборудование систем аспирации и пневмотранспорта
 - 18.5.1. Воздуховоды
 - 18.5.2. Диафрагмы
 - 18.5.3. Приемники

18.5.4. Вентиляторы и воздуходувки

18.5.5. Циклоны

ТЕМА 19 ВЕНТИЛЯЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

19.1. Общие правила вентиляции цехов и промышленной вентиляции

19.2. Вентиляция некоторых производственных зданий

ТЕМА 20 АВАРИЙНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ. СИСТЕМА ПРОТИВОДЫМНОЙ ЗАЩИТЫ

20.1. Аварийная вентиляция

20.2. Требования к вентиляции категорийных помещений

20.3. Системы противодымной защиты зданий

20.3.1. Общие сведения

20.3.2. Расчет параметров систем дымоудаления с естественным побуждением

20.3.3. Дымоудаляющие устройства

20.3.4. Аэродинамические характеристики вентиляторов

20.3.5. Расчет параметров вентиляционного оборудования систем противодымной защиты зданий повышенной этажности

20.3.6. Расчет параметров вентиляторов дымоудаления из коридора

ТЕМА 21 ВЕНТИЛЯЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

21.1. Основные положения

21.2. Помещения крупного рогатого скота

21.3. Овощеводческие теплицы

21.4. Свиноводческие помещения

21.5. Птицеводческие помещения

21.6. Вентиляция овощехранилищ

ТЕМА 1 ВВЕДЕНИЕ

Воздух, находящийся внутри помещений, может изменять свой состав, температуру и влажность под действием самых разнообразных факторов: изменений параметров наружного (атмосферного) воздуха, выделения тепла, влаги, пыли и вредных газов от людей и технологического оборудования. В результате воздействия этих факторов воздух помещений может принимать состояния, неблагоприятные для самочувствия людей или препятствующие нормальному протеканию технологического процесса. Чтобы избежать чрезмерного ухудшения качества внутреннего воздуха, требуется осуществлять воздухообмен, то есть производить смену воздуха в помещении. При этом из помещения удаляется загрязненный внутренний воздух и взамен подается более чистый, как правило, наружный, воздух.

Таким образом, основной задачей вентиляции является обеспечение воздухообмена в помещении для поддержания расчетных параметров внутреннего воздуха.

Вентиляцией называется совокупность мероприятий и устройств, обеспечивающих расчетный воздухообмен в помещениях.

Вентиляция (ВЕ) помещений обычно обеспечивается при помощи одной или нескольких специальных инженерных систем – систем вентиляции (СВЕ), которые состоят из различных технических устройств. Эти устройства предназначены для выполнения отдельных задач:

1. нагревание воздуха (воздухонагреватели),
2. очистка (фильтры, очистное оборудование),
3. транспортирование воздуха (воздуховоды),
4. побуждение движения (вентиляторы),
5. распределение воздуха в помещении (воздухораспределители),
6. открывание и закрывание каналов для движения воздуха (клапана и заслонки),
7. снижение уровня шума (шумоглушители),
8. снижение вибрации (виброизоляторы и гибкие вставки), и многое другое.

Требования, предъявляемые к вентиляции

1. **Санитарно-гигиенические требования** заключаются в том, что вентиляция должна обеспечивать в помещениях состояние воздуха, соответствующее требованиям санитарных норм. В помещениях должны поддерживаться установленные значения температуры, влажности, концентрации вредных веществ. Особое внимание следует обратить на запыленность воздуха. Современные конструкции установок предусматривают обязательную очистку воздуха. Современные фильтры позволяют производить очистку от любых пылей и микроорганизмов, производить озонирование и одорирование воздуха.

2. **Технологические требования** заключаются в том, что вентиляция должна обеспечивать в помещениях состояние воздуха, соответствующее требованиям протекающего технологического процесса. Многие технологические процессы, особенно связанные с обработкой гигроскопических материалов, весьма чувствительны к температуре и влажности внутреннего воздуха. Типичным примером являются предприятия легкой (текстильные, прядильные и трикотажные фабрики, полиграфические предприятия и др.) и пищевой промышленности. В этом случае внутренние параметры назначаются, исходя из требований именно технологического процесса, а не комфортного ощущения людей.

3. **Энергетические требования** заключаются в том, что СВЕ должны выполнять возложенные на них функции при минимальном потреблении тепловой и электрической энергии. Применение современных электродвигателей с внешним ротором, использование инверторных преобразователей для регулирования скорости вращения колес вентиляторов и насосов, разработка новых конструкций подшипников, улучшение тепловой изоляции оборудования – все это меры, направленные на снижение энергопотребления СВЕ.

4. **Экономические требования** заключаются в том, что стоимость самой СВЕ и стоимость ее эксплуатации должны быть как можно ниже.

Следует отметить, что стоимость СВЕ и затраты на нее – это разные вещи. Приведенные годовые затраты складываются из капитальной стоимости, деленной на срок эксплуатации системы, и эксплуатационных затрат (годовая стоимость тепловой и электрической энергии, ремонта оборудования, зарплата обслуживающего персонала).

$$П = К / Т + Э \quad (1.1)$$

При таком способе оценки изначально более дорогая система, но имеющая больший срок эксплуатации, меньшее энергопотребление и не нуждающаяся в ремонтах, будет иметь меньшие приведенные годовые затраты.

5. **Конструктивно-технологические требования** заключаются в том, что конструкция СВЕ должна обеспечивать современные эффективные способы их производства. Элементы СВЕ должны изготавливаться на современном, уже достигнутом уровне технологии производства, с надлежащей степенью точности и соответствующим качеством. Такой подход в массовом производстве позволяет существенно снизить стоимость изготовления оборудования.

6. **Эксплуатационные требования** заключаются в том, что в процессе функционирования СВЕ ее эксплуатация должна быть минимально трудоемкой. Это достигается в первую очередь увеличением ресурса работы оборудования, что исключает необходимость частого обслуживания или ремонта. Доступ к обслуживаемым элементам оборудования должен быть максимально облегчен. Несмотря на высокую ремонтпригодность современного оборудования, сложность

его конструкции приводит к тому, что техническое обслуживание и ремонт должны производить только специально обученные специалисты.

7. Требования пожарной безопасности заключаются в том, что должна быть исключена возможность возникновения пожара при эксплуатации СВЕ. Это достигается применением специальных защитных отключающих устройств на воздухонагревателях и двигателях вентиляторов, насосов и компрессоров. Кроме того, если СВЕ обслуживает пожаро- или взрывоопасное помещение, используемое оборудование должно быть выполнено во взрывозащищенном исполнении. При необходимости на вентиляционных каналах устанавливаются специальные огнезадерживающие клапаны. Воздуховоды и конструкция корпусов оборудования должны обладать требуемой степенью огнестойкости, что достигается использованием негорючих материалов для воздуховодов, тепловой изоляции, герметизирующих материалов.

8. Экологические требования заключаются в том, что работа СВЕ не должна негативно сказываться на состоянии окружающей среды. Производится очистка выбрасываемого в атмосферу воздуха, чтобы избежать ее загрязнения. Снижение энергопотребления уменьшает тепловое загрязнение окружающей среды.

9. Архитектурно-строительные требования заключаются в том, что отдельные элементы СВЕ, расположенные внутри помещений (воздухораспределители, решетки, воздуховоды, местные отсосы от оборудования), не должны нарушать их внутренний интерьер. Сама СВЕ должна органически вписываться в конструкцию здания. Необходимость прокладки воздуховодов и размещения вентиляционного оборудования не должны существенно усложнять конструкцию здания. Желательно, чтобы оборудование СВЕ занимало как можно меньше места и не занимало бы полезной производственной площади. С этой целью его располагают на вспомогательных площадках и специально отведенных технических помещениях.

Предполагаемое расположение оборудования и воздуховодов не должно нарушать целостности строительных конструкций здания, потерю их несущей способности. Не допускается, например, при прокладке воздуховода через перекрытие пробивать отверстие по ребру плиты, так как это ослабляет ее несущую способность. Нагрузка от оборудования на колонны и плиты перекрытий должна быть в допустимых пределах, в противном случае следует предусматривать усиление конструкций. Тяжелое оборудование предпочтительнее располагать в подвале во избежание больших нагрузок на конструкции и возникновения сильных вибраций при работе оборудования. Прокладка вытяжных воздуховодов и шахт через гидроизоляционное покрытие кровли не должна нарушать его целостность.

10. Строительно-монтажные требования заключаются в том, что конструкция СВЕ должна предусматривать технологичные способы монтажа воздуховодов и оборудования на объекте, обеспечивающие надлежащее качество сборки системы. Особое внимание следует уделять герметизации уплотнений при соединении звеньев

воздуховодов и присоединении элементов оборудования. Элементы крепления к конструкциям не должны их повреждать, должны быть унифицированы, их изготовление должно быть организовано в массовом производстве. При необходимости для монтажа может использоваться специализированный инструмент. Тяжелые элементы оборудования должны иметь раму или каркас с отверстиями для строповки. Габаритное оборудование должно быть по возможности разборным для облегчения транспортировки и доставки.

ТЕМА 2 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

Вентиляционная система – это совокупность устройств для обработки, транспортирования, подачи и удаления воздуха. СВЕ можно классифицировать в зависимости от их функционального назначения и принципиальных конструктивных особенностей.

1) По назначению СВЕ делятся на приточные и вытяжные.

Фактически это есть деление по направлению движения перемещаемого воздуха: приточные системы подают воздух в помещение, а вытяжные удаляют воздух из него.

Приведенное деление достаточно условно, так как кроме чисто приточных и вытяжных систем, которые являются прямоточными, существуют смешанные системы с рециркуляцией воздуха, которые фактически являются приточно-вытяжными. Чисто рециркуляционная система, работающая при 100% рециркуляции, не подает и не удаляет воздух из помещения — она просто обеспечивает циркуляцию внутреннего воздуха. Тем не менее, систему относят к приточному или вытяжному типу в зависимости от того, подает или удаляет она воздух от обслуживаемого оборудования или зоны.

2) По обслуживаемой зоне СВЕ делятся на общеобменные и местные.

Общеобменные СВЕ (как приточные, так и вытяжные) обслуживают весь объем помещения, а иногда и нескольких помещений. В отличие от них местные приточные системы предназначены для обслуживания лишь небольшой зоны помещения (воздушное душирование, воздушные оазисы), а местные вытяжные системы предназначены для удаления воздуха от конкретного оборудования для удаления выделяющихся в нем вредных веществ. Местные системы активно применяются в промышленных зданиях, где есть отдельные единицы оборудования и отдельные обслуживаемые рабочие зоны на большой площади цехов.

3) По способу побуждения движения воздуха СВЕ делятся на системы с механическим побуждением и системы с естественным побуждением.

Естественное побуждение – это воздействие естественных сил: гравитации (естественное гравитационное давление, создаваемое за счет разности температур и плотностей наружного и внутреннего воздуха) и ветра.

Механическое побуждение создается обычно вентиляторами.

В разговорной речи для краткости часто системы с механическим побуждением называют механическими системами, а системы с естественным побуждением – естественными системами.

4) По наличию воздуховодов СВЕ делятся на каналные и бесканальные.

Бесканальные системы не имеют воздуховодов для транспортирования воздуха. Типичным примером является открытое окно для притока свежего воздуха. Очевидно, что бесканальные системы могут применяться только для помещений, расположенных около НОК. Отсутствие воздуховодов снижает стоимость систем.

Канальные системы могут обслуживать удаленные помещения, расположенные в любой точке здания. Возможна рассредоточенная подача воздуха в помещение через несколько воздухораспределителей. Оборудование канальных систем может быть расположено на расстоянии от обслуживаемых помещений в удобном месте.

В зависимости от конкретных условий следует выбирать такой тип системы, при котором обеспечивалось бы выполнение поставленных задач при минимальных затратах. Часто помещения, особенно производственные, обслуживаются несколькими системами одновременно

На рисунке 1 приведено несколько вариантов СВЕ с указанием их описание в соответствии с выше приведенной классификацией.

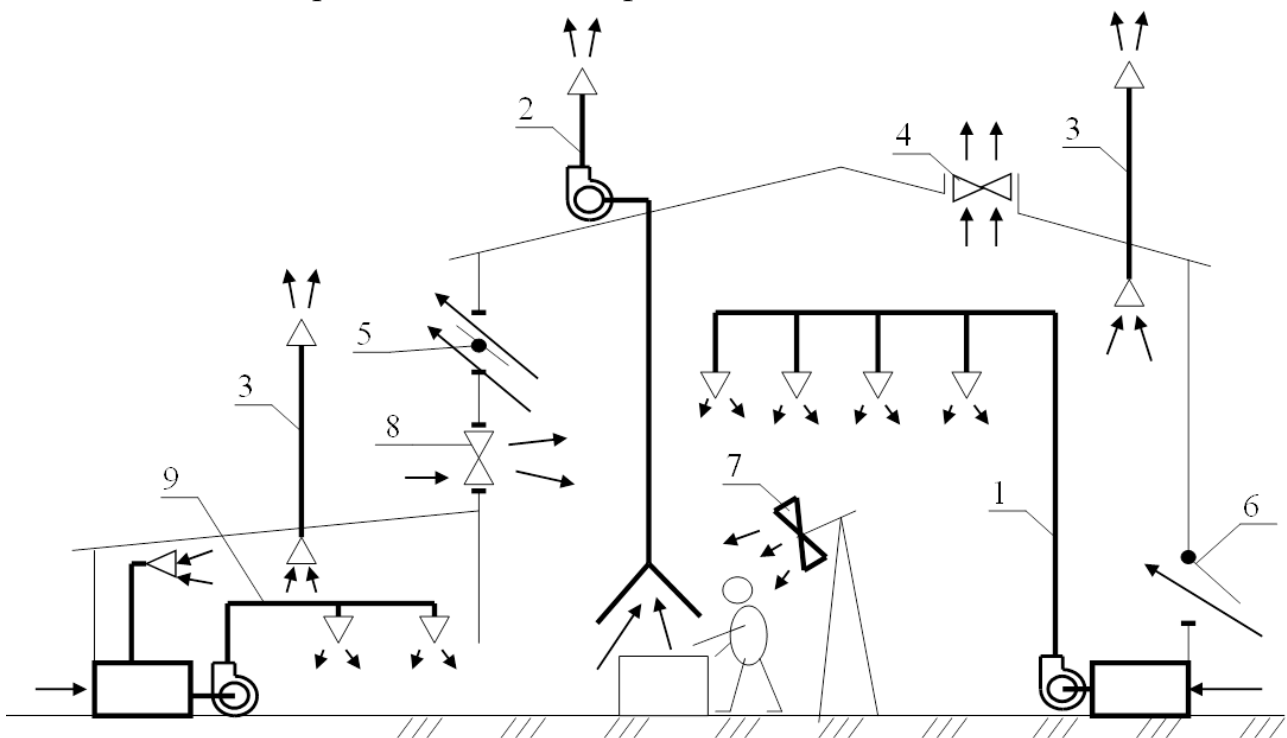


Рисунок 1. – Системы вентиляции производственного помещения

1 – Приточная проточная общеобменная канальная система с механическим побуждением движения воздуха;

2 – Вытяжная местная канальная система с механическим побуждением движения воздуха;

3 – Вытяжная общеобменная канальная система с естественным побуждением движения воздуха;

4 – Вытяжная общеобменная бесканальная система с механическим побуждением движения воздуха;

5 – Вытяжная общеобменная бесканальная система с естественным побуждением движения воздуха;

6 – Приточная общеобменная бесканальная система с естественным побуждением движения воздуха;

7 – Приточная местная бесканальная система с механическим побуждением движения воздуха и 100% рециркуляцией.

8 – Приточная приточная общеобменная бесканальная система с механическим побуждением движения воздуха;

9 – Приточная общеобменная канальная система с механическим побуждением движения воздуха и частичной рециркуляцией.

ТЕМА 3. СВОЙСТВА ВОЗДУХА И ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО СОСТОЯНИЯ

3.1. Основные параметры влажного воздуха

Как известно, **сухой воздух (СВ)** 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 (ВВ)**. Учитывая, что при вентиляции помещений состав сухой части воздуха практически не изменяется, а может изменяться только количество влаги, в вентиляции принято рассматривать ВВ как бинарную смесь, состоящую только из двух компонентов: СВ и водяные пары (ВП). Хотя к этой смеси применимы все газовые законы, однако при вентиляции с достаточной точностью можно считать, что воздух практически все время находится под атмосферным давлением, так как давления вентиляторов достаточно малы по сравнению с барометрическим давлением. Нормальное атмосферное давление составляет 101,3 кПа, а давления, развиваемые вентиляторами, составляют обычно не более 2 кПа. Поэтому нагрев и охлаждение воздуха в вентиляции происходят при постоянном давлении.

Из термодинамических параметров ВВ, которыми оперируют в курсе вентиляции, 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 ВВ и определенным образом связаны друг с другом. Особыми, не термодинамическим параметром, являются подвижность, то есть **скорость** воздуха, и **концентрация вещества** (кроме влаги). Они никак не связаны с остальными термодинамическими параметрами и могут быть любыми независимо от них.

Под воздействием различных факторов влажный воздух может изменять свои параметры. Если воздух, заключенный в некотором объеме (например, помещении), находится в контакте с горячими поверхностями, он нагревается, то есть повышается его температура. При этом нагреву подвергаются непосредственно те слои, которые граничат с горячими поверхностями. Из-за нагрева изменяется плотность воздуха, и это приводит к возникновению конвективных течений: происходит процесс турбу-

лентного обмена. За счет наличия турбулентного перемешивания воздуха в процессе вихреобразования воспринятая пограничными слоями теплота постепенно передается более удаленным слоям, в результате чего весь объем воздуха как-то повышает свою температуру.

Ясно, что слои близкие к горячим поверхностям, будут иметь температуру более высокую, чем удаленные. Иначе говоря, температура по объему не одинакова (и иногда различается весьма значительно). Поэтому температура, как параметр воздуха, в каждой точке будет иметь свое индивидуальное, **локальное значение**. Однако характер распределения локальных температур по объему помещения предсказать крайне трудно, поэтому в большинстве ситуаций приходится говорить о некоем **среднем значении** того или иного параметра воздуха. Среднее значение температуры выводится из предположения, что воспринятое тепло окажется равномерно распределено по объему воздуха, и температура воздуха в каждой точке пространства будет одинакова.

Более-менее изучен вопрос о распределении температуры по высоте помещения, однако даже в этом вопросе картина распределения может сильно изменяться под действием отдельных факторов: струйных течений в помещении, наличия экранирующих поверхностей строительных конструкций и оборудования, температуры и размеров тепловых источников.

Рассмотрим термодинамические параметры ВВ.

Плотность

Плотностью называется масса вещества в единице объема. Единица измерения плотности кг/м^3 . Плотность газов зависит от молекулярной массы, давления и температуры. Средняя молекулярная масса сухого воздуха равна 29, а молекулярная масса ВП – 18. 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

$$\rho_t = 353 / (273 + t) \quad (3.1)$$

Плотность ВП может быть определена по формуле

$$\rho_t = 219 / (273 + t) \quad (3.2)$$

Плотность ВВ меньше плотности СВ, так как ВП имеет меньшую молекулярную массу, чем СВ. Однако учитывая, что количество водяных паров в воздухе относительно невелико, уменьшением плотности в практических расчетах можно смело пренебречь. Так, при температуре воздуха $20\text{ }^\circ\text{C}$ в воздухе может находиться около 14 г влаги на 1 кг сухого воздуха, что даст при вычислении плотности погрешность не более 0,7%.

Теплоемкость

Теплоемкостью называется количество теплоты, требуемое для нагрева 1 кг вещества на $1\text{ }^\circ\text{C}$. Теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении равна $1,005\text{ кДж/(кг }^\circ\text{C)}$. Теплоемкость водяных паров равна $1,8\text{ кДж/(кг }^\circ\text{C)}$. Точно также, как и с

плотностью, в практических расчетах пренебрегают изменением теплоемкости ВВ, связанным с наличием в воздухе водяных паров, и считают теплоемкость ВВ равной теплоемкости СВ, то есть 1,005. более того, в прикидочных расчетах можно принимать $c = 1$, что даст ошибку 0,5% в сторону уменьшения результата вычислений. Учитывая значительно более низкую точность расчетов в вентиляции, связанную с неопределенностью многих исходных данных, а также тот факт, что любое оборудование подбирается с запасом, погрешность самих вычислений в 0,5% вполне допустима.

Температура

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

Влагосодержание

Влагосодержанием ВВ 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, сильно зависит от его температуры, значительно возрастая при ее повышении, как показано ниже в таблице 1.

Таблица 1

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

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

$$d = 623 / (P_0 - p_{вн}), \quad (3.3)$$

$$p_{вн} = P_0 / (623 + d), \quad (3.4)$$

где P_0 – 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 $p_{нп}$, то есть давления над свободной поверхностью жидкости, находящейся при той же температуре t . Такое состояние ВВ

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, когда вся она не может находиться в парообразном состоянии, и часть ее находится в мелкокапельном состоянии. Иными словам, туман – это двухфазная среда, в отличие от ВВ, который является однофазной средой.

Относительная влажность

Относительной влажностью ВВ 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

$$\varphi = 100 \times p_{вн} / p_{нп} \quad (3.5)$$

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

Температура точки росы

Если ВВ, 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 $p_{нп}$ достигнет значения $p_{вн}$. В этот момент относительная влажность достигнет значения 100% – ВВ приобретет состояние полного насыщения. При дальнейшем охлаждении $p_{нп}$ станет меньше $p_{вн}$, 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**. Температура точки росы при постоянном атмосферном давлении зависит только от начального влагосодержания воздуха.

Энтальпия (теплосодержание)

Энтальпией ВВ 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) и складывается из трех слагаемых, которые отражают затраты теплоты на следующие цели:

- нагрев сухой части воздуха до температуры t ;
- испарение влаги;
- нагрев водяных паров до температуры t .

$$I = c_{cb} t + r d / 1000 + c_{en} t d / 1000 \quad (3.6)$$

Вклад указанных трех составляющих неодинаков. Оценим его для расчета энтальпии воздуха, имеющего 50% относительную влажность при 20 °С.

$$I = 1,005 \times 20 + 2500 \times 7 / 1000 + 1,8 \times 20 \times 7 / 1000 = \\ = 20,1 + 17,5 + 0,036 = 37,5 + 0,036$$

Из приведенных вычислений видно, что затраты теплоты на нагрев сухой части воздуха и на испарение влаги соизмеримы и имеют один порядок, а затраты тепла на нагрев водяных паров составляют лишь около 0,1% от суммы двух других составляющих. Таким образом, энтальпия воздуха в основном складывается из первых двух слагаемых, а третьим слагаемым в большинстве случаев можно пренебречь.

Температура по мокрому термометру

Рассмотрим ситуацию, когда мелкая капля воды витает в воздухе, имеющем некоторую температуру и относительную влажность. Схема, поясняющая сущность происходящих при этом процессов, приведена на рисунке 1.

Для простоты рассуждений будем считать, что в начальный момент времени капля воды имеет такую же температуру, как и окружающий ее воздух, то есть $t_w = t_e$. Парциальное давление водяных паров над поверхностью капли равно давлению насыщенных паров, а давление водяных паров в окружающем воздухе меньше, так как относительная влажность воздуха меньше 100%. Под действием градиента давлений то начинается первый процесс – процесс массопереноса (испарение) влаги с поверхности капли в воздух. На испарение воды затрачивается некоторое количество теплоты, которое может быть взято только от самой капли, поэтому температура капли начинает понижаться. Затраченное на испарение тепло передается воздуху вместе с испарившейся влагой. Это тепло называется скрытым, так как оно не изменяет температуры воздуха.

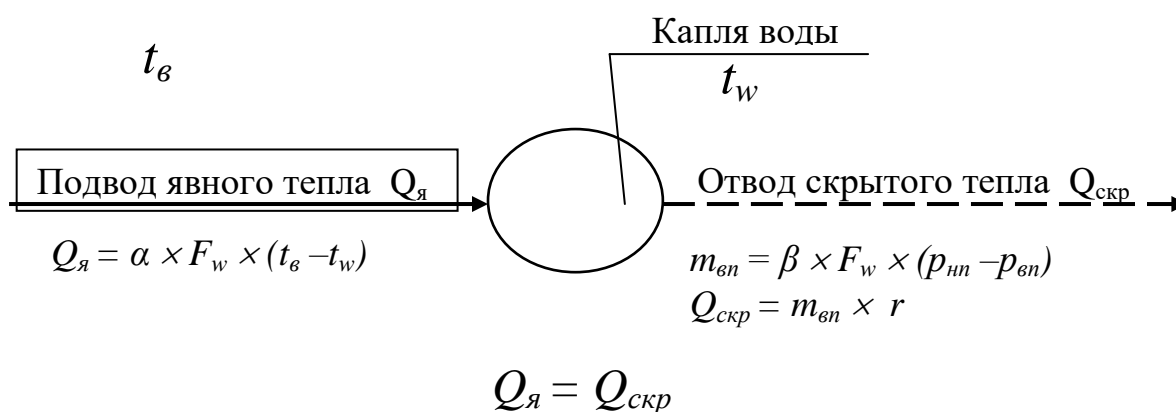


Рисунок 1 – К пояснению понятия температуры мокрого термометра.

Как только температура капли станет меньше температуры окружающего воздуха, начнется второй процесс – теплоотдача явного тепла от воздуха к поверхности капли за счет градиента температур. При этом от воздуха будет отбираться явное тепло. Чем больше разность температур воздуха и капли, тем интенсивнее идет данный процесс.

По мере понижения температуры капли постепенно снижается и величина давления насыщенных паров над поверхностью капли, и интенсивность испарения уменьшается. Интенсивность же передачи явного тепла от воздуха к капле, наоборот, растет по мере снижения температуры капли, так как увеличивается действующая разность температур. В итоге при некоторой температуре капли наступит равенство потоков явного и скрытого тепла. В этот момент справедливо равенство

$$\alpha \times F_w \times (t_a - t_w) = \beta \times F_w \times (p_{\text{нп}} - p_{\text{ен}}) \times r \quad (3.7)$$

Так как подводимое к капле явное тепло равняется отводимому от нее скрытому теплу, температура капли дальше изменяться не будет. Пока будет продолжаться процесс испарения (до полного испарения капли), температура капли будет оставаться постоянной. Эта температура называется **температурой мокрого термометра**. Энтальпия воздуха в этом процессе так же не меняется, хотя температура его понижается (явное тепло отбирается). Но раз отбираемое явное тепло передаваемому ему скрытому теплу, суммарное теплосодержание воздуха не изменяется. Происходит просто преобразование явного тепла в скрытое.

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. Процессы, проходящие на шарике мокрого термометра, аналогичны вышеописанным процессам, поэтому столбик мокрого термометра понижается и через некоторое время останавливается на некотором значении – это и есть температура мокрого термометра. Зная показания двух термометров, можно определить влажность воздуха. Более детально данный метод измерения разбирается на лабораторных занятиях.

3.2. I-d диаграмма влажного воздуха

Учитывая, что влажный воздух является основным объектом вентиляционного процесса, в области вентиляции приходится часто определять те или другие параметры воздуха. Чтобы избежать многочисленных вычислений, их определяют обычно по специальной диаграмме, которая 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. Пример I-d диаграммы приведен на следующей странице. Аналогом I-d диаграммы на западе является диаграмма Молье или психрометрическая диаграмма.

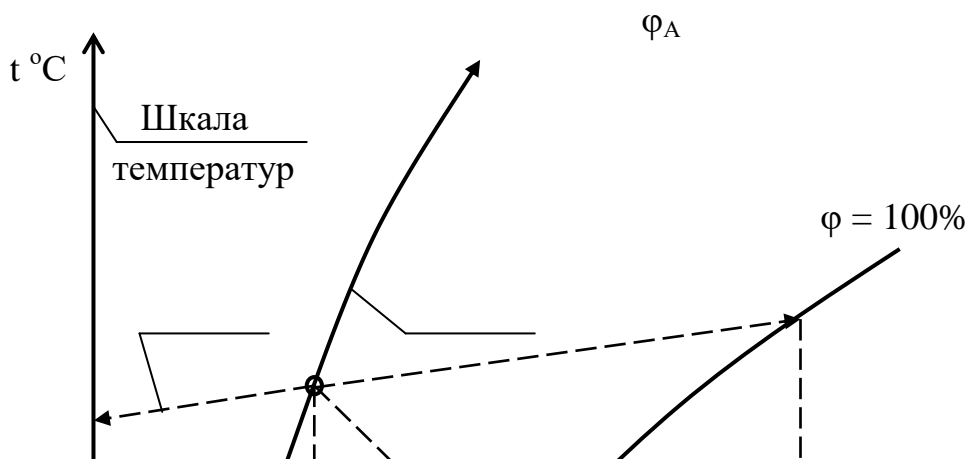
Оформление диаграммы в принципе может быть несколько различным. Типовая общая схема I-d диаграммы показана ниже на рисунке 2. Диаграмма представляет из себя рабочее поле в косоугольной системе координат I-d, на котором нанесено несколько координатных сеток и по периметру диаграммы – вспомогательные шкалы. Шкала влагосодержаний обычно располагается по нижней кромке диаграммы, при этом линии постоянных влагосодержаний представляют вертикальные прямые. Линии постоянных энтальпий представляют параллельные прямые, обычно идущие под углом 135° к вертикальным линиям влагосодержаний (в принципе, углы между линиями энтальпии и влагосодержания может быть и другим). 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%.

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 влагосодержаний, иногда по правой кромке. В последнем случае на диаграмме добавочно строят вспомогательную кривую парциальных давлений.

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 рисунке 2.



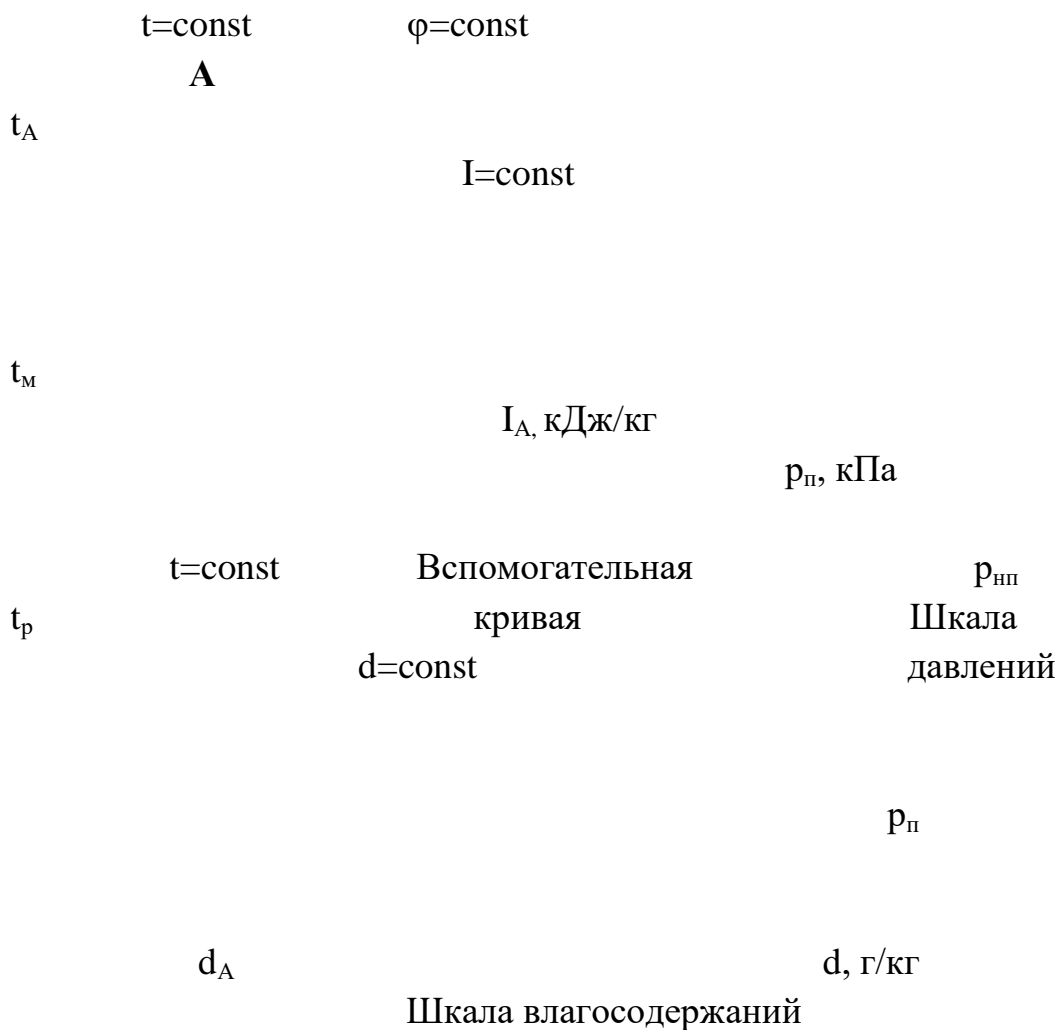


Рисунок 2 – Схема определения параметров влажного воздуха на I-d диаграмме

3.3. Понятие вентиляционного процесса

При осуществлении вентиляции помещений наружный воздух, подаваемый в помещения, последовательно изменяет свое состояние в процессе обработки в приточной установке, транспортирования по воздуховодам, распределения его по помещениям и удаления из помещений. На каждом этапе воздух изменяет свое состояние по некоторому элементарному процессу, рассмотренному ранее. Вся совокупность элементарных процессов изменения состояния наружного воздуха от забора его из атмосферы до выброса обратно в атмосферу называется общим термином — **вентиляционный процесс**.

В реальных условиях параметры воздуха на отдельных стадиях вентиляционного процесса могут быть разными, учитывая непрерывно изменяющиеся условия наружного климата и изменяющееся количество вредностей, поступающих в помещение. Просчет вентиляционного процесса на все возможные сочетания наружных и внутренних условий не имеет смысла, поэтому расчет ведется только на наиболее предельные, ответственные режимы, когда нагрузка на вентиляционное оборудование стано-

вится максимальной. Эти условия и режимы называются расчетными. Именно на расчетные условия проводятся все расчеты при проектировании вентиляции.

При этом на каждой стадии вентиляционного процесса воздух имеет вполне конкретные значения параметров. Эти значения называются **расчетными параметрами** воздуха. С понятием расчетных параметров студенты должны быть знакомы из курсов «Строительная теплофизика» и «Отопление». Наиболее важными расчетными параметрами являются параметры наружного, внутреннего, приточного и удаляемого воздуха.

3.4. Расчетные параметры наружного воздуха

Параметры наружного воздуха, на которые выполняются все расчеты при проектировании вентиляции, называются **расчетными параметрами наружного воздуха** (РПНВ). РПНВ являются нормативными, так как их выбор оговорен в нормативных документах – соответствующих главах СН. В основном для выбора РПНВ используется СН 4.02.03-2019 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» и ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника».

В вентиляции основными расчетными параметрами наружного воздуха, задаваемыми в СН, являются **температура, энтальпия и скорость** наружного воздуха. Наружные параметры задаются для трех периодов: **холодного (ХП), переходного (ПП) и теплого (ТП)**.

ПП является неким расчетным граничным состоянием воздуха между ТП и ХП. За расчетные параметры ПП принимается температура **8 °С** и энтальпия **22,5 кДж/кг**. Среднесуточная температура 8 °С выбрана в качестве расчетной для ПП 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. Но все расчеты можно вести только с использованием вполне определенных значений параметров воздуха. Поэтому возникает вопрос, а какие именно значения параметров следует принимать в качестве расчетных. Решение этого вопроса зависит в первую очередь от уровня требований, предъявляемых ко всему зданию и к его системам обеспечения микроклимата (СОМК).

Принципиальные подходы к назначению расчетных параметров рассмотрим на примере температуры.

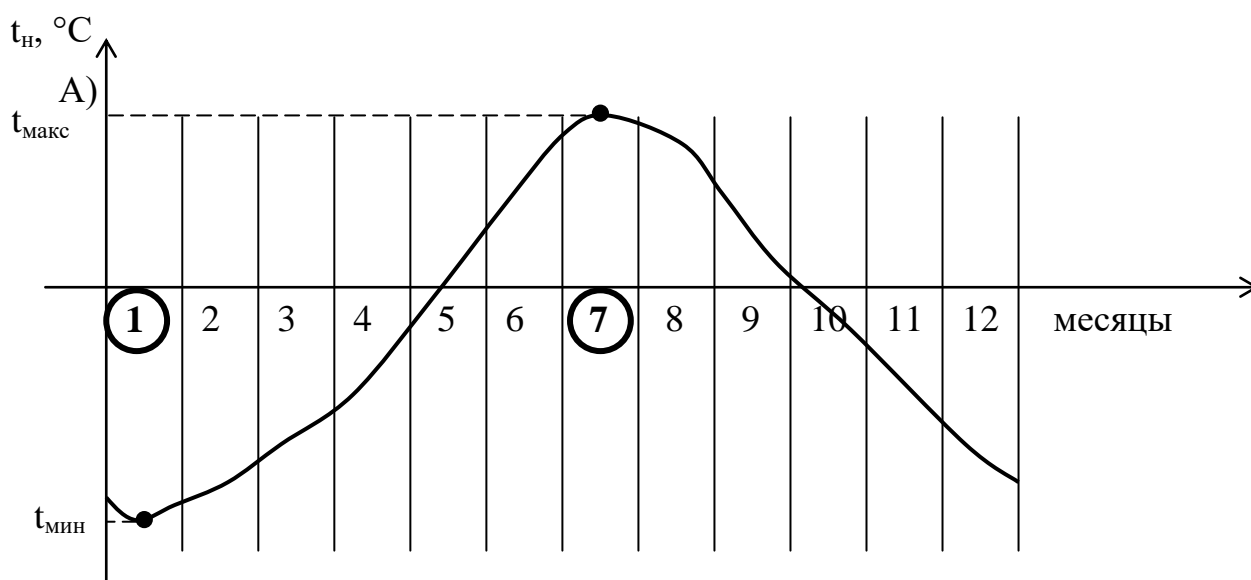
Температура наружного воздуха изменяется непрерывно. Существуют суточные колебания, месячное изменение и годовой цикл. Применительно к наружному климату можно говорить только о некоторых усредненных его показателях, так как даже в одной и той же местности климат одного года может существенно отличаться от преды-

дущего. Недаром говорят, что в такой-то год зима или лето были холодными или, наоборот, теплыми.

В среднем можно считать, что в течение года температура изменяется примерно по гармоническому закону, как показано на рисунке 3. 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 СОМК выйдет наибольшей, то есть максимальной. Очевидно, что система при этом окажется дороже. При этом практически весь расчетный период СОМК 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 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 ХП 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.



б)

а) Годовой график изменения среднесуточной температуры

б) К понятию расчетной температуры холодного периода (холодной пятидневки)

Рисунок 3 – К понятию расчетной температуры наружного воздуха

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 большинства зданий обычного назначения при проектировании вентиляции за расчетную температуру ТП принимают температуру по параметрам А. Это примерно соответствует коэффициенту обеспеченности 70%, при этом продолжительность отклонения параметров от расчетных составит примерно 400 часов. Температура по параметрам А для теплого периода примерно соответствует средней температуре самого жаркого месяца.

Следует отметить, что вентиляция часто не имеет средств для обеспечения комфортных условий в помещении при повышенных температурах и влажностях воздуха, так как в СВЕ обычно отсутствуют устройства для охлаждения воздуха. Поэтому даже если принять в расчете высокие значения коэффициента обеспеченности, достигнуть реально его не удастся. Лишь в сухом и жарком климате возможно использование испарительного охлаждения для снижения температуры воздуха. Для более ответствен-

ных помещений, к которым предъявляются более высокие требования, следует проектировать СКВ, которые рассчитываются по параметрам Б и для теплого периода.

Расчетные параметры наружного воздуха для некоторых городов приведены в таблице 2.

Значение географической широты местности является важным при расчете теплотопотуплений 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.

Значение расчетной скорости наружного воздуха важно при проектировании аэрации зданий, естественной вытяжной вентиляции и неорганизованного воздухообмена под действием ветра в совокупности с гравитационным давлением.

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_2 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Расчетные параметры наружного воздуха

Наименование пункта	Расчетная географическая широта, градус северной широты	Барометрическое давление, гПа	Период года	Параметры А		Параметры Б		Скорость ветра, м/с	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха, °С
				Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг		
Витебская область									
Верхнедвинск	56	999	Теплый	21,0	47,0	25,6	50,8	2,7	10,2
			Холодный	-11,0	-8,0	-25,0	-24,3	3,7	—
Полоцк	56	999	Теплый	21,1	47,0	25,7	50,8	2,1	10,6
			Холодный	-11,5	-8,7	-25,0	-24,0	3,3	—
Шарковщина	56	999	Теплый	21,0	47,0	25,6	50,8	2,5	10,6
			Холодный	-11,5	-8,0	-24,0	-23,4	3,8	—
Витебск	56	994	Теплый	21,1	47,8	25,7	51,4	2,4	10,0
			Холодный	-12,0	-9,4	-25,0	-24,4	3,7	—
Лепель	54	990	Теплый	21,0	47,2	25,6	50,8	2,0	9,74
			Холодный	-11,5	-8,7	-24,0	-23,5	2,9	—
Минская область									
Вилейка	54	990	Теплый	21,4	47,0	26,0	50,6	2,4	10,5
			Холодный	-10,0	-6,7	-24,0	-22,9	3,5	—
Борисов	54	990	Теплый	21,6	47,5	26,2	51,1	2,8	10,4
			Холодный	-11,0	-8,0	-24,0	-23,2	3,5	—
Воложин	54	990	Теплый	20,8	47,0	25,4	50,6	2,6	9,3
			Холодный	-9,5	-6,0	-23,0	-21,9	3,5	—
Минск	54	988	Теплый	21,2	47,2	25,8	50,6	2,2	9,8
			Холодный	-10,0	-6,8	-24,0	-22,7	3,0	—
Марьина Горка	54	994	Теплый	21,8	48,3	26,4	51,7	2,7	10,8
			Холодный	-11,0	-7,3	-24,0	-22,7	3,8	—
Слуцк	54	996	Теплый	21,8	48,4	26,4	51,8	2,9	11,2
			Холодный	-9,5	-6,1	-23,0	-21,6	4,5	—

Наименование пункта	Расчетная географическая широта, градус северной широты	Барометрическое давление, гПа	Период года	Параметры А		Параметры Б		Скорость ветра, м/с	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха, °С
				Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг		
Гродненская область									
Лида	54	996	Теплый	21,5	47,0	26,1	50,6	2,7	10,5
			Холодный	-9,0	-5,4	-22,0	-20,8	3,6	—
Гродно	54	999	Теплый	21,7	47,6	26,3	51,4	3,3	11,4
			Холодный	-8,5	-4,7	-22,0	-20,5	4,5	—
Новогрудок	54	982	Теплый	20,3	47,0	24,9	50,6	3,0	9,2
			Холодный	-10,0	-6,0	-21,0	-20,3	5,0	—
Волковыск	54	990	Теплый	22,0	47,6	26,6	51,5	2,8	10,6
			Холодный	-8,5	-4,8	-21,0	-20,4	3,9	—
Могилевская область									
Горки	54	991	Теплый	21,1	48,4	25,7	52,4	2,8	10,5
			Холодный	-12,5	-9,9	-26,0	-25,2	4,6	—
Могилев	54	992	Теплый	21,6	47,8	26,2	51,6	3,2	10,7
			Холодный	-11,5	-8,7	-24,0	-23,2	4,7	—
Славгород	54	996	Теплый	22,0	49,0	26,6	52,5	2,6	10,4
			Холодный	-11,5	-8,7	-24,0	-23,6	3,8	—
Бобруйск	54	1000	Теплый	22,3	48,8	26,9	52,2	2,9	11,3
			Холодный	-10,5	-7,4	-23,0	-22,2	4,0	—
Брестская область									
Барановичи	54	992	Теплый	21,9	47,3	26,5	51,2	3,0	10,8
			Холодный	-9,0	-5,4	-22,0	-21,0	4,2	—
Ганцевичи	52	1000	Теплый	22,2	48,5	26,8	52,0	2,1	11,4
			Холодный	-9,0	-5,5	-22,0	-20,8	2,9	—
Пружаны	52	1000	Теплый	22,2	48,5	26,8	52,4	2,4	11,1
			Холодный	-8,0	-4,1	-22,0	-20,5	3,4	—
Брест	52	998	Теплый	22,6	49,6	27,2	53,0	2,3	10,6
			Холодный	-7,0	-2,8	-21,0	-19,6	3,1	—
Пинск	52	998	Теплый	22,4	50,0	27,0	53,6	2,7	10,7
			Холодный	-8,5	-4,8	-21,0	-19,9	3,7	—

Наименование пункта	Расчетная географическая широта, градус северной широты	Барометрическое давление, гПа	Период года	Параметры А		Параметры Б		Скорость ветра, м/с	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха, °С
				Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг		
Гомельская область									
Жлобин	52	999	Теплый	22,4	49,4	27,0	53,0	2,2	10,8
			Холодный	-10,5	-7,5	-24,0	-22,9	2,9	—
Гомель	52	1001	Теплый	22,3	50,3	26,9	54,0	2,5	10,3
			Холодный	-10,5	-7,5	-24,0	-23,3	3,3	—
Василевичи	52	999	Теплый	22,8	49,8	27,4	53,7	1,9	11,4
			Холодный	-10,0	-6,9	-23,0	-22,2	2,8	—
Житковичи	52	1000	Теплый	22,5	49,8	27,1	53,4	2,2	11,2
			Холодный	-9,0	-5,6	-22,0	-21,1	2,9	—
Лельчицы	52	999	Теплый	22,8	50,0	27,4	53,7	2,5	11,6
			Холодный	-9,0	-5,6	-22,0	-20,7	3,1	—
Брагин	52	1003	Теплый	22,5	49,8	27,1	53,6	2,5	11,4
			Холодный	-10,0	-6,8	-22,0	-21,4	3,8	—

Таблица 3. Концентрации углекислого газа в наружном воздухе

Местоположение	Концентрация C , л/м ³
Сельская местность	0,33
Малые города	0,4
Большие промышленные города	0,5

3.5. 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.

Параметры микроклимата при отоплении и вентиляции помещений (кроме помещений, для которых параметры микроклимата установлены другими ТНПА) следует принимать по ГОСТ 30494, ГОСТ 12.1.005 для обеспечения параметров воздуха в пре-

делах допустимых норм в обслуживаемой или рабочей зоне помещений (на постоянных и непостоянных рабочих местах).

Расчетную температуру воздуха в помещениях следует принимать:

а) для теплого периода года при проектировании вентиляции в помещениях с избытком явной теплоты (далее — теплоты) — максимальную из допустимых температур, а при отсутствии избытков теплоты — в пределах допустимых температур;

б) для холодного периода года и переходных условий при проектировании вентиляции для ассимиляции избытков теплоты — в пределах допустимых температур, а при отсутствии избытков теплоты и проектировании отопления — минимальную из допустимых температур по ГОСТ 30494 и ГОСТ 12.1.005.

Относительную влажность и скорость движения воздуха следует принимать по ГОСТ 30494 и ГОСТ 12.1.005.

Для помещений общественных зданий при расчетах вентиляции ориентируются на допускаемый диапазон параметров (таблица 4), 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.

В общественных зданиях, как правило, проектируется система водяного отопления, которая работает непрерывно, без отключения в рабочее время. Учитывая, что она почти полностью компенсирует тепловые потери помещений через наружные ограждения, в помещениях общественных зданий с большим количеством людей почти всегда наблюдаются избытки теплоты. Однако, наиболее часто производительность систем вентиляции принимается постоянной и определяется расчетом по теплому периоду, как самому невыгодному. В этих условиях с точки зрения экономии теплоты выгоднее принять за расчетное значение внутренней температуры нижнюю границу допускаемого диапазона, то есть 18 °С. Это позволит уменьшить затраты теплоты на нагрев приточного воздуха.

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.

Таблица 4. 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 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%.

При наличии двух систем обеспечения микроклимата (система отопления и система вентиляции) 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 система вентиляции 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.

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.

$$G = Q_{изб} / [c (t_e - t_n)] \quad (3.8)$$

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° выше наружной ($t_e = t_n + 3^\circ$).

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

Расчетную концентрации углекислого газа (диоксид углерода, двуокись углерода, CO₂) во внутреннем воздухе принимают равной предельно допустимой концентрации (ПДК) в помещении. Значения ПДК для CO₂ приведены в таблице 5.

Таблица 5. Концентрации углекислого газа во внутреннем воздухе помещений

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

3.6. Расчетные параметры приточного воздуха

В общественных зданиях в теплый период года практически всегда имеются тепловые избытки. Поэтому температуру приточного воздуха принимают минимально возможной:

а) для систем с естественным побуждением – равной температуре наружного воздуха ($t_{np} = t_n$);

б) для систем с механическим побуждением – на 0,5 – 1° выше температуры наружного воздуха, учитывая предполагаемый подогрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах ($t_{np} = t_e + \Delta t_{нагр}$).

Подогрев воздуха в вентиляторе зависит от развиваемого им давления и коэффициента полезного действия. Давление больших вентиляторов, как правило, больше, поэтому подогрев в них будет выше.

$$\Delta t_{вент} = P (1 - \eta) / (\eta \rho c) \quad (3.9)$$

При среднем давлении вентилятора 1000 Па, величина нагрева воздуха составит 0,25°.

Подогрев воздуха в воздуховодах происходит особенно интенсивно, если воздуховоды проложены в неventилируемом пространстве за подшивным потолком, в котором воздух интенсивно нагревается за счет тепла, поступающего через покрытие, нагреваемое солнечными лучами. Поэтому рекомендуется хотя бы часть воздуха из зрительных залов удалять именно из подшивного пространства, чтобы уменьшить температуру в нем. В коридорах верхних этажей с подшивными потолками также рекомендуется осуществлять вытяжку из подшивного пространства. С учетом нагрева в воздуховодах минимальное значение нагрева воздуха рекомендуется принимать равным 0,5°.

В холодный период года при наличии тепловых избытков, что бывает наиболее часто, в помещение подается воздух, имеющий температуру ниже температуры внутреннего воздуха. Чтобы люди, находящиеся в помещении, не ощущали холодного дутья, температура воздуха в приточной струе должна быть не более чем на 1,5° ниже температуры внутреннего воздуха. Поэтому температуру приточного воздуха принимают всего на несколько градусов ниже расчетной температуры внутреннего воздуха в соответствии с рекомендациями таблицы 6.

$$t_{np} = t_e - \Delta t_{np} \quad (3.10)$$

Таблица 6. Рекомендуемый перепад температур на притоке

Период года и подача воздуха в помещение	Перепад температур на притоке $\Delta t_{np}, ^\circ\text{C}$
Теплый период	на 0,5° выше расчетной температуры наружного воздуха (подогрев в вентиляторе и воздуховодах)
Холодный и переходный периоды при подаче воздуха	
а) непосредственно в рабочую зону	2°
б) на высоте от 2,5 м до 4 м от уровня пола	4 — 6°
в) на высоте более 4 м от уровня пола	6 — 8°
г) через потолочные плафоны эжекционного типа	8 — 15°

При наличии недостатков теплоты в холодный период года в помещение будет подаваться перегретый воздух, имеющий температуру выше температуры внутреннего воздуха. При этом допускаются примерно в два раза большие перепады температур между температурой в приточной струе и температурой внутреннего воздуха. Поэтому можно допустить примерно в два раза большие перепады температур и на притоке, по сравнению со значениями, указанными в таблице 6.

$$t_{np} = t_e + 2 \Delta t_{np} \quad (3.11)$$

Согласно санитарным нормам, максимальное значение температуры приточного воздуха для помещений, в которых находятся люди, составляет 45°С.

Концентрации углекислого газа в приточном принимают равной концентрации в наружном воздухе с учетом пересчета по плотностям (смотри таблицу 3).

3.7. Расчетные параметры удаляемого воздуха

Если воздух удаляется из помещения непосредственно из рабочей или обслуживаемой зоны (РЗ), то параметры его соответствуют параметрам в РЗ. Однако чаще всего воздух удаляется из верхней зоны помещения, где параметры воздуха могут отличаться от параметров в РЗ.

Условно считается, что помещение разделено на две зоны: **рабочую зону (РЗ)** и **верхнюю зону**. Приточный воздух, вбирая вначале тепло и влагу из РЗ, принимает параметры, соответствующие расчетным параметрам РЗ. Затем, условно поднимаясь из РЗ в верхнюю зону, он вбирает тепло и влагу из нее, принимает параметры, соответствующие расчетным параметрам воздуха в верхней зоне.

Подчеркнем, что деление помещения на РЗ и верхнюю зону достаточно **условно**, так как часто очень трудно выделить из общего количества тепlopоступления и вредности, поступающие именно в РЗ. Кроме того, воздух редко подается именно в РЗ, так как это конструктивно достаточно сложно, нарушает интерьер, требует раздачи воздуха с малыми скоростями и, как следствия, большой площади воздухораспределительных устройств. Чаще воздух подается в верхнюю зону струями из решеток или потолочных плафонов, при этом он вначале воспринимает тепло, влагу и другие вредности именно из верхней зоны, а не из РЗ. В принципе, деление помещения на две зоны придумано для того, чтобы отразить тот факт, что главной заботой вентиляции и обслуживаемой ею зоной является именно РЗ, а также учесть подтвержденный на практике факт существования разности температур в РЗ и в верхней зоне помещения. Если считать помещение одним большим общим объемом, то пришлось бы принимать в расчетах одну среднюю температуру по всему объему помещения. Однако, теплый воздух всегда стремится вверх, и в верхней зоне, как правило, температура воздуха выше, чем в РЗ. Это расслоение воздуха наблюдается в любом помещении, в котором имеются конвективные источники теплоты, причем даже при общих недостатках теплоты. Расслоение воздуха зависит именно от наличия конвективных струй в помещении, а не от средней температуры воздуха. Воздух из помещений удаляется чаще всего именно из верхней зоны, поэтому в расчеты желательно вводить более точное значение температуры воздуха в ней, определенное с учетом предполагаемого расслоения воздуха по высоте помещения. Таким образом, при делении объема помещения на две зоны расчетная модель помещения становится более корректной и больше соответствует реальным условиям.

Температура удаляемого воздуха (верхней зоны) в общественных зданиях чаще всего определяется с использованием понятия градиента температуры в помещении. Предполагается, что в пределах высоты РЗ (2 метра от пола или 1,5 метра от пола, ес-

ли люди находятся в сидячем положении) температура внутреннего воздуха остается постоянной, а выше рабочей зоны она линейно возрастает по высоте.

Градиентом температуры – изменение температуры на 1 метр высоты помещения выше рабочей зоны.

Фактически понятие градиента температуры предполагает равномерное расслоение внутреннего воздуха по высоте, связанное с нагревом воздуха от источников теплоты в помещении – более нагретый воздух, как более легкий, поднимается к потолку помещения, поэтому температура в верхней зоне всегда будет выше, чем внизу, в рабочей зоне.

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

$$t_y = t_{pz} + grad t (H_{ном} - 2) \quad (3.12)$$

где $H_{ном}$ – высота помещения, м.

Величина градиента температуры зависит от избытков теплоты в помещении и интенсивности циркуляции воздуха в помещении. Если приточный воздух подается в помещение рассредоточено с малыми скоростями, то такая схема не нарушает естественного движения конвективных потоков около нагретых объектов в помещении. При этом нагретый воздух, поднявшийся вверх, так и остается там, так как отсутствуют силы стремящиеся вернуть его обратно в нижнюю зону. Из верхней зоны он постепенно удаляется через воздухоприемные отверстия или решетки вытяжных систем. Величина градиента температуры при такой схеме максимальна и зависит в основном от температуры источников и количества теплоты, поступающей от них.

Если приточный воздух подается в помещение мощными сосредоточенными струями с высокими скоростями (как правило, в верхнюю зону), то такая схема явно нарушает естественного движения конвективных потоков около нагретых объектов в помещении. При этом нагретый воздух, поднявшийся вверх, вовлекается приточными струями в общую циркуляцию воздуха в помещении, и поступает обратно в нижнюю зону. Иными словами, приточные струи непрерывно размывают образующуюсяверху теплую подушку и способствуют выравниванию температуры по высоте помещения. Величина градиента температуры при такой схеме не может быть высокой, хотя тоже зависит от температуры источников и количества теплоты, поступающей от них. Следует помнить, что подача воздуха в помещение мощными струями всегда создает повышенную циркуляцию воздуха в нем, что усиливает турбулентный обмен и способствует выравниванию температуры во всем помещении.

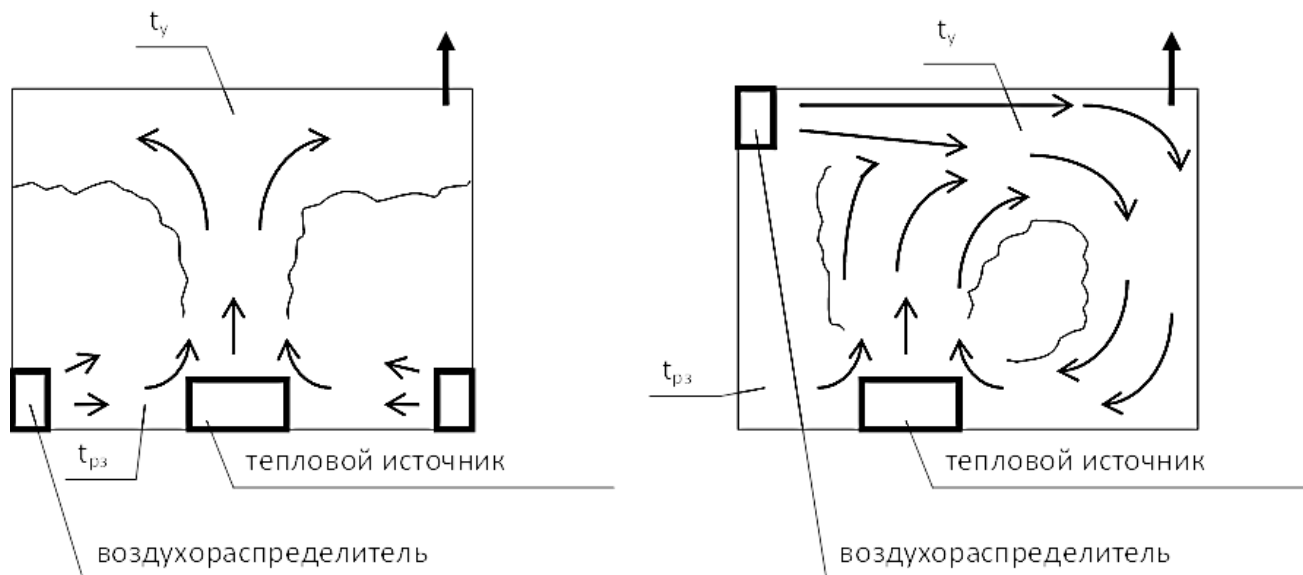
Сказанное выше иллюстрируется рисунком 4

а)

G_y

б)

G_y



- а) при рассредоточенной подаче воздуха в рабочую зону с малыми скоростями;
 б) при сосредоточенной подаче воздуха в верхнюю зону мощными приточными струями;

Рисунок 4 – Схемы циркуляции воздуха в помещении (к понятию градиента температуры в помещении)

Наибольшие значения градиента наблюдаются при рассредоточенной подаче в нижнюю зону и наличии в помещении мощных локальных (отдельно стоящих) источников теплоты с высокой температурой, от которых создается мощная конвективная струя с высокой начальной температурой. Такая ситуация наиболее характерна для промышленных помещений – термических, кузнечных, плавильных и других цехов, называемых общим термином "горячие цеха".

Что касается общественных зданий, то в них нет мощных локальных высокотемпературных источников, кроме осветительной аппаратуры сцены в зрелищных предприятиях. Основной источник теплоты – находящиеся в помещениях люди. Они размещены рассредоточено по помещению и имеют низкую температуру ($36,6^\circ$), поэтому такой характер и расположение источников не может способствовать созданию мощных конвективных струй. Кроме того, подача воздуха чаще всего осуществляется струями в верхнюю зону, что еще больше способствует снижению градиента. В общественных зданиях градиент температуры редко имеет большое значение, и температура воздуха в верхней зоне даже при значительной высоте помещения не может быть высокой, поэтому при проектировании вентиляции не следует задаваться большими значениями градиента.

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

$$q = Q_{изб.я.} / V_{пом.} \quad (3.13)$$

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

$V_{ном}$ – объем помещения, м³.

Рекомендуемые значения градиентов температуры приведены в таблице 7.

Таблица 7. Рекомендуемые значения градиента температуры в помещениях общественных зданий

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

Примечание:

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

Концентрация углекислого газа считается постоянной по всему помещению, поэтому концентрация углекислого газа в удаляемом воздухе принимается равной концентрации в рабочей зоне, то есть предельно допустимой концентрации в помещении. Значения ПДК приведены выше в таблице 5.

ТЕМА 4 ТЕПЛОВОЙ, ВЛАЖНОСТНЫЙ И ГАЗОВЫЙ РЕЖИМЫ ПОМЕЩЕНИЙ

4.1. Понятие вредности

Под термином "**вредности**" в вентиляции понимаются вредные вещества и теплота, поступающие в воздух помещений и негативно влияющие на самочувствие человека.

Целью вентиляции 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.

К вредным относятся выделения в воздух помещений избыточной конвективной и лучистой теплоты, влаги в виде водяных паров, газов и паров вредных веществ, обычной и радиоактивной пыли, неприятных запахов.

Источниками **явной теплоты**, приводящей к повышению температуры воздуха в помещении, являются находящиеся в помещении люди, отопительные приборы, нагретые поверхности, технологическое оборудование, солнечная радиация и другие источники. Облучение тела человека лучистой теплотой отрицательно сказывается на его физиологическом состоянии, происходит перегрев организма.

Влага поступает в воздух производственных помещений вследствие испарения воды, применяемой в технологическом процессе, дыхания и испарения пота людей, выделения водяного пара с открытой водной поверхности резервуаров и от оборудования, со смоченного пола, при горении топлива, при сушке материалов и другим причинам. Поступление водяного пара увеличивает относительную влажность воздуха и его энтальпию. **Теплоту, поступающую с водяными парами в воздух помещения, принято считать скрытой.**

В зависимости от характера выполняемых технологических процессов в воздух помещений поступают в том или ином количестве **различные газы и пары вредных веществ**, которые вызывают профессиональные отравления. Наиболее распространенными в воздухе промышленных предприятий являются углекислый газ, окись углерода, сернистый газ, формальдегид, окислы азота, аммиак, углеводороды, синильная кислота, хлор, фтористый водород и многие другие.

Углекислый газ выделяется в воздух помещений при дыхании людей. Углекислый газ в небольших концентрациях не является ядовитым и вредным для человека. Только при высоких концентрациях 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. По-

этому 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.

Промышленная пыль образуется при механическом измельчении твердых тел (дробление, размалывание, резание), обработке поверхности твердых тел (заточка, шлифовка, полировка, обдирка, бурение, истирание), производстве работ с измельченным материалом (транспортирование, перемешивание, просеивание, пересыпка, упаковка), химических процессах (золо- и дымообразование при горении топлива, выделение сажи при работе дизельных двигателей), механическом распылении жидких смесей (окраска пульверизацией), металлургических процессах (унос с отходящими газами пыли руд и металлов).

Пыль во взвешенном в воздухе состоянии образует **аэрозоль**, а в осевшем состоянии – **аэрогель**. Дым, возгоны и туман также относятся к аэрозолям, в которые входят очень мелкие твердые или жидкие частицы. По характеру поведения пыли в воздухе ее разделяют на три группы:

- пыль с диаметром частиц более 10 мкм, она оседает в воздухе с возрастающей скоростью и не способна к диффузии;

- пыль с диаметром частиц от 0,1 до 10 мкм (туман), она оседает в воздухе с постоянной скоростью и также не способна к диффузии;

- пыль с диаметром частиц от 0,001 до 0,1 мкм (дымы) в воздухе не оседает и находится в постоянном беспорядочном движении и активно диффундирует.

Пыль оказывает вредное действие на органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, глаза и кожу человека. Причем степень вредного ее действия зависит от дисперсности и свойств того вещества, из которого образовалась пыль. По своему происхождению пыль делится на **органическую** (животную или растительную), **неорганическую** (металлическую или минеральную) и **смешанную**. Она может быть относительно нейтральной или ядовитой. Наиболее вредное действие оказывает пыль размерами менее 5 мкм. Такая мелкая пыль глубоко проникает в легкие, попадает в альвеолы и там остается. Более крупная пыль оседает на слизистой оболочке верхних дыхательных путей и откашливается.

Мелкая пыль, попавшая в альвеолы, механически засоряет легкие, а, входя во взаимодействие с альвеолярной жидкостью, образует соединения, разрушающие легочную ткань.

Для жизни людей тонкодисперсная пыль представляет и другую опасность – при наличии источника высокой температуры она взрывается (угольная, сахарная, мучная, крахмальная, железная и др.). Взрыв происходит вследствие высокой химической активности пыли, имеющей огромную поверхность соприкосновения с кислородом воздуха.

4.2. Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в рабочей зоне

При наличии в воздухе некоторого количества вредных веществ они оказывают на организм некоторое негативное воздействие. Результат этого воздействия по отношению к некоторому среднему человеку в целом зависит от трех факторов:

- а) тип вредного вещества;
- б) концентрации его в воздухе, мг/м³;
- в) продолжительности воздействия.

При одинаковой концентрации в воздухе воздействие различных веществ может быть крайне разным. Одни вещества могут вызывать очень быстрое ухудшение самочувствия человека, а действие других может проявиться спустя значительное время. Путем специальных исследований медиками-гигиенистами установлены максимальные значения концентраций различных веществ, которые можно допустить в рабочей зоне помещений без ущерба для здоровья человека. Эти концентрации вредных веществ называются **предельно-допустимыми концентрациями в рабочей зоне (ПДК_{рз})**.

Предельно-допустимая концентрация вредного вещества в рабочей зоне – это такая концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Кроме ПДК рабочей зоны гигиенистами установлены также предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе населенных мест: максимально-разовые (ПДК_{мр}), отнесенные к периоду воздействия 20-30 минут, и среднесуточные, отнесенные к периоду воздействия в течение всего жизненного цикла человека (70 лет). Эти концентрации используются при решении вопросов охраны воздушного бассейна.

Таким образом, ПДК_{рз} это максимальное значение концентрации вредного вещества, которое можно допустить в помещении. При этом должно соблюдаться соотношение $C_v < \text{ПДК}_{рз}$, или $C_v / \text{ПДК}_{рз} < 1$

Вредные вещества по-разному воздействуют на организм человека: одни являются кровяными ядами (угарный газ), другие обладают раздражающим действием (кислота), третьи воздействуют на сосудисто-нервную систему (углеводороды), четвертые (вещества фиброгенного действия) воздействуют на легкие (окись кремния, цемент, другие неорганические пыли), пятые вызывают онкологические заболевания (асбест, бензол, бенз(а)пирен, мышьяк, никель, хроматы и бихроматы). При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ они могут обладать однонаправленным действием. Список групп веществ, обладающих однонаправленным действием, составляется органам государственного санитарного надзора.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однопавленного действия сумма отношений фактических концентраций каждого из них ($C_1, C_2 \dots C_n$) в воздухе к их ПДК ($ПДК_1, ПДК_2 \dots ПДК_n$) не должна превышать единицы

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1. \quad (4.1)$$

4.3. Классы опасности вредных веществ

Вредные вещества по опасности воздействия на организм человека подразделяются на четыре класса: I, II, III, IV. Класс I – это самые опасные вещества, а класс IV – наименее опасные. Вещества, отнесенные к каждому классу, имеют ПДК_{рз} в следующих диапазонах:

класс I — менее 0,1 мг/м³;

класс II — от 0,1 до 1 мг/м³;

класс III — от 1 до 10 мг/м³;

класс IV — более 10 мг/м³.

Кроме собственно значения ПДК_{рз} при отнесении вещества к тому или иному классу опасности учитываются и дополнительные особенности воздействия его на человека (например, возможность накопления его в организме, что характерно для тяжелых металлов).

4.4. Основные виды вредностей и их влияние на самочувствие человека

В помещения общественных зданий поступают следующие вредности: а) углекислый газ; б) явное тепло; в) влага (и связанное с ней скрытое тепло). Поступление других вредностей маловероятно, так как связано с протеканием какого-либо технологического процесса.

Углекислый газ выделяется в воздух помещений при дыхании людей. Молекулярная масса CO₂ равна 46, то есть этот газ существенно тяжелее воздуха, для которого M=29. Соответственно, плотность CO₂ при 20°C равна 1,9 кг/м³ против 1,2 кг/м³ для воздуха.

Следует отметить, что углекислый газ в небольших концентрациях не является ядовитым и вредным для человека, поэтому мы спокойно пьем газированную воду. Только при высоких концентрациях CO₂ 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.

ПДК для углекислого газа, в отличие от других вредных веществ, обычно указывают не в мг/м³, а в л/м³. В некоторой литературе концентрацию CO₂ указывают в процентах по объему. Учитывая, что 1 м³ равен 1000 л, 1 л/м³ равен 0,1% по объему или 1900 мг/м³. Значения ПДК для CO₂ составляют от 0,7 л/м³ для больниц до 2 л/м³ для магазинов и приведены в разделе "Расчетные параметры воздуха".

Ниже в таблице 1 указано влияние повышенных концентраций CO₂ на человеческий организм.

Таблица 1. Влияние концентраций углекислый газ на человеческий организм

Концентрация CO ₂		Результат воздействия CO ₂
% по объему	л/м ³	
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. Понятие теплового комфорта рассматривалось в курсах "Строительная теплофизика" и "Отопление". Напомним основные положения.

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 поддерживать 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.

4.5. 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. Расчет выполняется с использованием удельных значений тепловыделений, влаговыделений и газовыделений, приводимых в справочной литературе (таблица 4), причем отдельно подсчитываются явные и полные тепловыделения от людей.

$$Q_{я} = q_{я} N; \quad (4.2)$$

$$Q_n = q_n N; \quad (4.3)$$

$$M_w = m_w N; \quad (4.4)$$

$$V_{CO_2} = v_{CO_2} N, \quad (4.5)$$

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 2.

Таблица 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.

4.6. Расчет теплоступлений в помещения общественных зданий

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

Тепловые потери в общественных зданиях происходят через наружные ограждения и на нагрев воздуха, инфильтрирующего через неплотности в оконных и дверных проемах. Расчет тепловых потерь следует производить в соответствии с типовой методикой, изучаемой в курсах «Строительная теплофизика» и «Отопление». Расчет тепловых потерь следует вести с учетом принятого значения температуры внутреннего воздуха для холодного периода.

Теплоступления в помещения в общественных зданиях складываются из следующих составляющих:

- а) тепло от людей;
- б) тепло от системы отопления;
- в) тепло от источников искусственного освещения;
- г) тепло от солнечной радиации через окна;
- д) тепло от солнечной радиации через покрытие.

4.6.1. Теплоступления от системы отопления

Теплоступления от системы отопления Q_{co} , Вт, определяют путем пересчета тепловых потерь на расчетную температуру внутреннего воздуха для отопления. Расчетная температура внутреннего воздуха принимается для залов театров и клубов, где люди находятся без верхней одежды, равной 16 °С, а для кинотеатров, 14 °С.

$$Q_{co} = Q_{mn} (t_{в.вв} - t_n) / (t_{в.ом} - t_n), \quad (4.6)$$

где Q_{mn} — расчетные теплотери, определенные при расчетной температуре внутреннего воздуха, Вт;

$t_{в.вв}$ — расчетные температуры внутреннего воздуха для расчета вентиляции, °С;

$t_{в.ом}$ — расчетные температуры внутреннего воздуха для расчета отопления, °С;

t_n — расчетная температура наружного воздуха, °С.

4.6.2. Теплопоступления от источников искусственного освещения

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

$$Q_{осв} = E F q_{осв} \eta_{осв}, \quad (4.7)$$

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, м²;

$q_{осв}$ — удельные тепловыделения от светильников, Вт/(лк м²) (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.

4.6.3. Теплопоступления от солнечной радиации через окна

Теплопоступления от солнечной радиации через окна, называемые в нормативных документах термином "лучепрозрачные проемы", 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 пе-

редано 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.

Расчетная модель поступления теплоты в помещение приведена на рисунке 1.

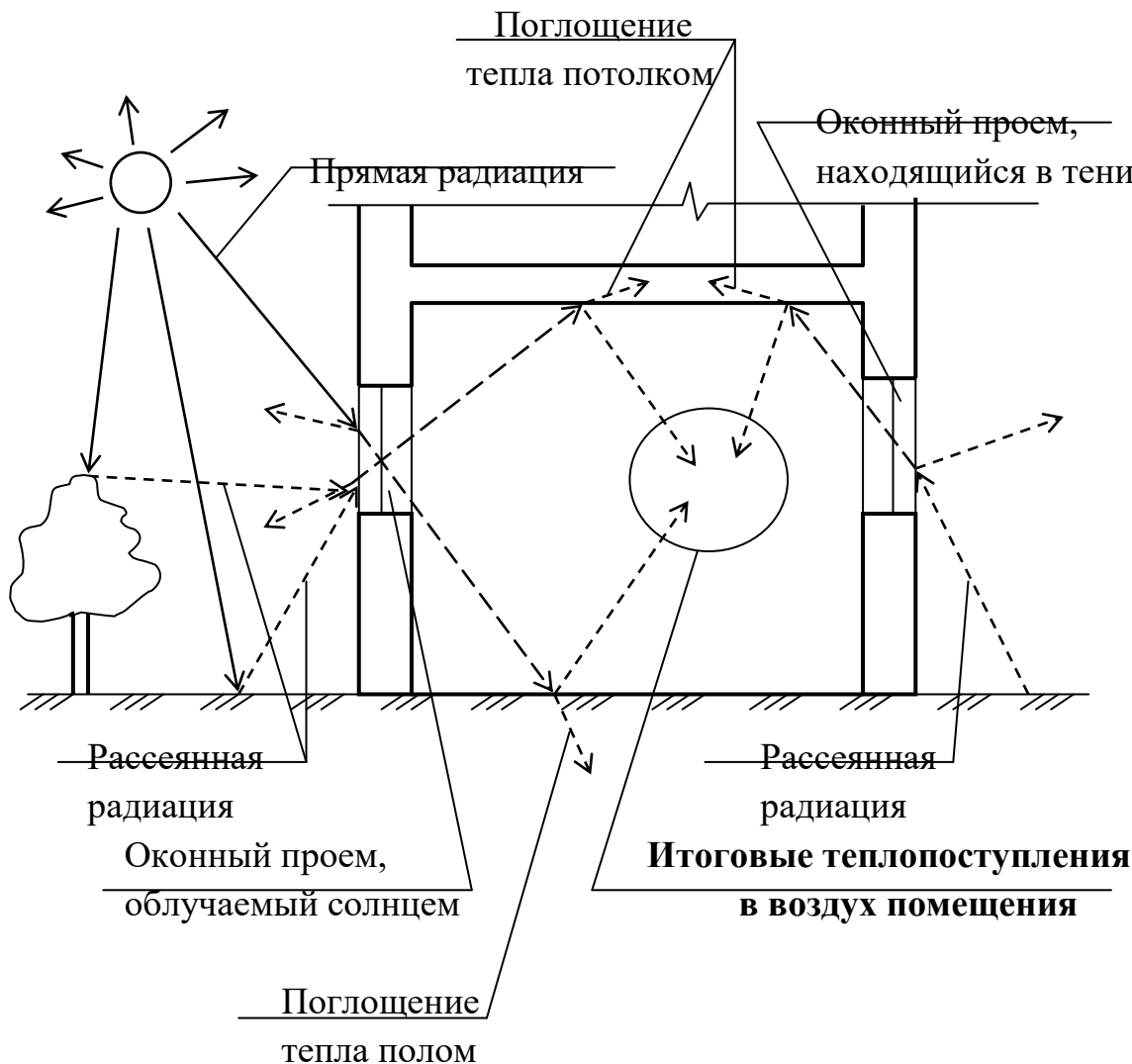


Рисунок 1. Схема поступления тепла солнечной радиации через лучепрозрачные вертикальные проемы

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 тепlopоступлений от солнечной радиации через вертикальные проемы Q_{cp} , Вт, выполняется для конкретного часа суток по формуле

$$Q_{cp} = \sum (q_{np} K_{1np} + q_p K_{1p}) F K_2 K_{отн} K_{сз} K_{ак} \quad (4.8)$$

где q_{np} , q_p — прямая и рассеянная солнечная радиация через стандартный оконный проем данной ориентации в расчетный час суток, Вт/м², определяются по таблицам в справочной, учебной и нормативной литературе;

$K_{Iпр}$, $K_{Iр}$ — 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.

4.6.4. Теплоступления от солнечной радиации через покрытие

Теплоступления от солнечной радиации через покрытие, называемые в СНиП термином "массивные ограждения", допускается определять для целей вентиляции 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 отбирается от покрытия, несколько снижая температуру наружной поверхности. Оставшаяся доля теплового потока, поступившего на покрытие, посредством теплопроводности передается через толщу 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 обрешет-

ке) 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.

Расчетная модель тепlopоступлений через покрытие приведена на рисунке 2.

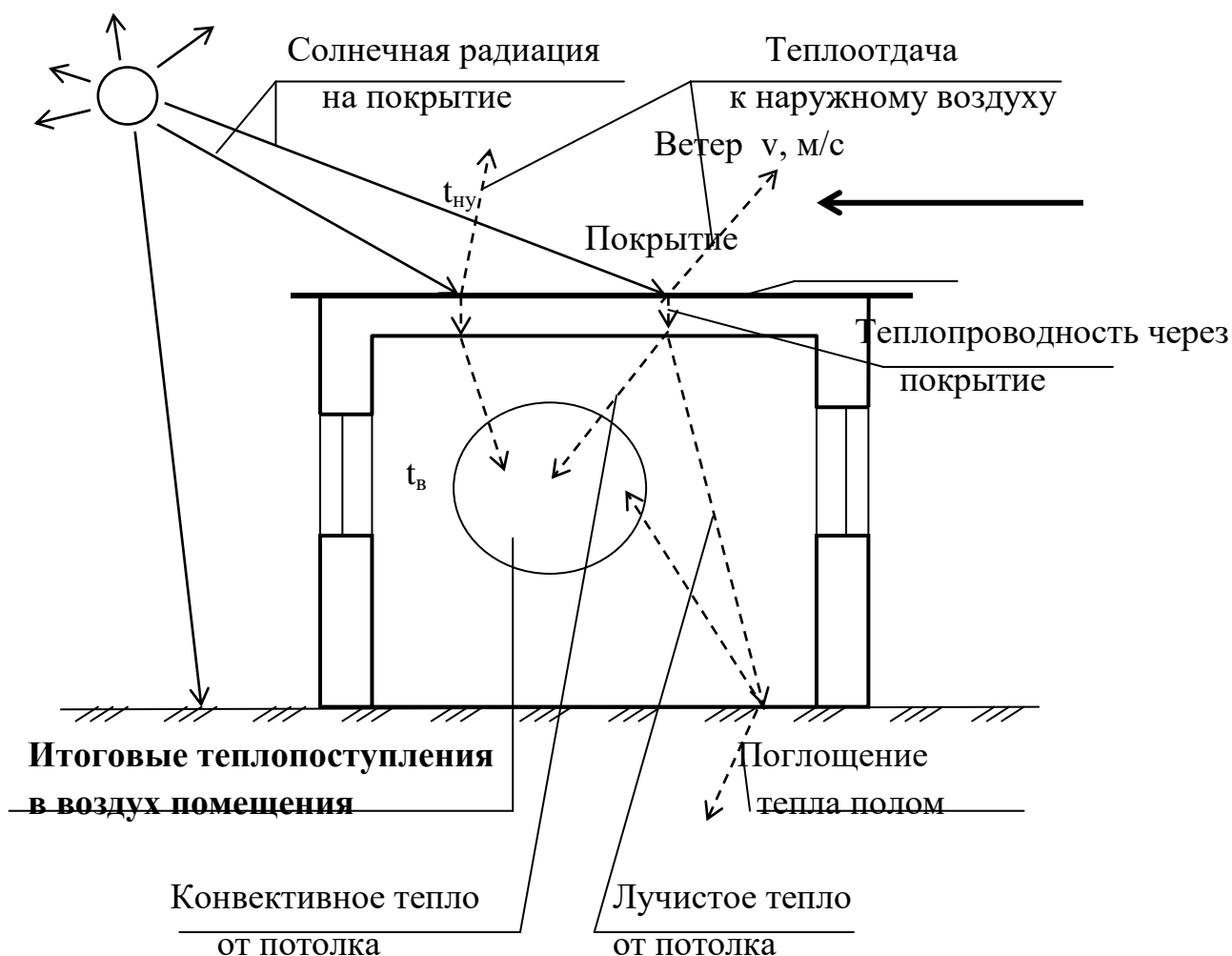


Рисунок 2. Схема поступления тепла солнечной радиации через непрозрачное ограждение (покрытие)

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

$$Q_{cp} = (t_{ny} - t_{в}) F_n / R_n, \quad (4.9)$$

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, м²; R_n — сопротивление теплопередачи покрытия (берется по данным теплотехнического расчета), (м² °С)/Вт.

Условная наружная температура воздуха над покрытием определяется по формуле

$$t_{ny} = t_n + q_{cp} \rho_n / \alpha_n, \quad (4.10)$$

где t_n – расчетная температура наружного воздуха (параметры А), °С; q_{cp} – среднесуточный тепловой поток солнечной радиации на горизонтальную поверхность, зависит от широты местности, принимается по таблице 3, Вт/м²; ρ_n – коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью покрытия, принимается по таблице 4; α_n – коэффициент теплоотдачи к воздуху на наружной поверхности покрытия, Вт/(м² °С).

Таблица 3. Среднесуточный тепловой поток солнечной радиация на горизонтальную поверхность

Широта	q_{cp} , Вт	Широта	q_{cp} , Вт	Широта	q_{cp} , Вт
0	304	24	257	48	328
4	315	28	259	52	329
8	326	32	352	56	327
12	336	36	344	60	319
16	345	40	333	64	319
20	353	44	331	68	332

Коэффициент теплоотдачи к воздуху на наружной поверхности покрытия для летнего режима определяется по формуле

$$\alpha_n = 1,163 (5 + 10 v_n), \quad (4.11)$$

где v_n – расчетная скорость ветра для теплого периода (параметры А), м/с.

Таблица 4. Коэффициент поглощения солнечной радиации различными материалами наружной поверхности покрытия

Материал наружной поверхности	Коэффициент поглощения
Алюминий листовой	0,5
Асфальтобетон	0,9
Светлый гравий	0,65
Рубероид с песчаной посыпкой	0,9
Сталь листовая, окрашенная охрой	0,8
Сталь листовая, окрашенная	0,6
Сталь листовая оцинкованная	0,65
Черепица	0,7
Шифер	0,65

Теплопоступления 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. Если имеется подшивной потолок или воздушная прослойка, но воздушное пространство не вентилируется, то теплопоступления учитывают с коэффициентом 0,6.

Более подробная методика расчета, используемая при проектировании кондиционирования воздуха, учитывает инерционные свойства покрытия, запаздывание максимума теплопоступлений и амплитуду колебаний теплового потока.

ТЕМА 5 БАЛАНСЫ ВОЗДУШНЫЙ И ВРЕДНЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ

Вентилируемое помещение обычно оснащают несколькими видами систем вентиляции. Уравнение воздушного баланса такого помещения представляет собой алгебраическую сумму всех количеств воздуха по притоку и вытяжке, т.е.

$$\sum_{i=1}^{n_1} G_{ni} + \sum_{j=1}^{n_2} G_{nj} - \sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi} - \sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi} = 0, \quad (5.1)$$

где $\sum_{i=1}^{n_1} G_{ni}$ – суммарное количество воздуха, подаваемого в помещение обще-

обменными приточными системами вентиляции, кг/ч;

$\sum_{j=1}^{n_2} G_{nj}$ – суммарное количество воздуха, подаваемого в помещение местными

приточными системами вентиляции; кг/ч;

$\sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi}$ – суммарное количество воздуха, удаляемого из помещения общеобмен-

ными вытяжными системами вентиляции, кг/ч;

$\sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi}$ – суммарное количество воздуха, удаляемого из помещения местными

вытяжными системами вентиляции (местными отсосами), кг/ч;

n_1, n_2, n_3 и n_4 – число систем вентиляции соответственно общеобменных приточных, местных приточных, общеобменных вытяжных и местных вытяжных.

Уравнения балансов вредных выделений в помещении будут:

по явной теплоте

$$\Delta Q_{я} + 0,28 \cdot \left(\sum_{i=1}^{n_1} G_{ni} \cdot t_{ni} + \sum_{j=1}^{n_2} G_{nj} \cdot t_{nj} - \sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi} \cdot t_{y\varphi} - \sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi} \cdot t_{y\varpi} \right) \cdot c_p = 0; \quad (5.2)$$

по полной (явная и скрытая) теплоте

$$\Delta Q_n + 0,28 \cdot \left(\sum_{i=1}^{n_1} G_{ni} \cdot I_{ni} + \sum_{j=1}^{n_2} G_{nj} \cdot I_{nj} - \sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi} \cdot I_{y\varphi} - \sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi} \cdot I_{y\varpi} \right) = 0; \quad (5.3)$$

по влаговыделениям

$$W_{вл} + 10^{-3} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n_1} G_{ni} \cdot d_{ni} + \sum_{j=1}^{n_2} G_{nj} \cdot d_{nj} - \sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi} \cdot d_{y\varphi} - \sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi} \cdot d_{y\varpi} \right) = 0; \quad (5.4)$$

по вредным веществам (газам, парам, пыли)

$$M_{вп} + \sum_{i=1}^{n_1} G_{ni} \cdot c_{ni} \cdot \rho_{ni}^{-1} + \sum_{j=1}^{n_2} G_{nj} \cdot c_{nj} \cdot \rho_{nj}^{-1} - \sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi} \cdot c_{y\varphi} \cdot \rho_{y\varphi}^{-1} - \sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi} \cdot c_{y\varpi} \cdot \rho_{y\varpi}^{-1} = 0. \quad (5.5)$$

Здесь $\Delta Q_{я}, \Delta Q_n, W_{вл}$ и $M_{вр}$ – количество соответственно избытков явной теплоты, избытков полной теплоты, влаги и вредного вещества, выделяющихся в помещении, Вт, Вт, кг/ч и мг/ч;

$t_{ni}, t_{nj}, t_{yф}$ и $t_{yш}$ – температура воздуха соответственно приточного общеобменного, приточного местного, удаляемого общеобменного и удаляемого местного, °С;

$I_{ni}, I_{nj}, I_{yф}$ и $I_{yш}$ – энтальпия воздуха соответственно приточного общеобменного, приточного местного, удаляемого общеобменного и удаляемого местного, кДж/кг;

$d_{ni}, d_{nj}, d_{yф}$ и $d_{yш}$ – влагосодержание воздуха соответственно приточного общеобменного, приточного местного, удаляемого общеобменного и удаляемого местного, г/кг;

$c_{ni}, c_{nj}, c_{yф}$ и $c_{yш}$ – концентрация вредного вещества в воздухе соответственно приточном общеобменном, приточном местном, удаляемом общеобменном и удаляемом местном, мг/м³;

$\rho_{ni}, \rho_{nj}, \rho_{yф}$ и $\rho_{yш}$ – плотность воздуха соответственно приточного общеобменного, приточного местного, удаляемого общеобменного и удаляемого местного кг/м³;

c_p – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К).

В формулах (5.2) и (5.3) учтено, что 1 Вт = 0,28 кДж/ч.

Физический смысл членов уравнений (5.2, 5.3, 5.4, 5.5) состоит в том, что каждый из них выражает количество явной или полной теплоты, влаги или вредного вещества как выделяющихся в помещении от технологического оборудования, так и вносимых в помещение приточными и удаляемых из него вытяжными общеобменными и местными системами вентиляции. Уравнения действительны для уравновешенного воздушного баланса. Когда же происходит перетекание воздуха из помещения в помещение, инфильтрация наружного воздуха и врывание его через открытые проемы, то в уравнения необходимо вводить дополнительные члены.

5.1. Определение воздухообмена в помещении

Под **воздухообменом** подразумевают такое количество вентиляционного воздуха, которое обеспечивает в помещении нормальное метеорологическое и санитарно-гигиеническое состояние воздушной среды для людей и технологии производства. Воздухообмен в помещении создают за счет использования гравитационных сил, сил ветра или применением механических общеобменных и местных систем вентиляции.

В общем случае для получения требуемой суммарной производительности общеобменных приточных систем вентиляции совместно решают, уравнение (5.1) с каждым в отдельности из уравнений (5.2), (5.3), (5.4), и (5.5). Для этого из уравнения (5.1) находят суммарную общеобменную вытяжку (кг/ч)

$$\sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi} = \sum_{i=1}^{n_1} G_{ni} + \sum_{j=1}^{n_2} G_{nj} - \sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi} . \quad (5.6)$$

Подставляя это значение общеобменной вытяжки последовательно в каждое из уравнений (5.2), (5.3), (5.4) и (5.5), получают величины суммарного общеобменного притока. Величину суммарной общеобменной вытяжки по каждому виду вредного выделения находят из уравнения (5.6) путем поочередной подстановки в него полученных значений $\sum_{i=1}^{n_1} G_{ni}$. При этом величины $\sum_{j=1}^{n_2} G_{nj}$ и $\sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi}$ должны быть подсчитаны заранее по методикам расчета местных приточных и вытяжных систем вентиляции.

Для перевода воздухообмена в объемные единицы L , $\text{м}^3/\text{ч}$, массовое его значение G , $\text{кг}/\text{ч}$, делят на плотность воздуха ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$.

Согласно СН 4.02.03-2019 расход приточного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$, для помещений определяется расчетом с использованием следующих формул:

а) по избыткам явной теплоты

$$L_h = L_{w,z} + \frac{3,6Q - c \cdot L_{w,z} \cdot (t_{w,z} - t_{in})}{c \cdot (t_l - t_{in})}; \quad (5.7)$$

б) по массе выделяющихся вредных веществ (пыли, паров, газов)

$$L_{po} = L_{w,z} + \frac{m_{po} - L_{w,z} \cdot (q_{w,z} - q_{in})}{q_l - q_{in}}; \quad (5.8)$$

в) по избыткам влаги (водяного пара)

$$L_w = L_{w,z} + \frac{W - 1,2L_{w,z} \cdot (d_{w,z} - d_{in})}{1,2(d_l - d_{in})}; \quad (5.9)$$

г) по избыткам полной теплоты

$$L_{h,f} = L_{w,z} + \frac{3,6Q_{h,f} - 1,2L_{w,z} \cdot (I_{w,z} - I_{in})}{1,2(I_l - I_{in})}, \quad (5.10)$$

В формулах (5.7) – (5.10):

$L_{w,z}$ – расход воздуха, удаляемого из рабочей зоны помещения системами местных отсосов, общеобменной вентиляцией и на технологические нужды, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Q и $Q_{h,f}$ – соответственно избыточный явный и полный тепловые потоки в помещении, Вт;

c – теплоемкость воздуха, равная $1,2 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$;

$t_{w,z}$, $d_{w,z}$, $I_{w,z}$ – соответственно температура, влагосодержание, удельная энтальпия воздуха, удаляемого из рабочей зоны помещения системами местных отсосов, общеобменной вентиляцией и на технологические нужды, $^\circ\text{C}$, г/кг, кДж/кг;

t_l , d_l , I_l – соответственно температура, влагосодержание, удельная энтальпия воздуха, удаляемого из помещения за пределами рабочей зоны, $^\circ\text{C}$, г/кг, кДж/кг;

t_{in} , d_{in} , I_{in} – соответственно температура, влагосодержание, удельная энтальпия воздуха, подаваемого в помещение, $^\circ\text{C}$, г/кг, кДж/кг;

m_{po} – масса вредного вещества, поступающего в воздух помещения, мг/ч;

W – избытки влаги в помещении, г/ч;

$q_{w,z}$ и q_l – концентрация вредного вещества в воздухе, удаляемом соответственно из рабочей зоны помещения и за ее пределами, мг/м³;

q_{in} – концентрация вредного вещества в воздухе, подаваемом в помещение, мг/м³.

В частном случае, когда в помещении отсутствуют местные отсосы, из рабочей или обслуживаемой зоны не удаляется воздух общеобменной вентиляцией и на технологические нужды, воздухообмен определяется по упрощенным формулам:

по избыткам явной теплоты

$$L_h = \frac{3,6Q}{c \cdot (t_l - t_{in})}; \quad (5.11)$$

по массе выделяющихся вредных веществ

$$L_{po} = \frac{m_{po}}{q_l - q_{in}}; \quad (5.12)$$

по избыткам влаги

$$L_w = \frac{W}{1,2(d_l - d_{in})}; \quad (5.13)$$

по избыткам полной теплоты

$$L_{h,f} = \frac{3,6Q_{h,f}}{1,2(I_l - I_{in})}; \quad (5.14)$$

Расход воздуха следует определять отдельно для теплого, холодного и переходного периодов года, принимая большую из величин, полученных по формулам (5.7) – (5.10), при плотности приточного и удаляемого воздуха 1,2 кг/м³.

При выделении в воздух помещения нескольких вредных веществ однонаправленного действия следует суммировать количества воздуха, необходимые для разбавления каждого вещества в отдельности до его ПДК.

Принятую величину расхода воздуха необходимо проверить:

д) по нормируемой кратности воздухообмена

$$L_n = V_p \cdot n; \quad (5.15)$$

е) по нормируемому удельному расходу приточного воздуха

$$L_{sp} = A \cdot K; \quad (5.16)$$

$$L_{sp} = N \cdot m, \quad (5.17)$$

где V_p – объем помещения, м³. Для помещений высотой 6 м и более следует принимать $V_p = 6A$;

A – площадь помещения, м²;

n – нормируемая кратность воздухообмена, ч⁻¹;

N – число людей, рабочих мест, единиц оборудования;

K – нормируемый расход приточного воздуха на 1 м^2 площади пола помещения, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$;

m – нормируемый удельный расход приточного воздуха на 1 человека, на 1 рабочее место или единицу оборудования, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Расход приточного воздуха, определяемый по формулам (5.15) – (5.17), является минимально необходимым и обязательным.

Параметры воздуха $t_{w,z}, d_{w,z}, I_{w,z}$ принимаются равными расчетным параметрам в рабочей зоне помещения, а $q_{w,z}$ – равным ПДК в рабочей зоне помещений.

Параметры уходящего воздуха принимаются по расчету. Так, температура его определяется:

$$t_l = t_{in} + K_t(t_{w,z} - t_{in}), \quad (5.18)$$

$$t_l = t_{in} + (t_{w,z} - t_{in})/m \quad (5.19)$$

где K_t – коэффициент воздухообмена по температуре, значения которого зависят от схемы воздухораспределения и принимаются в пределах 0,8-2;

m – коэффициент теплораспределения, учитывающий долю теплоты, которая воздействует на температуру рабочей зоны, принимается по табл. 5.2 /5/.

Концентрация вредного вещества в воздухе, удаляемом за пределами рабочей зоны, подсчитывается по формуле

$$q_l = q_{in} + K_q(q_{\text{ПДК}} - q_{in}), \quad (5.20)$$

где K_q – коэффициент воздухообмена по концентрации вредности, значения которого в пределах 0,8-1,85; $q_{\text{ПДК}}$ – ПДК вредного вещества.

Зная t_l и влажность воздуха в рабочей зоне $\varphi_{w,z}$, приближенно по $I-d$ диаграмме находят величину d_l , затем по найденным d_l и t_l определяют I_l .

Расход воздуха для обеспечения норм взрывопожарной безопасности определяется по формуле (4.8). При этом $q_{w,z}$ и q_l следует заменить на $0,1q_g \text{ мг/м}^3$, где q_g – нижний концентрационный предел распространения пламени по газо-, паро- и пылевоздушным смесям.

При необработанном наружном воздухе температуру приточного воздуха, подаваемого системами вентиляции с искусственным побуждением для теплого периода года (параметры А) в формулах (5.7) и (5.10) следует определять из выражения

$$t_{in} = t_{ext} + 0,001P, \quad (5.21)$$

где t_{ext} – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

P – полное давление вентилятора, Па.

При удалении общеобменного воздуха на разных отметках (из рабочей и верхней зон) значения параметров удаляемого воздуха определяют как средневзвешенные величины, например

$$t_{lcp} = \frac{G_{w,z}t_{w,z} + G_l t_l}{G_{w,z} + G_l}, \quad (5.22)$$

где $G_{w,z}$ и G_l – количество воздуха, удаляемого из нижней и верхней зон, кг/ч;
 $t_{w,z}$ и t_l – температура воздуха, удаляемого из нижней и верхней зон, °С.

5.2. Определение необходимого воздухообмена по нормативной кратности

Воздухообменом называется замена загрязненного воздуха помещений чистым. Обычно этот процесс характеризуется **кратностью воздухообмена** - отношением объема воздуха, подаваемого в помещение или удаляемого из него за 1 ч, к объему помещения. **Воздухообмен по нормативной кратности** определяют для гражданских, общественных и вспомогательных производственных помещений, для помещений по производству химических продуктов, а также когда невозможно определить расчетным методом количество выделяющихся газов, паров или пыли.

Установленные значения кратности воздухообмена для различных помещений по притоку и вытяжке приведены в соответствующих главах нормативных документов, а также определены отраслевыми нормами.

Нормы расчета кратности воздухообмена в системах вентиляции напрямую зависят от предназначения каждого конкретного помещения. Кратность воздухообмена рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{L}{V} \quad (5.23)$$

где n — кратность воздухообмена; L — воздухообмен, м³/ч; V — объем помещения, м³.

Существуют обязательные санитарные нормы подачи свежего воздуха на одного человека. Например, в производственных помещениях с естественной вентиляцией и с объемом на одного работающего менее 20 м³ необходимо подавать наружного воздуха не менее 30 м³/ч на каждого работающего, а в помещениях с объемом на одного работающего 20 м³ и более – не менее 20 м³/ч на каждого работающего. При кратности воздухообмена 10 объемов и более в час в производственных помещениях с механической вентиляцией, действующей без рециркуляции или с рециркуляцией, объем наружного воздуха должен составлять не менее 60 м³/ч на одного работающего, в общественных и административно-бытовых помещениях также не менее 60 м³/ч на одного человека.

Подача наружного воздуха в количестве, установленном санитарными нормами, всегда должна обеспечиваться общеобменными приточными системами вентиляции. Расчетный воздухообмен по притоку не должен быть меньше минимально необходимой подачи воздуха по санитарным нормам. Кроме того, к найденному по расчету воздухообмену следует прибавить количество воздуха на технологические нужды (на горение, сушку и т.п.).

ТЕМА 6 ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ. СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

6.1. Способы воздухораспределения

Для нормального функционирования вентиляции необходимо поддерживать определенный воздухообмен в помещении, т.е. подавать определенное количество воздуха и одновременно удалять. Для транспортировки воздуха от места забора приточного воздуха до помещения и наоборот из помещения до места выброса используют сеть воздуховодов, такая схема вентиляции самая распространенная и называется *канальной* (по приточным и вытяжным каналам). Диаметры воздуховодов рассчитываются таким образом, чтобы они могли пропустить необходимый объем воздуха, и при этом скорость потока в них была не выше предельно допустимой, выше которой шум потока превышает установленный уровень. Воздуховоды чаще всего делают из оцинкованной стали, при малых расходах и коротких сетях используют гибкие или полужесткие воздуховоды, реже пластиковые или воздуховоды из нержавеющей стали. В самом помещении воздух распределяется через воздухораспределяющие устройства, тип воздухораспределяющих устройств определяется в зависимости от принятого воздухораспределения. Существует два основных метода - вентиляция **вытеснением** замещением и вентиляция **перемешиванием**.

Вентиляция перемешиванием - способ вентиляции, при котором свежий приточный воздух в помещение таким образом, что происходит его перемешивание с воздухом в помещении.

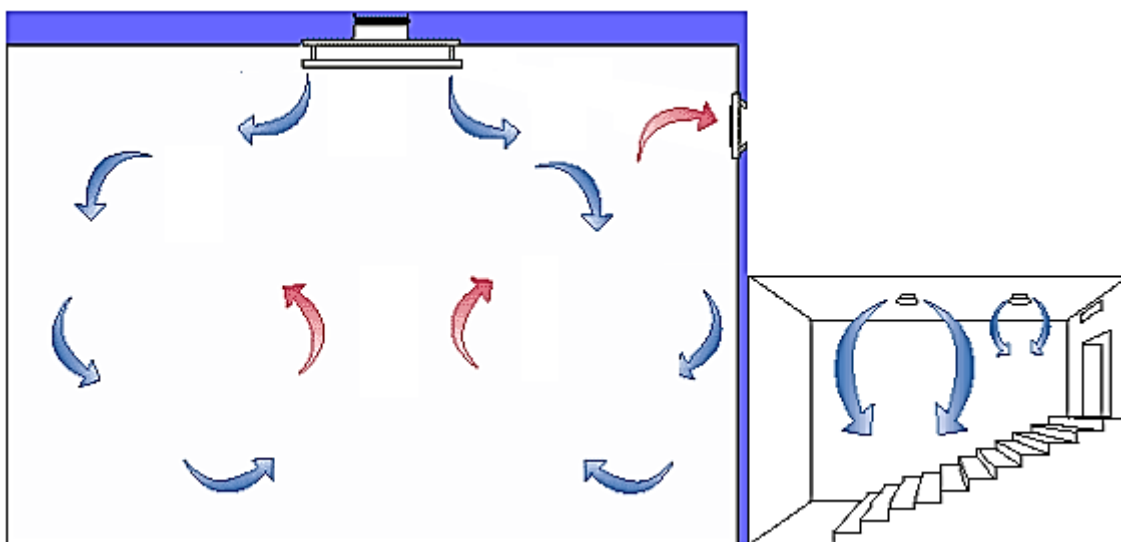


Рисунок 6.1 – Вентиляция перемешиванием

Воздухораспределительные устройства (решетки на стенах или потолочные диффузоры) для вентиляции перемешиванием подбираются с высокой степенью эжек-

ции. **Эжекция** - способность подмешивать в приточную струю прилегающий внутренний воздух (производить перемешивание)

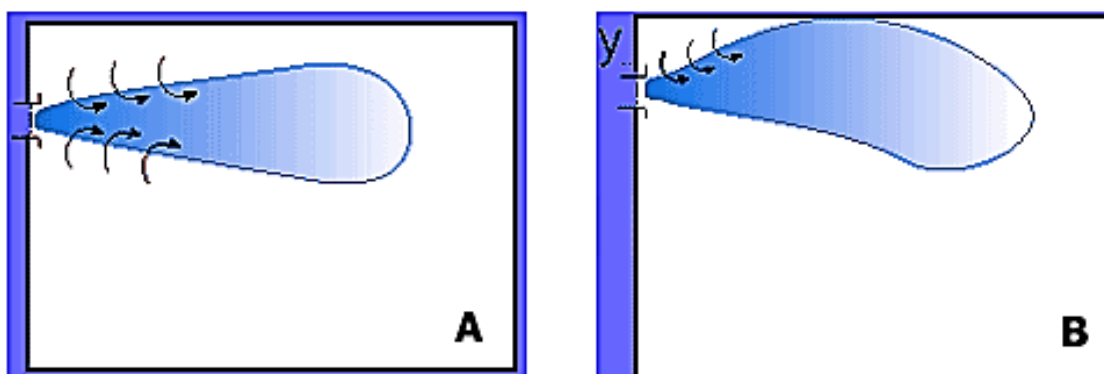


Рисунок 6.2 – Настенные решетки с высокой степенью эжекции

Эжекция возможна только при достаточно высокой скорости потока на выходе воздухораспределительного устройства (более 0,2 м/с), а увеличение скорости потока при заданном расходе воздуха можно добиться при уменьшении площади отверстия выхода воздуха, поэтому при вентиляции перемешиванием воздухораспределительные устройства небольшие и соответственно недорогие, именно поэтому самый распространенный тип - вентиляция перемешиванием. Ограничения на применение эжекционных воздухораспределителей, вернее на желание весь расход выпустить из одного небольшого устройства, накладывает нормируемая скорость воздуха в рабочей зоне, которая должна не превышать 0,2 м/с. Для обеспечения заданного расхода подбирается определенное количество воздухораспределителей, так чтобы скорость воздуха в рабочей зоне была не выше номинальной.

Так как скорость потока падает по мере удаления от диффузора, можно рассчитать скорость в рабочей зоне.

Важно также отметить, что при раздаче воздуха через потолочные диффузоры или решетки, установленные в верхней части (Рис.3 - настилающий эффект), необходимо поддерживать температуру приточного воздуха на градус меньше температуры помещения, иначе теплый воздух просто не опустится в рабочую зону, а уйдет сразу в вытяжной диффузор.

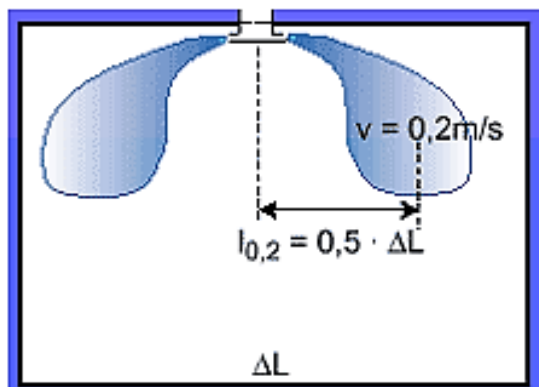


Рисунок 6.3 – Раздача воздуха через потолочные диффузоры

Вентиляция вытеснением.

Вентиляция вытеснением основана на вытеснении загрязненного или отработанного воздуха свежим приточным.

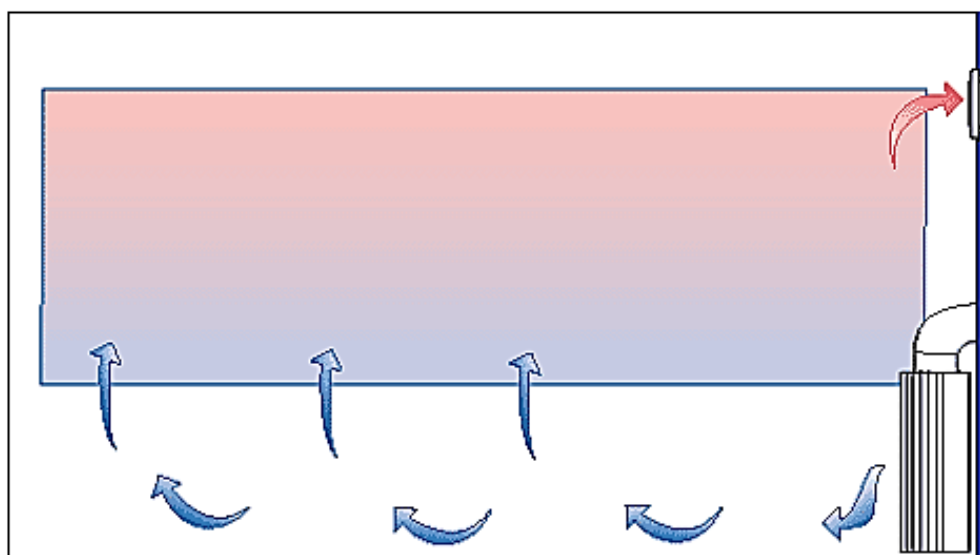


Рисунок 6.4 – Вентиляция вытеснением.

При этом способе вентиляции чистый воздух подают в нижнюю часть помещения через специальная низкоскоростные воздухораспределители и нагреваясь подымается вверх вытесняя отработанный воздух.

Этот способ вентиляции часто применяется в помещениях с выделениями вредных т.к. при этом способе среднее время жизни воздуха в помещении минимально, т.е. полная замена происходит быстрее, чем при вентиляции перемешиванием, при том же расходе приточного воздуха. Имеет смысл применять сей метод и при кондиционировании высокого помещения (повыше 3 метров), в таком случае достаточно будет поддерживать заданную температуру только в рабочей зоне (до 1,8 м), а не во всем объеме, а этот приведет к ощутимой экономии энергии. Неудобство данного метода связанны с тем, что низкоскоростные воздухораспределители (эжекции нет) достаточно большие и дорогие, занимают место в полезном объеме, а также надо учитывать,

что в реальном помещении перемещаются люди, техника, могут возникать сквозняки, а это уже приводит к перемешиванию воздуха, т.е. чистого замещения все равно не достичь.

6.2. Распределение воздуха в помещении

Задача распределения приточного воздуха является весьма важной для эффективной работы систем вентиляции и кондиционирования. Воздухораспределение является своеобразным процессом обработки воздуха, совершаемым непосредственно при подаче его в помещение, и формирует поля температур и скоростей в рабочей зоне. При этом в разных местах рабочей зоны могут возникать значительные отклонения температур от заданной, большая подвижность или, наоборот, застой. Таким образом, даже правильно запроектированная СКВ может не обеспечить эффект кондиционирования, если воздухораспределение выбрано и рассчитано неправильно. В основе теории воздухораспределения используются теоретические и экспериментальные данные аэродинамики.

Устройство, через которое воздух из приточного воздуховода поступает в помещение, представляет собой **воздухораспределитель**.

Схемы вентилирования помещения учитывают место подачи приточного и удаление вытяжного воздуха. Различают такие схемы, как «сверху-вниз», «сверху-вверх», «снизу-вверх», и другие. Для помещений большой высоты (более 8 м) применяется подача в среднюю зону. Для каждой схемы характерна своеобразная циркуляция воздушных потоков, В результате каждый раз формируется определенное соотношение между характерными температурами воздуха.

Три температуры являются характерными для помещения: температура воздуха в рабочей зоне t_B (обычно задана); температура приточного воздуха t_{II} (определяется обычно графически по I-d диаграмме); температура уходящего воздуха t_y .

Расчёт воздухораспределения производят в следующем порядке:

- анализируют конструктивно-планировочные характеристики помещения и размещение оборудования;
- выясняют возможности подачи приточного воздуха со стороны перекрытия (при наличии вышерасположенного этажа) или со стороны стен;
- выбирают схему вентилирования помещения: «сверху-вверх» и другие.
- выбирают тип и конструкцию воздухораспределителя в зависимости от требований к точности поддержания параметров (настенная решетка, потолочный анемостат, перфорированная панель).
- для выбранной конструкции определяются величины коэффициентов m – коэффициент затухания скорости в основном участке; n – коэффициент затухания температуры, зависят от конструкции воздухораспределителя, K_H – коэффициент неизотермичности струи;

- определяют d_0 - характерный размер воздухораспределителя и скорость w_x на оси струи на расстоянии x от места выпуска. Полученная скорость сравнивается с допустимой по гигиеническим соображениям.

Задача распределения приточного воздуха является весьма важной для эффективной работы систем вентиляции и кондиционирования. Воздухораспределение является своеобразным процессом обработки воздуха, совершаемым непосредственно при подаче его в помещение, и формирует поля температур и скоростей в рабочей зоне. При этом в разных местах рабочей зоны могут возникать значительные отклонения температур от заданной, большая подвижность или, наоборот, застой. Таким образом, даже правильно запроектированная СВ или СКВ может не обеспечить эффект кондиционирования, если воздухораспределение выбрано и рассчитано неправильно. В основе теории воздухораспределения используются теоретические и экспериментальные данные аэродинамики.

6.3. Закономерности распространения приточных струй

Из круглого отверстия диаметром d_0 в неограниченное пространство поступает воздух (рис. 4, а). В наиболее общем случае отверстие закрывается специальными насадками: диффузорами, сетками, решетками и др. Если температуры воздуха выходящего из отверстия и в пространстве одинаковы, тогда ось струй искривляться не будет. Поток воздуха, выходящий из отверстия, турбулентный. Поэтому частицы имеют соответствующие скорости не только в направлении оси струи, но и в поперечном направлении. Это объясняет движение воздуха, окружающего струю, расширение границ струи и торможение струи, т.е. уменьшение скорости. Границы струи определить трудно, к тому же для неизотермических струй динамические (скоростные) и температурные границы не совпадают. Поэтому за динамическую границу струи принимают удвоенное расстояние от оси до точки, где скорость равна половине осевой (рис. 4, а).

Развитие струи характеризуется тремя участками. На участке формирования происходит слияние отдельных струек в сплошной поток в плоскости, перпендикулярной направлению выпуска. Начальный участок струи характеризуется постоянной скоростью и температурой по оси струи, постепенно формируясь в основной участок. Та часть струи, в пределах которой скорости не меняются, называется ядром сечения.

Наибольшее значение для расчётов воздухораспределения имеет поведение струи на основном участке. Здесь осевая скорость непрерывно убывает, а профили скоростей в поперечных сечениях подобны. Скорость в любой точке струи определяется в зависимости от расстояния x от места выпуска и расстояния y по формуле:

$$\frac{w_{xy}}{w_x} = \exp \left[-0,5 \left(\frac{y}{C \cdot x} \right)^2 \right], \quad (6.1)$$

где w_x – скорость на оси струи; $C = 0,082$.

Если струя поступает в окружающую среду с другой температурой, то она является неизотермической. Неизотермичность струи учитывается критерием Архимеда (Ar):

$$Ar = \beta \cdot g \frac{d_o (t_b - t_n)}{w_o^2}, \quad (6.2)$$

где $\beta = 1/T_b$ – коэффициент объемного расширения воздуха, $1/K$; $g = 9,8$ – ускорение свободного падения, m/c^2 ; d_o – диаметр воздухораспределительного устройства, m ; w_o – скорость выхода воздуха, m/c ; $(t_b - t_n)$ – рабочая разность температур, $^{\circ}C$.

При $Ar > 0,001$ ось неизотермической струи заметно искривляется; при $t_n > t_b$ струя «всплывает» вверх, при $t_n < t_b$ струя, наоборот, опускается вниз. Изменение закономерностей движений приточных неизотермических струй по сравнению с изотермическими приводит к несколько иным закономерностям распределения температур в струе. Это учитывается коэффициентом неизотермичности струи K_H в формулах:

$$\frac{w_x}{w_o} = m \cdot K_H \cdot \frac{d_o}{x}; \quad (6.3)$$

$$\frac{\Delta t_x}{\Delta t_y} = n \cdot K_H \cdot \frac{d_o}{x}. \quad (6.4)$$

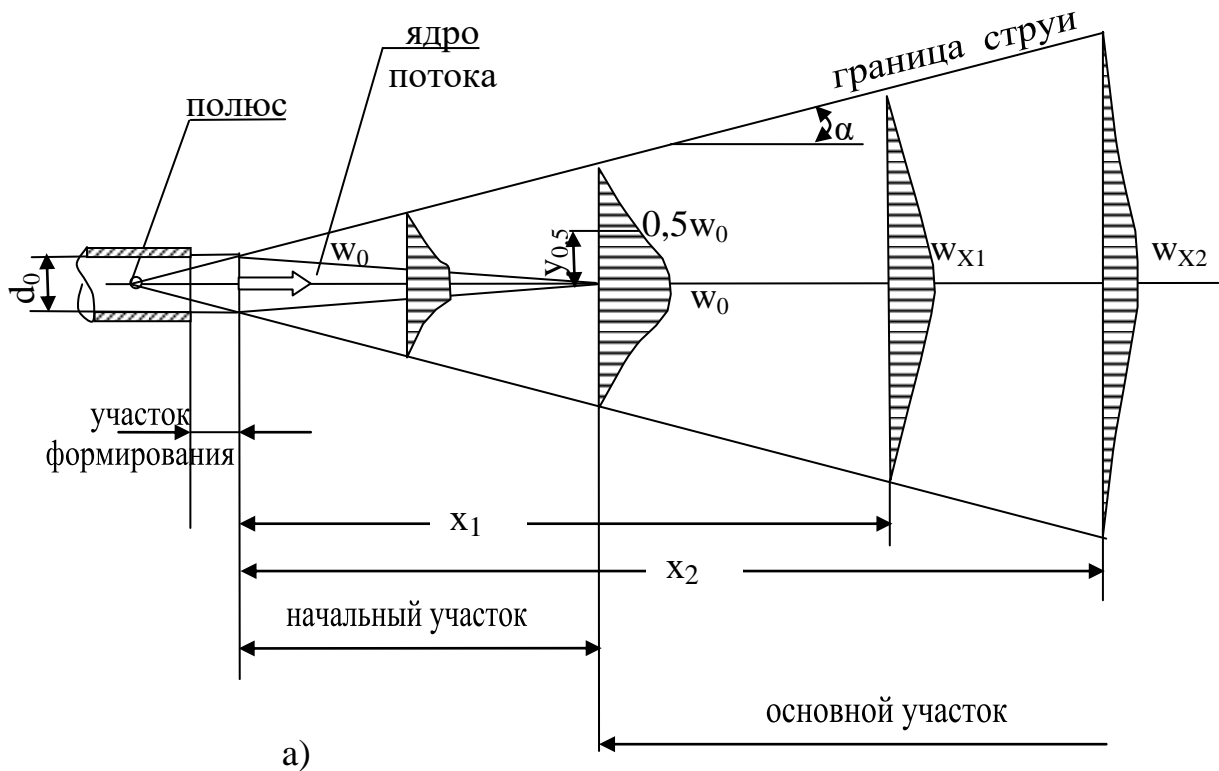
где w_x и Δt_x – скорость и избыточная температура на оси струи на расстоянии x от места выпуска; m – коэффициент затухания скорости в основном участке; n – коэффициент затухания температуры, зависят от конструкции воздухораспределителя.

Искривленная ось траектории приточной неизотермической струи описывается уравнением:

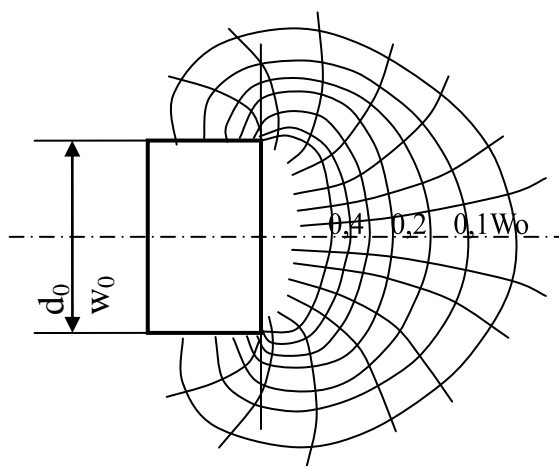
$$\frac{y}{d_o} = \frac{0,5}{m} Ar \left(\frac{x}{d_o} \right). \quad (6.5)$$

Совсем другими закономерностями описывается всасывающий факел. Устройства воздухоудаления представляют собой приемные отверстия вытяжного и рециркуляционного воздуха, оборудованные решетками и перфорированными панелями.

При всасывании в устройство воздухоудаления воздух поступает со всех сторон. На рис. 4, б показаны линии равных скоростей и линии токов для всасывающего отверстия. Закономерности течения воздуха в этом случае зависят от формы отверстия: у круглого отверстия уже на расстоянии одного диаметра скорость воздуха составляет всего 5 % от скорости в центре отверстия. По мере удаления от устройства скорость воздуха затухает быстрее, чем у приточной струи.



а)



б)

Рисунок 6.4 - Схемы приточной и вытяжной струи:

а) схема распространения простейшей приточной вентиляционной струи;

б) схема всасывающего факела

Сравнивая закономерности распространения простейшей приточной струи и характер всасывания, можно сделать вывод об их принципиальном различии. Приточные струи дальнобойны, то есть, могут распространяться в пределах значительной части помещения, определяя тем условия обитания. Вытяжной факел, напротив, быстро «угасает». Поэтому характер движения воздушных потоков и эффект воздухораспределения определяется в первую очередь приточными струями. По этой же причине расчёт сводится, прежде всего, к выбору приточных устройств, обеспечивающих в обитаемой зоне помещения заданные условия.

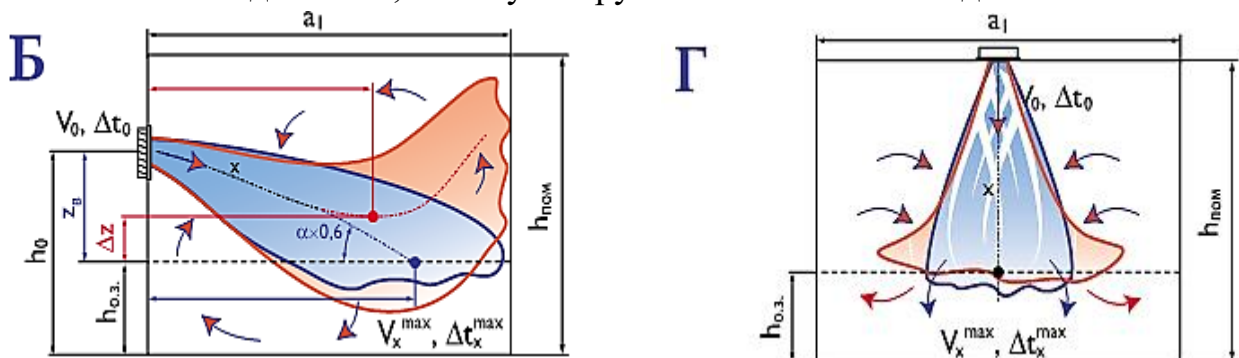
6.4. Классификация приточных струй

Различают **приточные** и **вытяжные** струи, **затопленные** и **незатопленные**. **Затопленные** струи различаются тем, что поступают в ту же среду, например, воздух в воздух. Вентиляционные струи всегда затопленные.

В зависимости от аэродинамического режима струи могут быть **ламинарными** и **турбулентными**. Приточные вентиляционные струи всегда турбулентны.

В зависимости от температуры различают струи **изотермические** и **неизотермические** (схема Б). Струя является изотермической, если температура во всем ее объеме одинакова и равна температуре окружающего воздуха. Струи с температурой выше окружающей среды – неизотермическими, или **слабонагретыми**. Ось такой струи отклоняется кверху (струя всплывает). Струи с температурой ниже окружающей среды – тоже неизотермическими, или **слабоохлажденными**. Ось струи отклоняется книзу (струя тонет). Для вентилирования помещений в подавляющем большинстве случаев применяются неизотермические струи.

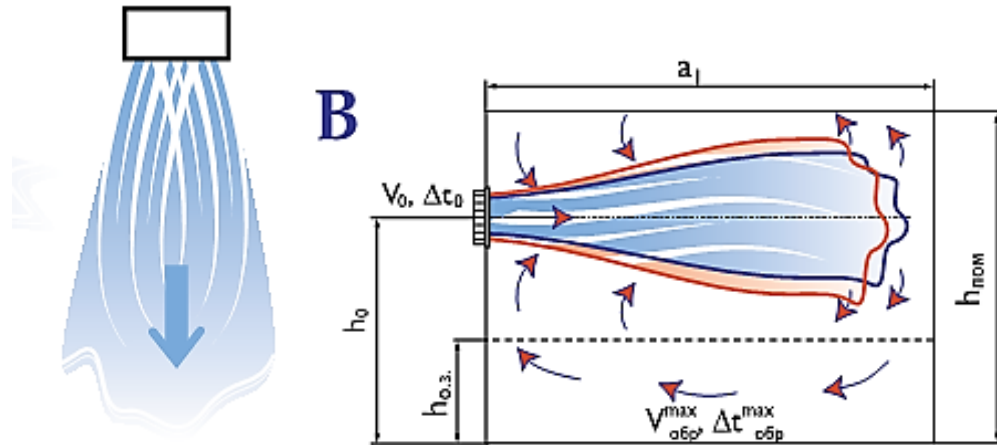
В зависимости от характера развития струи бывают **свободными** (схема Б и Г) и **несвободными (стесненными)** (схема А). Струю называют свободной, если она истекает в достаточно большое пространство и не имеет никаких помех для своего свободного развития. Если на развитие струи ограждающие конструкции помещения оказывают какое-либо воздействие, то такую струю называют несвободной или стесненной.



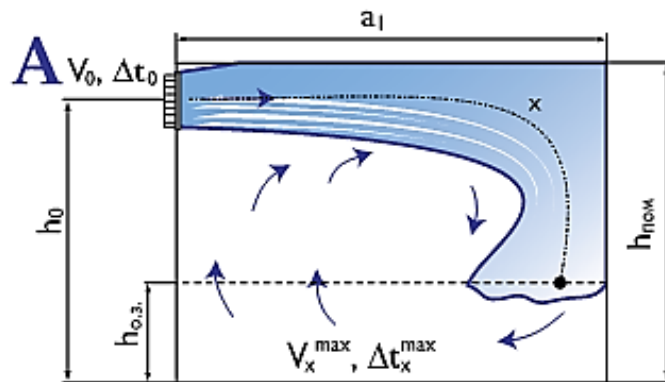
В зависимости от направления скорости истечения приточные струи можно разделить на **сосредоточенные** и **рассеянные**. Векторы скорости истечения сосредоточенных струй параллельны, векторы скорости истечения рассеянных струй расходятся.

По геометрической форме воздушные струи делятся: сосредоточенные – на **компактные** и **плоские**; рассеянные – на **веерные**, **конические** и **комбинированные**.

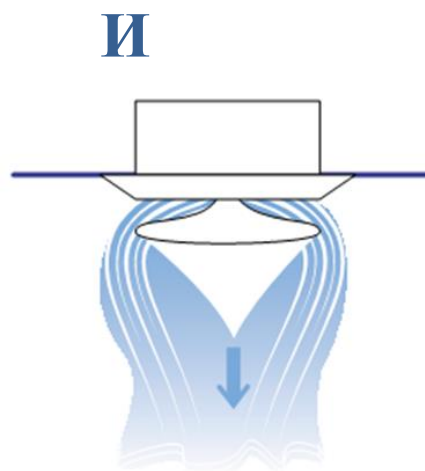
Компактные струи (схема В) образуются при выпуске воздуха из круглых и прямоугольных отверстий, как открытых, так и затененных решетками или различного вида перфорированными устройствами. Форма компактной струи совпадает с геометрической осью струи.

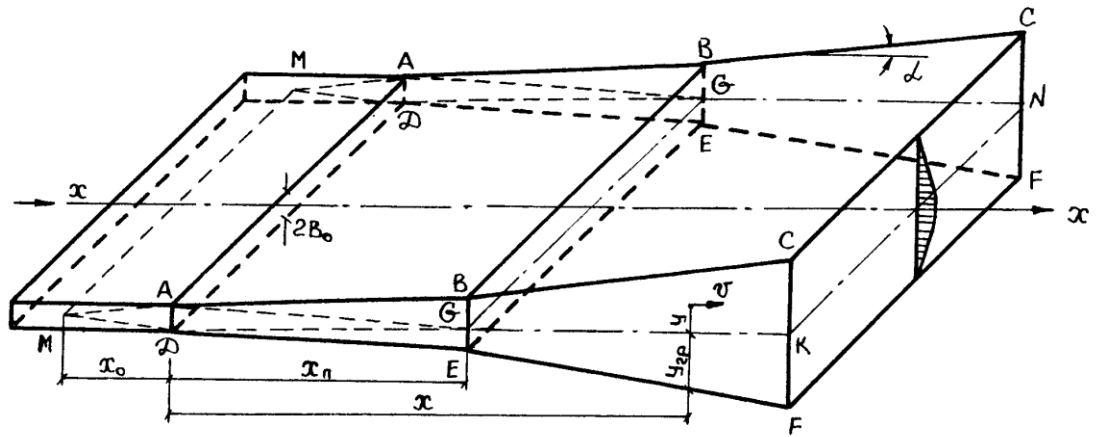


Плоские струи (схема А) формируются при истечении воздуха из воздуховодов активной раздачи, прямоугольных вытянутых отверстий (открытых или оформленных различными устройствами).



Истечение воздуха из щелевидного отверстия, имеющего соотношение сторон 1:20 и более, формируется **плоская** струя (схема К), а при истечении из кольцевой щели – **кольцевая** струя (схема И). Компактные и плоские струи считаются **настиляющимися**, если распространяются вдоль ограждающих поверхностей помещения (их дальнобойность больше, чем у свободной (нестесненной) струи (схема В)).

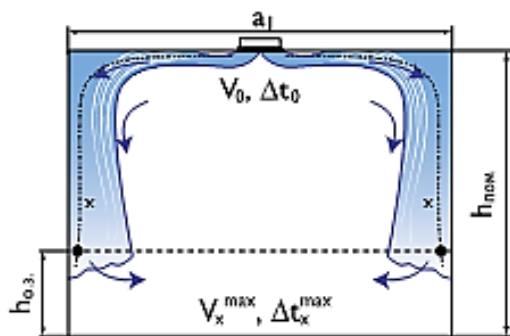




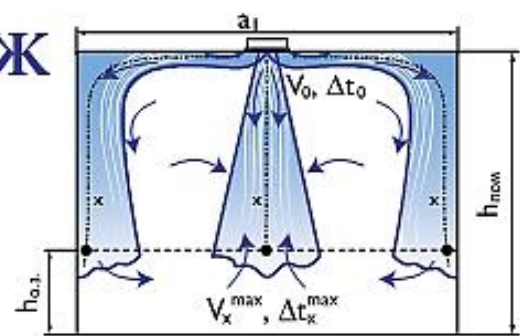
К

При выпуске воздуха из круглого отверстия с диффузором образуется **расширенная коническая струя** (схема Г).

Д



Ж



Веерные струи образуются при подаче воздуха в помещение через насадки с препятствием, установленным поперек потока. Разновидности веерных струй: **компактные** – при полном заполнении площади струи на уровне обслуживаемой зоны (схема З); **неполные настилающиеся** – при кольцевом заполнении площади (схема Д); **конические комбинированные** (схема Ж) – имеющие сложную неполную поверхность (в зависимости от конструкции воздухораспределителя).

Струи, которым с помощью установленного на выходе закручивающего устройства придается вращательное движение, называются закрученными. У таких струй высокая интенсивность перемешивания с окружающим воздухом, поэтому малые скорости потока и избыточная температура отмечаются на меньшем расстоянии от воздухораспределителя, чем у прямоточных струй.

ТЕМА 7 НЕОРГАНИЗОВАННЫЙ ВОЗДУХООБМЕН В ПОМЕЩЕНИИ

Общий процесс обмена воздуха с наружной средой и между помещениями называют воздушным режимом здания. В помещениях здания постоянно происходит воздухообмен через отверстия в наружных и внутренних ограждениях и через вентиляционные каналы.

Инфильтрация – естественный приток наружного (холодного) воздуха в помещение через ограждения, окна, двери, всякого рода щели и т.д.

Инфильтрация (неорганизованный воздухообмен) возникает под действием ветровых и гравитационных сил или из-за дисбаланса приточно-вытяжной механической вентиляции.

Инфильтрация наружного воздуха в помещениях происходит под действием перепада (разности) давлений наружного и внутреннего воздуха.

Обычно считается, что инфильтрация воздуха возникает из-за недостаточного уплотнения оконных и дверных проемов. Отчасти это так, но более чем на 80 % возникновению инфильтрации способствуют недостатки проектирования или возведения ограждающих конструкций.

Если при проектировании здания не учитывать давление воздуха, воздействующее на ограждающие конструкции, это может привести к нарушению воздушного режима здания. Неконтролируемое давление воздуха на поверхность ограждающих конструкций и внутри здания вызывает **инфильтрацию** и **эксфильтрацию** воздуха, превосходящую производительность систем климатизации:

- Инфильтрация является главным источником теплотерь в зимний период, что приводит к дополнительным затратам тепла на подогрев инфильтрующегося воздуха.
- Эксфильтрация влажного внутреннего воздуха приводит к конденсации. Конденсация вызывает множество проблем, от переувлажнения и бактериального заражения до снижения теплозащитных свойств ограждений, что приводит к разрушению ограждающих конструкций.
- Инфильтрационный воздух не кондиционирован по температуре и влажности и может содержать загрязняющие вещества.

Помимо существенного недостатка (теплотерь), инфильтрация является главным источником поступления свежего воздуха в помещение, тем самым, обеспечивая выполнение необходимых санитарных норм по воздухообмену.

В отношении инфильтрации наружного воздуха следует выделить несколько важных моментов:

- Добавочные теплотери на инфильтрацию наружного воздуха или учитываются добавками к основным теплотерям, или определяются специальным расчетом.

- Проектировать наружные ограждающие конструкции воздухопроницаемыми, с расчетом на ветровое и гравитационное давление и давление, создаваемое системами вентиляции.
- Проектировать воздухопроницаемые компоненты наружных ограждающих конструкций, которые могут воспринять внутреннее давление. Зоны внутри зданий с существенно различным микроклиматом следует разделять барьерами для движения воздуха, например, бассейны и офисные помещения или помещения с контролируемой и неконтролируемой влажностью.
- Изолировать воздухопроницаемыми перегородками вертикальные «шахты» (лифты, лестничные клетки, воздуховоды и атриумы) от помещений на этажах. Устанавливать в вестибюлях уплотненные двери и дополнительные стенки для защиты от гравитационного давления.
- Применять комплекс мер по энергосбережению, включающий в себя существенное снижение инфильтрации.
- Обеспечить высокую герметичность помещений. При этом обеспечение санитарных норм по воздухообмену возложить на автоматизированную систему подогрева поступающего наружного воздуха, за счет отводимого, т.е. на рекуперацию.

Расчет инфильтрующегося наружного воздуха

Расход инфильтрующегося (или эксфильтрующегося) воздуха в здание (помещение) кг/ч, через неплотности наружных ограждений следует определять по формуле:

$$\Sigma G^{*}) = 0,216 \Sigma A_1 \Delta P_i^{0,67} / R_1 + 0.216 \Sigma A_2 G_H \Delta P_i^{0,67} + 3456 \Sigma A_3 \Delta P_i^{0,5}$$

где: A_1 , R_1 - площади заполнений световых проемов - окон и фонарей с одинарным, двойным и тройным остеклением, m^2 , и сопротивления их воздухопроницанию, $m^2 \cdot ч \cdot Па/кг$;

A_2 , G_H - площади воздухопроницаемых ограждающих конструкций, m^2 , и нормативная воздухопроницаемость их, $кг/(m^2 \cdot ч)$,

A_3 - площади щелей и неплотностей в наружных ограждениях, m , а также открытых проемов в наружных ограждениях, m ;

$\Delta P_i = P_H - P_B$ - расчетная разность давлений на наружной и внутренней поверхностях наружных ограждений, $Па$.

ТЕМА 8 АЭРАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ОБЩЕСТВЕННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

8.1. Аэрация зданий

Аэрация зданий – организованный и управляемый естественный воздухообмен, осуществляемый за счёт разности плотностей наружного и внутреннего воздуха и воздействия ветра на стены и покрытия здания.

Аэрацию применяют:

- а) в цехах со значительными тепловыделениями;
- б) в случае, когда естественный приток наружного воздуха в здание не вызывает в нем появления тумана, а также образования конденсата на стенах, покрытиях и остеклении фонарей;
- в) при отсутствии необходимости (по условиям технологического процесса) предварительной обработки приточного вентиляционного воздуха (нагрев, охлаждение, увлажнение, обеспыливание и пр.).

Суть аэрации зданий, наиболее просто может быть представлена в виде действия гравитационных сил, когда более плотный воздух (обычно наружный) вытесняет из помещения менее плотный (внутренний). Наружный воздух поступает в помещение через приточные аэрационные отверстия в нижней части здания, а внутренний (уходящий) удаляется наружу через створки аэрационных фонарей. Широкое применение аэрации зданий в производств, помещениях обусловлено незначит, эксплуатационными затратами.

8.2. Область действия

Аэрация зданий ограничена в следующих условиях: если предъявляются жесткие требования к микроклимату помещения, например при кондиционировании воздуха; при поступлении наружного воздуха в помещение с влаго-выделениями; если в помещении имеются значительные пыле- и газовыделения и их проникновение с вытяжным воздухом наружу может загрязнять окружающую среду. В теплое время года аэрацию зданий можно применять практически для всех производственных, кроме тех, где по условиям технологии требуется обработка (очистка, увлажнение, осушка и т.д.) приточного наружного воздуха. Для организации аэрации зданий в холодный период необходимо наличие избытков теплоты в помещении, достаточных для нагревания поступающего наружного холодного воздуха. Наиболее просто организуется аэрация зданий для одноэтажных зданий с наружными ограждениями.

Расчет аэрации, как правило, состоит в определении площади аэрационного проема при известном из воздушного баланса воздухообмене. Реже, обычно при проверочных расчетах, решают обратную задачу: расчет расхода воздуха, протекающего через заданную (известную) площадь аэрационного проема.

Естественная вентиляция предусматривает самопроизвольный воздухообмен 3-мя способами:

- за счет разности температур (и плотностей) воздуха внутри и снаружи помещений;
- за счет внешней ветровой нагрузки здания;
- за счет ветровой нагрузки и разности температур (плотностей) воздуха.

Естественная вентиляция может быть канальной или бесканальной, постоянной либо периодической. Периодическое открывание дверных и оконных проемов, форточек, фрамуг называют проветриванием. Проветривание совместно с канальной естественной вентиляцией чаще применяют в жилых и общественных зданиях. Каналы при этом располагают вертикально внутри специальных шахт, в толще стеновых конструкций здания. Бесканальная, постоянно действующая естественная вентиляция производственных помещений со значительными избытками теплоты, способная обеспечить требуемую кратность воздухообмена, называется аэрацией. Применение аэрации допускается, если концентрация пыли вредных веществ в приточном воздухе превышает 30 % предельно допустимой концентрации (ПДК) рабочей зоны помещения. При аэрации приток (подача) воздуха в теплое время происходит через проемы: в нижней части наружных стен, ворот, дверных проемов; холодное – через проемы верхней части стен, на высоте 4 м и более от уровня пола. Вытяжка (удаление) воздуха производится круглогодично через шахты, фрамуги, дефлекторы, форточки специально устроенных элементов конструкции здания – т.н. аэрационных фонарей. В зависимости от способа воздухообмена при аэрации, тепловой нагрузки помещения, его высоты, температуры наружного воздуха, скорости ветра применяют один из трех вариантов расчета. Основным условием, определяющим вариант расчета, является соотношение между значениями ветрового и гравитационного давлений.

8.3. Цель расчета аэрации

Цель расчета аэрации – определение площади нижних и верхних проемов.

Давление, заставляющее воздух двигаться при аэрации, рассчитывают как

$$P_E = (\rho_{вн} - \rho_{н}) \cdot h, \quad \text{Па.} \quad (8.1)$$

здесь $\rho_{вн}$, $\rho_{н}$ – плотность воздуха внутри/снаружи помещения, кг/м^3 ; h – вертикальное расстояние от центра приточного до центра вытяжного проема, м. P_E – давление, необходимое для преодоления сопротивления перемещению воздуха непосредственно по вентилируемому помещению, придания ему скорости, достаточной для выброса наружу.

При определенных скоростях ветра снаружи здания, из-за уменьшения скорости движения воздуха, на наветренной стороне образуется зона избыточного давления, на подветренной и над кровлей – зона пониженного давления (разрежения). Т.е. из-за этой разности давлений наружный воздух через одни проемы наветренной стороны попадает в помещение, а удаляется через другие с противоположной, подветренной стороны. Для того, чтобы рационально использовать оба фактора – тепловое и ветровое давление при аэрации, необходима оптимальная организация движения потоков воздуха, разработка схем открытия проемов и фрагм аэрационных фонарей.

Массовый расход воздуха L_M , поступающий через приточные проемы, определяют как

$$L_M = 3,6 \cdot Q / (c \cdot (t_{уд} - t_{пр})), \quad \text{кг/ч.} \quad (8.2)$$

где Q – теплоизбытки внутри помещения, Вт; c – массовая удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг*°C); $t_{уд}$, $t_{пр}$ – температуры удаляемого (вытяжного) и приточного (подаваемого) воздуха, °C. $t_{пр}$ – справочная величина, принимаемая по параметрам воздуха А.

Температуру $t_{уд}$ считают как

$$t_{уд} = t_{рз} + \Delta T \cdot (H - h_{рз}). \quad (8.3)$$

где $t_{рз}$ – температура рабочей зоны помещения, определяемая санитарными нормами; ΔT – температурный градиент по высоте помещения, °C/м (в пределах 0,5...1,5); H – высота центра вытяжных проемов от уровня пола, м; $h_{рз}$ – высота рабочей зоны, принимается равной 2 м. Аэрация здания путем открывания фрагм аэрационных фонарей относительно надежна и эффективна, тем более этим процессом можно управлять дистанционно.

Гравитационное давление, в результате которого воздух поступает в помещение и выходит из него, образующееся за счет разности температур наружного и внутреннего воздуха, регулируется различной степенью открытия фрагм и фонарей. Разность этих давлений на одном и том же уровне называется внутренним избыточным давлением и обозначается $p_{изб}$; при этом $p_{изб}$ может быть как положительной, так и отрицательной величиной (рис. 1).

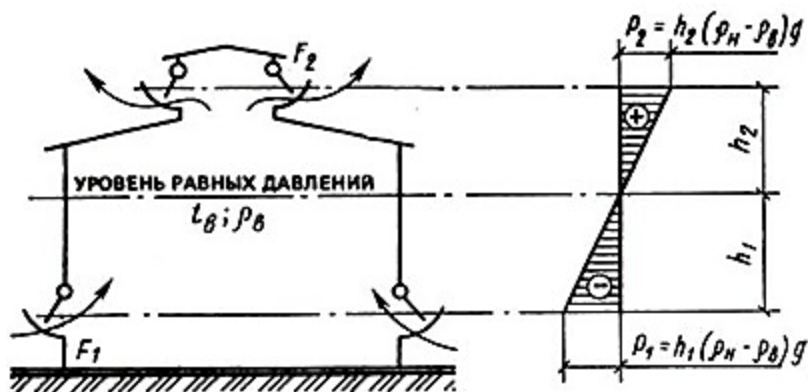


Рисунок 8.1 – Схема аэрации здания

Очевидно, что превышение наружного давления над внутренним (при отрицательном значении $\rho_{\text{ИЗБ}}$) обуславливает поступление воздуха через отверстие в наружном ограждении внутрь помещения, а превышение внутреннего давления над наружным (при положительном значении $\rho_{\text{ИЗБ}}$), наоборот, — выход его из помещения. Если $\rho_{\text{ИЗБ}} = 0$, то движения воздуха через отверстие не будет. Плоскость, где внутреннее избыточное давление равно нулю, называется **нейтральной зоной**.

Расстояния от нейтральной зоны до середины вытяжного и приточного отверстий обратно пропорциональны квадратам площадей отверстий; при этом нейтральная зона располагается ближе к большему отверстию.

Если $F_1 = F_2$, то $h_1 = h_2 = h/2$. Следовательно, при равных отверстиях нейтральная зона находится посередине.

Заметим, что нейтральная зона в помещении может быть только при действии одних теплоизбытков; при ветре или ветре с теплоизбытками она резко смещается вверх и исчезает.

Связь между расходом воздуха, который протекает через отверстие, имеющее площадь F , и разностью давлений внутри и снаружи однопролетного цеха выражается формулой:

$$G = \mu F \sqrt{2\rho\Delta p} \quad (8.4)$$

где G — массовый секундный расход воздуха, кг/с; μ — коэффициент расхода, зависящий от условий истечения; ρ — плотность воздуха в исходном состоянии, кг/м³; Δp — разность давлений внутри и снаружи помещения в данном отверстии, Па.

Ориентировочное количество воздуха L , м³/ч, выходящего из цеха через 1 м² отверстия с учетом только теплового давления и при условии равенства площадей отверстий в стенах и фонарях и коэффициенте расхода $\mu = 0,6$ можно определить по упрощенной формуле:

$$L = 420 \sqrt{h\Delta t} \quad (8.5)$$

где L — расстояние между центрами нижних и верхних отверстий, м; Δt — разность температур средней (по высоте) в помещении и наружной температурой, град.

Если значение μ будет иным, то для получения удельного воздухообмена нужно выражение для L разделить на 0,6 и умножить на новое значение μ :

$$L = \frac{420\mu}{0,6} \sqrt{h\Delta t} \quad (8.6)$$

8.4. Аэрация с использованием ветрового давления

Аэрация с использованием ветрового давления основана на том, что на наветренных поверхностях здания возникает избыточное давление, а на заветренных сторонах — разрежение (рис. 8.2).

Ветровое давление на поверхности ограждения определяют из выражения:

$$p_B = k \cdot v^2 \rho / 2 \quad (8.7)$$

где k — аэродинамический коэффициент, показывающий, какая доля динамического давления ветра преобразуется в давление на данном участке ограждения или кровли. Значения k определяют обычно путем обдувания воздухонепроницаемых моделей здания потоком воздуха в аэродинамической трубе. Можно полагать в среднем для наветренной стороны $k = +0,8$, а для заветренной $k = -0,6$.

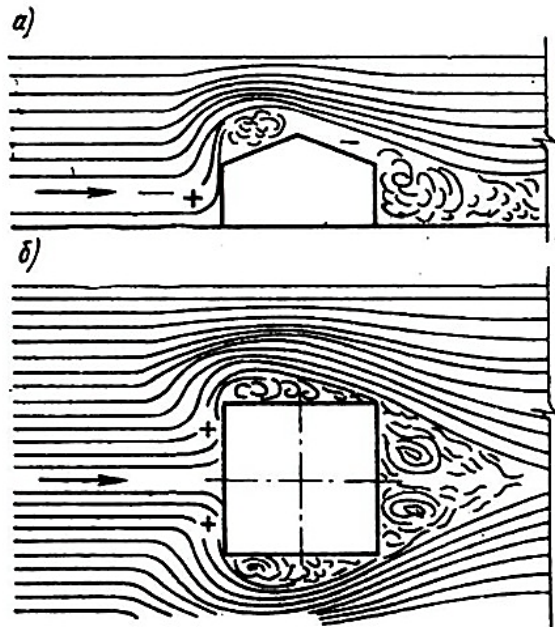


Рисунок 8.2 – Движение воздушных масс у здания, вертикальная (а) и горизонтальная (б) проекции

8.5. Наиболее важные рекомендации архитектурно-планировочного и конструктивного характера по аэрации производственных зданий

1. В многопролетных цехах как приток, так и вытяжку воздуха целесообразно осуществлять преимущественно через открывающиеся фрамуги фонарей, в однопролетных цехах — приток через проемы в наружных стенах, а вытяжку — через фонари. Для регулирования поступления и выхода воздуха открывающиеся фрамуги и створки фонаря снабжаются специальными механизмами, управляемыми с пола.

2. При проектировании многопролетных производственных зданий необходимо учитывать количество и характер вредных веществ, выделяющихся в каждом пролете, и в связи с этим принимать решение о профиле крыши, форме фонаря, взаимном расположении их и высоте пролетов. При неудачном решении этих вопросов нельзя применять аэрацию, так как воздух на крыше перегрет и оказывается сильно загрязненным газами и пылью.

3. Проемы в зданиях со значительными теплоизбытками и выделениями вредных газов следует располагать по периметру зданий так, чтобы они прилегали к наружной стене наибольшей протяженности.

4. Для обеспечения достаточного притока чистого воздуха наилучшим планировочным решением является конструкция цехов с открытыми продольными наружными стенами, т. е. без пристроек. Бытовые помещения во многих случаях целесообразно размещать в торцах здания.

5. Большое значение при аэрации цеха имеет его высота. Для цехов с большими тепловыделениями высота их должна быть не меньше 10 м.

6. В зданиях, где аэрация осуществляется в летнее и зимнее время года, для подачи наружного воздуха зимой приточные отверстия должны быть размещены на высоте не менее 4 м от пола. При низких наружных температурах часть объема вентиляционного воздуха рекомендуется вводить в помещение вентилятором с подогревом его до 10—12°C.

В цехах небольшой высоты подача неподогретого воздуха допускается на отметке ниже 4 м, но при условии устранения непосредственного воздействия холодного воздуха на работающих, например с помощью козырьков, направляющих воздух вверх.

7. При аэрации воздух из цехов должен удаляться через незадуваемые фонари, а также через шахты круглого и квадратного сечений, снабженные дефлекторами.

8.6. Аэрационные устройства

Для притока воздуха в помещение чаще всего используют окна, которые открывают так, чтобы суммарная площадь открытых отверстий равнялась расчётному значению $\sum F_n$. Если же площадь окон недостаточна, то дополнительно предусматривают специальные проёмы в наружных стенах, оборудованные раздвигающимися створками.

По высоте наружных стен приточные отверстия устраивают в два ряда. Нижний ряд используют в тёплый период года, причём кромку отверстий располагают на высоте не более 3-3,5 м над уровнем пола. Верхний ряд применяют в холодный период года, низ отверстий должен находиться на высоте не менее 4-6 м над уровнем пола. Такая высота необходима для того, чтобы холодный приточный воздух при опускании в рабочую зону успевал подогреваться.

Для регулирования воздухообмена изменяют площадь открытых отверстий при помощи створок. Створки бывают различных конструкций (рис. 3). Для притока воздуха створки обычно подвешивают на горизонтальной оси. Створки на верхней оси применяют для притока в тёплое время, а створки на нижней оси – для притока в холодное время. Приоткрывают створки наружу на угол не более 45°, а внутрь помещения на угол не более 30°. Нижнеподвесные створки позволяют подавать холодный

воздух на большую высоту подальше от рабочих мест, что предотвращает простудные заболевания людей.

При двойных рамах в окнах применяют двойные створки. Одну из них открывают наружу, вторую внутрь помещения. Створки, находящиеся на высоте до 2 м от пола, обычно открывают вручную и закрепляют их в заданном положении рейками.

Для удаления воздуха из помещения служат аэрационные фонари.

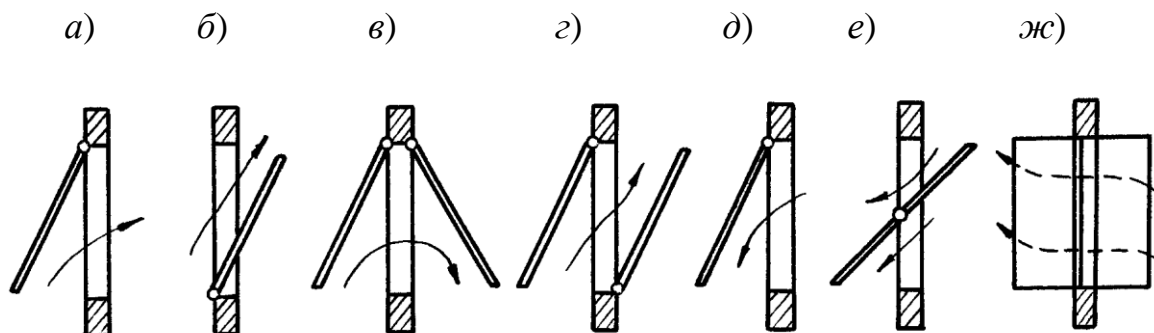


Рисунок 8.3 – Конструкции створок: *а, б, в, г* – одинарные и двойные створки приточных отверстий; *д, е, ж* – одинарные створки вытяжных отверстий в аэрационных фонарях

Существуют различные конструкции фонарей. На рис. 4 показаны незадуваемые фонари, обеспечивающие устойчивое удаление воздуха за счёт того, что их вытяжные отверстия всегда находятся в зоне разрежения, создаваемого ветром. Опрокидыванию аэрации в таких фонарях препятствуют ветроотбойные щиты.

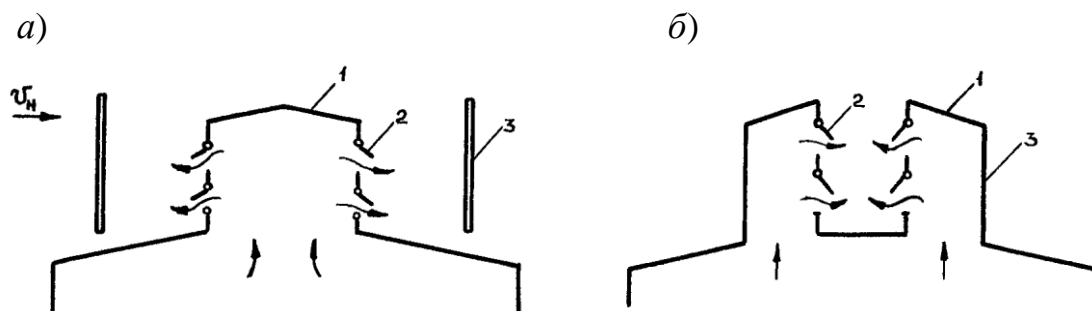


Рисунок 8.4 – Незадуваемые аэрационные фонари:
а – с ветроотбойными щитами; *б* – конструкции проф. В. В. Батурина;
 1 – перекрытие фонаря; 2 – створка вытяжного отверстия; 3 – ветроотбойный щит

Ветроотбойные щиты устанавливают в один ряд с каждой стороны фонаря на всю его длину.

Фонари представляют собой П-образную надстройку над проёмом в крыше. Вертикальные плоскости фонарей над бортом высотой 0,6 м от уровня кровли заполнены открывающимися переплётами. Ширина фонарей 6 или 12 м, высота 1,8 м при одном ярусе переплётов или 2×1,2 м при двух ярусах переплётов. Фонари шириной 6

м устанавливают над 18 метровыми пролётами, а шириной 12 м – над пролётами 24-36 м. Их располагают по оси пролётов и своими торцами они не доходят на один шаг до торцов здания.

Иногда устраивают поперечные фонари, расположенные по ширине здания. Важно, чтобы фонари находились по возможности непосредственно над горячим технологическим оборудованием для интенсивного выноса из помещения нагретого воздуха.

Вытяжные отверстия аэрационных фонарей имеют открывающиеся створки, конструкция которых может быть различной. Получили применение верхнеподвесные, среднеподвесные и поворотные вокруг вертикальной оси створки.

Створки приточных отверстий, находящиеся на высоте более 2 м от пола, открывают при помощи блочных или рычажных механизмов. Створками в фонарях управляют групповым механическим приводом, имеющим специальные рычаги через каждые 2,5-3 м по длине фонаря, шарнирно скреплённые со створками и с трубчатой тягой. Тяга передвигается двусторонним винтом с помощью шестерёнчатого механизма и электродвигателя. Максимальная длина ленты переплётов со створками, обслуживаемая одним механизмом, равна 60 м. Механизмы для открывания створок в фонарях работают в автоматическом режиме от датчиков, установленных в аэрационных проёмах. При отсутствии ветроотбойных щитов они закрывают створки наветренной стороны, и фонари становятся незадуваемыми.

При отсутствии в здании фонаря воздух удаляют через шахты с естественной тягой. Шахты размещают над тепловыделяющим оборудованием и выводят их через перекрытие здания выше его крыши. Через шахты удаляют воздух как от общеобменной вентиляции, так и от местных отсосов. При вытяжке воздуха с повышенной влажностью шахты утепляют, что предотвращает выпадение конденсата и обмерзание их в холодный период года. Шахты могут быть с зонтами или на них монтируют дефлекторы для усиления естественной тяги.

Дефлектором называют устройство, в котором используют энергию ветра для создания тяги. Это устройство основано на следующем аэродинамическом явлении. Если поместить трубу в воздушный поток (рис. 5, а), то только 1/5 часть её боковой поверхности будет находиться под избыточным давлением (знак плюс), остальные 4/5 поверхности трубы и её торец будут находиться под разрежением (знак минус). В результате создается тяга, и воздух будет подсасываться по трубе.

а) б)

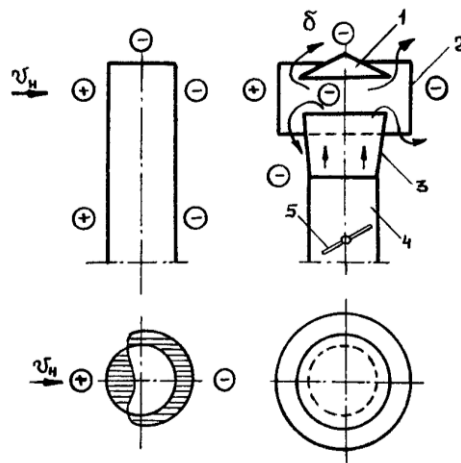


Рисунок 5 – Принцип работы дефлектора: а) вытяжная труба; б) дефлектор;

1 – зонт; 2 – внешний цилиндр дефлектора; 3 – диффузор; 4 – патрубок, соединяемый с шахтой; 5 – дроссель-клапан

Существуют конструкции дефлекторов, в которых используют разрежение у торца и у боковой поверхности. Простейшим дефлектором, в котором используют разрежение у торца, является вытяжная шахта с зонтом. Однако её тяга слаба, так как устье шахты обладает значительным коэффициентом местного сопротивления, и разрежение используют только у одного её торца.

Из имеющихся многочисленных конструкций широкое применение получил дефлектор ЦАГИ – круглый (рис. 5, б). В нём тягу создаёт разрежение у двух торцов его корпуса. Увеличению тяги способствует также наличие диффузоров. Корпус дефлектора бывает не только круглым, но и квадратным. Применение дефлектора позволяет не только усилить тягу, но и придать ей устойчивость. Дефлектор имеет меньший коэффициент местного сопротивления, чем шахта с зонтом. Поэтому в безветренную погоду дефлектор даёт большую тягу. Номер дефлектора определяется по размерам поперечного сечения вытяжной шахты, причём размеры сечения патрубка дефлектора не должны быть меньше размеров сечения шахты.

Для общеобменной естественной вытяжки удобно применять дефлекторы без шахт. Для этого короткие патрубки дефлекторов закрепляют в перекрытии здания

ТЕМА 9 КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

9.1. Основные элементы вентиляционных систем

Требуемое состояние воздушной среды в помещениях методами общеобменной вентиляции поддерживают путем нагнетания в помещения чистого вентиляционного воздуха с необходимыми температурно-влажностными параметрами и удалением воздуха, не соответствующего нормативным требованиям. В соответствии с этим системы общеобменной вентиляции должны включать оборудование и устройства для забора наружного воздуха, его обработки, транспортирования и раздачи по помещениям, а также для удаления отработавшего воздуха. Общая схема общеобменных вентиляционных систем и расположение в них оборудования показаны на рисунке 9.1.

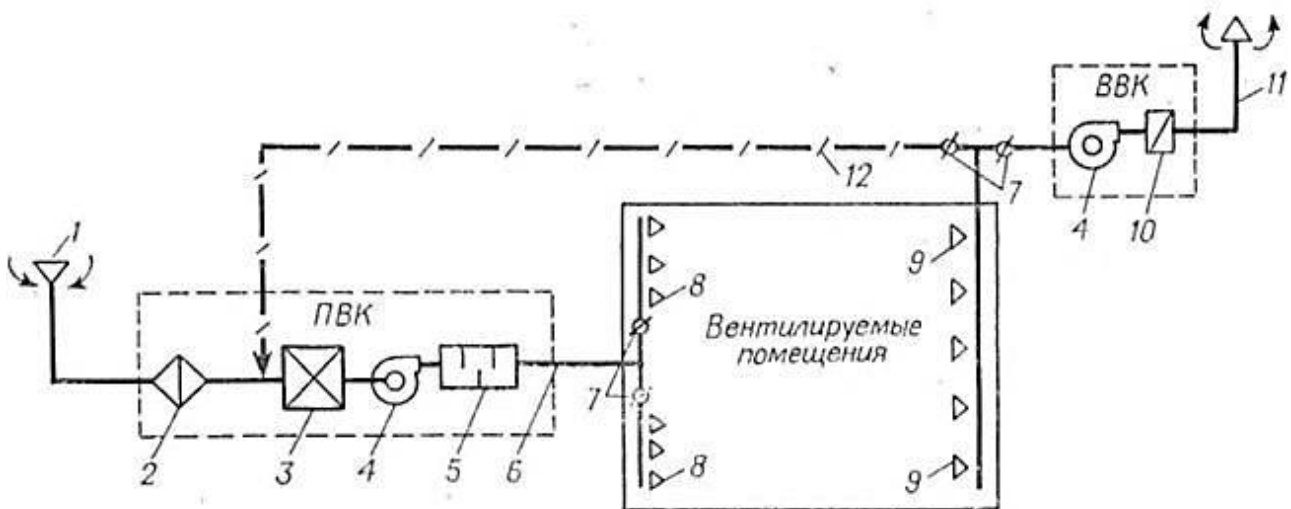


Рисунок 9.1 – Принципиальная схема общеобменной механической вентиляции
1 — воздухоприемные устройства; 2 — фильтр противопыльный; 3 — оборудование для тепловлажностной обработки приточного воздуха (калориферы, кондиционеры, воздухоохладители и т. п.); 4 — вентиляторы; 5 — шумоглушители; 6 — воздуховоды; 7 — регулировочные клапаны; 8 — приточные отверстия; 9 — вытяжные отверстия; 10 — оборудование для очистки вытяжного воздуха; 11 — воздуховыбросное устройство; 12 — линия рециркуляции; ПВК — приточная вентиляционная камера; ВВК — вытяжная вентиляционная камера

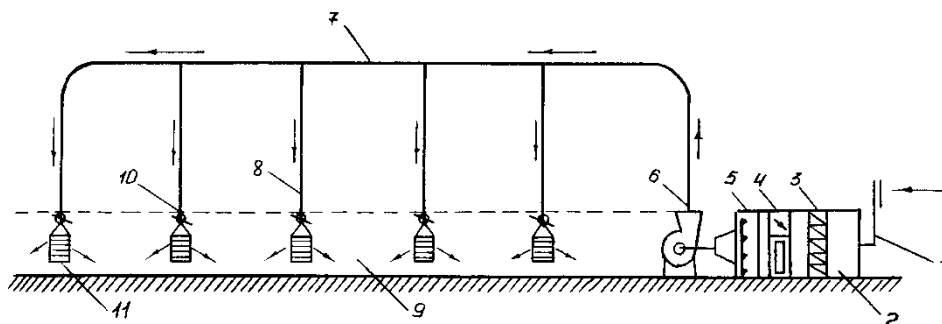
В конкретных случаях вентиляционные установки могут не иметь всего комплекса оборудования, показанного на схеме. Так, очистка вытяжного воздуха перед его выбрасыванием в атмосферу производится лишь в случаях его загрязнения свыше норм, допустимых для окружающей среды, и т. д.

9.2. Конструкция общеобменной приточной вентиляции

Общеобменная приточная механическая канальная система вентиляции производственного помещения состоит из следующих элементов (рис. 9.2, а): воздухопри-

емного устройства 1, через которое наружный воздух поступает в систему; приточной камеры 2, в которой устанавливаются пылеулавливающий фильтр 3, калориферы 4 для подогрева воздуха в холодней период года, устройство 5 для охлаждения и увлажнения воздуха; вентилятора 6 с электродвигателем; магистрального приточного воздуховода 7, служащего для транспортирования воздуха от вентилятора в помещение; опусков 8 для подачи воздуха в рабочую зону 9; регулирующих устройств 10 (задвижки или дроссель-клапаны); воздухораспределителей 11, раздающих приточный воздух в рабочую зону с малыми скоростями.

а)



б)

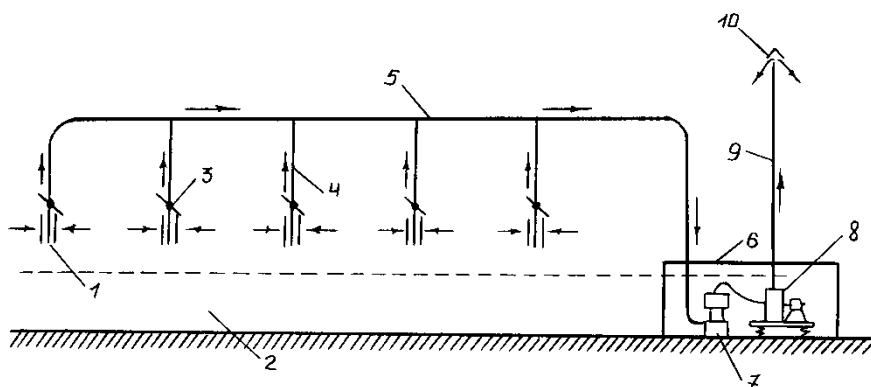


Рисунок 9.2 – Схемы общеобменных систем вентиляции: а – приточной; б – вытяжной.

Воздухоприемные устройства. Они размещаются так, чтобы забирался чистый наружный воздух, т.е. вдали от источников загрязнения: пыльных дорог, автотранспорта, складов угля, химических лабораторий, туалетов, кухонь, дымовых труб и т.п. От этих источников воздухоприемные устройства должны находиться на расстоянии не ближе 12 м по горизонтали и 6 м по вертикали. Внешнее оформление их должно соответствовать архитектуре здания.

По конструктивному выполнению и месту расположения воздухоприемные устройства для гражданских и вспомогательных промышленных зданий бывают: отнесенные на определенное расстояние от здания – применяются, когда воздух у здания загрязнен (рис. 9.3, а); сооружаемые непосредственно у наружной стены здания 5 или в самой стене (рис. 9.3, б и в); расположенные выше кровли здания.

Наружный воздух забирается в промышленных зданиях непосредственно через проемы в стенах или через окна.

Воздухоприемное устройство состоит из жалюзийной решетки 1, воздухозаборной шахты 2, соединительного канала 3, подводящего воздух к приточной камере, утепленного перекидного или многосекционного дроссель-клапана 4.

Жалюзийная решетка препятствует проникновению в шахту посторонних предметов, птиц, мусора, дождя и снега. Расстояние от нижней кромки решетки и до уровня земли принимается не менее 2 м.

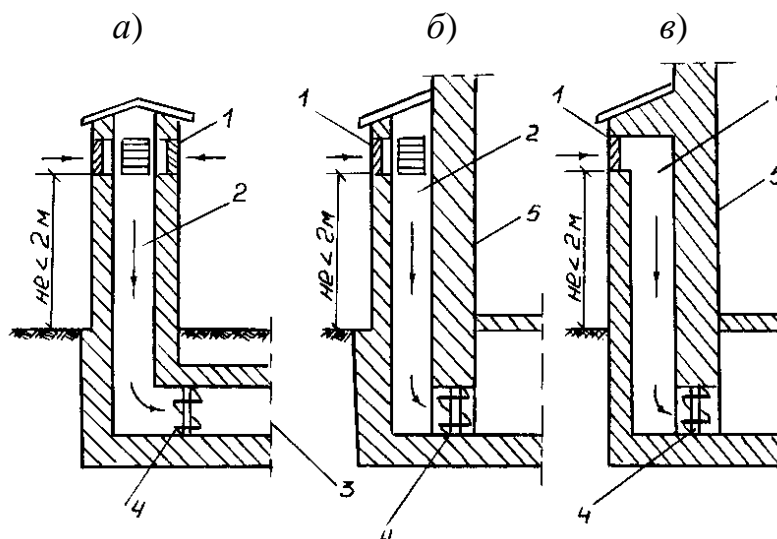


Рисунок 9.3 – Воздухоприемные устройства.

Утепленный клапан служит для изоляции системы вентиляции от внешней среды в холодный период года, для предупреждения замерзания калориферов и форсуночной камеры в случае подачи теплоносителя с пониженной температурой или полного прекращения его поступления в приточную камеру, а также при производстве ремонтных работ.

Соединительный канал 3 бывает подземным или коротким поверхностным в зависимости от расположения приточной камеры в подвале или на первом этаже.

Воздухоприемное устройство, находящееся над кровлей промышленного здания, делается в виде трубы обычно круглого сечения, снабженной жалюзийной решеткой и зонтом. Труба размещается не ближе 10 м от вытяжной шахты. При меньшем расстоянии между ними вытяжная шахта выводится не менее чем на 2,5 м выше приемного отверстия воздухозаборной шахты.

Скорость воздуха в живом сечении жалюзийной решетки принимается не более 6 м/с, в воздухозаборной шахте и соединительном канале 2-6 м/с при механической вентиляции.

Приточные камеры. Типовая приточная камера состоит из отдельных секций (рис. 9.4): приемной 1, калориферной 2, орошения 3 и соединительной 4, к которой присоединен вентиляторный агрегат 5.

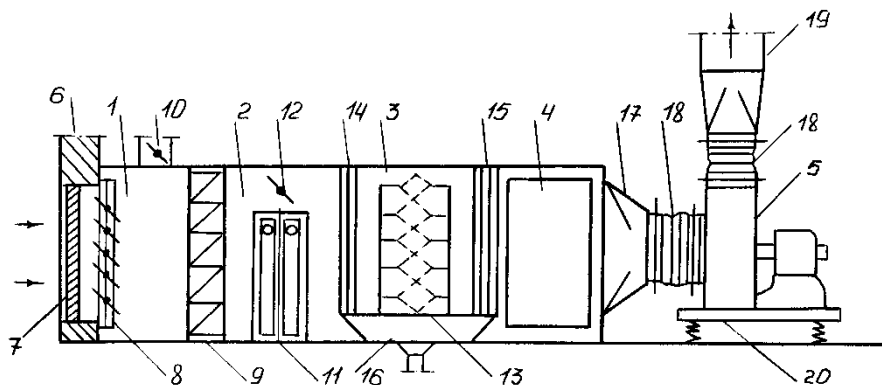


Рисунок 9.4 – Секционная приточная камера.

Наружный воздух забирается через проем в наружной стене 6. В проеме устанавливается неподвижная жалюзийная решетка 7, а за ней утепленный многостворчатый клапан 8. В приемной секции находится ячеистый масляный фильтр 9, служащий для очистки наружного воздуха от пыли, и вверху предусмотрено отверстие для подключения рециркуляционного воздуховода 10 с регулирующим дроссель-клапаном.

В калориферной секции устанавливаются калориферы 11 в один или несколько рядов и обводный дроссель-клапан 12, предназначенный для регулирования степени нагрева наружного воздуха. В оросительной секции имеются форсунки 13, каплеотбойник 14, сепаратор-каплеуловитель 15 и поддон 16. К соединительной секции присоединяется вентиляторный агрегат посредством конфузора 17 и гибкой вставки 18. Такая же вставка находится и на нагнетательной стороне вентилятора в начале приточного воздуховода 19. Для снижения шума и вибрации кроме гибких вставок применяется виброизолирующее основание 20.

В приточных камерах наружный воздух может подвергаться обработке: очистке от пыли, нагреванию, адиабатическому охлаждению и увлажнению в зависимости от периода года и климатологических условий. При отсутствии секций орошения в камерах может быть применено сухое охлаждение воздуха. Для этого в калориферы подается холодная вода.

Для осмотра, чистки и ремонта внутреннего оборудования в камерах устраиваются герметически закрывающиеся двери.

В общественных и вспомогательных зданиях предприятий приточные камеры размещают в подвальных помещениях, на первом этаже, на чердаках или технических этажах. В производственных помещениях они размещаются на полу цехов, на площадках, на чердаках или верхних технических этажах. На рис. 5, а изображена приточная камера, расположенная на площадке. Такая камера не занимает полезную площадь цеха, воздух забирается через отверстие в наружной стенке 1. В отверстие вмонтирована неподвижная жалюзийная решетка 2, а дальше ставится утепленный клапан 3. Наружный воздух очищается от пыли в фильтре 4 и нагревается или охлаждается в

калорифере 5, затем вентилятором 6 подается в помещение. Для безопасности площадка имеет ограждение 7.

В цехах с токсическими выделениями приточные камеры следует размещать вне здания в отдельных изолированных помещениях. Не допускается размещение вентиляторов приточных и вытяжных систем в общих камерах при наличии токсических вредностей.

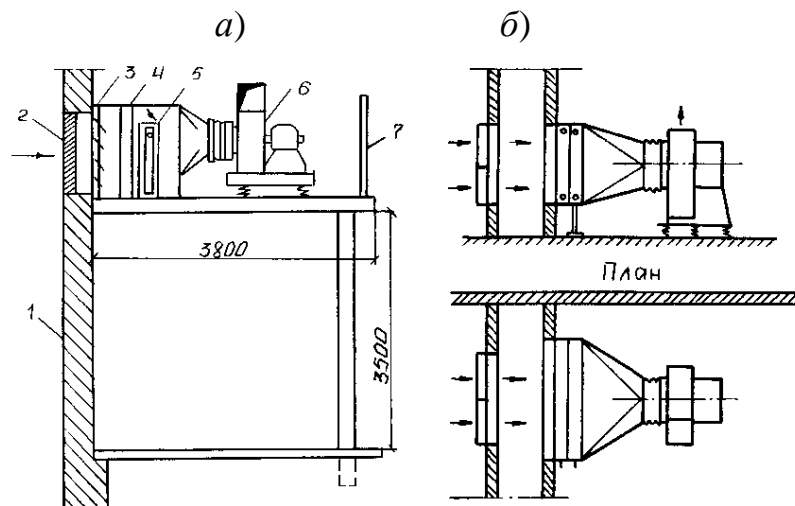


Рисунок 9.5 – Приточные установки: а – на площадке; б – унифицированная.

9.3. Конструкция общеобменной вытяжной вентиляции

Общеобменная вытяжная механическая канальная система вентиляции производственного помещения состоит из следующих элементов (рис. 9.2, б): воздухоприемных устройств 1, находящихся выше или в рабочей зоне 2, снабженных регулирующими задвижками или дроссель-клапанами 3; опусков 4, магистрального вытяжного воздуховода 5, вытяжной камеры 6, в которой находится фильтр или аппарат для очистки воздуха от вредностей 7 и вентиляторный агрегат 8, вытяжной шахты 9 с зонтом 10, выведенной выше кровли здания.

В промышленных зданиях вытяжные камеры размещаются на полу производственных помещений (рис. 9.2, б) или снаружи зданий, а также на площадках или технических этажах. Без камер вытяжные вентиляторы располагаются на кронштейнах у стен или на кровле здания. При установке вытяжной камеры внутри цеха без средств очистки воздуха требуется тщательная герметизация напорных воздуховодов.

Корпуса вытяжных камер сооружаются из тех же материалов, что и приточные камеры. Эти материалы должны обладать огнестойкостью. Иногда в одной вытяжной камере устанавливается не один, а несколько вытяжных центробежных вентиляторов, обслуживающих разные системы вентиляции, удаляющие воздух из различных помещений.

Вытяжные вентиляционные установки, удаляющие взрыво- и огнеопасные смеси, должны иметь взрывобезопасное исполнение.

Вытяжные шахты сооружаются у вытяжных камер и выводятся выше крыши здания. Обычно для производственных зданий шахты выполняются из листовой стали, имеют круглую форму поперечного сечения. Для снижения потерь давления скорость выхода воздуха из шахты должна быть небольшой, но не менее 1,5 м/с, так как в противном случае шахта будет задуваться ветром. Уменьшение скорости воздуха на выходе достигается за счет уширения устья шахты (рис. 9.8, а).

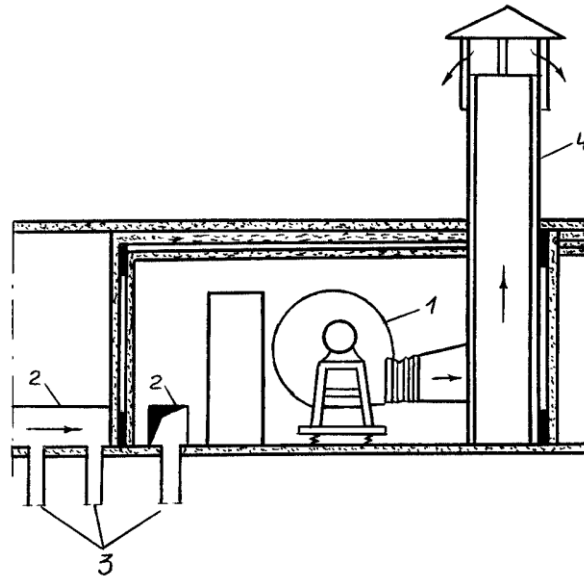


Рисунок 9.6 – Вытяжная камера на чердаке или техническом этаже.

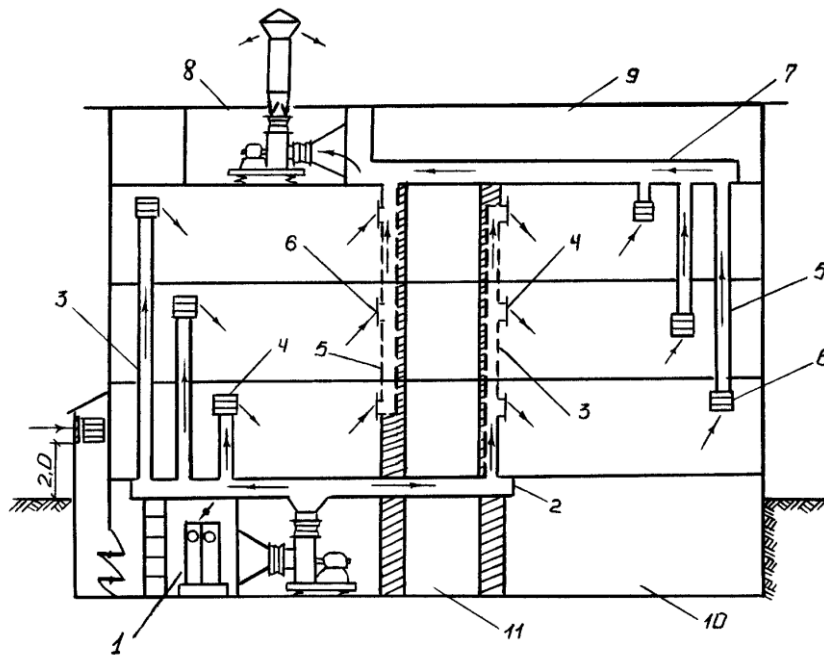


Рисунок 9.7 – Канальная механическая приточно-вытяжная вентиляция.

1 – приточная камера; 2 – приточный воздуховод прямоугольного сечения; 3 – приточные каналы; 4 – приточные жалюзийные решетки; 5 – вытяжные каналы; 6 – вытяжные решетки; 7 – сборный вентиляционный короб; 8 – вытяжная камера; 9 – чердак или технический этаж; 10 – подвал; 11 – коридор.

а)

б)

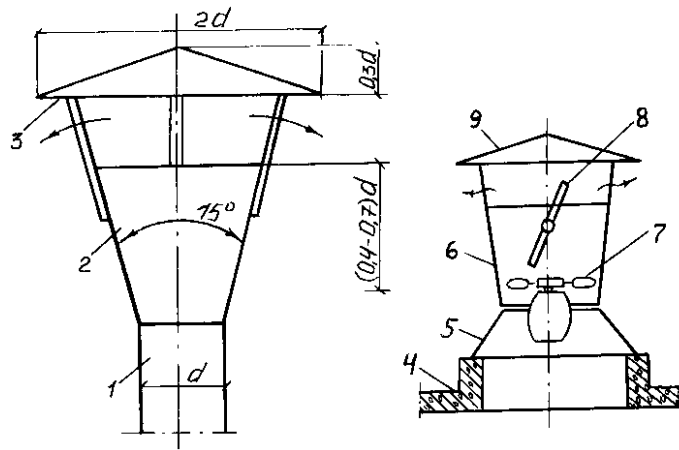


Рисунок 9.8 – Вытяжные устройства:

a – устье шахты; 1 – ствол шахты; 2 – диффузор; 3 – зонт; *б* – крышной вентилятор; 4 – крыша; 5 – конфузор; 6 – диффузор; 7 – осевой вентилятор на вертикальной оси; 8 – дроссель-клапан; 9 – зонт.

При механической вытяжке шахты не утепляются, так как воздух имеет большую скорость и не успевает охладиться до точки росы.

В общественных и вспомогательных промышленных зданиях вытяжные шахты выполняются чаще прямоугольного сечения из легкого бетона, бетонных плит, досок. Деревянная шахта снаружи оштукатуривается, а с внутренней стороны обшивается кровельной сталью по войлоку, смоченному в глиняном растворе.

В случае установки крышных вентиляторов необходимость в устройстве вытяжных камер и шахт отпадает, в результате стоимость вентиляции уменьшается (рис. 9.8, б). Закрепляемые в крыше помещения, такие вентиляторы напрямую отсасывают из помещения отработанный воздух и выбрасывают его в атмосферу. Крышные вентиляторы могут служить как для общеобменной вытяжки, так и для вытяжки от укрытий источников выделения избыточной теплоты.

9.4. Естественная вытяжная канальная вентиляция

Применяется в жилых, общественных и вспомогательных промышленных зданиях. Вытяжка воздуха происходит через жалюзийные решетки 1, устанавливаемые в помещениях (рис. 9.9). Затем по вертикальным вентиляционным каналам 2 воздух попадает в сборный короб 3, прокладываемый на чердаке или техническом этаже 4. Из короба по вытяжной шахте 5 воздух выбрасывается в атмосферу. С целью усиления тяги на вытяжной шахте вместо зонта обычно устанавливается дефлектор б.

Для каждого вентилируемого помещения предусматриваются один или несколько самостоятельных вентиляционных каналов. Необходимое их количество и требуемая площадь живого сечения жалюзийных решеток и сечения каналов устанавливаются на основании расчета по допустимой скорости движения воздуха.

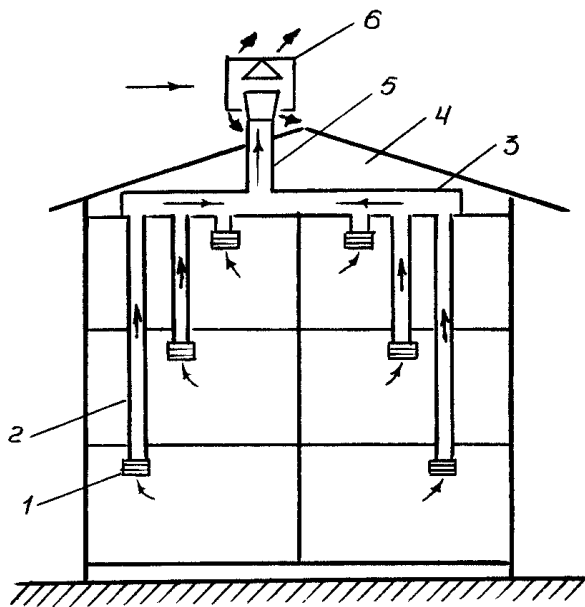


Рисунок 9.9 – Естественная канальная вытяжная вентиляция здания.

Количество удаляемого из помещений воздуха регулируется при помощи жалюзийных решеток, а также дроссель-клапанов или задвижек в сборном коробе и в вытяжной шахте.

При такой естественной вентиляции вытяжные шахты размещают в наиболее высокой части чердака со стороны ската крыши, выходящего во двор. Устье вытяжной шахты должно выводиться выше конька крыши не менее чем на 500 мм (рис. 10). При расположении шахты в пределах 1,5-3 м от конька ее выходное отверстие не должно быть ниже конька крыши. При большем между ними расстоянии минимальная высота шахты определяется точкой ее пересечения с прямой, проведенной от конька вниз под углом 10° к горизонту.

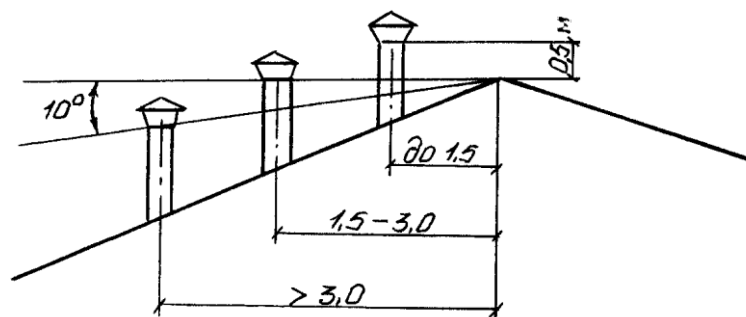
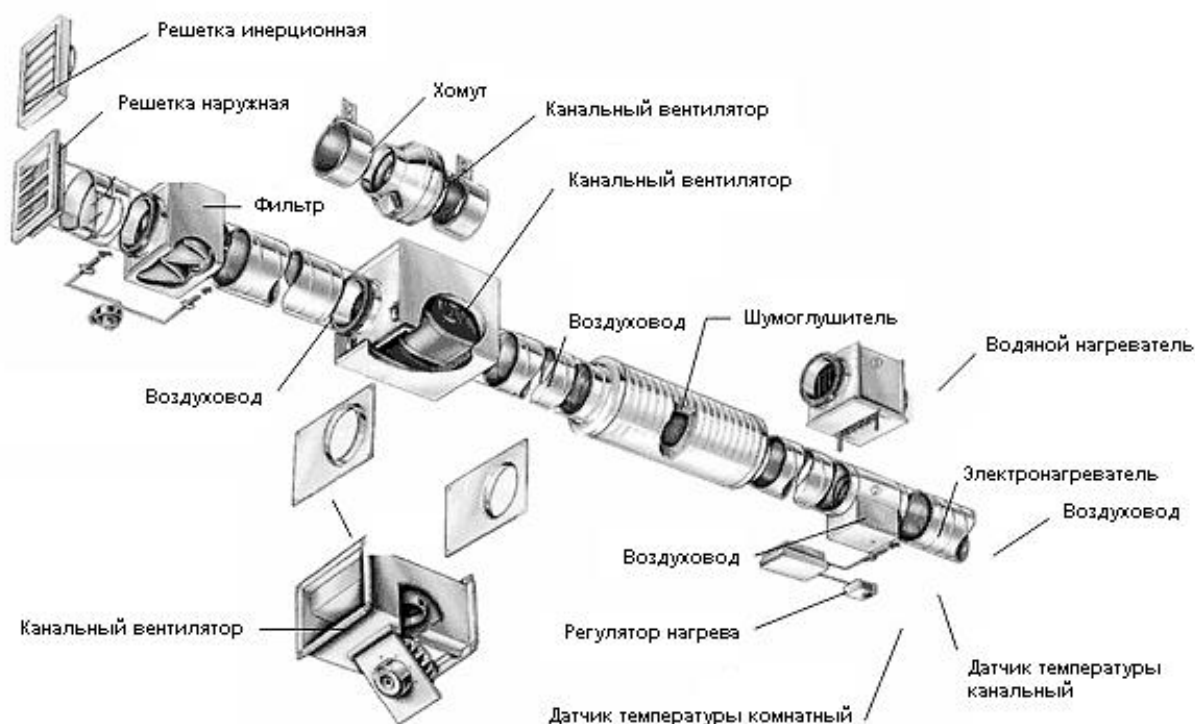


Рисунок 9.10 – Расположение устья вытяжной шахты на скате крыши.

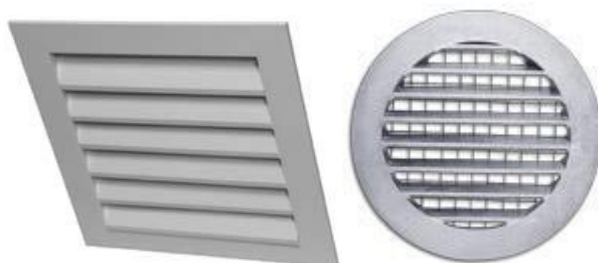
Необходимая высота шахты определяется расчетом из условия обеспечения требуемой величины естественной тяги.

9.5. Основные элементы систем вентиляции

Рассмотрим типовую приточную механическую вентиляционную систему, состоящую из следующих компонентов (расположенных по направлению движения воздуха, от входа к выходу):



Воздухозаборная решетка



На схеме вентиляции эта решетка расположена первой, монтаж ее как правило осуществляется на наружной стене здания и через нее в систему поступает наружный воздух. Воздухозаборная решетка не только выполняют декоративные функции, но и защищают систему вентиляции от попадания внутрь капель дождя и посторонних предметов, т.к. имеет защитные жалюзи и металлическую сетку в своей конструкции. В зависимости от проекта вентиляции и применяемых воздуховодов используют решетки как круглой, так и прямоугольной формы из металла или пластмассы.

Воздушный клапан



Воздушный клапан служит барьером для наружного воздуха и предотвращает попадание его в помещение при выключенной системе вентиляции. Воздушный клапан особенно необходим зимой, поскольку без него в помещение будет попадать холодный воздух и снег, а соприкосновение теплого внутреннего воздуха с холодной поверхностью воздуховодов может привести к образованию конденсата, который в виде капель воды будет стекать в помещение. Как правило, в приточно-вытяжных системах вентиляции устанавливаются клапаны с электроприводом, что позволяет полностью автоматизировать управление системой — при включении вентилятора (и калорифера) клапан открывается, при выключении — закрывается. В небольших системах применяют обратные клапаны, они имеют подпружиненные жалюзи и открываются при включении вентилятора от потока воздуха.

В системах вентиляции применяют так же дроссель-клапан для регулирования расхода воздуха в воздуховоде. Дроссель клапан может быть с ручным приводом и с электрическим приводом.



Одна из разновидностей дроссель-клапанов – клапан с ирисовой диафрагмой.

Фильтр



Необходимость защиты как самой системы вентиляции, так и вентилируемых помещений от пыли, пуха, насекомых требует установки вентиляционного фильтра.

Обычно устанавливается один фильтр грубой очистки, который задерживает частицы величиной более 10 мкм. Если к чистоте воздуха предъявляются повышенные требования, то дополнительно могут быть установлены фильтры тонкой очистки (задерживают частицы до 1 мкм) и особо тонкой очистки (задерживают частицы до 0,1 мкм).

Фильтры делятся по классам:

-грубые(EU1-EU4)

-тонкие(EU5-EU9)

-абсолютные(EU10-EU14)

Фильтры являются компонентами системы требующими постоянного контроля, чистки и замены засорения фильтра ведёт к размножению на нем бактерий, снижения качества, а также количества воздуха, последнее является результатом изменения режима работы вентилятора, он переходит в режим работы на повышенное сопротивление системы.

Для контроля загрязненья фильтра можно установить дифференциальный датчик давления, который контролирует разность давления воздуха на входе и выходе фильтра — при загрязнении разность давления увеличивается и датчик формирует сигнал на шит автоматики, сообщая о необходимости замены фильтра.

Калорифер



Калорифер или воздухонагреватель предназначен для подогрева подаваемого с улицы воздуха в зимний период. Калорифер может быть водяным (подключается к системе центрального отопления) или электрическим. Для небольших приточных установок выгоднее использовать электрические калориферы, поскольку установка такой системы требует меньших затрат. Для больших площадей более 100 кв.м. желательно использовать водяные нагреватели, иначе затраты на электроэнергию окажутся очень большими.

Рекуператор

Для экономии энергоресурсов в последнее время всё чаще применяют рекуператоры — устройство, в котором холодный приточный воздух нагревается за счет теплообмена с удаляемым теплым воздухом. Устанавливают их перед калорифером для предварительного подогрева наружного воздуха.

Рекуператоры бывают:

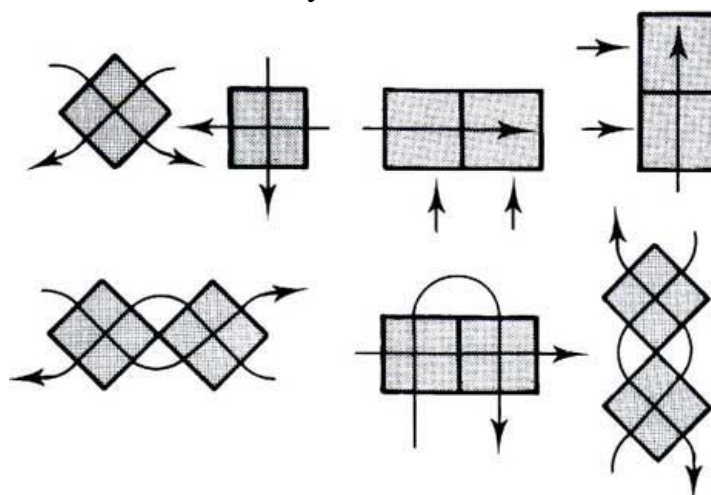
- пластинчатые

- роторные
- с промежуточным теплоносителем.

Пластинчатые рекуператоры



Пластинчатые рекуператоры – самый распространенный вид рекуператоров, применяемых в системах приточно-вытяжной вентиляции. Принцип его действия заключается в пересечении воздушных потоков приточного и вытяжного воздуха. Эти потоки пересекаются в специальном пластинчатом теплообменнике, но не перемешиваются. Возможные варианты исполнения указаны на схеме



Преимущества пластинчатых рекуператоров:

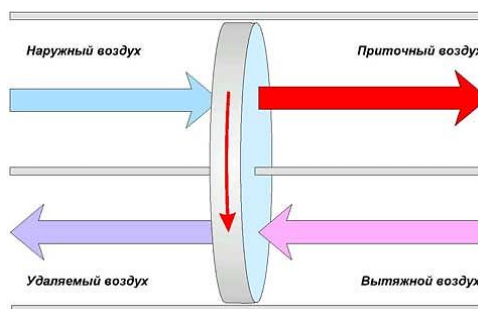
- пластинчатые теплообменники обладают эффективностью 40-65%.
- пластинчатый теплообменник в данном виде рекуператоров – устроен просто и не имеет подвижных или трущихся частей, что подразумевает собой нечастое техническое обслуживание.
- в данном рекуператоре отсутствуют какие-либо потребители электроэнергии, что снижает стоимость расходов на работу данного устройства.

Недостатки пластинчатых рекуператоров:

- необходимостью пересечения потоков приточного и вытяжного воздуха диктуется необходимость пересечения воздуховодов в рекуператоре, что не всегда удобно и реализуемо.
- в зимний период пластинчатый теплообменник может обмерзнуть и для решения этой проблемы необходимо либо периодически отключать приточный вентилятор, либо использовать байпасный клапан.

- данные рекуператоры способны только к теплообмену. Влагообмен в данном виде рекуператоров невозможен.

Роторные рекуператоры



Роторные рекуператоры – менее распространённый вид рекуператоров, применяемых в системах приточно-вытяжной вентиляции. Как правило они используются в приточно-вытяжных вентустановках, представляющих собой единый блок, куда входя все основные элементы вентиляционной системы.

Принцип его действия заключается в прохождении воздушных потоков приточного и вытяжного воздуха через специальный вращающийся роторный теплообменник.

Преимущества роторных рекуператоров:

- роторные теплообменники обладают эффективностью 60-85%.
- роторный теплообменник в данном виде рекуператоров позволяет возвращать не только тепло, но и влажность.
- регулируя скорость вращения ротора можно регулировать общую эффективность рекуператора.

Недостатки роторных рекуператоров

- необходимостью параллельного прохода потоков приточного и вытяжного воздуха диктуется необходимость пересечения воздухопроводов в рекуператоре, что не всегда удобно и реализуемо.
- загрязненный воздух частично переносится в приток, в связи с чем необходима установка дополнительных фильтров на приток и на вытяжку.
- в данных рекуператорах имеются подвижные части и потребители электроэнергии, в связи с чем необходимо производить техническое обслуживание чаще, чем в пластинчатых рекуператорах.

Рекуператор с промежуточным теплоносителем

В этом виде рекуператоров тепло от вытяжного воздуха приточному передается через промежуточный теплоноситель. В качестве такого теплоносителя обычно используют раствор этиленгликоля, который циркулирует между вытяжным и приточным каналами. Система состоит из двух пластинчатых теплообменников, которые соединены друг с другом трубами. Один теплообменник находится в приточном воздухе, другой в вытяжном.



Теплоноситель нагревается удаляемым воздухом, а затем передает тепло приточному воздуху. Циркуляция теплоносителя происходит в замкнутой системе поэтому исключена передача загрязнений из удаляемого воздуха в приточный. Изменяя скорость циркуляции раствора можно регулировать передачу тепла.

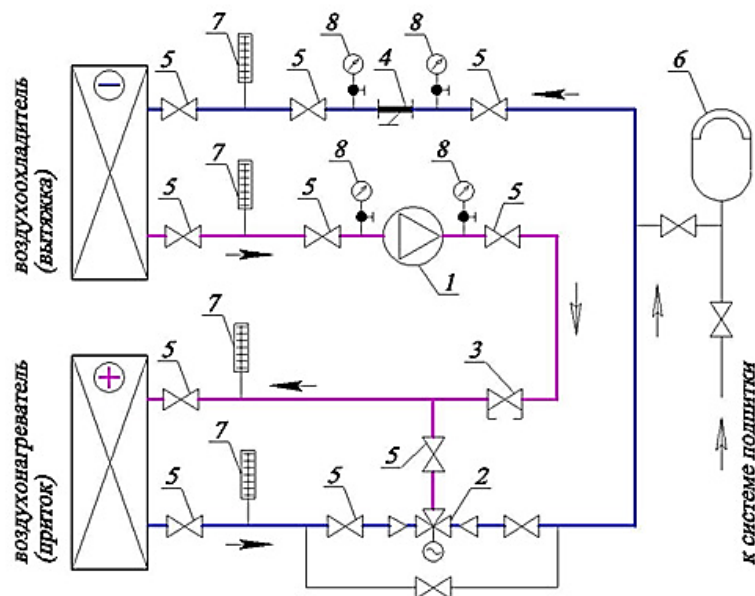
Рекуператор может исполняться как моноблок или в раздельном исполнении в соответствии с условиями эксплуатации.

Явным преимуществом рекуператора с промежуточным теплоносителем является полная изоляция воздушных потоков друг от друга.

Тепловая эффективность (расчетный относительный перепад температур) теплоутилизаторов может достичь 40-45%.

Рекуператоры с промежуточным теплоносителем обычно используют, когда не допустимо смешение приточного и вытяжного воздуха, или, когда расстояние между вытяжным и приточным каналами слишком большое

Схема узла обвязки гликолевого рекуператора (с промежуточным теплоносителем)



1 - насос циркуляционный, 2 - трёхходовой клапан с электроприводом, 3 - клапан балансировочный, 4 - Фильтр, 5 - кран запорный, 6 - расширительный мембранный бак, 7 – термометр, 8 – манометр.

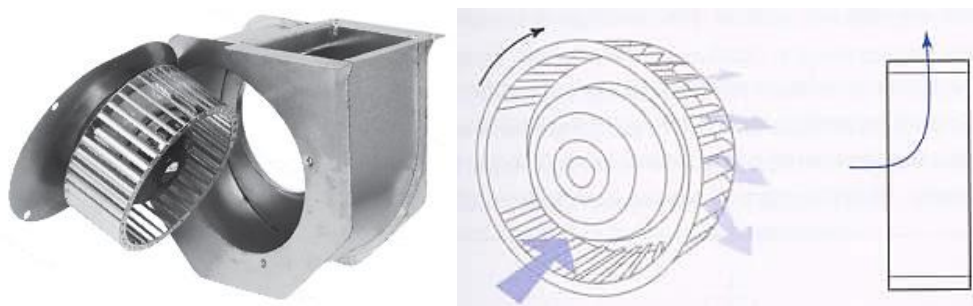
Применение рекуператоров позволяет в несколько раз снизить затраты на подогрев поступающего воздуха.

Вентилятор

Вентилятор — основа любой системы искусственной вентиляции. Вентиляторы используются в вентиляционных системах для перемещения воздуха от источника забор воздуха по системе воздуховодов. Он подбирается с учетом двух основных параметров: производительности, то есть количества прокачиваемого воздуха и полном давлении.

По конструктивному исполнению вентиляторы делятся на :

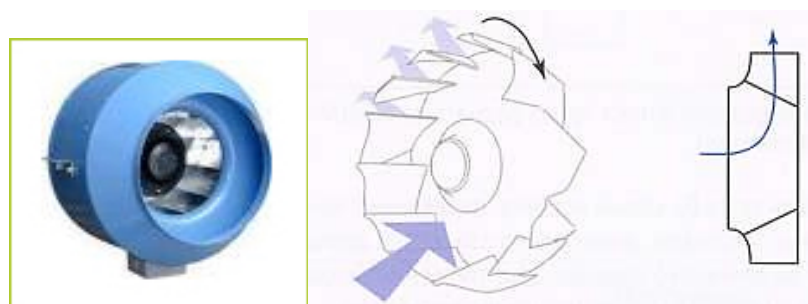
- радиальные(центробежные)



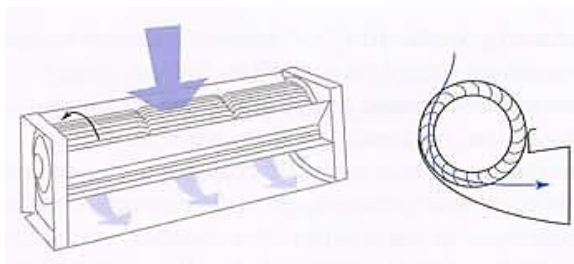
- осевые



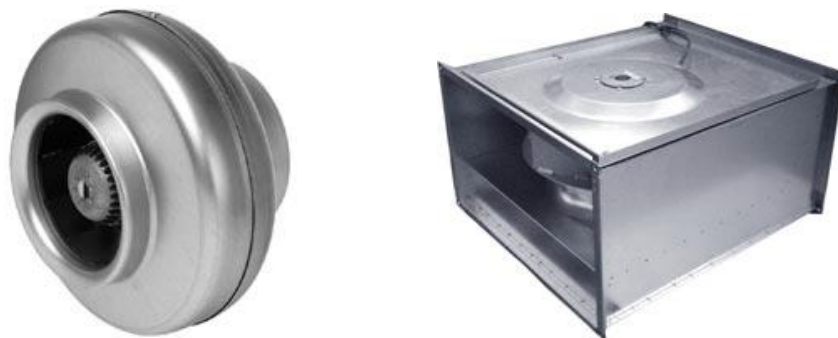
- диагональные



- диаметральные



Вентиляторы бывают в разных корпусах: **канальные**



По форме корпуса бывают: - прямоугольные; - круглые; - крышные (удобство монтажа, непосредственно сверху на вертикальный воздуховод); - в корпусе улитке (высокое КПД, но корпус трудно разместить в помещении)



По давлению: - низкого, - среднего, - высокого

Радиальные бывают с **разными типами лопаток:**

- загнутые назад лопатки (объём воздуха сильно зависит от давления)
- загнутые вперед лопатки (изменение давления незначительно влияет на подачу)
- отклоненные назад прямые лопатки (хорошо подходят для загрязнённого воздуха, КПД порядка 70%)
- прямые радиальные лопатки(наилучшим образом подходят для загрязнённого воздуха, но обладают меньшим КПД порядка 55%).

Осевые вентиляторы обеспечивают хорошую производительность, однако характеризуются низким полным давлением, то есть, если на пути воздушного потока встречается препятствие (длинный воздуховод с поворотами, решетка и т.п.), то скорость потока существенно уменьшается. Поэтому в системах вентиляции с разветвленной сетью воздуховодов применяют радиальные вентиляторы, отличающиеся высоким давлением созданного воздушного потока.

Другими важными характеристиками вентиляторов является уровень шума и габариты. Эти параметры в большой степени зависят от марки оборудования.

Каждый вентилятор должен преодолеть сопротивление вентиляционной сети (воздуховоды, фильтры, нагреватели, шумоглушители). Это сопротивление является источником разности давления, которая играет определяющую роль при выборе вентилятора.

Шумоглушитель



Поскольку вентилятор является источником шума, после него обязательно устанавливают шумоглушитель, чтобы предотвратить распространение шума по воздуховодам. Основным источником шума при работе вентилятора являются турбулентные завихрения воздуха на его лопастях, то есть аэродинамические шумы. Для снижения этих шумов используется звукопоглощающий материал определенной толщины, которым облицовываются одна или несколько стенок шумоглушителя. В качестве звукопоглощающего материала обычно используют минеральную вату, стекловолокно и т.п.

Шумоглушители могут быть:

-пластинчатыми

-трубчатыми

Качество шумоглушителя зависит от толщины и длины звукопоглощающих слоев. Часто применяются как на приточной ветви системы так и на вытяжной.

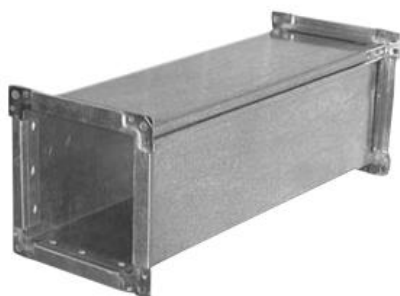
Уровень шума сильно зависит от скорости движения воздуха (чем выше скорость тем громче)

Воздуховоды

После выхода из шумоглушителя обработанный воздушный поток готов к распределению по помещениям. Для этих целей используются воздухопроводная сеть, состоящая из воздуховодов и фасонных изделий (отводов, поворотов, переходников). Основными характеристиками воздуховодов являются площадь сечения, форма.

Скорость потока в воздуховоде не должна превышать определенного значения, иначе воздуховод станет источником шума. Поэтому площадью сечения воздуховода определяется объем прокачиваемого воздуха, то есть размер воздуховодов подбирает-

ся исходя из расчетного значения воздухообмена и максимально допустимой скорости воздуха.



Жесткие воздуховоды изготавливаются из оцинкованной жести и могут иметь круглую или прямоугольную форму. Полугибкие и гибкие воздуховоды имеют круглую форму и изготавливаются из многослойной алюминиевой фольги. Круглую форму таким воздуховодам придает каркас из свитой в спираль стальной проволоки. Такая конструкция удобна тем, что воздуховоды при транспортировке и монтаже можно складывать "гармошкой". Недостатком гибких воздуховодов является высокое аэродинамическое сопротивление, вызванное неровной внутренней поверхностью, поэтому их используют только на участках небольшой протяженности.

При монтаже воздухораспределительной сети используются жесткие воздуховоды, т.к. они обладают меньшим сопротивлением, более устойчивы к внешним физическим воздействием (гофрированный алюминий может просто порваться). Однако у гибких воздуховодов существует преимущество, а именно: они позволяют делать изгибы самого необычного вида, исходя из ваших потребностей, в то время как на подбор необходимой фасонной части к жесткому воздуховоду тратится время и дополнительные средства.

Распределители воздуха

Воздухораспределители - это устройства предназначенные для комфортного распределения воздуха в помещении. Как правило, в качестве воздухораспределителей используют решетки (круглые или прямоугольные, настенные или потолочные) или диффузоры (плафоны). Помимо равномерного распределения воздуха и индивидуальной регулировки воздушного потока, направляемого из воздухораспределительной сети в каждое помещение они обладают и декоративной функцией.

Бывает несколько типов воздухораспределителей:

-сопловой диффузор (хорошо перемешивают воздух, гибко настраиваются, но соответственно наиболее дорогие устройства)



-перфорированный диффузор (хорошо перемешивают воздух, но ограниченно регулируются)



-конический (недостаточные возможности по перемешиванию, но хорошие по изменению вида течения, то есть воздух может стелиться по потолку, а может сразу уходить в пол.)

-решетка (имеет слабые возможности по перемешиванию воздуха, но позволяет переносить свежий воздух на большие расстояния).



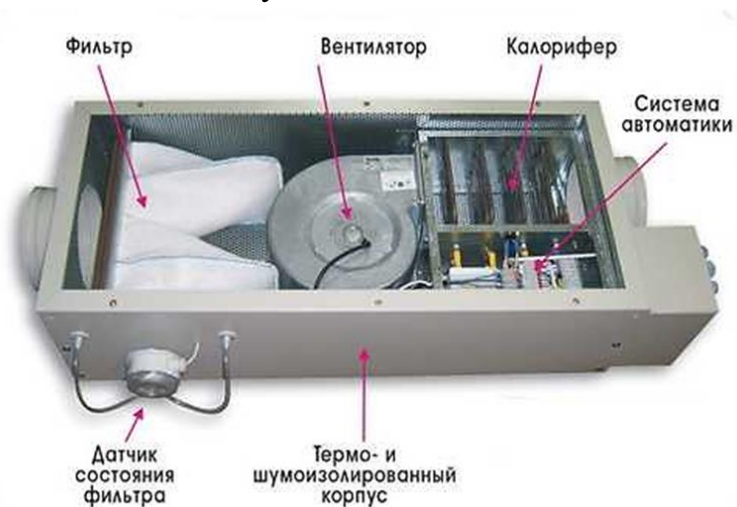
Системы регулировки и автоматики

Не менее важным элементом вентиляционной системы является электрический щит, в котором обычно монтируют систему управления и автоматики вентиляции. В простейшем случае система управления состоит только из выключателя с индикатором, позволяющего включать и выключать вентилятор. Однако чаще всего используют систему управления с элементами автоматики, которая включает калорифер при понижении температуры приточного воздуха, следит за чистотой фильтра, управляет воздушным клапаном , контролирует обмерзание рекуператора и калорифера. В качестве датчиков для системы управления используют термостаты, гигростаты, датчики

давления и т.п. Состав и схема автоматики в большой степени влияют на итоговую стоимость всей системы вентиляции.

Надо заметить, что в настоящее время широкое распространение получили **вентиляционные установки** скомпонованные в единый блок. Различают

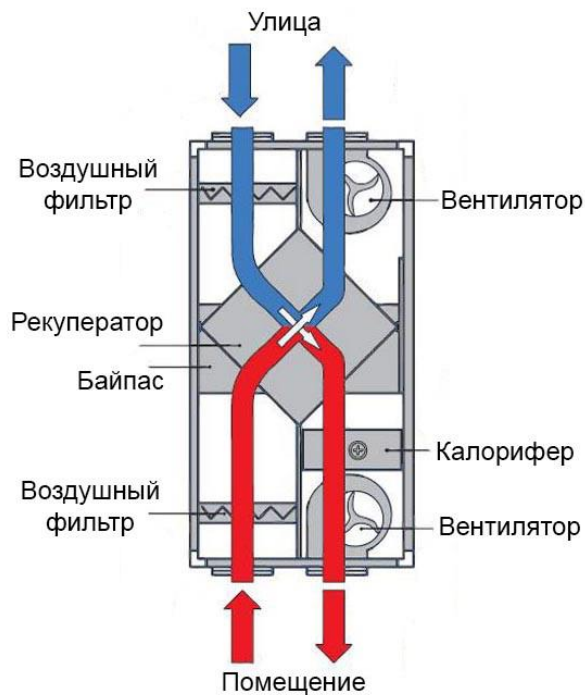
- Приточная вентиляционная установка



- Вытяжная вентиляционная установка



- Приточно-вытяжная вентиляционная установка



Моноблочные системы имеют большую монтажную готовность и не требуют специальных навыков и знаний при их установке, однако имеют большую стоимость, чем наборные системы вентиляции. Для установки моноблочной системы достаточно закрепить установку фундаменте, кронштейнах или стене и подвести к ней сеть воздуховодов и электропитание.

Если к качеству воздуха предъявляются особые требования, то приточный воздух может подвергаться дополнительной обработке, такой как нагрев, охлаждение, осушение воздуха, увлажнение воздуха, очистка с помощью фильтров и т.д. Вентиляционные установки бывают как промышленного назначения (используются на промышленных объектах), так и бытового.

ТЕМА 10 ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ КАНАЛЫ И ВОЗДУХОВОДЫ

10.1. Каналы

В толще внутренних кирпичных стен располагаются вентиляционные каналы или борозды, заделываемые плитами (рис. 10.1, *a*). Размеры сечения каналов являются кратными размерам кирпича 250×120 мм с учетом швов толщиной 10 мм. Каналы можно разместить внутри стен при толщине их не менее 380 мм (полтора кирпича). Минимальные размеры сечения каналов составляют 140×140 мм (полкирпича на полкирпича), а толщина стенок не может быть менее 120 мм. Толщина простенка между каналами одного назначения (приточные или вытяжные) допускается не менее 120 мм, а между каналами разного назначения (приточные и вытяжные) не менее 250 мм. Расстояние между каналом и дверным проемом должно быть не менее 380 мм. Соотношение сторон сечения канала принимается не более 1:3. При возведении стен производят затирку швов, и внутренние поверхности каналов выполняют гладкими.

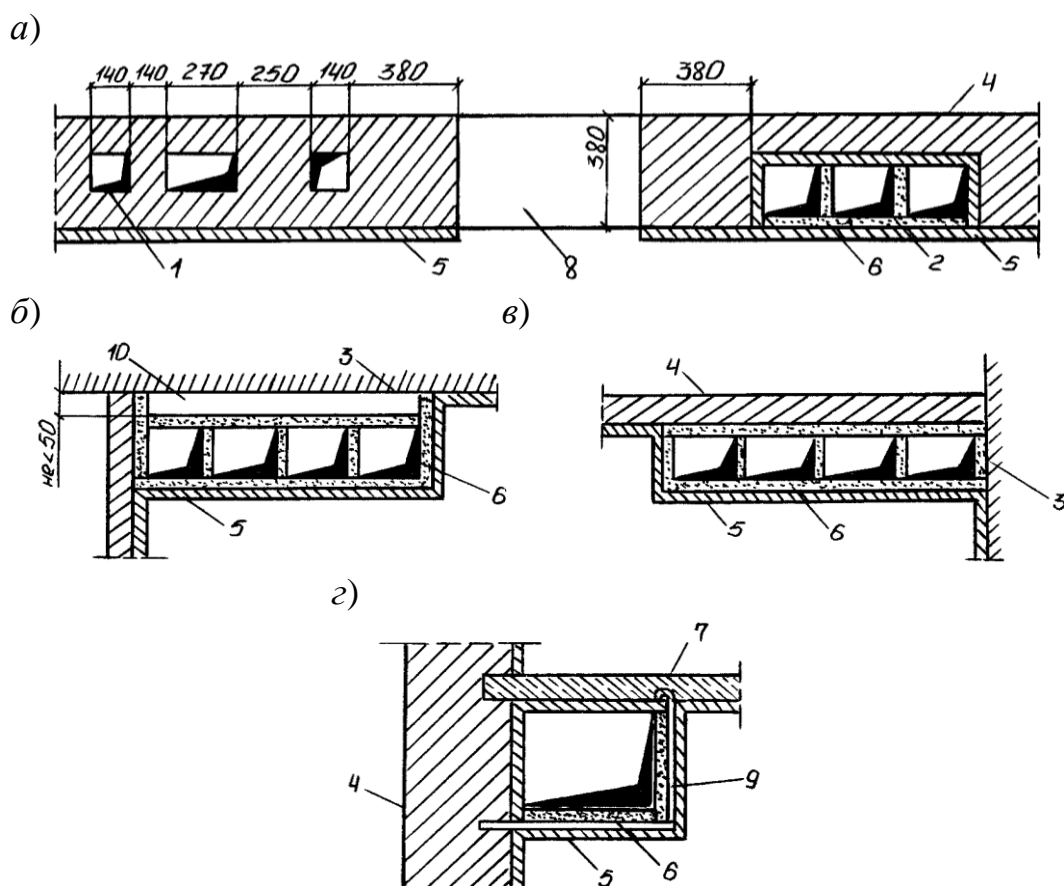


Рисунок 10.1. Устройство вентиляционных каналов:

a – каналы в стене (1) и в борозде (2); *б* – приставные вертикальные каналы у наружной стены (3); *в* – приставные вертикальные каналы у внутренней стены (4); *г* – горизонтальный подвесной канал; 5 – штукатурка; 6 – шлакогипсовые плиты; 7 – перекрытие; 8 – дверной проем; 9 – стальная подвеска $d = 6$ мм; 10 – воздушная прослойка.

Не допускается устраивать вентиляционные каналы в наружных стенах, так как охлаждение в них воздуха в холодный период года может привести к конденсации влаги и уменьшению располагаемой естественной тяги.

Когда в здании отсутствуют внутренние кирпичные стены необходимой толщины, устраиваются вертикальные приставные (рис. 10.1, б и в) и горизонтальные подвесные каналы (рис. 10.1, г). Минимальные размеры их сечения 100×150 мм. Приставные каналы устанавливаются вплотную к внутренним тонким стенам. Иногда приходится приставлять их и к наружным стенам, но тогда между стеной и каналами делается утепление или оставляется воздушная прослойка толщиной не менее 50 мм (рис. 10.1, б).

В качестве вентиляционных каналов получили применение подшивные короба, образуемые у потолка коридоров путем устройства сплошной подшивки (рис. 10.2). Минимальная высота такого короба 0,15 м. По всей длине коридора короткими каналами короб сообщается с расположенными по обе стороны помещениями. Используются подшивные короба для подачи воздуха в помещения или для вытяжки его из них. В иных случаях подшивные короба не сообщаются с помещениями и служат только для скрытой прокладки в них приточных и вытяжных воздуховодов.

Сборные вентиляционные короба должны быть огнестойкими, воздухо- и водонепроницаемыми нетеплопроводными. При прокладке их на чердаке или неотапливаемом техническом этаже они выполняются из двойных шлакогипсовых плит толщиной 40 мм с воздушной прослойкой, толщиной 40 мм (рис. 10.1, а). Снизу укладывается шлаковая заливка толщиной 80 мм. Воздушная прослойка оставляется, чтобы не остывал воздух в коробе и не выделялся конденсат. С торцов воздушная прослойка имеет заделку, что исключает циркуляцию в ней воздуха.

При повышенной влажности воздуха, когда вытяжка его производится из кухонь, санитарных узлов и прачечных, короба выполняются из шлакобетонных плит или применяются комбинированной конструкции (рис. 10.3, б). Минимальные размеры сечения сборных коробов в свету 200×200 мм. Ответвления коробов делаются под углом 45°.

В зданиях без чердаков и технических этажей вертикальные каналы объединяются под потолком лестничных клеток, коридоров верхних этажей или группами выводятся на крышу в виде шахт.

В отверстиях вентиляционных каналов в местах забора и раздачи воздуха устанавливаются жалюзийные решетки. Они бывают с подвижными и неподвижными жалюзи. На рис. 10.4, а показана регулируемая решетка с подвижным жалюзи, состоящая из защитной решетки 1, вертикальных подвижных перьев 2 и рамки 3. Регулирование положения перьев производится ручкой, передвигаемой слева направо и, наоборот в пределах щелевидного отверстия 4.

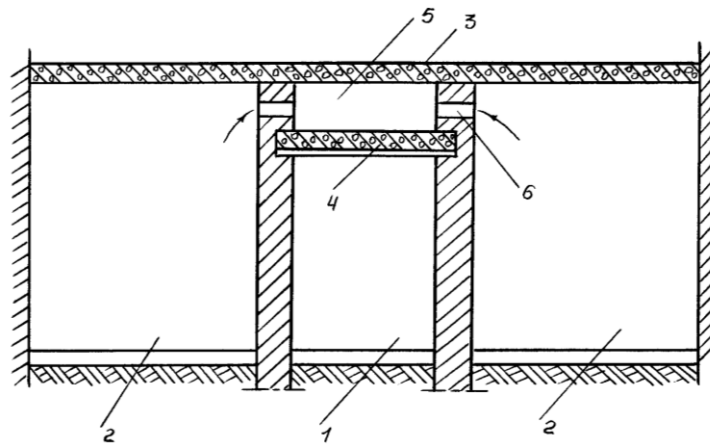


Рисунок 10.2 – Устройство подшивного короба в коридоре: 1 – коридор; 2 – вентилируемые помещения; 3 – перекрытие; 4 – подшивной потолок коридора; 5 – подшивной короб; 6 – вентиляционный канал.

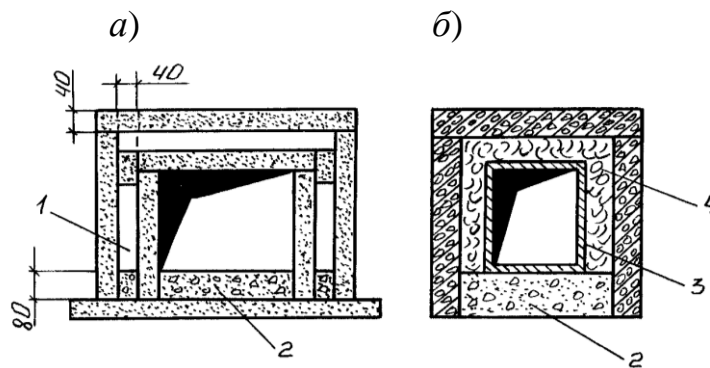


Рисунок 10.3 – Устройство вентиляционных сборных коробов на чердаке: а – из шлакогипсовых плит; б – из бетонных плит; 1 – воздушная прослойка; 2 – шлаковая заливка; 3 – металлический воздуховод; 4 – утеплитель.

Решетки изготавливаются из стали, алюминия, гипса, пластмассы и им придается соответствующее художественное оформление.

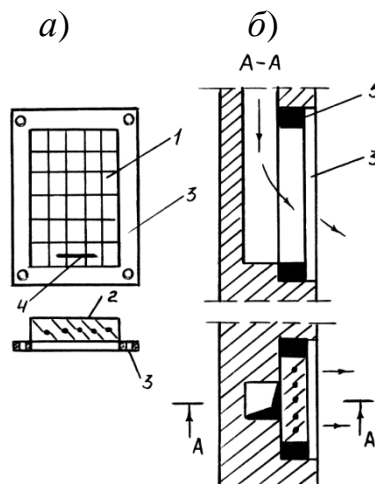


Рисунок 10.4 – Регулируемая жалюзийная решетка: а – общий вид; б – установка в отверстии раздачи воздуха.

К отверстию решетка присоединяется при помощи деревянной или пластмассовой рамки, вставленной в отверстие, и шурупов или закрепляется вяжущими растворами (рис. 10.4, б). Устанавливаются решетки на расстоянии 200-500 мм от потолка и

до верхней их кромки. Решетки имеют различные стандартные размеры. Подбирают их исходя из допустимой скорости прохода воздуха в живом сечении.

В вытяжных решетках допускаются скорости: при механическом побуждении 1-2 м/с, при естественном 0,5-1 м/с. Допустимые скорости воздуха в приточных решетках приведены в таблице 10.1.

Таблица 10.1 - Допустимые скорости воздуха в приточных решетках

Высота расположения решетки, м	Допустимая скорость выхода воздуха, м/с	Допустимый перепад температур, °С
до 3	0,3-0,5	5
от 3 до 4	0,5-1,0	7
более 4	1-2	10

На большую скорость рассчитываются решетки нижних, а на меньшую верхних этажей. Поскольку скорость воздуха в решетках значительно меньше скорости в каналах, приходится соответственно увеличивать площадь выходного отверстия (см. рис. 10.4, б).

В целях безопасности в газифицированных помещениях устанавливаются нерегулируемые решетки с неподвижными жалюзи. В общественных туалетах вытяжные решетки устанавливаются у потолка и над полом, а в курительных комнатах – у потолка и на высоте 1,75 м от пола.

При естественном побуждении скорость воздуха в каналах принимается для верхнего этажа 0,5-0,6 м/с, а для каждого нижележащего этажа на 0,1 м/с больше (но не более 1 м/с), в чердачных сборных коробах 1 м/с и в вытяжной шахте 1-1,5 м/с.

10.2. Воздуховоды

В промышленной вентиляции для транспортирования воздуха применяются различные **воздуховоды**: из листовой стали преимущественно круглого, реже квадратного и прямоугольного сечения. В агрессивной воздушной среде используются воздуховоды из нержавеющей стали, алюминия, пластмассы, винилпласта, стеклоткани, бумаги и картона (с защитными покрытиями и пропиткой). Для перемещения воздуха с повышенной влажностью и для наружной прокладки применяются воздуховоды из кровельной или листовой стали с антикоррозионным покрытием, из полимерных материалов или оцинкованной стали.

К воздуховодам предъявляются требования: они должны быть малотеплопроводными, негигроскопичными, воздухонепроницаемыми, огнестойкими, внутри гладкими и по возможности легкими.

Металлические воздуховоды имеют стандартные внутренние размеры поперечного сечения: круглые диаметром от 100 до 2000 мм, прямоугольные с размерами от

100×150 до 4000×3150 мм. В зависимости от размеров сечения на изготовление воздуховодов идет листовая сталь толщиной от 0,5 до 1,4 мм.

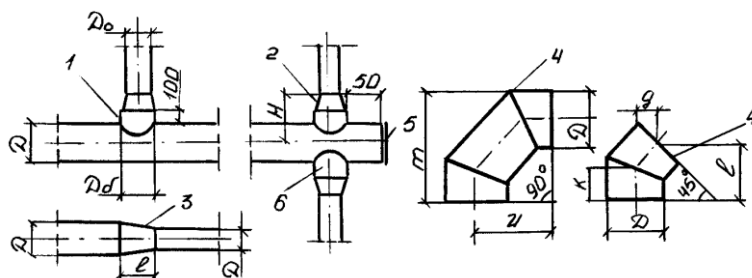
При проектировании трассы воздуховодов следует придерживаться следующих правил:

- трасса должна иметь как можно короткую длину, наибольшая протяженность горизонтальной сети до вентилятора общеобменной вентиляции 80-120 м, местной вентиляции 30-40 м, до вытяжной шахты с естественным побуждением не более 8 м;
- сеть должна иметь наименьшее количество местных сопротивлений и соответствовать интерьеру помещения,
- фасонные части воздуховодов должны быть нормализованными.

На рис. 10.5 представлены унифицированные нормали на фасонные части воздуховодов круглого и прямоугольного сечения. Обозначенные на рисунке буквами размеры фасонных частей принимаются в определенном соотношении между собой, эти размеры приводятся в справочной литературе. Соединение отдельных звеньев воздуховодов должно быть герметичным и осуществляется на фланцах с болтами и уплотняющими прокладками, на реечных или бандажных соединениях, на подкладных кольцах или раструбным способом.

В производственных помещениях воздуховоды прокладываются вдоль стен и колонн, крепятся с помощью кронштейнов и тяг. При необходимости прокладки вдали от стен и колонн воздуховоды крепятся на напольных стойках или на подвесках к потолку или строительным фермам.

а)



б)

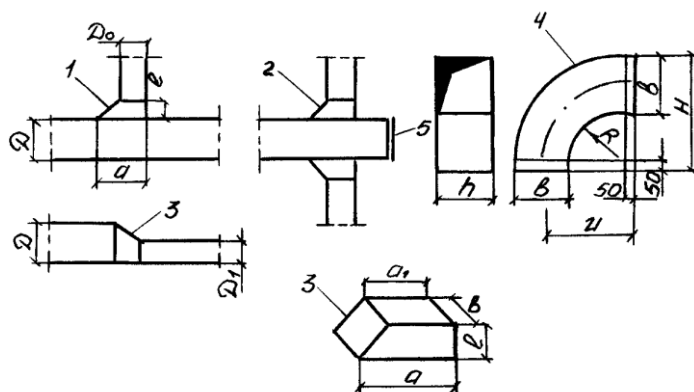


Рисунок 10.5 – Унифицированные фасонные части воздуховодов: *a* – круглого сечения; *b* – прямоугольного сечения; 1 – прямой тройник; 2 – штанообразный тройник (без заглушки крестовина); 3 – переход; 4 – отводы под углом 90° и 45°; 5 – заглушка; 6 – базовая врезка.

Воздуховоды являются «транспортной системой» систем вентиляции и кондиционирования воздуха и обеспечивают перемещение воздушных масс или других газовых смесей в нужные места, отвечают за циркуляцию воздуха в помещениях.

Если система воздуховодов на объекте спроектирована или установлена неправильно, даже самое эффективное и дорогое оборудование может не обеспечить в достатке свежим воздухом, поэтому цена ошибки при выборе воздуховодов очень велика.

Эксплуатационные требования, предъявляемые к воздуховодам

Любая система циркуляции воздуха должна выполнять свои функции и быть удобной для пользователя, а значит, соответствовать определенным требованиям. Воздуховоды должны быть:

- быть полностью герметичными;
- аэродинамический шум, возникающий в процессе работы оборудования и движения воздуха по системе воздуховодов, не должен превышать установленные санитарные нормы;
- обеспечивать требуемую производительность системы вентиляции, т.е. возможность свободного пропуска воздушных масс с требуемой скоростью;
- в процессе работы системы вентиляции выдерживать давление воздуха, создаваемое приточной установкой;
- соответствовать нормам по теплоизоляции;
- гармонично вписаться в интерьер;
- занимать минимальное пространство в помещении.

В зависимости от конкретных условий, к воздуховодам могут предъявляться и другие требования, но эти являются базовыми.

Основные характеристики воздуховодов

Воздуховоды для вентиляции различаются по:

- жесткости;
- материалу изготовления;
- форме поперечного сечения канала;

- размерам и диаметру сечения канала;
- способу утепления – какие-то воздуховоды утепляются после их установки, какие-то обладают теплоизолирующей способностью изначально.

Типы воздуховодов по материалу изготовления

Воздуховоды изготавливаются из самых различных разных материалов:

- нержавеющую, черную или оцинкованную сталь;
- алюминиевую фольгу на спиральном каркасе;
- полимерные материалы – пластик, конструкционные теплоизоляционные плиты на основе полиизоцианурата (PIR);
- текстильные материалы.

Металлические воздуховоды используются наиболее часто, т.к. отличаются универсальностью, а главное — строительные и проектные организации к ним привыкли, т.к. на рынке существует большое число компаний, предлагающих вентиляционное оборудование этого типа. Стальные вентиляционные трубы незаменимы, если система вентиляции эксплуатируется в условиях высокого давления и температур.

Воздуховоды из оцинкованной стали разрешено использовать практически везде: в любых климатических условиях и для любых типов вентиляции. Единственное ограничение — их нельзя применять для транспортировки агрессивных газозвудушных смесей. Защитный слой цинка на внутренней и внешней поверхности воздуховода защищает его от коррозии, и даже на поврежденных местах при взаимодействии с кислородом образуется защитная пленка.

Такие воздуховоды производятся из холоднокатаной оцинкованной листовой стали толщиной от 0,5 до 1,4 мм. Их можно эксплуатировать в условиях относительной влажности воздуха, не содержащего примесей, до 80% и при температуре не более +80°C.

Воздуховоды из черной стали наиболее жесткие, жаро- и огнестойкие, но сильнее подвержены коррозии и потому применяются реже, чем из оцинкованной и нержавеющей стали. Используются в промышленности.

Воздуховоды из нержавеющей стали отличаются универсальностью и могут использоваться для вентиляции практически любых газов и при любых условиях. Они выдерживают высокие температуры и очень долговечны, поэтому на производствах чаще устанавливают вентиляцию из нержавеющей стали. Но нержавеющая сталь весьма дорога.

Стальные воздуховоды обладают следующими достоинствами:

- они долговечны, надежны и прочны;
- гладкая внутренняя поверхность обеспечивает им хорошую аэродинамику;

- на гладких стенках почти не скапливаются грязь, пыль и копоть;
- они способны выдержать высокие давление и температуру (до 500°C);
- воздуховоды из нержавеющей стали могут использоваться на объектах с повышенными требованиями к санитарии, т.к. почти не собирают грязь;
- применяются в условиях воздействия агрессивных сред.

Недостатки — это громоздкость конструкции, а также то факт, что стальные воздуховоды, проложенные через холодные помещения, например чердак, требуют утепление. Если его не обеспечить, то поверхности трубы станут постоянно собираться конденсат, который может привести к коррозии и преждевременному разрушению конструкции.

Гофрированный воздуховод из алюминия относится к классу гибких воздуховодов и обладает рядом преимуществ. Он отлично гнется, его можно даже завязать в узел, при этом воздуховод сохранит свои качества. А благодаря гофрам такой воздуховод отлично выдерживает линейные растяжения. Помимо этого, алюминиевые гофрированные воздуховоды обладают небольшим весом, прочностью и высокой эластичностью, что облегчает их монтаж. Они устойчивы к высоким температурам. Гофрированные воздуховоды находят свое применение в разветвленных системах вентиляции — там, где применение жестких затруднено.

К очевидным недостаткам гофрированных воздуховодов из алюминия относят высокое аэродинамическое сопротивление и, как следствие, возникновение шума во время работы вентиляции, а также значительный уровень потерь давления из-за гофрированной поверхности. Кроме того, они подвержены повышенному загрязнению поверхности в процессе эксплуатации.

Пластиковые воздуховоды обладают высокой прочностью, для их монтажа достаточно иметь стандартный набор инструментов (подрезаются обычной ножовкой с мелким зубом, при этом кромки подрезанных элементов не острые). Основными преимуществами пластиковых воздуховодов системы вентиляции являются:

- длительный срок эксплуатации,
- легкость как монтажа, так и ремонта,
- не требуется крепеж при сборке вентиляционной системы,
- хорошие антикоррозионные свойства,
- небольшой вес,
- сравнительно низкая стоимость.

Основным недостатком воздуховодов из пластика является низкий уровень стойкости к воздействию высоких температур и механических ударных нагрузок.

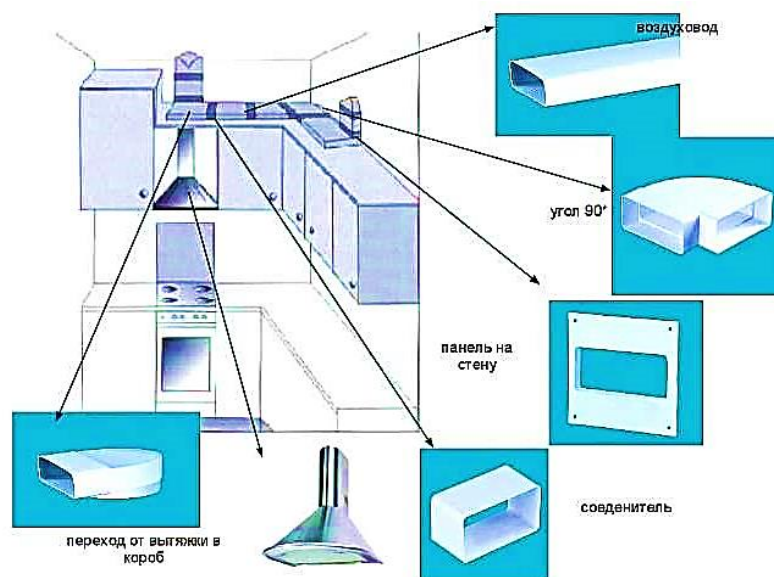


Рисунок 10.6 – Пластиковые воздуховоды для бытовых систем вентиляции.

Пластиковые воздуховоды сегодня пользуются большой популярностью — особенно при устройстве вытяжки на кухне

Тканевые или текстильные воздуховоды изготавливаются из технического текстиля. Такие воздуховоды устанавливаются на приточную часть и не имеют на окончании сети врезанных вентиляционных решеток: благодаря воздухопроницаемости ткани воздух равномерно распределяется по всему объему помещения.

Данный тип воздуховодов органично вписывается в интерьер, во многих случаях вентиляцию из текстильных труб не нужно обшивать коробами. Возможно исполнение воздуховодов из ткани с декоративным рисунком. К другим их достоинствам относятся:

- текстильные воздуховоды могут эксплуатироваться в диапазоне температур от -10°C до $+110^{\circ}\text{C}$;
- они устойчивы к воздействию влаги и химических веществ;
- некоторые модели обладают антибактериальными свойствами;
- у них сравнительно небольшой вес, их легко устанавливать;
- текстильные вентиляционные трубы отличаются высокой пропускной способностью, а также равномерным воздухом распределением;
- они легко ремонтируются и очищаются, ткань можно очистить с помощью стиральной машины;
- срок службы — более 10 лет;

- их можно комбинировать с воздуховодами и фасонными элементами из любых материалов;
- эти воздуховоды имеют широкую цветовую гамму, есть возможность нанесения текстов и логотипов непосредственно на ткани.

Отличительной особенностью текстильных воздуховодов является то, что они рассчитываются и производятся под конкретный объект, под конкретное техническое задание. При этом учитывается много факторов: габариты помещения, высота подвеса воздуховодов, температурные режимы и конечно, пожелания заказчика.

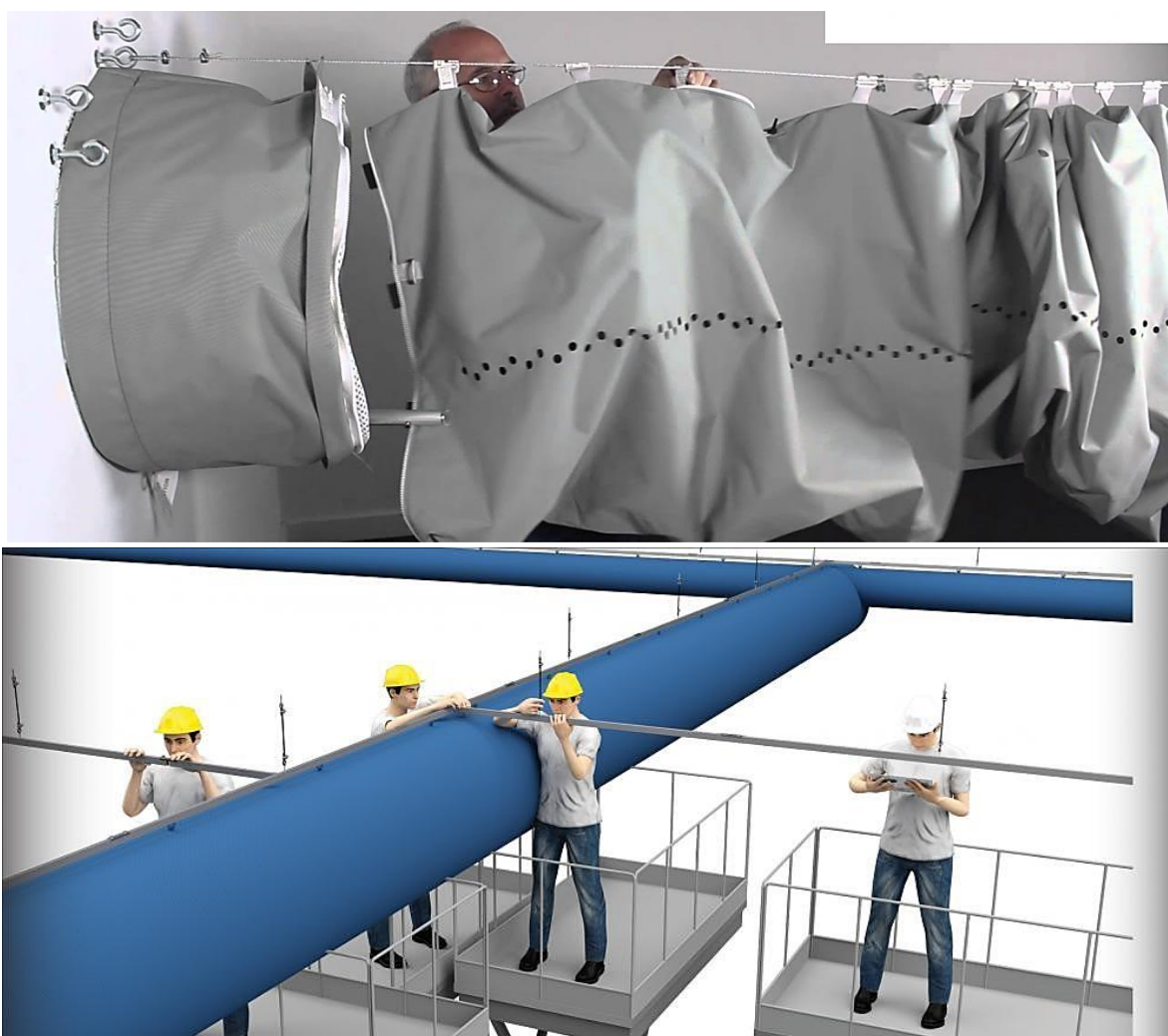


Рисунок 10.7 – Текстильные воздуховоды.

Воздуховоды на основе полиизоцианурата (из PIR-панелей) имеют широкий спектр применения:

- в жилых домах (в том числе, для внутриквартирной разводки);

- в коммерческих и общественных зданиях;
- на спортивных объектах;
- в производственных помещениях.

Особенно эффективны такие воздуховоды:

- на производствах и в помещениях с повышенной влажностью;
- в помещениях с повышенными требованиями к чистоте;
- в проектах реконструкции зданий с требованиями по снижению нагрузок на несущие конструкции.

Воздуховоды из PIR-панелей изначально изготавливаются из теплоизоляционного конструктивного материала и потому не требуют дополнительной теплоизоляции, при этом отличаются высокими пожаробезопасными свойствами. Срок эксплуатации таких воздуховодов — очень велик, до 30 лет. К числу других их достоинств следует отнести:



Рисунок 10.8 – Воздуховоды из PIR-панелей

- Возможность создавать воздуховоды из PIR-панелей любой конфигурации, вписывая их даже в самые ограниченные пространства.
- Малый вес. Вентиляционные трубы из PIR-плит можно без проблем крепить и там, где ограничены нагрузки на несущие строительные конструкции. Кроме того, для установки используется меньше крепежных элементов.

- Простота монтажа: для устройства воздушной транспортной системы требуется минимум специальных инструментов и рабочей силы. Для крепления секций используются как традиционные решения (шпильки, монтажные траверсы, кронштейны и т.п.), так и специальные L-образные зубчатые кронштейны под шпильку, которые надежно фиксируют положение воздуховода и придают конструкции дополнительную жесткость.

Форма внутреннего сечения канала воздуховода

По форме внутреннего сечения канала воздуховоды различаются на:

- круглые;
- плоскоовальные или овальные;
- прямоугольные.

Самыми эффективными считаются круглые воздуховоды. В них сопротивление воздуха наименьшее и, следовательно, меньшие потери давления. Кроме того, круглые воздуховоды стоят дешевле прямоугольных и плоскоовальных изделий. Прямоугольные воздуховоды имеют меньшую эффективность, но за счет компактности их использование имеет широкое распространение при строительстве зданий.

Наименее распространены плоскоовальные воздуховоды, при этом они по определенным параметрам превосходят и прямоугольные и круглые воздуховоды.

В качестве преимущества воздуховодов прямоугольных перед круглыми можно выделить то, что они более органично вписываются в интерьер, их проще вписать в угол под потолком.

Площадь поверхности круглого воздуховода на 12% меньше площади поверхности аналогичного по живому сечению квадратного воздуховода. При соотношении сторон прямоугольного воздуховода как 1:4, разница возрастает до 40%. Это делает эффективным замену одного плоского воздуховода на несколько круглых, идущих параллельно.

Если сравнивать эффективность круглых и плоскоовальных воздуховодов, первенство останется за традиционными круглыми воздуховодами. Но плоскоовальные воздуховоды, помимо возможности компактно размещаться там, где круглые воздуховоды занимают слишком много места, обладают большей эффективностью, чем прямоугольные. Потери давления воздуха в плоскоовальных воздуховодах значительно ниже за счет скругленных углов и меньшей турбулентности воздушных потоков в воздуховоде.

К тому же внешний вид плоскоовальных воздуховодов превосходит обоих своих «конкурентов», что делает их особо ценными при открытом размещении в пространстве.

Выбор диаметра сечения воздуховода

Выбор диаметра воздуховода непосредственно зависит от указанной в проектной документации скорости движения воздушного потока и кратности воздухообмена. Для жилых помещений скорость воздушного потока ограничена значением 4 м/с. Если превысить этот порог, издаваемый системой вентиляции во время работы шум будет мешать.

ТЕМА 11 АЭРОДИНАМИКА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

11.1. Давление воздуха в системах вентиляции

В каждом произвольном поперечном сечении воздуховода, по которому движется воздух, возникают статическое, динамическое и полное давления. Статическое давление характеризует потенциальную энергию воздуха, оно равно давлению на стенки воздуховода. Динамическое давление является проявлением кинетической энергии воздушного потока, величину его определяют по формуле (Па)

$$P_{\partial} = \frac{v^2}{2} \rho, \quad (11.1)$$

где v – скорость движения воздуха, м/с;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

Полное давление представляет собой сумму статического и динамического давлений, т.е.

$$P_n = P_{ст} + P_{\partial}, \quad (11.2)$$

При движении по воздуховоду воздух теряет свою энергию на преодоление различных сопротивлений или, как говорят, происходит потеря его давления. Различают два вида потерь давления: потеря на трение и потеря в местных сопротивлениях.

Потерю давления на трение в воздуховоде круглого сечения определяют по формуле (Па)

$$\Delta P_{тр} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \rho, \quad (11.3)$$

где λ – коэффициент сопротивления трения;

l – длина воздуховода, м;

v – скорость движения воздуха, м/с;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

d – диаметр воздуховода, м.

Коэффициент сопротивления трения находят по формуле А. Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{k}{d} \right)^{0,25}, \quad (11.4)$$

где k – высота выступов шероховатости, м, значения приведены в [15];

$\text{Re} = \frac{vd}{\nu}$ – критерий Рейнольдса;

ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

Потерю давления на трение в воздуховоде обычно подсчитывают по упрощенной формуле (Па)

$$\Delta p_{тр} = R \cdot l, \quad (11.5)$$

где $R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \rho$ – потеря давления на 1 м длины воздуховода, Па/м.

Значение R находят из таблиц или номограммы, составленных для воздуховодов круглого поперечного сечения. Для расчета воздуховодов прямоугольного сечения используют те же таблицы и номограмму, но только вычисляют эквивалентный диаметр. При эквивалентном диаметре потеря давления на трение в круглом и прямоугольном воздуховодах одинаковы.

Эквивалентный по скорости диаметр прямоугольного воздуховода определяют по формуле

$$d_{эв} = \frac{2ab}{a+b}, \quad (11.5)$$

где a и b – длины сторон прямоугольного сечения воздуховода, м.

Зная эквивалентный диаметр $d_{эв}$ и действительную скорость воздуха в прямоугольном воздуховоде v_{np} , по таблицам или номограмме находят значение R_{np} .

В таблицах и номограмме абсолютная шероховатость принята $k = 0,1$ мм. При расчете воздуховодов с иной шероховатостью стенок вводят поправку, т.е.

$$R = R_{mб} \cdot \beta_{ш}, \quad (11.7)$$

где $R_{mб}$ – табличное значение удельных потерь давления на трение, Па/м;

$\beta_{ш}$ – коэффициент учета действительной шероховатости стенок воздуховода (табл. 11.1).

В местном сопротивлении потеря давления составляет

$$\Delta p_{м.с} = \zeta \frac{v^2}{2} \rho, \quad (11.8)$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления.

Таблица 11.1. Значение поправочного коэффициента

$v, \text{ м/с}$	$\beta_{ш}$ при $k, \text{ мм}$							
	0,01	0,2	0,5	2	5	10	15	20
0,3	0,996	1,005	1,019	1,082	1,183	1,309	1,407	1,488
0,5	0,993	1,008	1,031	1,127	1,267	1,413	1,552	1,650
1	0,986	1,015	1,057	1,216	1,420	1,637	1,792	1,915
2,5	0,966	1,034	1,120	1,388	1,682	1,973	2,173	2,329
3	0,96	1,039	1,136	1,429	1,740	2,045	2,254	2,418
5	0,938	1,057	1,189	1,549	1,908	2,253	2,487	2,669
10	0,894	1,088	1,270	1,712	2,130	2,524	2,790	2,996
15	0,861	1,107	1,316	1,800	2,247	2,666	2,948	3,166

Потеря давления в местных сопротивлениях расчетного участка сети воздуховодов равна

$$Z = \sum \zeta \frac{v^2}{2} \rho = \sum \zeta \cdot p_d, \quad (11.9)$$

где $\sum \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке.

Общая потеря давления на расчетном участке будет

$$\Delta p_{уч} = R \cdot l + Z, \quad (11.10)$$

где l – длина участка, м.

11.2. Распределение давлений в системах вентиляции с механическим побуждением

На рис. 11.1 показано распределение давлений при работе вентилятора на воздуховод. Как видно, с всасывающей стороны в сечении воздуховода А разрежение практически равно нулю, в пределах же спектра всасывания у этого торца воздуховода развивается некоторое динамическое давление. Поскольку в любом сечении всасывающего воздуховода статическое и полное давления имеют отрицательный, а динамическое давление положительный знак, то линия статического давления расположена ниже линии полного давления.

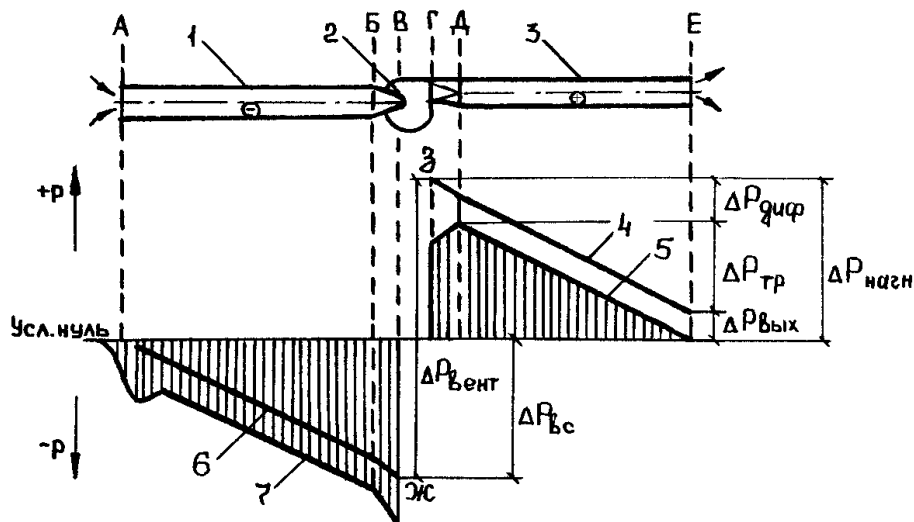


Рисунок 11.1 – Распределение давлений в вентиляционной системе.

1 – всасывающий воздуховод; 2 – вентилятор; 3 – нагнетательный воздуховод; 4 – линия полного давления с нагнетательной стороны; 5 – линия статического давления там же; 6 – линия полного давления с всасывающей стороны; 7 – линия статического давления там же; а, б, в, г, д, е, ж – обозначения сечений.

Заметный скачок вниз линии статического давления сразу же после сечения А–А вызван сужением воздушного потока на входе в воздуховод из-за возникновения

местных завихрений. Между сечениями Б и В находится конфузор с поворотом, в котором увеличивается скорость потока и возрастает потеря давления. Вследствие этого на данном участке снижается линия статического давления. В точке Ж создается наибольшее по абсолютному значению полное давление во всасывающем воздуховоде, равное

$$\Delta p_{вс} = (R \cdot l + Z)_{вс} . \quad (11.11)$$

Между сечениями Г и Д находится диффузор, в котором происходит уменьшение скорости потока, что вызывает увеличение статического и уменьшение динамического давлений. В сечении Д статическое давление приобретает максимальное значение и равно потерям давления на трение между сечениями Д и Е. По мере приближения к сечению Е статическое давление уменьшается, а динамическое давление остается постоянным. На выходе из нагнетательного воздуховода в сечении Е статическое давление равно нулю, динамическое же давление сохраняет свою величину. В любом сечении нагнетательного воздуховода статическое и полное давления имеют положительный знак. В точке З образуется наибольшее полное давление в нагнетательном воздуховоде, равное

$$\Delta p_{нагн} = (R \cdot l + Z)_{нагн} . \quad (11.12)$$

Значения полных давлений, определяемые по формулам (11.11) и (11.12), равны соответственно потерям давления во всасывающем и нагнетательном воздуховодах. Давление, развиваемое вентилятором, расходуется на преодоление сопротивления движению воздуха по этим воздуховодам, оно равно

$$p_{вент} = \Delta p_{вс} + \Delta p_{нагн} . \quad (11.13)$$

11.3. Свойства вентиляционных сетей

Любой участок воздуховода и вся вентиляционная сеть в целом обладают сопротивлением движению воздуха. Если в формулу (11.10) подставить приведенные выше значения R и Z , то потеря давления на участке сети будет выглядеть так

$$\Delta p_{уч} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2} \rho , \quad (11.14)$$

Подстановка в последнее выражение значения скорости воздуха из уравнения неразрывности $L = v \cdot f$ дает

$$\Delta p_{уч} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\rho}{2f^2} L^2 , \quad (11.15)$$

где L – объемный расход воздуха, проходящего по воздуховоду, м³/с;

f – площадь поперечного сечения воздуховода, м².

После введения обозначения

$$B = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\rho}{2f^2} \quad (11.16)$$

или выражая f через d

$$B = 0,8 \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\rho}{d^4} \quad (11.17)$$

уравнение (15) примет вид

$$\Delta p_{\text{уч}} = B \cdot L^2 \quad (11.18)$$

Здесь величина B , имеющая размерность кг/м^7 и зависящая от шероховатости внутренних стенок, геометрических размеров и местных сопротивлений воздуховода, называется его аэродинамическим сопротивлением. Величиной B выражают не только аэродинамическое сопротивление отдельного участка, но и общее сопротивление всей сети воздухопроводов вентиляционной системы.

Иногда сопротивление участка или всей сети выражают в виде площади эквивалентного отверстия. Эквивалентное отверстие представляет собой воображаемое отверстие в тонкой стенке, через которое проходит то же количество воздуха, что и по участку или по всей сети при том же перепаде давления. Такое отверстие обладает сопротивлением движению воздуха, которое эквивалентно сопротивлению участка или всей вентиляционной сети. Следует иметь в виду, что чем больше площадь эквивалентного отверстия, тем меньше сопротивление участка или сети.

Расход воздуха через эквивалентное отверстие ($\text{м}^3/\text{с}$) равен

$$L = k \cdot A \cdot v, \quad (11.19)$$

где k – коэффициент расхода;

A – площадь эквивалентного отверстия, м^2 ;

v – скорость воздуха, м/с .

Подстановка значения скорости $v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$ в (11.19) приводит к выражению

$$L = k \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \quad (11.20)$$

где Δp – перепад давления, Па.

Откуда

$$A = \frac{L}{k \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}}. \quad (11.21)$$

Так как $k = 0,65$ и плотность воздуха $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$, то

$$A = 1,19 \frac{L}{\sqrt{\Delta p}}. \quad (11.22)$$

После подстановки в (11.22) значения Δp из (18) имеем

$$A = \frac{1,19}{\sqrt{B}} \quad (11.23)$$

Общее аэродинамическое сопротивление вентиляционной сети зависит от схемы сочетания в ней ветвей воздуховодов. В практике вентиляции существуют последовательная, параллельная, последовательно-параллельная и сложнопараллельная схемы сочетания ветвей.

На рис. 11.2, *a* показана **последовательная схема соединения воздуховодов-участков**, имеющих различный диаметр. Так как по всем участкам проходит одно и то же количество воздуха, то общий перепад давления в соединении равен сумме перепадов давлений на отдельных участках, т.е.

$$\Delta p_{\text{общ}} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \dots + \Delta p_n \quad (11.24)$$

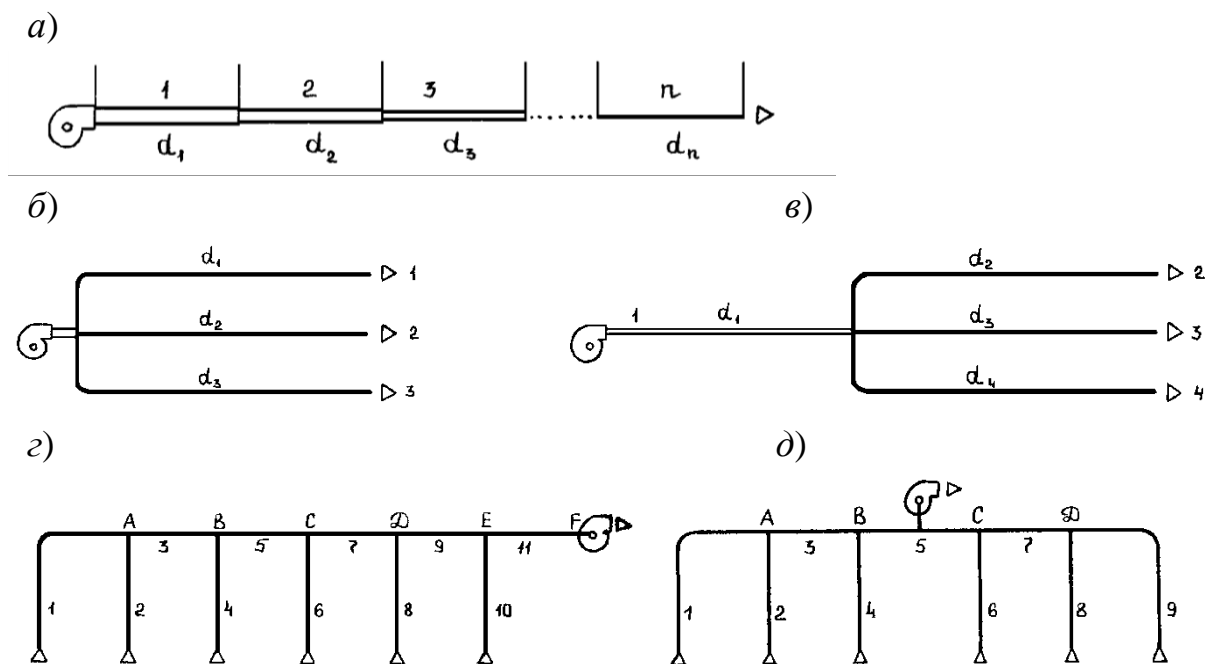


Рисунок 11.2 – Схемы соединения воздуховодов: *a* – последовательная; *б* – параллельная; *в* – последовательно-параллельная; *г* – фланговая; *д* – центральная сложнопараллельная.

Общее аэродинамическое сопротивление последовательного соединения выражается по аналогичной формуле

$$B_{\text{общ}} = B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_n \quad (11.25)$$

Из (11.22) перепад давления равен

$$\Delta p = \frac{1,19^2 L^2}{A^2} \quad (11.26)$$

Подстановка этого значения перепада давления в (24) дает

$$\frac{1,19^2 L^2}{A_{общ}^2} = \frac{1,19^2 L^2}{A_1^2} + \frac{1,19^2 L^2}{A_2^2} + \frac{1,19^2 L^2}{A_3^2} + \dots + \frac{1,19^2 L^2}{A_n^2}$$

или

$$\frac{1}{A_{общ}^2} = \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} + \dots + \frac{1}{A_n^2} \quad (11.27)$$

Таким образом, общее эквивалентное отверстие последовательного соединения воздухопроводов определяется из уравнения (11.27).

На рис. 11.2, б представлена **параллельная схема соединения воздухопроводов**, имеющих различные диаметры и расходы воздуха. Характерным для этой схемы является то, что перепад давления одинаков для всех параллельных ветвей, т.е.

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3 = \dots = \Delta p_n \quad (11.28)$$

Кроме того, общее эквивалентное отверстие параллельного соединения равно сумме эквивалентных отверстий параллельных ветвей

$$A_{общ} = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n \quad (11.29)$$

Если в уравнение (11.29) подставить значения эквивалентных отверстий из (23), то получим выражение для определения общего аэродинамического сопротивления вентиляционной сети, состоящей из параллельных ветвей

$$\frac{1}{\sqrt{B_{общ}}} = \frac{1}{\sqrt{B_1}} + \frac{1}{\sqrt{B_2}} + \frac{1}{\sqrt{B_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{B_n}} \quad (11.30)$$

Из зависимостей (11.29) и (11.30) вытекает, что параллельное соединение ветвей значительно снижает сопротивление сети. Причем, общее сопротивление параллельного соединения по своей величине всегда меньше сопротивления любой параллельной ветви.

Общее количество воздуха, проходящее в вентиляционной сети при параллельной схеме, равно

$$L_{общ} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n \quad (11.31)$$

На основании зависимостей (11.18) и (11.28) можно написать

$$B_{общ} L_{общ}^2 = B_1 L_1^2 = B_2 L_2^2 = B_3 L_3^2 = \dots = B_n L_n^2 \quad (11.32)$$

Из этого равенства получим

$$L_n = L_{общ} \sqrt{\frac{B_{общ}}{B_n}} \quad (11.33)$$

Из зависимости (11.22) имеем

$$\Delta p = 1,19^2 \frac{L^2}{A^2} \quad (11.34)$$

Подстановка (11.34) в (11.28) дает

$$\frac{L_{\text{общ}}^2}{A_{\text{общ}}^2} = \frac{L_1^2}{A_1^2} = \frac{L_2^2}{A_2^2} = \frac{L_3^2}{A_3^2} = \dots = \frac{L_n^2}{A_n^2} . \quad (11.35)$$

Отсюда

$$L_n = L_{\text{общ}} \frac{A_n}{A_{\text{общ}}} . \quad (11.36)$$

По формулам (11.33) и (11.36) определяют количество воздуха, проходящее по любой параллельной ветви воздухопроводов.

На рис. 11.2, в изображена **последовательно-параллельная схема соединения воздухопроводов**, в которой на участке 1 проходит общее количество воздуха, а на параллельных участках 2, 3 и 4 воздух разделяется соответственно по этим ветвям. Общее сопротивление такой сети будет

$$B_{\text{общ}} = B_1 + B_{\text{общ}}^{\text{нар}} , \quad (11.37)$$

где B_1 – аэродинамическое сопротивление участка 1, определяемое по формуле (11.16), кг/м⁷;

$B_{\text{общ}}^{\text{нар}}$ – общее аэродинамическое сопротивление параллельных ветвей 2, 3 и 4, определяемое по формуле (11.30).

В виде эквивалентного отверстия это сопротивление можно найти из уравнения

$$\frac{1}{A_{\text{общ}}^2} = \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{(A_2 + A_3 + A_4)^2} , \quad (11.38)$$

где A_1 – эквивалентное отверстие участка 1, определяемое по формуле (11.23), м²;

A_2, A_3 и A_4 – соответственно эквивалентные отверстия параллельных ветвей 2, 3 и 4; определяемые также по формуле (11.23), м²;

$A_2 + A_3 + A_4$ – общее эквивалентное отверстие параллельных ветвей, м².

На рис. 11.2, г и д показаны **фланговая и центральная сложнопараллельные схемы соединения воздухопроводов**. При фланговой схеме вентиляционная сеть обладает значительно большим аэродинамическим сопротивлением, чем при центральной схеме, так как последняя состоит не из одной, а двух ветвей, АВ и CD, соединенных параллельно.

11.4. Аэродинамический расчет механических систем вентиляции

После расчета воздухообмена и проектирования сети воздухопроводов вычерчивают аксонометрическую схему системы вентиляции. На схеме выделяют фасонные части воздухопроводов, нумеруют расчетные участки, определяют их длины и количества проходящего воздуха, а также наносят вентиляционное оборудование (фильтры, калориферы, установки для очистки воздуха и др.). За расчетный участок принимают отрезок

воздуховода, имеющий одинаковое поперечное сечение и постоянный расход воздуха. Обычно между соседними участками расположены тройники. Затем выбирают основное расчетное направление (магистральное), состоящее из последовательно соединенных участков от вентилятора и до наиболее удаленного ответвления (например, магистральное направление из участков 1, 2, 3 и 4 на схеме рис. 11.3, а).

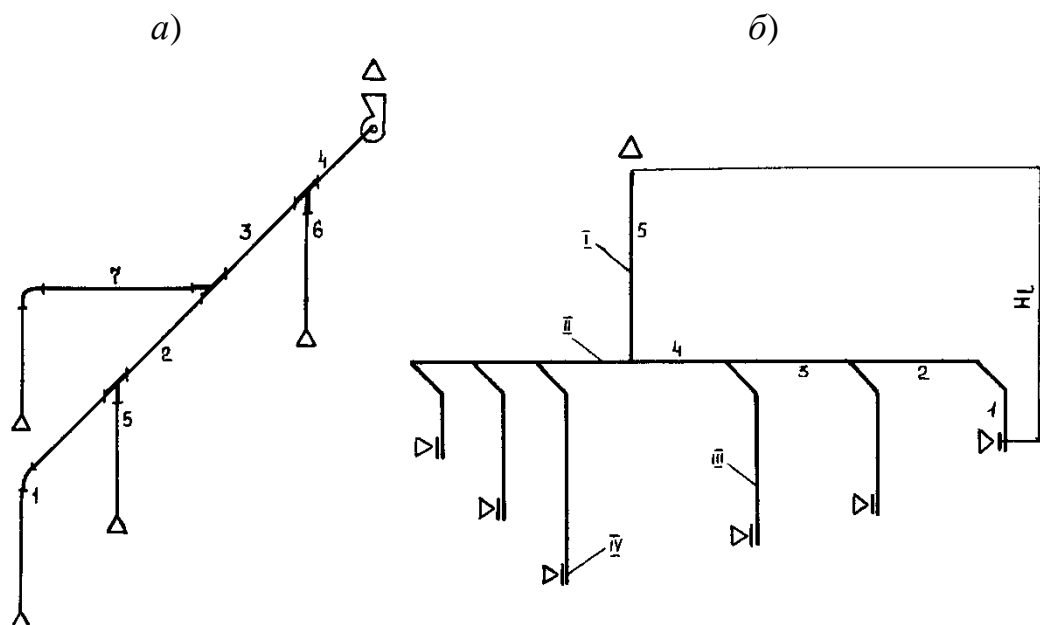


Рисунок 11.3 – Схемы сетей вентиляции с разбивкой на сети на расчетные участки:

а – механическая вытяжка; б – естественная вытяжка; I – вытяжная шахта; II – утепленный сборный короб; III – вентиляционный канал; IV – регулируемая решетка.

Для участков этого направления находят площади поперечных сечений по формуле (м²)

$$f_p = \frac{L_p}{v_m}, \quad (11.39)$$

где L_p – расчетный расход воздуха на участке, м³/с;

v_m – оптимальная скорость движения воздуха на участке, м/с, которую принимают из табл. 2.

Меньшую скорость принимают на самых удаленных от вентилятора участках и постепенно увеличивают ее на участках с возрастающим расходом. По найденной величине f_p подбирают ближайший стандартный диаметр или размеры сечения воздуховода. Для прямоугольного воздуховода подсчитывают эквивалентный диаметр по формуле (11.6). По принятым стандартным размерам сечений вычисляют площади поперечного сечения, после чего определяют фактические скорости на расчетных участках по формуле (м/с)

$$v_{\phi} = \frac{L_p}{f_{cm}}, \quad (11.40)$$

где f_{cm} – площадь сечения воздуховода, подсчитанная по стандартным его размерам, м².

Таблица 11.2. Допустимые скорости движения воздуха в вентиляционных системах (м/с)

Наименование	При естественном побуждении	При механическом побуждении	
		вспомогательные здания	промышленные здания
Приточные шахты	1-2	2-6	4-6
Вытяжные шахты	1,5-2	3-6	5-8
Воздуховоды и сборные каналы	1-1,5	5-8	6-10
Вертикальные каналы	1-1,5	2-5	5-8
Жалюзи воздухозабора	0,5-1	2-4	4-6
Приточные решетки у потолка	0,5-1	0,5-1	1-2,5
Вытяжные решетки	0,5-1	1-2	1-3

По полученной величине v_{ϕ} вычисляют динамическое давление на участке по формуле (11.1). Далее с помощью номограмм или таблиц находят удельную потерю давления R и по формуле (11.5) подсчитывают потерю давления на трение на расчетном участке. Кроме того, определяют потерю давления в местных сопротивлениях на участках по формуле (11.9). Значения коэффициентов местных сопротивлений берут из таблиц. Затем находят общую потерю давления на участках по формуле (11.10). Тогда потеря давления во всей вентиляционной системе будет равна сумме потерь давления в последовательно расположенных участках магистрального направления и вентиляционном оборудовании, т.е. (Па)

$$\Delta p_{полн} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \dots + \Delta p_n + \sum \Delta p_{об}, \quad (11.41)$$

где $\Delta p_1, \Delta p_2, \Delta p_3, \dots, \Delta p_n$ – потери давления в участках магистрального направления, Па;

$\Delta p_{об}$ – потеря давления в оборудовании и вентиляционных устройствах, Па.

По величине полных потерь давления $\Delta p_{полн}$ и расхода воздуха в системе L_c осуществляют подбор вентилятора.

После завершения первой стадии расчета и подбора вентилятора делают увязку всех остальных участков вентиляционной сети. Увязку начинают с самых дальних от

вентилятора участков-ответвлений (рис. 11.3, а). При этом потеря давления от точки разветвления до конца ответвления должна быть равна потере давления от этой же точки до конца магистрального направления, т.е.

$$\Delta p_5 = \Delta p_1; \quad \Delta p_6 = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3; \quad \Delta p_7 = \Delta p_1 + \Delta p_2. \quad (11.42)$$

Следует помнить, что нельзя складывать потери давления на параллельных участках.

Для соблюдения равенств (1.42) подбирают требующиеся стандартные размеры поперечного сечения участков ответвлений 6, 5 и 7. Невязка в потерях давления в ответвлении и параллельных ветвях магистрали

$$\delta = \frac{\Delta p_{отв} - \Delta p_{нар.маг}}{\Delta p_{нар.маг}} \cdot 100 \quad \% \quad (11.43)$$

не должна превышать $\pm 15 \%$.

11.5. Аэродинамический расчет систем вентиляции с естественным побуждением воздуха

Чаще всего такие системы применяют в жилых, общественных и вспомогательных промышленных зданиях. Основное расчетное направление должно проходить по наиболее удаленной ветви системы, имеющей наименьшее располагаемое давление, равное (Па)

$$p_{расч} = H_i \cdot (\rho_n - \rho_v) \cdot g, \quad (11.44)$$

где H_i – вертикальное расстояние от центра вытяжной решетки расчетного ответвления до среза вытяжной шахты, м;

ρ_n – плотность наружного воздуха при температуре его $t_n = +5^\circ\text{C}$, кг/м^3 ;

ρ_v – плотность внутреннего воздуха при температуре t_v , кг/м^3 .

На схеме рис. 11.3, б основное расчетное направление включает в себя участки 1, 2, 3, 4 и 5, так как протяженность его наибольшая и наименьшее расстояние H_i . Потери давления по основному расчетному направлению должны быть меньше располагаемого давления на 5-10 %, в противном случае вытяжка воздуха может оказаться меньше расчетной.

Увязку остальных ответвлений с основным направлением проводят с учетом разницы располагаемого давления для отдельных ответвлений. Если система состоит из ответвлений одинакового поперечного сечения, то для увязки их с основным направлением соответственно увеличивают их аэродинамическое сопротивление прикрытием регулируемых решеток или постановкой в ответвлениях диафрагм. Расчет диафрагмы прост и заключается в том, что сначала находят требующийся ее коэффициент местного сопротивления по формуле

$$\zeta = \frac{\Delta p}{P_d}, \quad (11.45)$$

где $\Delta p = \Delta p_{\text{маг}} - \Delta p_{\text{отв}}$ – разность перепадов давлений в параллельных ветвях магистрали и в данном ответвлении, Па;

P_d – динамическое давление в ответвлении. Па.

Затем по найденной величине коэффициента местного сопротивления и размерам поперечного сечения ответвления с помощью таблиц определяют необходимые размеры отверстия диафрагмы.

ТЕМА 12 ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА

В атмосферном воздухе, а также в воздухе помещений всегда содержится пыль.

Характер и количество ее в наружном воздухе зависят от степени благоустройства и расположения населенных пунктов, интенсивности движения транспорта, технологических процессов промышленных предприятий и их выбросов в атмосферу и т. д.

Атмосферный воздух считается чистым, если среднесуточная концентрация пыли в нем (мг/м³) не превышает 0,15, слабо загрязненным — 0,5; сильно загрязненным — 1, чрезмерно загрязненным — 3.

Очистка приточного воздуха необходима во всех случаях, если запыленность наружного воздуха превышает 30 % ПДК пыли, установленной для помещений. Кроме того, приточный воздух необходимо очищать для защиты вентиляционного оборудования (теплообменников, оросительных устройств, автоматики и др.) от запыления.

Воздух помещений промышленных, коммунально-бытовых и других предприятий загрязняется в результате выделения пыли в процессе работы на них. Эта пыль вместе с вентиляционным воздухом загрязняет воздушный бассейн.

В целях защиты окружающей среды нормы ограничивают также допустимое содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу системами вентиляции:

- при объеме выбрасываемого воздуха более 15 тыс. м³/ч

$$c = 100k; \quad (12.1)$$

- при объеме выбрасываемого воздуха до 15 тыс. м³/ч

$$c = (160 - 4V), \quad (12.2)$$

где c — допустимая концентрация пыли, мг/м³; V — объем удаляемого воздуха, тыс. м³/ч; k — коэффициент, зависящий от ПДК пыли:

Таблица 12.1 – Предельно-допустимая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны помещения, мг/м³

ПДК	2 и менее	Более 2 до 4	Более 4 до 6	6 и более
Коэффициент k	1,0	0,3	0,6	0,8

Выбор способа очистки воздуха

Подбор воздушных фильтров включает:

- выбор класса фильтра, его эффективности и марки, в зависимости от назначения здания и производительности приточной установки;
- расчет начального сопротивления и количества уловленной пыли при заданном конечном сопротивлении;

- определение продолжительности работы фильтра без регенерации.

Очистку приточного воздуха от пыли в системах механической вентиляции следует проектировать так, чтобы содержание пыли в подаваемом воздухе не превышало:

- ПДК в атмосферном воздухе населенных пунктов – при подаче его в помещения жилых и общественных зданий;
- 30% ПДК в воздухе рабочей зоны – при подаче его в помещения производственных и административно-бытовых зданий;
- допустимых концентраций по техническим условиям на вентиляционное оборудование и воздуховоды.

Выбор способа очистки воздуха зависит от характера, концентрации и дисперсности пыли (определяется размером ее частиц), а также от технических характеристик обеспыливающих устройств. К числу основных показателей работы обеспыливающих устройств относятся: степень очистки, пропускная способность, пылеёмкость, аэродинамическое сопротивление, расход энергии.

Достижимый конечный результат по очистке воздуха определяется коэффициентом очистки ε :

$$\varepsilon = (G_n - G_k) / G_n; \quad (12.3)$$

где G_n и G_k — концентрация пыли в воздухе соответственно до и после очистки, мг/м³.

Степень очистки (эффективность) фильтра, %, определяется отношением количества уловленной пыли к количеству поступающей:

$$E = ((GH - GK) / GH) * 100 \quad (12.4)$$

Коэффициент очистки воздуха (1, 2, 3, ..., n) последовательно установленных обеспыливающих устройств выражается формулой:

$$\varepsilon = 1 - (1 - \varepsilon_1) * (1 - \varepsilon_2) * (1 - \varepsilon_3) \dots (1 - \varepsilon_n). \quad (12.5)$$

Пропускная способность обеспыливающего устройства характеризуется допустимой удельной воздушной нагрузкой, выражающейся количеством воздуха, которое можно при очистке пропускать через 1 м² его рабочей поверхности или сечения.

Площадь рабочей поверхности или сечения параллельно устанавливаемых обеспыливающих устройств (фильтров) определяется по формуле

$$F\phi = V / V\phi, \quad (12.6)$$

где V — количество воздуха, подлежащее очистке, м³/ч; $V\phi$ — допустимая удельная воздушная нагрузка на обеспыливающее устройство, м³/(ч*м²).

Пылеёмкость определяется по количеству пыли, которое может улавливать устройство за период между чистками.

По степени улавливания пыли различной дисперсности различают грубую, среднюю и тонкую очистку. При грубой очистке улавливается крупная пыль с размером частиц более 100 мкм, при тонкой очистке — менее 10 мкм.

Фильтры грубой очистки применяются при невысоких требованиях к чистоте воздуха. Они предназначены для уменьшения запыленности воздуха, подаваемого в вентилируемые помещения с обычными требованиями, и применяются в случае, если концентрация пыли в районе расположения здания или вблизи места забора воздуха превышает ПДК (предельно допустимые концентрации), установленную санитарными нормами. Такие фильтры применяются для защиты теплообменников, оросительных камер, приборов автоматики и другого оборудования вентиляционных камер от запыления, а также компрессоров и другого оборудования холодильных камер, для сведения к минимуму загрязнения стен и потолков около воздухораспределительных устройств. Фильтры грубой очистки могут применяться в качестве первой ступени очистки перед более эффективными фильтрами.

Фильтры тонкой (средней) очистки применяются для тех же целей, что и фильтры грубой очистки, особенно в случаях большой запыленности воздуха в месте воздухозабора. Но так как они удовлетворяют более жестким требованиям к чистоте воздуха, кроме упомянутых случаев, эти фильтры используются для предохранения ценной внутренней отделки и оборудования вентилируемых зданий от загрязнения отложениями мелкодисперсной пыли, например, в музеях, памятниках архитектуры и т.д. Для продления сроков службы фильтров этого класса их устанавливают в качестве второй ступени после более пылеемких фильтров грубой очистки.

Фильтры особо тонкой очистки предназначены для поддержания в помещениях заданной в соответствии с технологическими требованиями чистоты воздуха и для помещений с высокими требованиями к качеству воздуха: в фармацевтической промышленности, медицинских операционных, в лабораториях электроники, бактериологических исследований, в ядерной и изотопной промышленности, на предприятиях электронной, оптической промышленности.

В зависимости от концентрации и дисперсности пыли для очистки приточного воздуха применяются различного рода фильтры, удерживающие пыль своей пористой средой, для очистки выбросного воздуха — пылеуловители, осаждающие пыль в своем объеме за счет гравитационных, инерционных, центробежных и электрических сил. Для очистки сильно загрязненного воздуха устанавливаются несколько пылеуловителей и фильтров, тонкость очистки воздуха которыми последовательно по ходу его движения возрастает. Такая мера обеспечивает защиту фильтров тонкой очистки от забивания крупной пылью, увеличивает срок их действия и улучшает качество очистки.

В зависимости от размеров улавливаемой пыли воздушные фильтры делятся на классы:

- I класс обеспечивает улавливание пыли любой крупности (их средняя эффективность пылеулавливания по массе пыли $\eta = 99 \%$),
- II класс – крупностью 1-10 мкм (их $\eta = 85 \%$),
- III класс – крупностью 10-50 мкм ($\eta = 60 \%$).

Требуемый уровень запыленности очищаемого воздуха для общественных зданий обеспечивают в основном фильтры III класса. В некоторых случаях при подаче воздуха в здания музеев, картинных галерей и т.п. – фильтры II класса. Для операционных блоков, реанимационных палат больниц необходимы фильтры I класса.

Степень очистки воздуха, подаваемого в промышленные здания, определяется технологическими требованиями.

В качестве фильтровального материала служат:

– в фильтрах грубой очистки – металлизированные сетки, ткани из синтетических волокон;

– в фильтрах тонкой очистки – стеклоткань, иногда со специальной пропиткой, активированный уголь (фильтры с активированным углем и специальной пропиткой применяются для поглощения газов и паров токсичных веществ, которые не улавливаются другими фильтрами);

– в фильтрах особо тонкой очистки – клееное стекловолокно, клееная бумага из субмикронных волокон, различные нетканые материалы.

Замена фильтра или его регенерация осуществляется при превышении допустимой величины его аэродинамического сопротивления.

ТЕМА 13 НАГРЕВАНИЕ ВОЗДУХА. КАЛОРИФЕРЫ

Нагревание воздуха необходимо во всех случаях, когда температура наружного воздуха, подаваемого вентиляционными системами в помещения, меньше требуемой температуры приточного воздуха, т.е. при $t_H < t_n$.

Тепловая обработка наружного воздуха производится в специальных теплообменных аппаратах, устанавливаемых в приточных вентиляционных системах. Аппараты для нагревания воздуха называются *воздухонагревателями (ВН)*.

В системах механической вентиляции нагревание приточного воздуха осуществляется *калориферами*.

13.1. Калориферы

Нагрев воздуха происходит при его контакте с горячими поверхностями трубок калорифера, по которым проходят горячая вода или пар или специальных электронагревателей – ТЭНов. Для увеличения поверхности нагрева на трубки напрессовываются стальные пластины или накатываются алюминиевые ребра.

Классификация:

1. По виду теплоносителя: калориферы водяные, паровые, электрические;
2. Водяные и паровые калориферы подразделяются по виду поверхности: на гладкотрубные и ребристые;
3. По характеру движения теплоносителя: на одноходовые и многоходовые;
4. По количеству рядов труб выпускаемые в настоящее время калориферы делятся на две модели: среднюю (С) с тремя рядами труб и большую (Б) — с четырьмя рядами.

Водяные и паровые калориферы в настоящее время получили преимущественное распространение. Нагревание воздуха происходит в них в основном за счет конвективной передачи теплоты при обтекании воздухом теплопередающей поверхности.

в)

г)

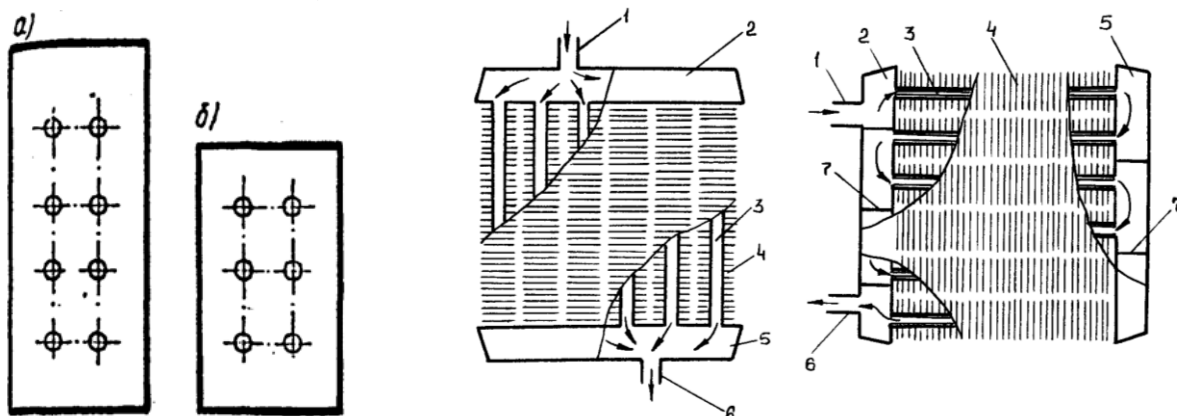


Рисунок 13.1 – Конструкции калориферов: а и б – модели большая (Б) и средняя (С); в – одноходовые для воды и пара; г – многоходовые для воды.

Калориферы водяные и паровые имеют штуцеры 1 и 6 (рис. 13.1), коллекторы 2 и 5 греющей и обратной воды, трубки 3 и пластины 4 на них. Водяные калориферы конструктивно делятся на одно (рис. 13.1, в) и многоходовые (рис. 13.1, г). В первых теплоноситель двигается по всем трубкам 3 сразу в одном направлении, во вторых – зигзагообразным путём. При одних и тех же размерах многоходовые калориферы обладают в 2-5 раз большей теплоотдачей чем одноходовые, и поэтому их применение в приточных вентиляционных системах предпочтительнее, особенно для районов с длительными и холодными зимами. У одноходовых калориферов штуцеры располагаются вертикально -- один вверху, другой внизу; у многоходовых – горизонтально: оба на одной боковой стенке.

Оребрение трубок выполняется стальными пластинами (у пластинчатых калориферов), накаткой рёбер из толстостенной алюминиевой трубы, надеваемой на стальную трубку калорифера (у биметаллических калориферов), навивкой спиралью стальной гофрированной ленты (у спирально-навивных калориферов). Шаг пластины – 5мм, рёбер – 4 мм. Калориферы оборудуются боковыми щитками для их соединения в группы.

В электрических калориферах воздух нагревается при контакте его с алюминиевыми ребрами, накатываемыми на поверхности трубчатых электронагревателей – ТЭНов. Такие калориферы просты конструктивно, в монтаже и в эксплуатации.

Основные технические параметры калориферов: площадь поверхности нагрева F , м², площади живого сечения прохода воздуха $f_{ж}$, м², и теплоносителя $f_{тп}$, м², коэффициент теплопередачи K , кДж/(ч·м²·°С), сопротивления проходу воздуха и теплоносителя по трубкам, масса и габариты; расчётная величина – теплопроизводительность Q_k .

Выбор электрокалориферов производится на основе расчётов электрической мощности, обеспечивающей производство необходимого количества теплоты для нагрева приточного воздуха.

13.2. Воздуонагревательные установки

При больших количествах приточного воздуха или необходимости его нагрева до повышенной температуры может не хватить площади живого сечения и теплоотдачи одного калорифера. Тогда нагревательную установку комплектуют из нескольких калориферов.

Различают соединение по воздуху калориферов в нагревательной установке однорядное (параллельное), многорядное (последовательное) и комбинированное.

При однорядном (параллельном) соединении (рис. 13.2, *а*) калориферы присоединяются друг к другу боковыми стенками. Соединение применяется, если площади живого сечения одного калорифера недостаточно для пропуска всего нагреваемого воздуха, а требуемое приращение его температуры сравнительно невелико.

Многорядное (последовательное) соединение (рис. 13.2, *б*) выполняется постановкой калориферов по воздуху друг за другом. При этом достигается более глубокий нагрев одного и того же количества приточного воздуха.

Комбинированная установка калориферов (рис. 13.2, *в*) применяется при необходимости нагрева повышенных количеств воздуха на более высокую температуру. Она является обычной для больших типовых приточных камер типа ПК с числом рядов калориферов более одного.

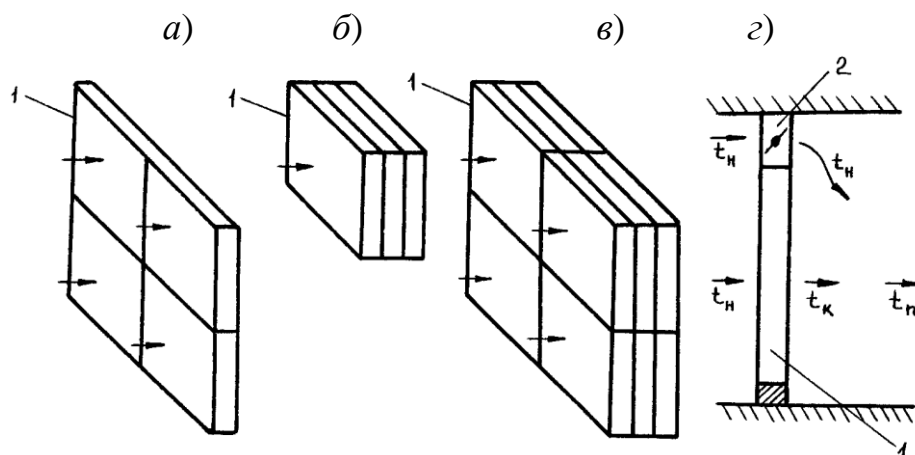


Рисунок 13.2. Соединение калориферов по воздуху в нагревательных установках: *а* – однорядное (параллельное); *б* – многорядное (последовательное); *в* – комбинированное; *г* – схема регулирования температуры нагреваемого воздуха; 1 – калорифер; 2 – обводной клапан.

По теплоносителю воде калориферы соединяются параллельно и последовательно, причём имеются определенные отличия в обвязке между одноходовыми (рис. 13.3, *а, б, д, е*) и многоходовыми (рис. 13.3, *в, г, ж, з*) калориферами. При теплоносителе паре калориферы обвязываются только параллельно с обязательным использованием конденсатоотводчиков сети обратной магистрали.

Параллельная схема обвязки по теплоносителю обеспечивает одинаковую теплоотдачу и наиболее надежную работу каждого калорифера. При **последовательной** – расчётная температура теплоносителя обеспечивается только в первом калорифере, в каждом последующем – она всё ниже. Работа нагревательной установки с такой обвязкой калориферов становится недостаточно надёжной, склонной к замерзанию теплообменников.

Таблица 13.1 – Параметры нагревательных установок с несколькими калориферами

Параметр установки	Соединение калориферов		
	однорядное (параллельное)	многорядное (последовательное)	комбинированное
Общий объём нагреваемого воздуха, м ³ /ч	$L_{общ} = n_k L_k$	$L_{общ} = L_k$	$L_{общ} = n_k L_k$
Общее живое сечение проходу воздуха, м ²	$f_{общ} = n_k f_{ж.д}$	$f_{общ} = f_k$	$f_{общ} = n_k f_{ж.д}$
Общая площадь нагрева, м ²	$F_{общ} = n_k F_k$	$F_{общ} = n_p F_k$	$F_{общ} = n_k n_p F_k$
Общее сопротивление проходу воздуха, Па	$\Delta P_{общ} = \Delta P_k$	$\Delta P_{общ} = n_p \Delta P_k$	$\Delta P_{общ} = n_p \Delta P_k$
Общая теплопроизводительность, кДж/ч	$Q_{общ} = n_k Q_k$	$Q_{общ} = n_p Q_k$	$Q_{общ} = n_k n_p Q_k$

Здесь n_p и n_k – число соответственно рядов калориферов и калориферов в ряду.

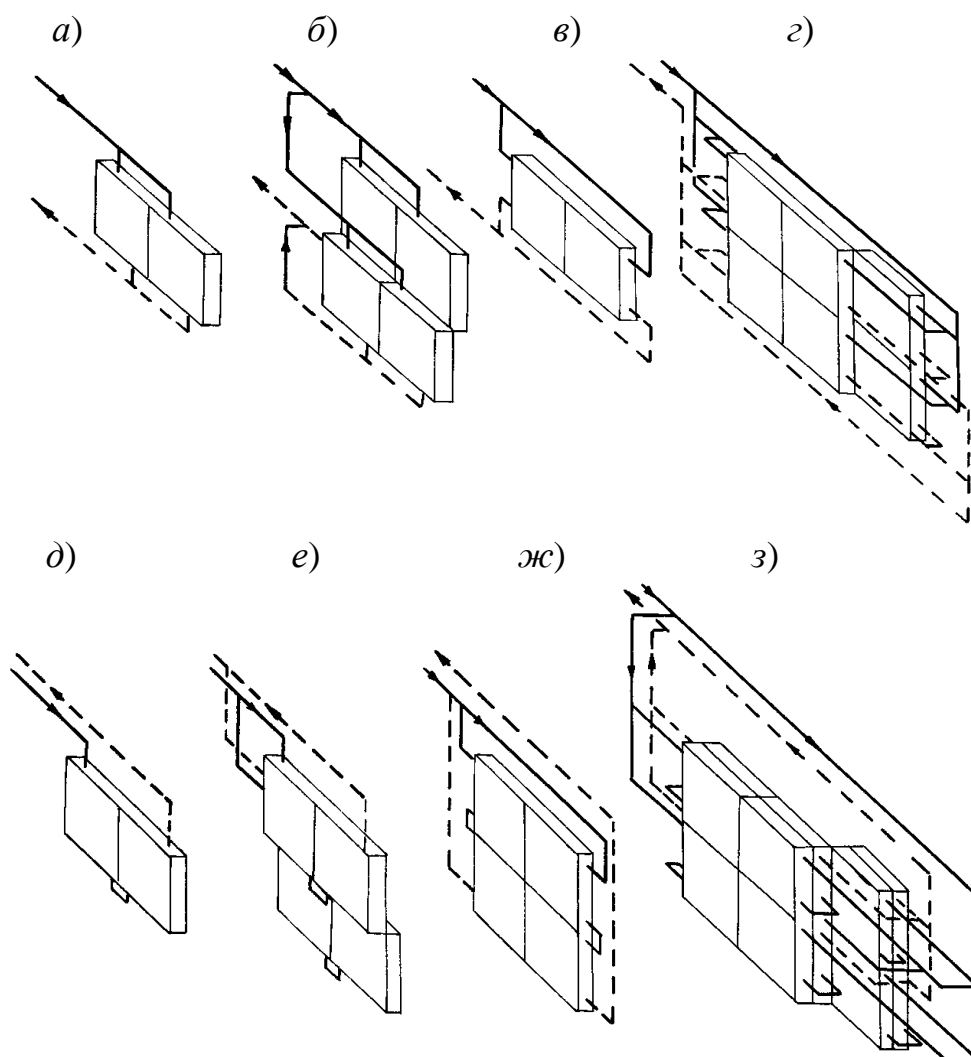


Рисунок 13.3 – Соединение калориферов в нагревательной установке по теплоносителю воде: а, б, в, з – параллельное; д, е, ж, з – последовательное.

Регулирование температуры приточного воздуха в нагревательных установках осуществляется путем изменения расхода воздуха, проходящего через калорифер с помощью обводных клапанов (рис. 13.2, з) при теплоносителях паре и воде или температурой теплоносителя (при воде).

13.3. Совмещение приточной вентиляции и воздушного отопления

Часть теплоты, необходимой для отопления производственных помещений, целесообразно подавать с приточным воздухом, используя все элементы приточных систем: калориферы, вентиляторы и воздуховоды. Такая система отопления имеет ряд существенных достоинств: возможность отключения в нерабочие смены; малая тепловая инерция, обеспечивающая быстрый прогрев помещения струями приточного воздуха; возможность создания локальных зон с различными температурами воздуха и оперативного управления местами, размерами и температурой зон; снижение металлоёмкости системы отопления. Основной недостаток – сдув пыли с технологического оборудования и строительных конструкций и взмётывание её в воздух помещения.

Различают централизованные и децентрализованные системы воздушного отопления.

Централизованные – это системы воздушного отопления, совмещённые с системами приточной вентиляции. Децентрализованные – системы, использующие для нагревания воздуха специальные воздушно-отопительные агрегаты:

а) большой производительности с сосредоточенной подачей воздуха (для помещений большого объёма);

б) небольшой производительности с рассредоточенной подачей воздуха.

Системы воздушного отопления делятся на рециркуляционные, с частичной рециркуляцией и прямоточные (только на наружном воздухе).

Рециркуляционные системы разрешены в помещениях без выделения в воздух вредных веществ, с частичной рециркуляцией – в случаях, когда количество приточного воздуха, предназначенного для поглощения теплоизбытков, больше объёма вытяжки местных отсосов. Прямоточные системы необходимы, если во внутреннем воздухе имеются болезнетворные грибки, вирусы, бактерии, неприятные запахи или выделяются вредные вещества первого, второго и третьего классов опасности.

При воздушном отоплении приточный воздух нагревается до такой температуры, чтобы при попадании его в рабочую зону, температура струи воздуха соответствовала допустимым нормам. Чтобы не допустить перегрева в рабочей зоне, тёплый воздух системы воздушного отопления распределяют с учётом следующих рекомендаций: если высота помещения $H_n < 8$ м, целесообразно применять настилающиеся струи и выпускать их на высоте $h = 0,85H_n$; если $H_n \geq 8$ м, то следует принимать ненастилающиеся струи и $h = (0,35 \div 0,65)H_n$; минимальное расстояние от выпуска до рабочей зоны должно быть $0,3\sqrt{F_n}$, а до препятствия $> 2H_n$ (здесь F_n – площадь сечения помещения, приходящаяся на одну струю). Воздух для рециркуляционной системы воздушного отопления должен забираться преимущественно из рабочей зоны.

Направление приточных струй следует принимать таким, чтобы они охватывали все зоны помещения и создавали достаточно равномерный фон температуры в рабочей зоне, расчёт которой производят по зависимостям свободных турбулентных струй.

Для нагрева воздуха в системах воздушного отопления применяются отопительные агрегаты. Воздушно-отопительные агрегаты могут заменять приточные камеры, работая на наружном воздухе, и только догревать внутренний воздух. Они монтируются в стенных проёмах, на стенах и колоннах, места их расположения и направление создаваемых ими приточных струй принимаются такими, чтобы получить максимальный объём нагреваемого пространства и равномерность прогрева рабочей зоны.

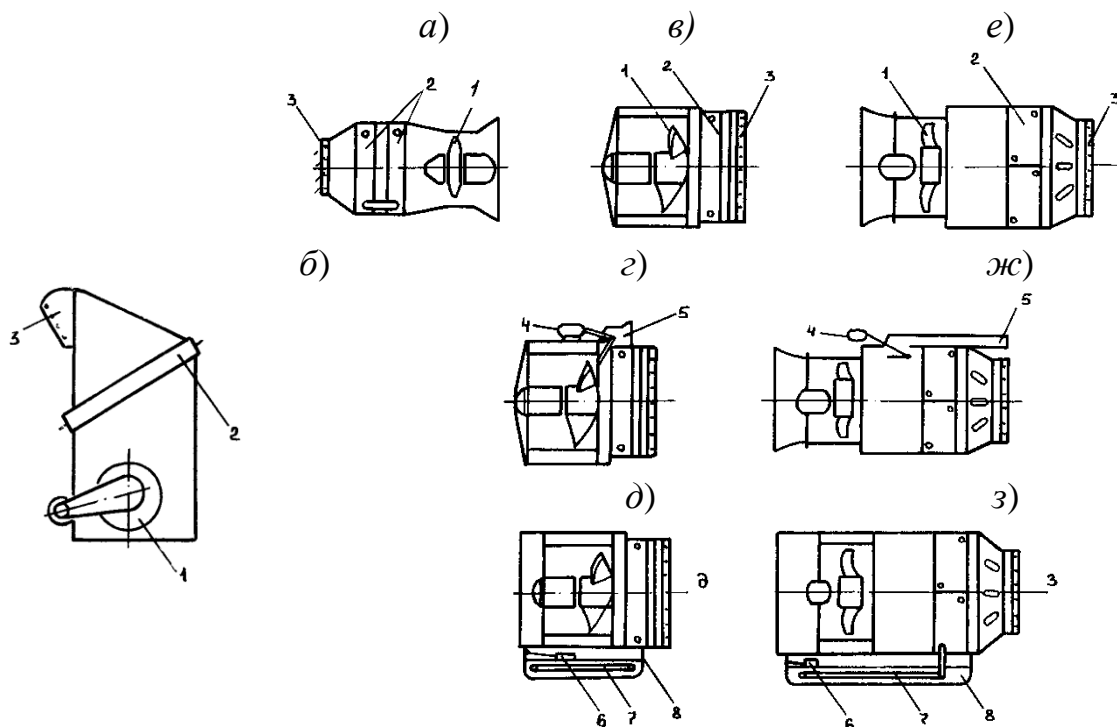


Рисунок 13.4 – Воздушно-отопительные агрегаты: *а* – СТД-100; *б* – СТД-300М; *в* – АО2, *г* – АОД2, *д* – АОУ2 (№№ 4; 6,3; 10); *е* – АО2, *ж* – АОД2, *з* – АОУ2 (№№ 20; 25); 1 – вентилятор; 2 – воздухонагреватель; 3 – жалюзи; 4 – исполнительный механизм; 5 – обводной канал; 6 – шаровой клапан; 7 – водонагреватель; 8 – ванна.

ТЕМА 14 ЗАЩИТА ОТ ШУМА

14.1. Звук

Раньше всего было замечено, что звуки порождаются телами, вибрирующими в воздухе. Аристотель полагал, что звучащие тела создают попеременное сжатие и разряжение воздуха.

Если тело, звучащее в воздухе поместить в безвоздушное пространство, оно перестанет звучать.

Рассмотрим, что происходит, когда находящееся в воздухе тело совершает колебания. Когда тело отклоняется из положения равновесия, оно с одной стороны сжимает прилежащий к нему слой воздуха, а с другой стороны разряжает. При сжатии воздуха, как обнаружил Бойль, его упругость увеличивается, а следовательно увеличивается и давление.

Таким образом, при движении колеблющегося тела давление воздуха становится чуть больше атмосферного с той стороны, в которую тело движется. И на столько же меньше с противоположной стороны.

Достигнув наибольшего отклонения, тело возвращается к положению равновесия и, пройдя его создает теперь сжатие в том месте где было разряжение, и разряжение там где было сжатие. Таким образом, сжатия воздуха сменяется разряжениями через промежуток времени, равный периоду колебаний. Чередующиеся сжатия и разряжения благодаря упругости воздуха передаются от слоя к слою, распространяясь во все стороны. И так происходит до тех пор, пока не прекратится колебание тел.

Распространение сжатий и разряжений от слоя называют упругой волной в воздухе. Когда распространяется упругая волна, то в каждой точке объема, которой она достигает, происходит периодическое изменение величины атмосферного давления. Давление, избыточное над атмосферным, называют акустическим. Частота колебаний величины атмосферного давления зависит от частоты колебаний тела, которое порождает упругую волну.

Восприятие изменений акустического давления нашим ухом происходит только тогда, когда частота этих изменений достигает 16-20 Гц и не превышает 16000-20000 Гц.

Упругие волны, частота которых находится в этих пределах, называют звуковыми волнами или просто звуком.

Расстояние между двумя ближайшими слоями воздуха, где одновременно наступает сжатие или разряжение, называют длиной звуковой волны.

Звук может распространяться не только в воздухе, но и в других средах. Длина звуковой волны зависит от скорости распространения звука в этой среде. А скорость звука определяется физическими свойствами среды: плотностью и упругостью.

В воздухе при температуре 0°C и $P_{\text{норм}}$. Звук распространяется со скоростью 332 м/с, в морской воде 332 м/с, а в твердых телах 5000 м/с.

14.2. Физические показатели оценки шума

Звуковолновое колебание упругой среды, создающее в ней дополнительное переменное давление. Для характеристики звука используют физические и физиологические показатели.

Физические показатели

а) частота колебаний-одна из основных характеристик звука. Это число полных колебаний в секунду, Гц.

$$f = 1/T \quad (14.1)$$

1Гц - одно колебание в секунду;

T - время одного полного колебания.

б) длина волны звука в м., на которое звук распространяется за один период колебания, м:

$$\lambda = c \times T = c / f \quad (14.2)$$

где c - скорость распространения звука в среде м/с (скорость зависит от температуры среды):

$$\text{при } t = 0^{\circ} \quad c = 332 \text{ м/с}$$

$$\text{при } t = 20^{\circ} \quad c = 340 \text{ м/с}$$

$$\lambda = 17 \div 0,017 \text{ м}$$

По форме кривой, отражающей графически распространение звука различают чистые звуки, у которых кривая близка к синусоиде; звуки музыкальные, у которых наблюдается повтор некоторого числа кривых с определенной периодичностью; звуки, у которых кривая имеет неопределенную форму (очень сложную) это шумы.

Слышимый диапазон находится в пределах 16-16000 Гц, тогда соответствующие длины волн будут:

$$\begin{aligned} \lambda &= c \times T = c / f \\ \lambda_1 &= 340 / 16 = 21,3 \text{ м} \\ \lambda_2 &= 340 / 16000 = 0,0213 \text{ м} \end{aligned} \quad (14.3)$$

т.е. эти длины волн соизмеримы с размерами предметов, окружающих человека и являющихся препятствием для распространения звука. Отсюда закон дифракции звука. Т.е. если звуковая волна встречает на своем пути стенку с отверстием, то она становится источником звука, и звук становится слышимым даже через стенку из звукопоглощающего материала, но имеющего отверстие.

14.3. Особенности физиологического воздействия звука

Шум может вызвать у человека раздражение, привести к потере слуха, мешать общению людей. Кроме того он может препятствовать выполнению человеком его обязанностей и вызвать изменения в функциях организма. Наши знания о вредных воздействиях шума на человека, на производительность и качество его труда на функции его органов ещё недостаточно.

Громкость звука можно выразить либо как «громкость» в сонах (son), либо как «уровень громкости» в фонах (phone). Громкость измеряется по шкале, разработанной с целью дать значения, пропорциональные громкости звука, и единицей измерения является «сон».

Один сон - это громкость, ощущаемая типичным слушателем при подаче чистого тона частотой 1000 Гц, имеющего уровень звукового давления 40 Дб. Звук, имеющий громкость 2 сона, типичным слушателем воспринимается как вдвое более громкий, чем звук в 1 сон.

Уровень громкости звука определяют как численное значение уровня звукового давления чистого тона частотой 1000 Гц, равного данному звуку. Другими словами, уровень громкости чистого тона громкости чистого тона частотой 1000 Гц в фонах численно его уровню звукового давления.

Уровень громкости других чистых тонов, имеющих данный уровень звукового давления, можно легко найти с помощью кривых равной громкости.

Эти кривые равной громкости были построены по результатам большого числа исследований людей с нормальным слухом. Эти кривые показывают, что чувствительность уха зависит от частоты звука и уровня звукового давления.

Интенсивность звука воспринимаемого человеком находится в пределах от 10^{-12} до 10 Вт/м².

Нижний предел соответствует порогу слышимости, верхний болевому порогу. Отношение верхнего к нижнему пределу равно 10^{13} , т.е. десяти триллионам. При столь громадном диапазоне слышимости графическое изображение хотя бы части этого диапазона невозможно. Вот почему в акустических расчетах применяют логарифмические зависимости. Оценка нижнего порога слышимости: с помощью источника энергии 4 Дж можно произвести звук с интенсивностью нижнего порога при частоте 1000 Гц в течение 10 000 лет.

Единица измерения Дб является не абсолютной величиной измерения, а производной от логарифмической функции отношения двух величин одна из которых берется в качестве базовой.

14.4. Источник возникновения шума в системах вентиляции

Пульсации скорости и колебания давления в потоке воздуха, протекающего через вентилятор является причиной возникновения аэродинамического шума.

Кроме того, при работе вентилятора возникает механический шум.

Общий уровень звуковой мощности аэродинамического шума вентилятора определяют отдельно для стороны всасывания и нагнетания:

$$Z_{N.общ} = \bar{Z} + 20 \times \lg P + 10 \times \lg Q + \delta \quad (14.4)$$

$Z_{N.общ}$ - общий уровень звуковой мощности шума вентилятора в Дб;

\bar{Z} - критерий шумности, зависящий от типа и конструкции вентилятора в Дб;

P - полное давление создаваемое вентилятором в Па;

Q - производительность вентилятора в м³/с;

δ - поправка на режим работы.

14.5. Нормирование шумов

Шумы нормируют исходя из допустимого воздействия их на организм человека.

Допустимые уровни звукового давления на постоянных рабочих местах в производственных помещениях, в жилых и общественных зданиях, а также на территории жилой застройки шумов нормируются в 8 октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000.

Для ориентировочной оценки шума допускается пользоваться общим уровнем шума измеренным по шкале «А» шумомера. Общий уровень шума именуется «уровнем звука», d, Дб.

При нормировании допустимого уровня звукового давления учитывается физиологическое воздействие на человека звуков различной частоты.

Поэтому допустимые уровни звуковых давлений в различных октавных полосах различны. Например, для помещений конструкторских бюро допустимый уровень звукового давления в октавной полосе среднегеометрических частот:

$$63 \quad L_p^o = 66 \text{ Дб};$$

$$125 \quad L_p^o = 56 \text{ Дб};$$

$$250 \quad L_p^o = 49 \text{ Дб};$$

$$500 \quad L_p^o = 44 \text{ Дб};$$

$$1000 \quad L_p^o = 40 \text{ Дб};$$

14.6. Акустический расчет

Акустический расчет проводят для каждой из 8 октавных полос слухового диапазона со среднегеометрическими частотами 63...8000 Гц.

Для центральных систем вентиляции и кондиционирования воздуха с разветвленными сетями воздуховодов допускается осуществлять акустический расчет только для частот 125 и 250 Гц. Все расчеты выполняются с точностью до 0,5 Гц и округлением конечного результата до целого числа децибел.

14.6.1. Общий уровень звуковой мощности шума

Общий уровень звуковой мощности шума вентилятора $L_{N.общ}$:

$$L_{N.общ} = \bar{L} + 20 \lg P + 10 \times \lg Q + \delta \quad (14.5)$$

L - критерий шумности вентилятора в Дб.

P - полное давление создаваемое вентилятором в Па;

Q - производительность вентилятора в м³/с;

δ - поправка на режим работы.

Полученная по формуле звуковая мощность излучается открытым входным, либо выходным отверстием вентилятора в одну сторону при наличии плавного подвода воздуха отверстию вентилятора.

При плавном подводе или при установке дроссель-клапана во входном патрубке к величинам критериев шумности следует добавить для осевых 8 Дб, для центробежных – 4 Дб.

14.6.2. Октавные уровни звуковой мощности

Октавные уровни звуковой мощности шума вентилятора на входе и выходе определяют по формуле:

$$L_{N.окт} = L_{N.общ} - \Delta L_1 + \Delta L_2; \quad (14.6)$$

ΔL_1 - поправка на распределение звуковой мощности вентилятора по октавным полосам, Дб (зависит от типа вентилятора).

ΔL_2 - поправка, учитывающая влияние присоединения вентилятора к воздуховодам. При отсутствии воздуховодов следует принимать $\Delta L_2 = 0$.

14.7. Расчет снижения уровня звуковой мощности

Рекомендуется для снижения уровня звуковой мощности, генерируемой в воздуховодах, принимать следующие максимальные скорости движения воздуха:

- в магистральных воздуховодах общественных зданий 5-6 м/с;
- в ответвлениях 2-4 м/с.

Для промышленных зданий эти скорости можно удвоить.

Для систем вентиляции с разветвленной сетью воздуховодов акустический расчет делают только для ветви к ближайшему помещению.

Октавные уровни звукового давления, создаваемые в расчетной точке определяют по формуле:

$$L = L_{N.окт} - \Delta L_{N.сети} + 10 \times \lg \left(\sum \Phi_i \times \chi / (S_i \times n)^{4 \times \psi / B} \right); \quad (14.7)$$

n - общее число В.Р.

$\Delta L_{N.сети}$ - суммарное снижение октавного уровня звуковой мощности в Дб в элементах сети по пути распространения шума до выхода в помещение;

Φ_i - фактор направленности при излучении шума;

S_i - площадь $6m^2$ воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей источник и проходящей через расчетную точку.

$S = 4 \times \pi \times r^2$ - в пространстве; $S = 2 \times \pi \times r^2$ - на гладкой стене; $S = \pi \times r^2$ - в углу из 2-х поверхностей; $S = \frac{(\pi \times r^2)}{2}$ - в углу из 3-х поверхностей.

B - постоянная помещения, равная $B = B_{1000} \times \mu$

μ - частотный множитель;

χ - коэффициент, учитывающий влияние ближнего акустического поля и принимаемый в зависимости от отношения расстояния r в м между акустическим центром источника и расчетной точкой к максимальным габаритным размерам l_{\max} в м источника шума по графику.

ψ ($0 < \psi < 1$) - коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении, принимаемый по опытным данным или по графику;

r - число ближайших к расчетной точке следует включать В.Р., расположенные на расстоянии $r \leq 5r_0$, где r_0 – минимальное из указанных расстояний.

Если точки выбраны в отраженном звуковом поле, октавные уровни звукового давления следует определять по формуле:

$$L = L_N - \Delta L_{N.cemu} - 10 \times \lg B + 10 \times \lg \psi + 6; \quad (14.8)$$

Суммарное снижение уровней звуковой мощности $\Delta L_{N.cemu}$ в Дб по пути распространения шума следует определять последовательность для каждого элемента сети воздуховодов и затем суммировать по формуле:

$$\Delta L_{N.cemu} = \sum_{i=1}^n \Delta L_{N.i} \quad (14.9)$$

$\Delta L_{N.i}$ - снижение октавных уровней звуковой мощности в отдельных элементах воздуховодов. Снижение октавных уровней звуковой мощности ΔL_N в Дб на 1м длины в прямых участках металлических воздуховодов.

Также учитываются снижения фактических уровней звуковой мощности в плавных поворотах при изменении поперечного сечения в разветвлениях.

14.8. Мероприятия по снижению шума в установках вентиляции и кондиционирования воздуха

Для снижения шума и вибрации, создаваемых вентиляторной установкой, рекомендуется:

- применять акустически более совершенные вентиляторы (радиальные с лопатками, загнутыми назад);
- работу вентиляторов отстраивать на максимальный коэффициент полезного действия, и, во всяком случае, он должен быть $\eta \geq 0,9\eta_{\max}$;

- ограничивать окружную скорость рабочего колеса вентилятора (в жилых, административных и бытовых зданиях не более 35 м/с для осевых и 25-30 м/с для центробежных вентиляторов, в промышленных зданиях соответственно 45 и 35-40 м/с);
- применять клиноременную передачу или соединение посредством эластичных муфт;
- следить за исправностью подшипников и не допускать ослабленности болтовых соединений;
- тщательно балансировать рабочее колесо вентилятора, входное отверстие его делать плавным;
- не превышать допустимых скоростей движения воздуха по воздуховодам и в решетках;
- вентиляторный агрегат устанавливать на виброизолирующем основании;
- с обеих сторон вентилятора соединение с воздуховодом производить при помощи мягких вставок из листовой резины, просмоленного брезента или прорезиненной ткани;
- размещать вентиляторную установку в звукоизолирующей камере, облицованной внутри звукопоглощающим материалом;
- облицовывать внутренние поверхности воздуховодов звукопоглощающим материалом или на наружную поверхность их накладывать слой стекловолокна, минерального войлока и т.п.;
- металлические поверхности покрывать вибродемпфирующей мастикой (смесь синтетических смол и наполнителя);
- между вентилятором и ближайшим помещением в воздуховоде устанавливать шумоглушители.

В шумоглушителе звуковая волна многократно отражается поверхностью его стенок и в значительной степени ослабляется. Существуют шумоглушители трубчатые, сотовые, пластинчатые и камерные (рис. 14.1).

Трубчатый шумоглушитель представляет собой секции перфорированных воздуховодов, облицованных по внешнему периметру звукопоглощающим материалом. Размеры поперечного сечения его принимаются не более 500×500 мм.

Сотовый и **пластинчатый** шумоглушители выполняются соответственно в виде отдельных ячеек или пластин, равномерно размещенных в поперечном сечении

секции глушителя параллельно направлению движения воздуха. Площадь сечения этих глушителей в пределах от 0,5 до 4 м².

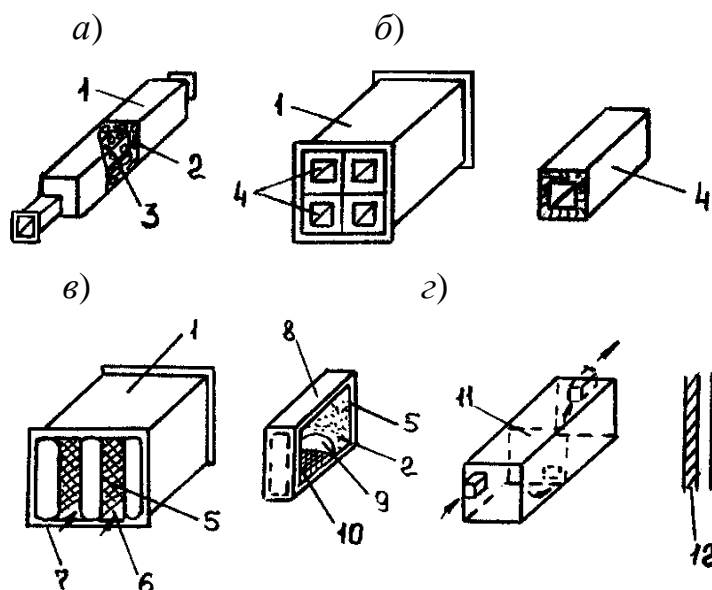


Рисунок 14.1 – Конструкции шумоглушителей: *а* – трубчатого; *б* – сотового; *в* – пластинчатого; *г* – камерного; 1 – кожух; 2 – звукопоглощающий материал; 3 – перфорированный воздуховод; 4 – звукопоглощающая ячейка; 5 – звукопоглощающие пластины; 6 – каналы для воздуха; 7 – обтекатели; 8 – каркас пластины; 9 – ткань; 10 – сетка; 11 – камера; 12 – звукопоглощающая облицовка.

Камерный шумоглушитель выполняется в виде нескольких последовательно соединенных камер, внутри облицованных материалом с большим коэффициентом звукопоглощения. Применяется при относительно небольших расходах воздуха.

В шумоглушителях для приточных систем вентиляции звукопоглощающим материалом служат мягкие маты из супертонкого стекловолокна (СТВ), а для вытяжных систем – более дешевые материалы: плиты из стекловолокна и минераловатные плиты.

В **трубчатых** и **сотовых** шумоглушителях толщина звукопоглощающего слоя равна 100 мм. В пластинчатых толщина крайних звукопоглощающих пластин принимается 100 или 200 мм, а толщина средних – в 2 раза большей. Пластинчатые шумоглушители изготавливаются одно-, двух- и трехканальными с различными размерами проходного сечения.

Акустический расчет вентиляционных систем достаточно проводить для двух характерных для них октавных полос с частотами 125 и 250 Гц.

Пластинчатый шумоглушитель представляет собой короб из тонкого металлического листа, проходное сечение которой разделено пластинами или ячейками, облицованными звукопоглощающим материалом.

Звукопоглощающие материалы (минеральная вата, войлок из органических волокон, стекловолокно и пр.) различной толщины имеют противоабразивную обработку для снижения потерь напора из-за трения, также они могут иметь покрытие из синтетического очень легкого материала, например, пластика. Ячейки могут располагаться между двумя слоями металлического перфорированного листа. Расстояние между ячейками колеблется от 75 до 300 мм, в зависимости от размеров шумоглушителя. При равенстве сечений на входе и выходе, увеличение количества ячеек приводит к снижению шума, но в то же время, соответственно, увеличивает потери давления.

Трубчатый шумоглушитель выполняется в виде двух круглых или прямоугольных труб, вставленных одна в другую. Пространство между наружной (гладкой) и внутренней (перфорированной) трубой заполнено звукопоглощающим материалом, например, стекловолокном, покрытым тонким слоем пластика. Размеры внутренней трубы совпадают с размерами воздуховода, на котором устанавливается шумоглушитель.

Трубчатые шумоглушители применяют на воздуховодах диаметром до 500 мм.

Величина понижения шума в шумоглушителе, при равных показателях скорости воздуха, зависит, главным образом, от толщины и местоположения звукопоглощающих слоев, а также длины самого шумоглушителя, имеющего, как правило, стандартную длину 600, 900 и 1200 мм. Шумоглушители эффективны в основном для погашения шума в диапазоне частот от 500 до 4000 Гц. При более низких частотах их эффективность намного ниже.

Допускаемая по условиям шумообразования скорость воздуха в шумоглушителе составляет 4-12 м/с.

Шумоглушитель может быть элементом как приточных, так и вытяжных систем. Чаще всего его устанавливают между вентилятором и магистральным воздуховодом. Если транзитные воздуховоды пересекают помещение с высоким уровнем шума, то шумоглушитель монтируют на участке вентиляционной системы за этим помещением. Для исключения распространения шума по воздуховодам из помещения в помещение и при повышенных требованиях к звукоизоляции отдельных помещений шумоглушители целесообразно устанавливать непосредственно перед воздухораспределителем или сразу за решеткой вытяжной вентиляционной системы. При устройстве воздухозаборов в приточной системе вблизи оконных проемов приходится ставить шумоглушитель сразу за воздухоприемным клапаном для снижения шума, выходящего наружу из воздухозаборной решетки.

Шумоглушители применяются и в вытяжных системах с механическим побуждением движения воздуха (с вентиляторами) не только для защиты от шума обслуживаемых помещений, но и для снижения уровня шума, поступающего от вентиляторов наружу. В этом случае в вытяжной системе ставят два шумоглушителя – до и после вентилятора.

Необходимость установки шумоглушителя в вентиляционной системе должна быть подтверждена специальным акустическим расчетом. Первоначально определяется допустимый уровень звукового давления в помещении, ближайшем к вентиляционной установке, с учетом уровня как собственного (внутреннего) шума в помещении, так и шума от городского транспорта. Устанавливается уровень звуковой мощности вентилятора (он определяется типом вентилятора, расчетными расходом и давлением, отношением фактического КПД к максимальному). Затем специальным расчетом находится снижение шума по длине отдельных участков системы и в местных сопротивлениях до воздухораспределителя или вытяжной решетки. Если полученный остаточный уровень звуковой мощности выше допустимого на выходе (входе) из воздухораспределителя, то необходима установка шумоглушителя, поглощающего излишний уровень звукового давления.

ТЕМА 15 ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

15.1. Виды испытаний вентиляционных систем

Испытания и наладка систем вентиляции и воздушного отопления производятся перед сдачей их в эксплуатацию, а также периодически в процессе эксплуатации. Испытания должны выявить фактический режим работы систем и их оборудования, а наладка — обеспечить требуемую эффективность работы по поддержанию в помещении заданных параметров воздушной среды. В процессе наладки производится регулирование работы оборудования в соответствии с проектными (паспортными) характеристиками.

Различают **технические испытания** и **испытания на эффективность** (санитарно-гигиенические).

Технические испытания проводятся с целью проверки соответствия фактического режима работы системы расчетному и получения технических характеристик системы, необходимых для составления паспорта.

При технических испытаниях проверке подлежат:

1. производительность, развиваемое давление и число оборотов рабочих колес вентиляторов, а также степень бесшумности их работы;
2. фактическое распределение воздуха по всем участкам вентиляционной сети; герметичность воздуховодов;
3. расход воздуха через вентиляционные отверстия;
4. теплопроизводительность калориферов и холодопроизводительность воздухоохладителей;
5. температура приточного воздуха;
6. расход и температура воды;
7. количество испаряющейся и конденсирующейся влаги в увлажнителях и осушающих устройствах;
8. степень очистки воздуха в воздухоочистных устройствах и их сопротивление; потребляемая мощность;
9. число оборотов колес вентиляторов;
10. исправность электродвигателей и другого электрического оборудования.

Измеренные значения указанных величин должны соответствовать проектным данным. Допустимые отклонения не должны превышать:

- по объему воздуха, проходящего через головные участки воздуховодов общеобменных установок, — $\pm 10\%$;
- по объему воздуха, проходящего через приточные и вытяжные отверстия общеобменных установок, — $\pm 20\%$;

- по объему воздуха, проходящего через головные участки воздуховодов местных установок, а также удаляемого местными отсосами, — + 10 %;
- по температуре приточного воздуха — $\pm 2^\circ$.

После завершения монтажа систем проводятся **предпусковые технические испытания** для выявления фактических параметров работы вентиляционных установок. Путем наладки и регулирования эти параметры необходимо довести до проектных значений с допустимыми отклонениями, указанными выше.

Предпусковые испытания, наладка систем и регулировка работы оборудования осуществляются организацией, выполняющей монтажные работы. В необходимых случаях эта работа поручается специализированной наладочной организации.

Предпусковые испытания должны быть закончены перед сдачей объекта в эксплуатацию. Работы по предпусковым испытаниям завершаются составлением «Акта на предпусковые испытания и регулировку вентиляционных установок» (на все вентиляционные установки объекта) и «Паспорта вентиляционной установки» (на каждую установку).

В ходе эксплуатации при необходимости проводят **эксплуатационные технические испытания**. Они осуществляются при нормальной загрузке технологического оборудования и установившемся режиме выделения вредных веществ.

Такие испытания проводятся в следующих случаях:

- после ввода в эксплуатацию технологического оборудования в помещениях, оборудованных вентиляцией;
- при обнаружении несоответствия параметров внутреннего воздуха требованиям санитарных норм;
- после капитального ремонта или реконструкции вентиляционных установок.

Испытаниям должно предшествовать предварительное обследование установок, в процессе которого производится детальный осмотр отопительно-вентиляционных систем, проверяется соответствие их проектам, осуществляется визуальная оценка состояния систем, оборудования и ограждений (плотность дверных и оконных проемов, герметичность местных отсосов, трубопроводов и арматуры, технологических коммуникаций, состояние теплоизоляции и др.). Все обнаруженные недостатки заносятся в дефектную ведомость.

По результатам предварительного обследования определяется объем и составляется программа работ по устранению дефектов, испытанию и наладке вентиляционных установок.

Санитарно-гигиенические испытания и обследования проводятся для проверки соответствия состояния воздушной среды помещений требуемым нормам, а также для оценки эффективности работы вентиляции после ее наладки. Они осу-

ществляются при расчетном режиме выделения вредностей в помещениях и работе вентиляции.

При проведении санитарно-гигиенических испытаний и обследований определяются: метеорологические условия в обслуживаемой зоне и на рабочих местах (температура, относительная влажность и подвижность воздуха), содержание в воздухе помещений пыли, газов и паров, количество вредностей в приточном воздухе и его параметры (температура и относительная влажность), общее количество поступающего и уходящего из помещений воздуха.

Такие испытания должны проводиться в различные периоды года в зависимости от вида вредных выделений:

- вредных газов и паров — в холодный период,
- тепловыделений — в теплый период;
- при одновременном выделении газа и тепла — в холодный период с проверкой теплового режима в теплый период.

До начала испытаний устанавливают места для замеров и отбора проб воздуха. Количество контролируемых точек зависит от расположения рабочих мест в помещении, характера и мест выделения вредностей, схемы воздухообмена и других условий. На постоянных рабочих местах отбор проб производится из зоны дыхания людей, а на рабочих площадках и на выходе — на отметке 1,5 м от пола. Пробы приточного воздуха отбираются перед наружными воздухозаборными устройствами. При наличии фильтров пробы отбирают после них.

Метеопараметры воздуха в помещениях замеряют на высоте 1,5 м от пола или рабочей площадки, а приточного воздуха — у приточных отверстий. В каждой точке отбирают не менее двух проб (для каждого вида вредностей), причем при выделении нескольких газов и паров концентрацию необходимо определять для каждого из них.

В случаях, когда более 50 % людей находятся на постоянных местах, среднее содержание газо- и парообразных вредностей и средние значения метеопараметров определяются как средние арифметические из полученных значений на постоянных местах; в остальных случаях — как среднее арифметическое из всех полученных значений.

Температуры воздуха в рабочей зоне, а также воздуха, поступающего и уходящего из помещения, измеряют не менее 3 раз в течение одного дня обследования, причем Продолжительность цикла измерений не должна превышать 1,5 ч.

В процессе санитарно-гигиенического обследования необходимо определять участки наибольших и наименьших значений содержания вредностей, отклонения от нормальных технологических процессов, нарушения в работе вентиляции и другие факторы, влияющие на изменение содержания вредностей в воздушной среде помещений.

Данные, полученные при санитарно-гигиенических обследованиях, являются основными для принятия решений об испытаниях и наладке вентиляционных установок, а при необходимости и их реконструкции.

Испытание вентсистем на проектный расход воздуха. Аэродинамические испытания систем вентиляции входят в комплекс работ, проводимых при наладке и паспортизации.

Методика проведения работ описана в действующем ГОСТ 12.03.018-79 «Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний». Цель аэродинамических испытаний – настройка систем вентиляции на проектный расход воздуха во всех расчетных точках. Для определения возможности достижения проектных расходов в вентиляционной сети, изначально замеряют развиваемое вентилятором давление и сравнивают его с проектным показателем, в случае, если показатели совпадают, приступают к балансировке сети воздуховодов.

Согласно современным требованиям по оптимизации энергозатрат при эксплуатации вентиляционных установок необходимо значительно увеличить точность и удобство проведения замеров параметров. Для проведения работ по испытаниям требуется полный доступ к вентиляционному оборудованию и системе воздуховодов. Кроме того к моменту проведения работ по испытаниям должны быть смонтированы и подключены щиты управления вентиляционным оборудованием, воздуховоды должны быть расшиты от потолочных и стеновых конструкций, обеспечен доступ к контрольным лючкам (в местах изменения сечений воздуховодов).

Индивидуальные испытания - это наладка и регулирование каждой системы автономного устройства на заданные проектом расходы воздуха, а также проверку параметров работы оборудования на данные приведенных в проектной документации.

Индивидуальные испытания проводятся при наличии:

- комплекта исполнительных чертежей проекта и технической документации на установленное оборудование и вентиляционные устройства;
- акта проверки трубопроводов систем тепло-холодоснабжения, водоснабжения и водоотведения на плотность гидравлическим или манометрическим методом;
- протокола испытаний участков воздуховодов на герметичность, если воздуховоды скрыты строительными конструкциями;
- акты испытания на холостом ходу вентиляционного оборудования, имеющего электропривод.

Испытания и регулировку установок вентиляции и кондиционирования воздуха выполняют в соответствии с требованием нормативных документов. В период индивидуальных испытаний выполняется наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха на проектные расходы воздуха. Указанная наладка включает в себя:

- испытание вентиляторов при работе их в сети (определение соответствия фактических характеристик паспортным данным: подачи и давления воздуха, частоты вращения и т. д.);

- проверку равномерности прогрева (охлаждения) теплообменных аппаратов и проверку отсутствия выноса влаги через каплеуловители камер орошения;

- испытание и регулировку систем с целью достижения проектных показателей по расходу воздуха в воздуховодах, местных отсосах, по воздухообмену в помещениях и определение в системах подсосов или потерь воздуха, допустимая величина которых через неплотности в воздуховодах и других элементах систем не должна превышать проектных значений в соответствии с нормативами;

- проверку действия вытяжных устройств естественной вентиляции.

- испытание действий вытяжных устройств естественной вентиляции

- аэродинамические испытания устройств для очистки воздуха.

После завершения индивидуальных испытаний проводится комплексное опробование. Это проверка работоспособности при одновременной работе всех систем вентиляции и кондиционирования здания в автоматическом режиме регулирования и обеспечении оборудования тепло — холодоносителем, водоснабжением и другими инженерными устройствами. Комплексное опробование включает в себя:

- опробование одновременно работающих систем здания,

- проверку работоспособности вентиляционных устройств при проектном режиме работы оборудования с определением характеристик и соответствия их проектным значениям

- проверка работоспособности систем вентиляции и кондиционирования воздуха с сетями тепло- холодоснабжения, водоснабжения и водоотведения при проектных режимах работы,

- опробование устройств функционирования оборудования, защиты, блокировки, сигнализации и управления,

- измерение уровней звукового давления в расчетных точках помещений при работающих инженерных системах.

Проведение комплексного опробования инженерных систем здания и порядок устранения выявленных дефектов монтажа должен соответствовать требованиям действующих нормативных документов.

15.2. Используемые приборы

Применение приборов позволяет в пределах погрешности метода измерения назвать реальную производительность всей установки и отдельных воздухораспределителей, сравнить их с проектными. Во многих случаях становится возможным назвать причину неудовлетворительной работы системы и, при необходимости, произвести балансировку.

1. Измеритель комбинированный TESTO 416 или измеритель комбинированный TESTO 410-2.

2. Анемометр цифровой.

3. Дифференциальный манометр цифровой ДМЦ-01М.
4. Шумомер TESTO 816.
5. Трубка напорная дифференциальная Пито.

ТЕМА 16 СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

16.1. Вытяжная локализирующая вентиляция

Местная вытяжная вентиляция (местные отсосы) удаляет воздух непосредственно в местах выделения избыточной теплоты, водяного пара, пыли и газовых компонентов, что предотвращает распространению этих вредностей по всему помещению. В результате на осуществление общеобменной вентиляции и получение требуемого санитарно-гигиенического эффекта уменьшаются необходимые воздухообмены и требуются минимальные капитальные затраты.

Для обеспечения возможно полного отсоса вредностей в местах их выделения устраивают различного рода укрытия, из которых производится естественная или чаще механическая вытяжка. Такая вентиляция получила название локализирующей. Она является наиболее экономичным и надёжным способом борьбы с загрязнением воздуха внутри производственных помещений.

Укрытия местных отсосов подразделяются на открытые, полуоткрытые и закрытые.

Открытые укрытия расположены вне источника вредных выделений, к ним относятся вытяжные зонты, бортовые, кольцевые и боковые отсосы.

Полуоткрытые укрытия внутри себя содержат источник вредных выделений и для доступа к нему имеют открытый проём. К таким укрытиям относятся вытяжные шкафы, кожухи для улавливания пыли, камеры для пульверизационной окраски изделий или для дробеструйной очистки деталей.

Закрытые укрытия представляют собой составную часть кожуха технологического оборудования, который имеет небольшие отверстия или неплотности для поступления через них воздуха из помещения. К ним относятся укрытия элеваторов, мельниц, дробилок, барабанов для очистки литья, бегунов и др.

Отдельные виды технологического оборудования выпускаются заводами со встроенными местными отсосами (шлифовальные, полировальные и деревообрабатывающие станки, сушильные и окрасочные камеры).

К местным отсосам предъявляются следующие требования:

- место выделения вредностей должно быть возможно полнее изолировано от окружающего воздуха с оставлением отверстий минимально допустимых размеров;
- вытяжка должна осуществляться в направлении движения вредных выделений – лёгкие и горячие газы и пары вверх, тяжёлые холодные газы и пыль вниз;
- отсос должен быть максимально приближен к источнику вредных выделений, так как он создаёт весьма ограниченный спектр скоростей всасывания;
- обеспечение максимального улавливания и удаления выделяющихся вредностей с минимальным расходом воздуха, удаляемый загрязнённый воздух не должен попадать в зону дыхания рабочего;

- конструкция местного отсоса должна быть простой, обладать малым гидравлическим сопротивлением, не должна мешать выполнению технологического процесса и наблюдению за ним, а также затруднять ремонт и чистку оборудования.

16.1.1. Вытяжные зонты

Располагаются на некотором расстоянии над источниками вредных выделений, обладающих подъёмной силой, которая возникает у лёгких и нагретых газов. Зонты применяют обычно в помещениях с незначительной подвижностью внутреннего воздуха, так как в противном случае будет происходить выбивание вредностей из-под зонта.

Существуют различные конструкции вытяжных зонтов, некоторые из них показаны на рис. 16.1.

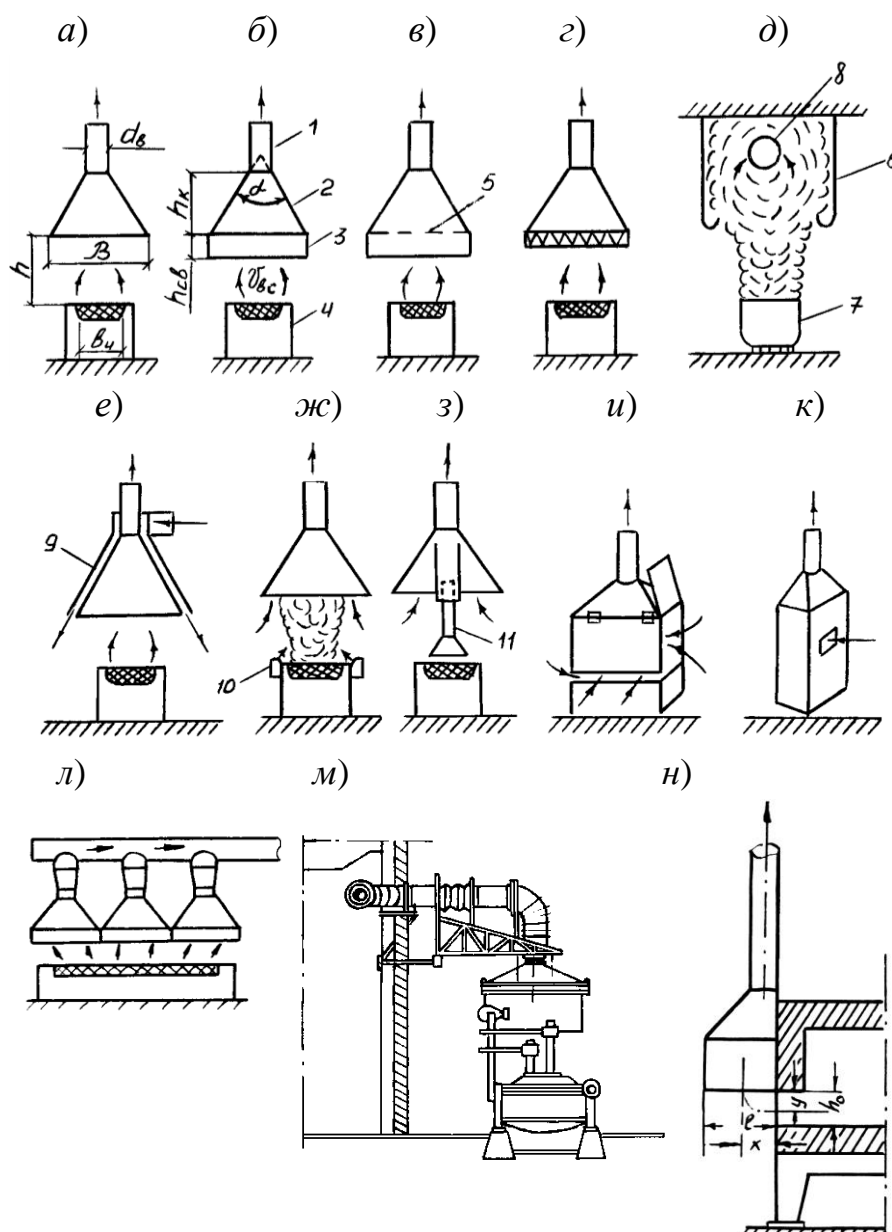


Рисунок 16.1 – Различные типы зонтов.

Обычный зонт (рис. 16.1, *а, б*) состоит из вытяжного воздуховода 1, колпака 2, вертикальных бортов или свесов 3. Последние могут приподыматься и опускаться. В качестве источника выделения вредностей в данном случае служит кузнечный горн 4. Колпак зонта может иметь форму усечённых пирамиды или конуса. Увеличение его объёма улучшает улавливание вредностей.

Оптимальное значение угла раскрытия колпака зонта $\alpha = 60^\circ$. При таком угле наиболее полно выравнивается профиль скоростей в плоскости всасывания, т.е. скорость становится почти одинаковой по всей площади сечения зонта, что обеспечивает резкое уменьшение коэффициента местного сопротивления зонта и повышает надёжность захватывания вредностей.

Приёмное отверстие зонта должно находиться как можно ближе к источнику выделения вредностей, а форма его в плане должна быть подобной форме источника. В целях наибольшего улавливания вредностей необходимо, чтобы размеры зонта были больше размеров источника выделения вредностей. Так, длина стороны зонта или его диаметр приближённо могут быть определены по формуле

$$B = b_u + 0,8h, \quad (16.1)$$

где B – длина стороны или диаметр всасывающего отверстия зонта, имеющего квадратную или круглую форму, м;

b_u – длина стороны или диаметр источника вредных выделений, м;

h – вертикальное расстояние от источника до всасывающего сечения, м.

Высота колпака зонта квадратной или круглой формы

$$h_k = 0,5(B - d_в) \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (16.2)$$

где $d_в$ – диаметр отсасывающего воздуховода зонта, м;

α – угол раскрытия колпака, град.

Высота подвески колпака принимается равной $H = 1,7 - 1,8$ м.

Для увеличения ёмкости зонта и выравнивания линий воздушного тока к нижней кромке колпака прикрепляют откидные борта или свесы высотой $h_{св} \approx 0,2B$.

Количество воздуха, м³/ч, отсасываемого через зонт, определяется по следующим формулам.

При источниках со слабым выделением теплоты и горячих газов

$$L_3 = 3600F \cdot v_{вс}, \quad (16.3)$$

где F – площадь всасывающего сечения зонта, м²;

$v_{вс}$ – минимально допустимая средняя скорость воздуха во всасывающем сечении, м/с (табл. 16.1).

Для нетоксичных вредностей (теплота, влага) принимают $v_{вс} = 0,15 - 0,25$ м/с.

Таблица 16.1 – Значение скорости $v_{вс}$ для токсичных вредностей

Тип зонта	$v_{вс}$, м/с
Зонты, открытые с 4-х сторон	1,05-1,25
Зонты, открытые с 3-х сторон	0,9-1,05
Зонты, открытые с 2-х сторон	0,75-0,9
Зонты, открытые с 1-ой стороны	0,5-0,75

При интенсивных источниках выделения теплоты либо теплоты и газов

$$L_3 = L_k \frac{F_3}{F_u} \quad (16.4)$$

или

$$L_3 = 64 \cdot \sqrt[3]{Q_k \cdot h \cdot F_u^2} \cdot \frac{F_3}{F_u}, \quad (16.5)$$

где L_k – расход воздуха, подтекающего к зонту с конвективной струей, м³/ч;

F_3 и F_u – площадь соответственно зонта и источника выделения теплоты, м²;

$Q_k = 1,5 \cdot \sqrt[3]{t_u - t_e}$ – количество выделяемой конвективной теплоты, Вт;

$h = 0,8d_э$ – расстояние от поверхности источника до зонта, м;

t_u и t_e – температура соответственно поверхности источника и окружающего воздуха, °С;

$d_э$ – эквивалентный по площади диаметр источника, м;

при $h < 2,8\sqrt{F_u}$ принимают $F_3 = 1,5F_u$.

Зонты применяют как с естественной, так и чаще с механической вытяжкой.

Для уменьшения расхода воздуха можно предложить вставлять во всасывающее сечение зонта диафрагму 5 с центральным и кольцевым по периметру отверстиями (рис. 16.1, в). Иногда с этой целью в сечение зонта вставляют специальную жалюзийную панель конструкции С. А. Чернобережского (рис. 16.1, з).

При неравномерном выделении вредностей во времени используют зонт-ширму (рис. 16.1, д). Ширма представляет собой ёмкий короб 6, сооружаемый сверху помещения над источниками выделения вредностей 7. Снизу короб открыт и служит для временного аккумуляирования пиковых выделений вредностей. Последние отсасываются воздуховодом 8, находящимся внутри короба. Такой зонт-ширма позволяет рассчитывать вентиляционную установку не на пиковое, а на среднее количество выделяющихся вредностей, что снижает энергозатраты.

В целях создания более устойчивой вытяжки в условиях наличия подвижности внутреннего воздуха применяют активный зонт со щелями по периметру 9 (рис. 16.1,

е), зонт с поддувом 10 (рис. 16.1, ж) или зонт с внутренней выдвижной трубой 11 (рис. 16.1, з), которая может опускаться почти вплотную к поверхности источника вредностей.

Иногда для ослабления влияния подвижности воздуха в помещении зонты ограждают боковыми стенками с двух, трёх или четырёх сторон, оставляя внизу щели и рабочее отверстие для подсасывания воздуха (рис. 16.1, и, к).

При вытянутом зеркале источника вредных выделений устанавливают один длинный двускатный зонт или несколько зонтов, каждый из которых имеет сечение, близкое к квадратному (рис. 16.1, л).

Когда зонт мешает выполнению периодических производственных операций, его монтируют на поворотном устройстве (рис. 16.1, м).

На сварочных постах применяют панели равномерного всасывания С. А. Чернобережского. Панель устанавливают наклонно с нависанием над постом сварки. Для сварки мелких деталей устанавливают односторонние панели (рис. 16.2, а), а для сварки крупногабаритных деталей применяют двусторонние панели на поворотном устройстве (рис. 16.2, б). Панели эффективно работают при отсасывании воздуха в количестве $3200 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 их площади.

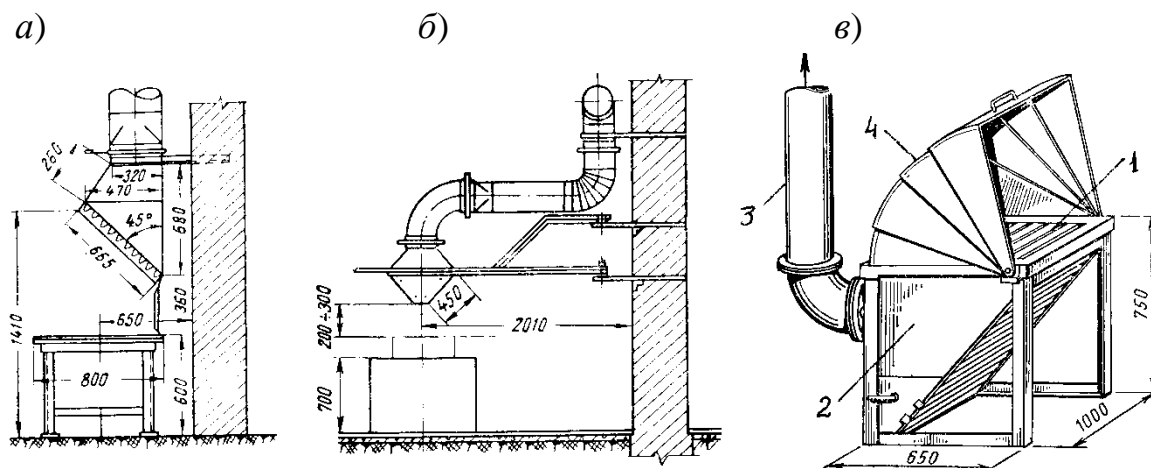


Рисунок 2 – Отсосы при сварочных работах.

Удобным является стол для сварщика с местным отсосом конструкции московского института “Проектпромвентиляция” (рис. 16.2, в). Стол имеет рабочую решётку 1, нижнюю часть в виде камеры 2, из которой загрязнённый воздух удаляется вентилятором по воздуховоду 3. Стол имеет также подвижное укрытие 4. При сварке мелких деталей это укрытие поднимают.

У загрузочных отверстий промышленных печей применяют зонты-козырьки (рис. 1, н).

16.1.2. Бортовые отсосы

В цехах травильных и гальванических покрытий широко применяются промышленные ванны, заполняемые различными часто тёплыми растворами. Вследствие испарения их в воздух выделяются весьма вредные пары, газы и аэрозоли (например, па-

ры бензина, керосина, сернистый ангидрид, окислы азота, пары серной, соляной и азотной кислот, аэрозоли водных растворов щелочей и др.). Технология проводимых процессов (травления, цинкования, лужения, золочения, хромирования, обезжиривания деталей и т.п.) такова, что невозможно использовать полное укрытие ванн. Поэтому для удаления выделяющихся вредностей применяют бортовые отсосы.

Бортовой отсос представляет собой сплошную щель, расположенную вдоль по всей длине верхнего края борта ванны. Через эту щель отсасываются вредности, выделяющиеся с поверхности раствора ванны.

В практике получили распространение однобортовые и двухбортовые отсосы. Первые применяются при малой ширине ванны $B_p \leq 0,7$ м, вторые – при ширине ванны $B_p = 0,8 - 1,5$ м (рис. 16.3, а, б). По своей форме бортовые отсосы бывают простые и опрокинутые. Простые (рис. 16.3, а, б) используются при высоком стоянии уровня раствора в ванне, когда $H_p \leq 80 - 150$ мм, опрокинутые (рис. 16.3, в) – при низком стоянии уровня раствора ($H_p \geq 150 - 300$ мм).

При работе бортовых отсосов над поверхностью испарения ванны создаётся спектр всасывания с полем скоростей, препятствующим выходу выделяющихся вредностей в воздух помещения. Для создания такого поля скоростей необходимы большие расходы воздуха, особенно для ванн шириной более 1,5 м. В этом отношении опрокинутые отсосы более эффективны, требуют меньших расходов воздуха.

Количество воздуха L , м³/ч, удаляемого бортовыми отсосами, определяется по формуле

$$L = 1400 \cdot \left(0,53 \frac{B_p \cdot l}{B_p + l} + H_p \right)^{1/3} \cdot B_p \cdot l \cdot K_{\Delta t} \cdot K_m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (16.6)$$

где B_p – ширина зеркала раствора в ванне, м;

l – длина зеркала раствора, м;

H_p – расстояние от зеркала раствора до оси бортовой щели, м;

$K_{\Delta t}$ – коэффициент, учитывающий разность температур раствора и воздуха в помещении;

K_m – коэффициент, учитывающий токсичность и интенсивность выделения вредных веществ;

K_1 – коэффициент, учитывающий тип отсоса;

K_2 – коэффициент, учитывающий наличие воздушного перемешивания раствора;

K_3 и K_4 – коэффициенты, учитывающие укрытие зеркала раствора соответственно плавающими телами (шариками, линзами и др.) и пенным слоем при добавке ПАВ.

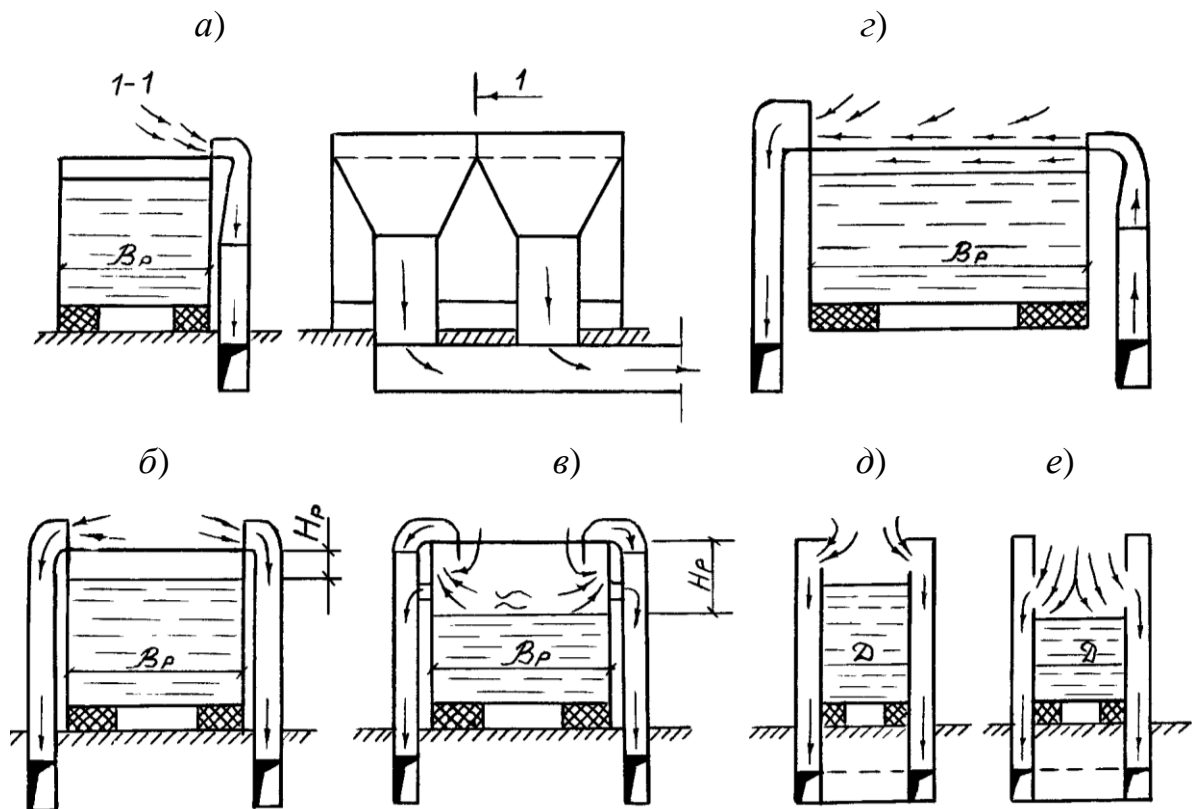


Рисунок 16.3 – Различные типы бортовых отсосов:

a – простой однобортовой; *б* – простой двухбортовой; *в* – опрокинутый двухбортовой; *г* – бортовой отсос с передувкой; *д* – кольцевой отсос со щелью у верхней кромки ванны; *е* – кольцевой отсос со щелью, опущенной в ванну.

Значения коэффициента $K_{\Delta t}$:

- для отсосов без сдува

$$K_{\Delta t} = 1 + 0,0157 \cdot \Delta t; \quad (16.7)$$

- для отсосов со сдувом

$$K_{\Delta t} = 1 + 0,003 \cdot \Delta t. \quad (16.8)$$

Значения коэффициентов K_1, K_2, K_3 и K_4 приведены в табл. 16.2, коэффициента K_m в табл. 16.3.

Таблица 16.2 – Значения коэффициентов K_1, K_2, K_3 и K_4 [8]

Коэффициент	Значения коэффициентов для отсоса			
	без передувки		с передувкой	
	однобортовой	двухбортовой	однобортовой	двухбортовой
K_1	1,8	1,0	1	0,7
K_2	1,2	1,2	1	1
K_3	0,75	0,75	1	1
K_4	0,5	0,5	1	1

Таблица 16.3. Значение коэффициента K_m

Выделение определяющего вредного вещества	Удельное выделение вредного вещества $z_{y\partial}$, мг/(с·м ²)	K_m
Хромовый ангидрид	10	2
То же	2	1,6
То же	1	1,25
Щёлочь: при $t > 100$ °С при $t < 100$ °С	55	1,25
	55	1,6
Щёлочь	11	1,6
Цианистый водород	5,5	2
То же	1,5	1,6
Фтористый водород	20	1,6
Хлористый водород	80	1,25
Серная кислота	7	1,6
Фосфорная кислота	5	1,6
То же	0,6	1,25
Азотная кислота и окислы азота	3	1,25

При большой ширине ванны (порядка 1,5-2 м) применяется бортовой отсос с передувкой (рис. 16.3, з). Это активированный простой однобортовой отсос, поддуваемый с противоположного борта плоской воздушной струёй, которая при высоком стоянии раствора настигается на поверхность зеркала ванны и имеет увеличенную дальностью.

Для удаления вредностей использование передувки более эффективно и сокращает необходимый объём отсасываемого воздуха.

Для простого бортового отсоса с передувкой требуется количество воздуха, м³/ч:

- для отсоса

$$L_{отс} = 1200B_p^{3/2} \cdot l \cdot K_{\Delta t} \cdot K_m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (16.9)$$

где всегда $K_m = 1$;

- для передувки

$$L_{cd} = 60B_p \cdot l \cdot K_{\Delta t}, \quad (16.10)$$

Высота щели передувки принимается не менее 5-7 мм, отсоса – не менее 50 мм, во избежание их засорения в процессе выполнения производственных операций. Начальная скорость передувки не должна превышать $v_{cd} = 10-12$ м/с, чтобы не поднималась волна на поверхности раствора в ванне. Скорость в щели отсоса должна составлять $0,37v_{cd}$.

В помещениях травильных и гальванических цехов бортовые отсосы нормально работают при условии отсутствия горизонтальной подвижности воздуха в местах нахождения спектров всасывания ванн. Поэтому приточный воздух целесообразно подавать выше рабочей зоны воздуховодами равномерной раздачи.

Для цилиндрических гальванических ванн, шахтных термических печей и высокочастотных электропечей применяются кольцевые бортовые отсосы двух видов: со щелью у верхней кромки ванны (рис. 16.3, *д*) и со щелью, опущенной в ванну (рис. 16.3, *е*).

При работе кольцевых отсосов образуется центральный, подтекающий сверху вниз, поток воздуха, который препятствует выбросу вредностей в помещение.

16.1.3. Вытяжные шкафы

Относятся к полуоткрытым укрытиям. Источник выделения вредностей находится внутри шкафа. Доступ к источнику и наблюдение за ним осуществляется через открытый рабочий проём. Шкаф в большей степени изолирует вредные выделения от воздуха помещения, чем отсосы с открытыми укрытиями.

В зависимости от характера выполняемого технологического процесса, внутри шкафа может выделяться значительное количество теплоты, вредных газов, паров и пыли. Образующиеся вредности удаляются путём естественного или механического отсасывания воздуха из шкафа за пределы помещения. При этом через рабочий проём с определённой скоростью подсасывается воздух помещения, который препятствует выбиванию вредных выделений из шкафа.

Конструкция вытяжных шкафов может быть разнообразной. При удалении тепловых потоков или лёгких газов целесообразно принять вытяжной шкаф с верхним отсосом (рис. 16.4, *а*).

В случае выделения тяжёлых газов или пыли используют шкаф с нижним отсосом (рис. 4, *б*). Если одновременно выделяются теплота, пыль и тяжёлые газы, то применяют шкаф с комбинированным верхним и нижним отсосами (рис. 4, *в*). Соответствующим переключением перекидного клапана такой шкаф может служить также для верхнего или нижнего отсосов в отдельности.

Расход отсасываемого воздуха из шкафа при отсутствии в нём тепловыделений L , м³/ч, определяется по формуле

$$L = 3600F \cdot v, \quad (16.11)$$

где F – площадь открытого проёма, м²;

v – средняя скорость всасывания в сечении открытого проема, м/с, принимается с учётом токсичности выделяющихся веществ и не выбивания их из шкафа (табл. 16.4).

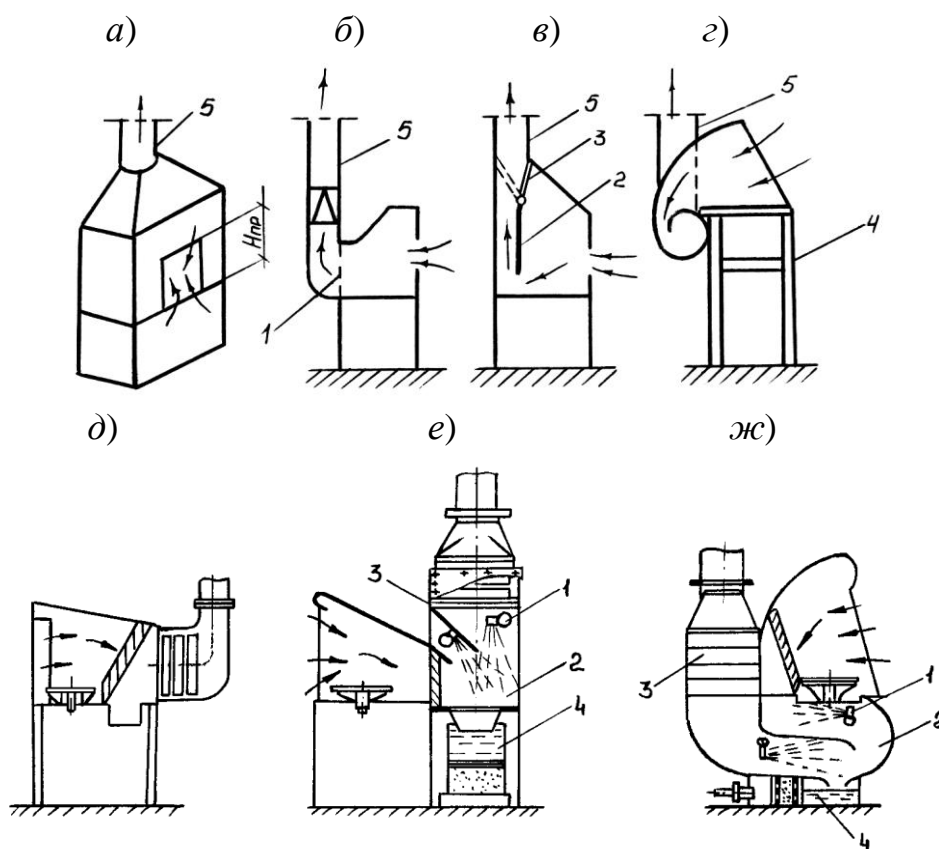


Рисунок 16.4 – Различные типы вытяжных шкафов и камер:

a – шкаф с верхним отсосом; *б* – шкаф с нижним отсосом; *в* – комбинированный шкаф; *г* – шкаф улитка; 1 – решётка; 2 – перегородка; 3 – перекидной клапан; 4 – рабочий стол; 5 – вытяжной воздуховод; *д*, *е*, *з* – камеры для пульверизационной окраски мелких деталей.

Таблица 4. Допустимые скорости всасывания воздуха в проёмах вытяжных шкафов

Основные вредные выделения	Скорость всасывания v , м/с
Пары азотной и соляной кислот	0,5-1
Аэрозоль и окислы свинца	1,5-2,5
Фтористый водород	1,5
Аэрозоль металла (без свинца)	0,4-0,5
Пары ртути	0,8-1,3
Радиоактивные вещества	2-3
Пары синильной кислоты	1-1,5
Пыль цианистых соединений	1,5
Пары бензина	0,5-0,6
Туман щелочей	0,6-0,8
Силикатная пыль	1-1,5

Выделения нетоксичные, но с неприятным запахом	0,3-0,5
Нетоксичные выделения пищеварочных плит	0,25

Шкафы-укрытия с отсосом-улиткой (рис. 16.4, *з*) применяются над рабочими столами, на которых выполняются операции без тепловыделений. Щель улитки имеет переменную ширину, уменьшающуюся в сторону вытяжного воздуховода. Улитка равномерно всасывает воздух в рабочий проём.

16.1.4. Окрасочные камеры

Окраска изделий сопровождается выделением вредностей в виде аэрозоля краски и паров растворителей. Поэтому в местах окраски приходится устраивать укрытия, представляющие собой камеры, оснащённые местной вытяжкой или приточно-вытяжной вентиляцией и средствами очистки удаляемого воздуха от загрязнений.

Когда производится окраска изделий мелких или средних размеров, рабочий находится снаружи относительно небольшой камеры. В этом случае конструкции окрасочных камер выполняются согласно рис. 16.4, *д-ж*. Из рисунка видно, что камеры оборудуются только отсасывающей вентиляцией. Вредности удаляются при помощи верхнего или нижнего отсосов, и перед выбросом загрязнённого воздуха в атмосферу он очищается сухим способом или при помощи гидрофилтра (рис. 16.4, *е, ж*).

Гидрофилтр имеет форсунки 1, орошаемый водой канал 2, каплеуловитель 3 и отстойную ванну 4, в которой собирается вода вместе с уловленной краской. В ванне часть красочной взвеси осаждается на дно, а другая часть всплывает на поверхность и образует рыхлую корку. Насос забирает воду из средней по высоте части ванны и снова нагнетает её в форсунки. Недостаток воды пополняется из водопровода с помощью шарового крана. Периодически вода в ванне полностью заменяется.

Размер сечения промывочного канала устанавливается исходя из того, чтобы скорость воздуха в нём была 5-6,5 м/с.

Для отсасывания из камеры требуется количество воздуха, определяемое по формуле (16.11), причём скорость воздуха в рабочем проёме должна быть: при кистевой и безвоздушной окраске или окунанием 0,6-1 м/с, пневматическом распылении 1-1,3 м/с, электростатическом распылении 0,4-0,5 м/с. Нижний предел скоростей принимается при окрасочных материалах, не содержащих ароматических углеводородов и свинцовых соединений, а верхний – при материалах, содержащих эти вещества. Расход воды на очистку составляет 2-3 л на 1 м³ воздуха.

При окраске крупных изделий рабочее место находится внутри камеры больших размеров, которая бывает тупиковой или проходной.

Тупиковая камера оборудуется местной приточно-вытяжной вентиляцией: приточный воздух подаётся равномерно сверху вниз через перфорированный подшивной потолок, а загрязнённый воздух удаляется через напольную решётку в центре камеры. Подшивной потолок снабжается фильтрующими кассетами. Над решёткой располага-

ется окрашиваемое изделие, устанавливаемое на лагах или платформе, отстоящих на 200-300 мм выше от плоскости пола. Скорость удаляемого воздуха в живом сечении напольной решётки 2-4 м/с. Ниже решётки находится отсасывающий канал, подающий загрязнённый воздух на очистку в гидрофильтр.

Объём отсасываемого воздуха при окраске пневматическим распыливанием принимается равным 1800-2200 м³/ч, на 1 м² площади пола камеры. Причём общая вытяжка воздуха должна соответственно превышать его приток, во избежание выбивания вредностей через рабочий проём и неплотности.

В камере проходного типа изделия окрашиваются на конвейере. Объём отсасываемого воздуха в этом случае определяется из расчёта создания в рабочих проёмах необходимых его скоростей. Для камер с горизонтальным движением воздуха принимается скорость 1-1,5 м/с, а при подаче воздуха сверху вниз 0,5-0,8 м/с.

В качестве дополнительной меры индивидуальной защиты рабочего от вдыхания вредностей рекомендуется применение защитной фильтрующей лицевой маски.

16.1.5. Отсосы с мягкими укрытиями

Качество работы вентиляционных укрытий оценивается эффективностью захвата ими образующихся вредностей, которая на практике составляет 50-70 %. Кроме недостаточной эффективности они ограничивают технологические операции и доступ к различным частям оборудования, затрудняют его ремонт и при смене оборудования подлежат, как правило, полной замене. В условиях динамичных технологий реконструкция укрытий отстает от потребностей производства, требует применения дополнительных количеств металла.

Реконструкция и совершенствование технологии становятся неотъемлемой чертой современных промышленных объектов. Но тогда должны легко и быстро переоборудовываться все элементы вентиляционных систем и в том числе вентиляционные укрытия.

Этим условиям в большей мере соответствуют мягкие вентиляционные укрытия. В общем виде конструкция такого укрытия показана на рис. 16.5, а.

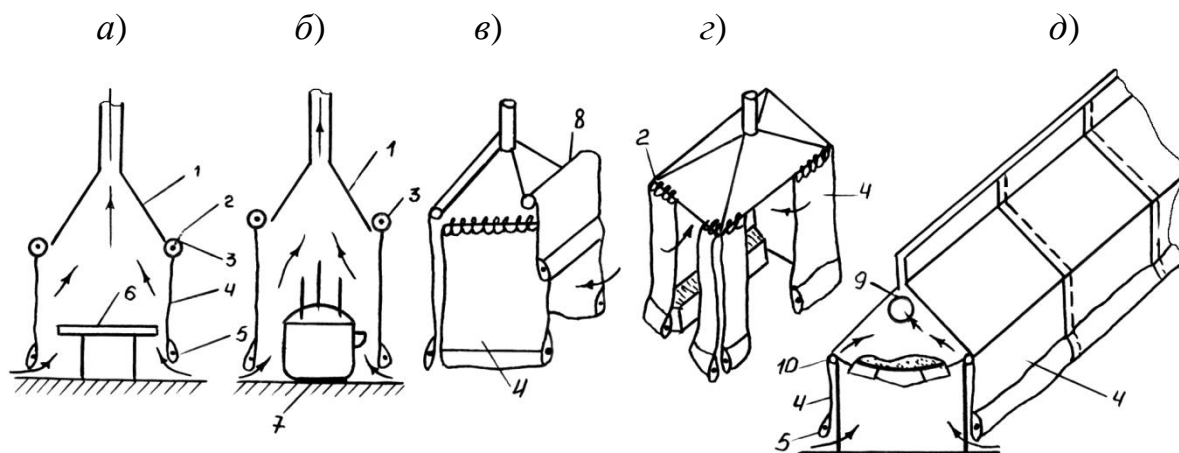


Рисунок 16.5 – Отсосы с мягкими укрытиями: *а* – рабочих столов; *б* и *в* – электро-сталеплавильных печей; *г* – окрасочных камер; *д* – ленточных конвейеров.

По периметру типового зонта 1 (или крыши с воздухопроводом) крепится опорный стержень 2 с кольцами 3, к которым подвешиваются мягкие свесы 4 с нижними карманами для грузов 5. Свесы охватывают рабочий стол 6 со всех сторон, причём их края опускаются немного ниже плоскости стола.

При работе вентилятора воздух входит внутрь укрытия как через технологический проём, так и в полостях между свесами и столом, а это исключает выброс вредных из-под укрытия в помещение. Кольца 3 позволяют сдвигать свесы 4 в любом направлении на любую величину, обеспечивая смену объектов на столе, ремонт и очистку последнего. Ширина технологического проёма для рабочего может быть подобрана с учётом скорости обдува человека и размеров обрабатываемых предметов, что позволяет управлять объёмами удаляемого воздуха. Мелкие грузы 5 обеспечивают натяжение свесов и сохранение формы укрытия.

Свесы могут изготавливаться из полиэтилена, брезента, дерматина, стекло- или асбестовой ткани, любой другой ткани, соответствующей конкретным условиям (пожаробезопасности, электростатичности, долговечности, прозрачности и т.п.). Замена и постановка свесов не представляет труда и не требует специально обученного персонала.

Описанная конструкция мягкого вентиляционного укрытия может быть применена на самом различном оборудовании, например, на окрасочных камерах (рис. 16.5, *г*).

Типовое решение вопросов газопылеулавливания при работе дуговых электросталеплавильных печей 2 (рис. 16.5, *б*, *в*) заключается в использовании верхнерасположенного зонта 1. По правилам построения подобных устройств края зонта должны выходить за края оборудования на 250 мм, в связи с чем получаются большими площади всасывающих сечений зонтов и расходы воздуха через них. Например, ориентировочные расходы воздуха, тыс. м³/ч, отсасываемые от укрытий дуговых сталеплавильных печей ДСП, принимаются равными: печь ДСП-1,5 – 20; ДСП-3 – 30; ДСП-6 – 60; ДСП-12 – 110; ДСП-25 – 150; ДСП-50 – 200. Эти расходы увеличиваются на 40-50 % при продувке ванн печей кислородом. Такие большие объёмы удаляемого воздуха обусловлены тем, что с целью захвата газопылевых вредных скорость воздуха в сечениях зонтов должна быть не менее 0,8-1,5 м/с. Они удорожают системы пылегазоочистки выбросного воздуха и ухудшают их эффективность. Отсюда следует, что решения по уменьшению расходов воздуха от дуговых печей являются актуальными и экономически перспективными. Из-за необходимости подъёма графитовых электродов зонты устанавливаются не ближе 2,5 м от свода печей. Это приводит к тому, что газы и пыль, поднимающиеся от печей, отклоняются боковыми внутрицеховыми потоками воздуха и в зонты попадают не полностью.

Все элементы конструкции печей и выбивающиеся из них раскалённые газы излучают в рабочую зону значительные количества радиационной теплоты, ухудшающей температурные условия на рабочих местах.

Любое вентиляционное укрытие дуговых печей должно учитывать операции по их загрузке металлоломом, откату ванн или отвод в сторону сводов вместе с электродами. С учётом этого устанавливают печи в отдельных помещениях, теплоизолированных кожухах, представляющих собой крупные и дорогие сооружения.

Простым и вполне работоспособным является мягкое вентиляционное укрытие дуговых печей, приведенное на рис. 16.5, б, в. Его устройство базируется на типовом зонте 1, оснащённом понизу прямоугольной рамой. Две стороны последней представляют собой стержни с кольцами, к которым крепятся свесы 4, с двух других сторон к ней крепятся барабаны 8 для намотки таких же свесов и обеспечения прохода ванн или сводов. Такими барабанами могут быть оборудованы все четыре стороны укрытия.

Нижние концы мягких свесов должны находиться на уровне 1 м от пола, обеспечивая тем самым вход воздуха внутрь укрытия при работе вытяжного вентилятора. Поскольку укрытие находится под разрежением, исключается выброс из него в помещение газопылевых вредностей через различные неплотности в местах примыкания свесов. Оно устраняет влияние боковых внутрицеховых потоков воздуха на газопылевой факел над печами и почти полностью прекращает поступление их радиационной теплоты в рабочую зону.

Укрытие образует вокруг печи для прохода цехового воздуха канал площадью намного меньше площади всасывания типового зонта. Если сохранить в плоскости сечения канала скорость воздуха снизу вверх 0,8-1,5 м/с, то, как показывают расчёты, объём удаляемого от печи воздуха можно уменьшить в 3-5 раз. Для свесов наиболее подходит стеклоткань, выдерживающая высокие температуры.

Типовые укрытия конвейерных линий изготавливаются обычно из стали в виде кожухов. Последние затрудняют эксплуатацию, ремонт и реконструкцию конвейеров и нередко не восстанавливаются после проведения ремонтных работ.

Для конвейерных линий целесообразным является мягкое вентиляционное укрытие шатрового типа, схема которого приведена на рис. 5, д. Оно имеет над конвейерной линией вытяжной воздуховод 9, на который навешены два свеса 4. Вдоль опорной рамы конвейера крепятся поручни 10, образующие из свесов шатровую конструкцию. Концы свесов отстоят от пола на 30-100 мм, обеспечивая проход воздуха вовнутрь шатра.

Края соседних свесов укладываются внахлёстку, грузы 5 обеспечивают натяжение свесов. Доступ к любому месту конвейерной линии обеспечивается перебросом секции свеса на другую сторону от воздуховода 9 и наоборот. В качестве свесов может быть применена любая ткань, но лучшей по долговечности и дешевизне следует признать стеклоткань.

Мягкие вентиляционные укрытия возможны к применению на самых различных объектах: над горловинами ёмкостей с ядовитыми газообразными компонентами, литейными выбивными решётками, отдельными участками самых разнообразных конвейерных линий, вокруг сварочных постов, ванн металлопокрытий и т.д. Варианты таких укрытий по конструкции и материалам также могут быть весьма разнообразны.

Достоинства мягких вентиляционных укрытий: простота изготовления; удобства ремонта и восстановления; дешевизна; возможность управления объёмами вытяжного воздуха; высокая мобильность при изменении технологий и перепланировке вентиляционного оборудования; повышенная эффективность захвата пылегазовых вредностей. Всё это позволяет рекомендовать их к широкому применению в практике работы промышленных вентиляционных сетей.

16.2. Пылеулавливающие отсосы

Во многих отраслях промышленности выполнение производственных операций связано со значительным выделением пыли. Для улавливания её непосредственно в местах образования применяются местные отсосы с устройством кожухов-пылеприёмников или закрытых укрытий пылящих технологических линий. Такая пылеотсасывающая локализирующая вентиляция называется аспирацией.

Кожухи-пылеприёмники и закрытые укрытия получили распространение для улавливания пыли от различных станков (обдирочных, заточных, шлифовальных, полировальных, металло- и деревообрабатывающих и др.) и от отдельных пылящих узлов эксплуатируемого оборудования (дробилок, мест перегрузки сыпучих материалов, элеваторов, транспортёров и т.п.).

Кожухи-пылеприёмники изготавливаются из листовой стали толщиной от 2 до 3,5 мм. Они должны иметь рабочие отверстия минимальных размеров.

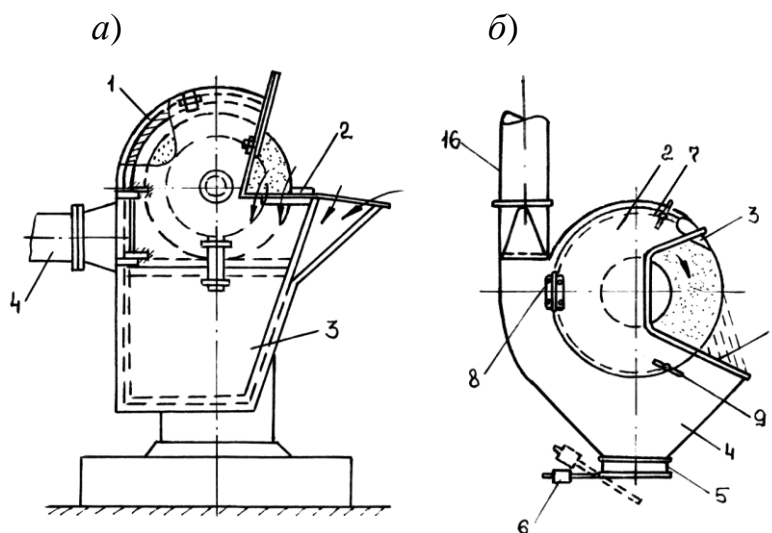


Рисунок 16.6 – Кожухи-пылеприёмники: *а* – для заточного станка; *б* – для шлифовального или полировального кругов.

На рис. 16.6, *а* показана конструкция обеспыливающего кожуха для заточного станка, который состоит из собственно кожуха с рабочим отверстием 2, бункера 3 для оседающей крупной пыли и отсасывающего патрубка 4. По отсасывающему воздуху транспортируется только мелкая пыль.

Устройство отсоса от шлифовального или полировального кругов представлено на рис. 16.6, *б*. Запылённый воздух удаляется через рабочее отверстие 1 в нижней части кожуха 2. Вынос рабочего отверстия принимается таким, чтобы траектория пылевого факела попадала в кожух. Для устранения выбивания пыли через верхнюю часть кожуха служит свободно вращающийся на шарнире козырёк 3. Крупная пыль выпадает в бункер 4, имеющий разгрузочный люк 5 с поворотной заслонкой и контргрузом 6. Кожух имеет боковую дверку 7 с петлёй 8, служащую для смены кругов. Дверка закрепляется в рабочем положении болтом-барашком 9. Отсасывающий патрубок 10 направлен вверх, чтобы не засасывалась фракция более крупной пыли и выпадала в бункер.

От кожухов станков с сухими любыми кругами отсасываемый расход воздуха определяется из выражения, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$L = 3600F_o \cdot v_{ок}, \quad (16.12)$$

где F_o – площадь рабочего отверстия кожуха, м^2 ;

$v_{ок} = (0,25 - 0,4) \cdot v_k$ – скорость воздуха в рабочем отверстии, $\text{м}/\text{с}$;

v_k – окружная скорость вращения круга, $\text{м}/\text{с}$.

Приблизённо расход воздуха можно подсчитывать: для заточных и шлифовальных станков с абразивными кругами $L \approx 2d$; для полировальных станков с войлочными кругами $L \approx 4d$ и с матерчатыми кругами $L \approx 6d$, где d – диаметр круга, мм .

При обработке автомобильных шин на шероховальных станках выделяется большое количество пыли. Вследствие несовершенства конструкций существующих местных отсосов от режущих органов этих станков, невозможно добиться высокой степени улавливания пыли. Основной недостаток применяемых отсосов состоит в том, что они не обеспечивают полного прилегания передней стенки приёмника к обрабатываемой поверхности, имеющей непостоянную степень кривизны. В крайних положениях режущего органа экранирующая поверхность отсосов не позволяет достичь полного перекрытия траектории отлёта частиц, в результате чего наблюдается большой проскок их и выброс в окружающую атмосферу.

На рис. 16.7 представлена конструкция устройства приёмника отсоса: кожух 1 приёмника оборудован пневмоцилиндром 2, который взаимодействует с кривошипом 3, жёстко связанным с подвижной заслонкой 4, перемещающейся по передней стенке 5 кожуха 1 приёмника по направляющим 6. Заслонка 4 присоединена к пружине 7, закреплённой другим концом к кожуху приёмника. Угол поворота кривошипа 3 ограничен ограничителем 8.

Для осуществления профилактических осмотров и текущих ремонтов режущего органа 9 верхняя стенка приёмника 10, на которой смонтирован пневмоцилиндр и кривошип, откидывается вокруг болтов 11.

Работа приёмника заключается в следующем. При включении режущего органа в работу пневмоцилиндр 2 воздействует кривошипом 3 на подвижную заслонку 4 и вводит её в соприкосновение с поверхностью обрабатываемой автопокрышки 12. Этим достигается перекрытие траектории отлёта частиц резины во всех точках резания. Плавность соприкосновения заслонки с обрабатываемой поверхностью обеспечивается посредством пружины 7 с определённым усилием.

После полной обработки изделия и возвращения режущего органа в начальное положение перекрывается подача сжатого воздуха в пневмоцилиндр и подвижная заслонка под воздействием пружины отводится в исходное положение.

Разработанная конструкция местного отсоса от шероховального станка, имеющая подвижную переднюю заслонку, позволяет максимально перекрыть траекторию отлёта частиц, что значительно увеличивает степень улавливания частиц материала, срезаемых с обрабатываемой автопокрышки.

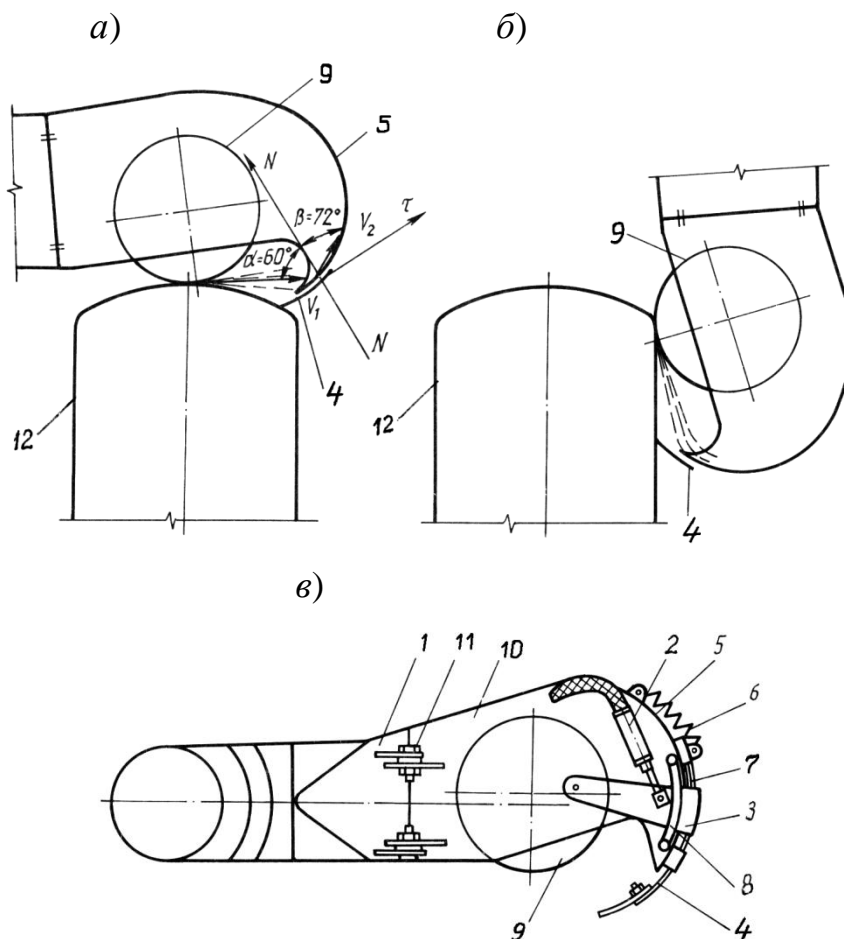


Рисунок 16.7 – Устройство отсоса пылеприёмника шероховального станка:

а – обработка верхней части шины; *б* – обработка боковой части шины; *в* – устройство пылеприёмника.

В силу специфики работы шероховатых станков при обработке изношенных автопокрышек необходимо изменять направление потока частиц резины в сторону отсасывающей трубы, что дополнительно повышает степень пылеулавливания. Это достигается путём подбора соответствующей конфигурации внутренних направляющих поверхностей приёмника. Главное значение при этом имеет форма передней стенки, которую удалось определить в результате применения теории удара материальной частички о неподвижную поверхность.

Во избежание повторного попадания частиц во вращающиеся ножи шероховатой головки, угол падения частиц резины при ударе о переднюю стенку приёмника должен быть $\alpha = 60^\circ$, а угол отражения $\beta = 72^\circ$ (рис. 16.7, б). При этом снижение скорости частиц после удара будет не более 15-30 % от первоначальной величины, а принятое очертание профиля передней стенки укрытия будет создавать закручивание по спирали срезанных с автопокрышки частиц.

Для обеспыливания укрытия шероховатого станка необходимо отсасывать воздуха не менее $2100 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Малые шаровые мельницы укрываются кожухом (рис. 16.8, а), из которого отсасывается воздуха $800-1200 \text{ м}^3/\text{ч}$ при скорости всасывания в рабочем отверстии 2 м/с . Причём одна треть расхода воздуха отсасывается от места загрузки мельницы, а две трети – из её кожуха.

Шаровые мельницы большой производительности имеют сплошное укрытие, и воздух отсасывается из верхней его части в количестве $1500-2500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

При работе вращающегося барабана 4 для очистки литья отсос пыли осуществляется непосредственно из самого барабана через полуось 3 (рис. 16.8, б).

Для подъёма сыпучих материалов служат элеваторы. Они укрываются кожухом по всей их длине. Воздух отсасывается при подъёме материалов с температурой более 50°C от верхней головки элеватора, а при подъёме холодных материалов – внизу от места их загрузки. Расход воздуха составляет $600-1700 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На рис. 16.8, в изображено укрытие верха щековой дробилки 5. В месте поступления материала в укрытие подвешивается резиновый фартук 6, нижний конец которого соприкасается с загружаемым материалом. Перед аспирационной воронкой 7 устанавливается отбойный щиток 8. Благодаря отсосу, в укрытии создаётся разрежение, препятствующее выходу пыли наружу в помещение.

Внизу дробилки в месте выхода дробленого материала на ленточный конвейер образуется большое количество пыли. Поэтому здесь устраивается полное укрытие конвейера (рис. 16.8, г).

Отсасывание воздуха из-под укрытий пылящего оборудования должно происходить с минимальным уносом продукта. Поэтому скорость воздуха, входящего в аспирационные патрубки, должна быть не более 2 м/с – для кусковых, 1 м/с – для зернистых и $0,7 \text{ м/с}$ – для порошковых материалов.

Существует множество различных конструкций укрытий и местных отсосов. В промышленных цехах обычно устанавливается большое их количество от разнообразного технологического оборудования. При этом отсосы, удаляющие одни и те же вредности, объединяют в одну местную вытяжную систему, имеющую один общий вытяжной воздуховод, один вентилятор и единый способ очистки выбрасываемого воздуха. Такая система не должна быть слишком громоздкой, она может объединять до 10-12 отсосов при радиусе действия до 30-40 м (см. рис. 16.3, поз. 4).

Целесообразным является применение у станков индивидуальных пылевых отсосов, с помощью которых не только отсасывается воздух, но и очищается от пыли, после чего выпускается в помещение цеха.

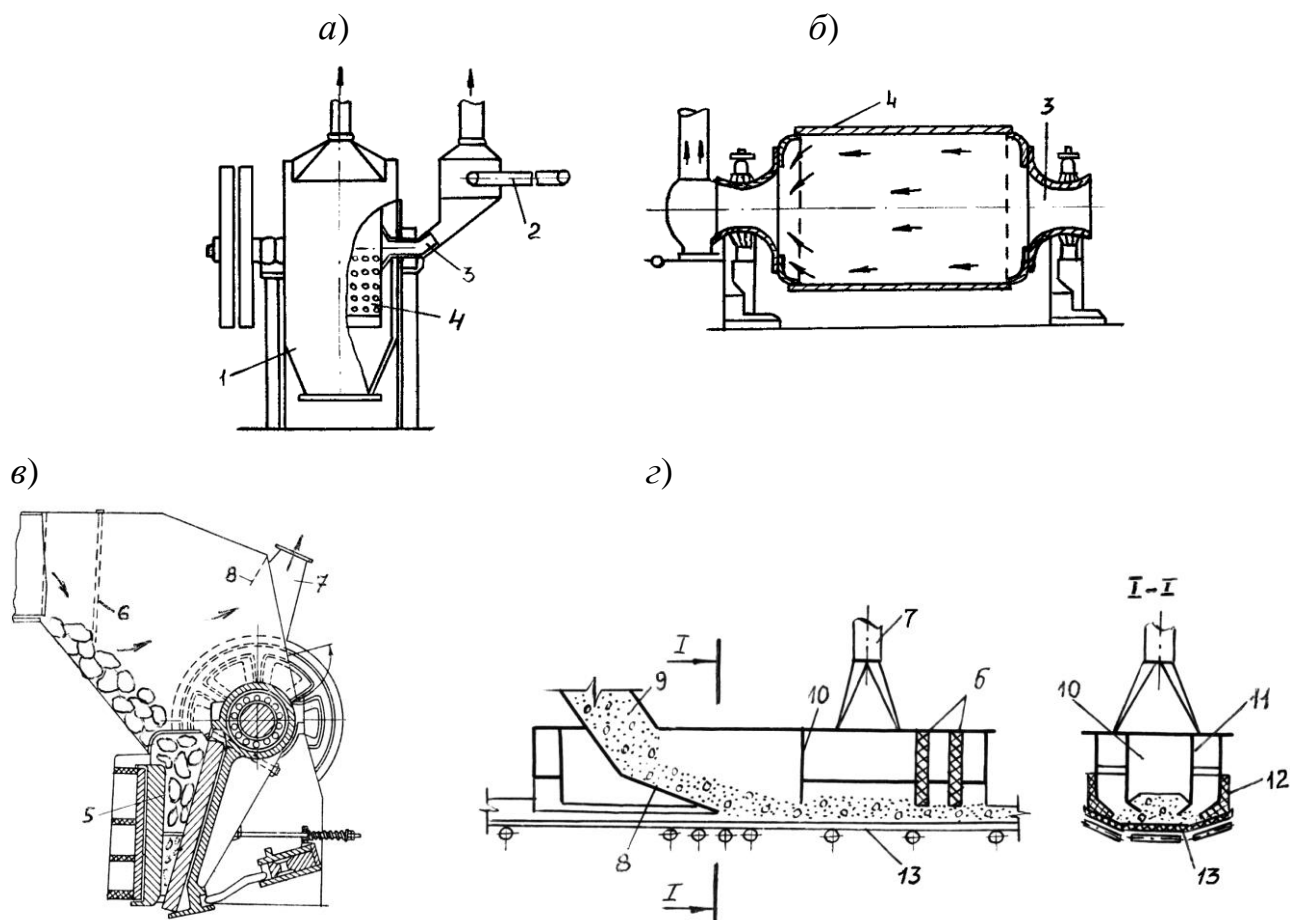


Рисунок 16.8 – Укрытия и аспирация: *а* – малой шаровой мельницы; *б* – вращающегося барабана для очистки литья; *в* – щековой дробилки; *г* – узла погрузки конвейера; 1 – укрытие; 2 – питатель; 3 – полая ось; 4 – барабан; 5 – дробилка; 6 – резиновый фартук; 7 – отсос; 8 – щиток; 9 – течка; 10 – перегородка; 11 – внутренние стенки; 12 – уплотнители из ленты; 13 – лента.

ТЕМА 17 СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Местные приточные системы подают воздух в определенную зону помещения (чаще всего на рабочее место), в пределах которой создаются условия, отличающиеся от условий в стальном объеме помещения и удовлетворяющие требованиям к воздуху этой зоны.

К местным приточным системам вентиляции относятся:

1. воздушные души
2. воздушные завесы
3. воздушно-тепловые завесы

17.1. Воздушные души

Для создания на постоянных рабочих местах требуемых метеорологических условий (температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха), а иногда и допустимых концентраций вредных веществ, применяют воздушное душирование. Устройство воздушных душей необходимо в следующих случаях: при воздействии на работающего теплового облучения интенсивностью 350 Вт/м^2 и более, при нагреве воздуха в рабочей зоне выше установленной температуры и при невозможности использования местных укрытий источников выделения вредных газов и паров.

Применение воздушных душей особенно целесообразно при тепловом облучении работающих у промышленных печей, расплавленного металла, нагретых слитков и заготовок. Интенсивность теплового облучения рабочего места, Вт/м^2 , в этих случаях определяют по формуле

$$q_{p.m} = 5,67 \varphi_{p.m} \cdot \varphi_o \left(\frac{273 + t_n}{100} \right)^4, \quad (17.1)$$

где $5,67$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$;

$\varphi_{p.m}$ – коэффициент, учитывающий расстояние от источника излучения до рабочего места (рис. 17.1, а);

φ_o – коэффициент облучённости при излучении из отверстия;

t_n – температура источника облучения, $^{\circ}\text{C}$.

Воздушные души следует устраивать после принятия мер по уменьшению облучения применением защитных экранов или водяных завес, что должно учитываться на стадии проектирования душирующих установок. Кроме того, в горячих цехах необходимо предусматривать теплоизоляцию воздухопроводов, подающих воздух к душирующим патрубкам.

При расчёте систем воздушного душирования наружным воздухом принимают расчётные параметры А – для теплого и Б – для холодного периодов года. Эти системы нельзя объединять с обычными системами приточной вентиляции, они должны

быть отдельными, самостоятельными. Для обработки и подачи наружного воздуха на души используют приточные камеры или кондиционеры.

Температуру и скорость движения воздуха на рабочих местах при душировании принимают в зависимости от интенсивности теплового облучения. Расстояние от душирующего патрубка до рабочего места принимают не менее 1 м. При этом обдувают воздухом голову и верхнюю часть туловища человека.

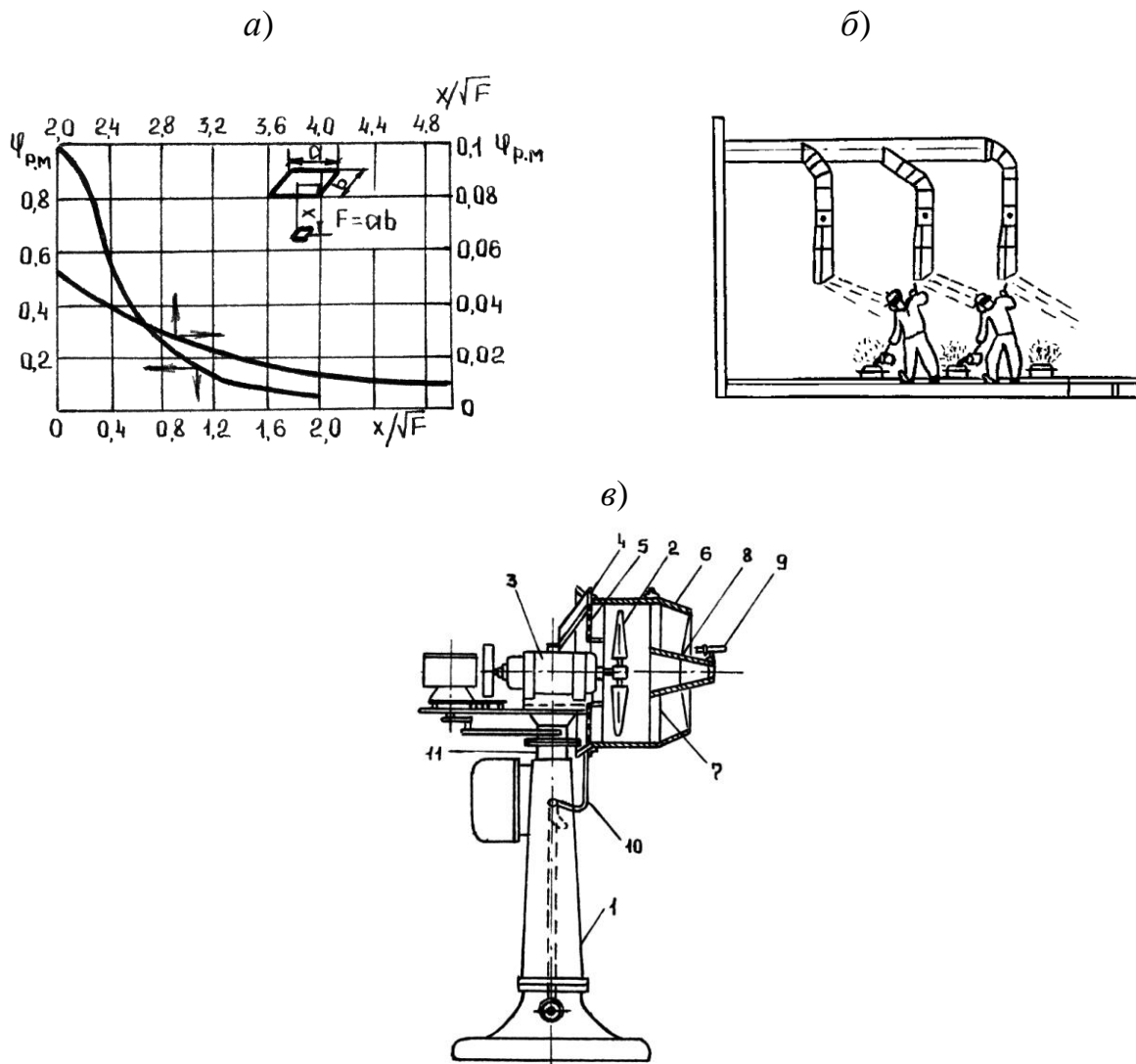


Рисунок 17.1 – Воздушные души: а – график для определения коэффициента $\varphi_{p.m.}$; б – стационарный воздушный душ при разливке расплавленного металла; в – передвижной душирующий верный агрегат.

Направление воздушного потока может быть горизонтальное или сверху вниз под углом 45° . При борьбе с вредными газовыми выделениями воздушный поток душа направляют в лицо человека (зону дыхания). Ширину площадки постоянного рабочего места в расчётах принимают равной 1 м, а минимальную площадь выходного сечения душирующего патрубка – $0,1 \text{ м}^2$ (или диаметр 0,3 м).

Воздушные души могут подавать: 1) наружный воздух, подвергающийся увлажнению, охлаждению или подогреванию и очистке от пыли; 2) наружный воздух после

очистки от пыли, но без остальной обработки, если при этом обеспечиваются необходимые параметры микроклимата на рабочих местах; 3) внутренний воздух после его охлаждения и 4) внутренний воздух без обработки.

По конструкции воздушные души бывают стационарные (рис. 17.1, б) и передвижные (рис. 17.1, в). Передвижные установки подают на рабочие места внутренний воздух помещения без его обработки. Иногда в создаваемый ими воздушный поток добавляют тонкораспыленную воду, что усиливает охлаждающий эффект за счёт испарения капелек воды, осевших на теле человека.

В установках воздушного душирования широко применяют для подачи воздуха к рабочим местам патрубков конструкции проф. В. В. Батурина (рис. 17.2, б, в). Патрубок имеет поворотные лопатки, с помощью которых изменяют направление воздушного потока. Получили распространение также цилиндрические насадки и поворотные душирующие патрубки типа ППД (рис. 17.2, а), применяемые при душировании фиксированных рабочих мест наружным или охлаждённым внутренним воздухом. Патрубок ППД имеет поджатое выходное сечение, что увеличивает дальнобойность струи душа. Наличие шарнира даёт возможность изменять направление воздушного потока в вертикальной плоскости, а поворотное устройство – изменять направление потока в горизонтальной плоскости на 360°.

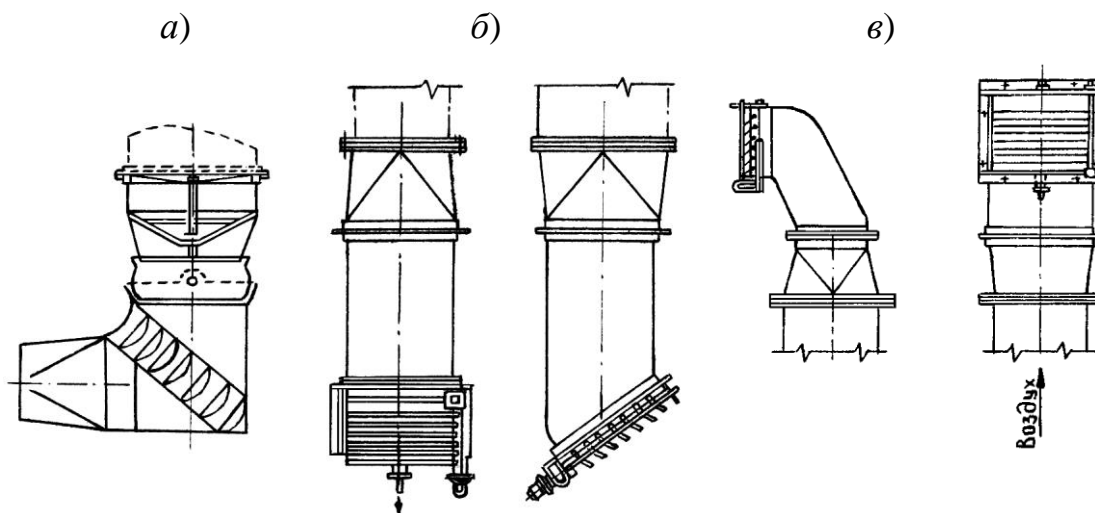


Рисунок 17.2 – Конструкции душирующих патрубков.

При душировании целых площадок с постоянным пребыванием на них рабочих внутренним охлаждённым или наружным воздухом применяют патрубки с верхним подводом воздуха ПДв (рис. 17.2, б) или патрубки с нижним подводом воздуха ПДн (рис. 17.2, в). Эти патрубки имеют шарниры, позволяющие поворачивать их вокруг оси воздуховода. Наличие поворотных лопаток в выходной решётке и возможность поворота патрубков вокруг оси воздуховода даёт возможность придавать любое направление струе душирующего воздуха. Душирующие патрубки устанавливают на высоте 1,8-1,9 м (от пола и до нижней кромки). Существуют и другие типы душирующих патрубков.

Для охлаждения и увлажнения наружного воздуха, подаваемого на души, как правило, используют адиабатический процесс его обработки в форсуночных камерах, так как политропический процесс с применением искусственного холода требует значительных затрат.

В качестве передвижных душирующих установок получил применение веерный агрегат ВА-1.

Веерный агрегат ВА-1 имеет чугунную станину 1, несущую на себе осевой вентилятор 2 с электродвигателем 3, обечайку 4 с сеткой 5, конфузур 6 с направляющими лопатками 7 и обтекателем 8, пневматическую форсунку 9 и трубопроводы с гибкими шлангами 10 для подвода сжатого воздуха и воды (рис. 17.1, в). Вентилятор агрегата может поворачиваться вокруг оси станины на угол до 60°, а также подниматься на телескопе 11 по вертикали на 200-600 мм. Производительность агрегата 6 тыс. м³/ч. Веерные агрегаты ВА-2 и ВА-3 отличаются тем, что развивают большую производительность соответственно в два и три раза.

Расчёт воздушного душа при борьбе с тепловым облучением и душировании горизонтальными или наклонными струями по методу проф. П. В. Участкина ставит своей целью определить необходимые площадь выходного сечения душирующего патрубка и скорость воздуха в нём, при которых обеспечиваются нормируемые параметры воздушной среды на постоянном рабочем месте.

Сначала находят следующее отношение разностей температур

$$P_T = \frac{t_{p.з} - t_p}{t_{p.з} - t_0}, \quad (17.2)$$

где $t_{p.з}$ – температура воздуха в рабочей зоне, °С;

t_p – нормируемая температура воздуха на рабочем месте, °С;

$t_0 = t_{охл} + \Delta t_n$ – температура воздуха на выходе из душирующего патрубка, °С;

$t_{охл}$ – температура воздуха на выходе из форсуночной камеры после адиабатического охлаждения, °С;

$\Delta t_n = 1,5$ °С – нагрев воздуха в вентиляторе и воздуховоде между форсуночной камерой и душирующим патрубком.

При $P_T < 1$ применяют адиабатическое охлаждение воздуха, а при $P_T > 1$ – его искусственное охлаждение.

Далее расчёт необходимых площади выходного сечения душирующего патрубка F_0 (м²) и скорости выхода воздуха из него v_0 (м/с) ведут для одного из трёх случаев по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
\text{при } P_T < 0,6 \quad F_0 &= \left(\frac{P_T \cdot x}{0,6n} \right)^2; \quad v_0 = \frac{v_p \cdot x}{0,7m\sqrt{F_0}}; \\
\text{при } P_T = 0,6 - 1 \quad F_0 &= \left(\frac{x + 5,3P_T - 3,2}{0,75n} \right)^2; \quad v_0 = \frac{v_p}{0,7 + 0,1 \cdot (0,8m\sqrt{F_0} - x)}; \\
\text{при } P_T > 1 \quad F_0 &= \left(\frac{x}{0,8m} \right)^2; \quad v_0 = \frac{v_p}{0,7},
\end{aligned} \tag{17.3}$$

где x – расстояние от душирующего патрубка до рабочего места, м;
 n – опытный коэффициент, характеризующий изменение температуры (или концентрации газов) по оси струи;

v_p – нормируемая скорость движения воздуха на рабочем месте, м/с;

m – опытный коэффициент, характеризующий изменение скорости по оси струи.

При борьбе с вредными газами расчёт душирующей установки проводят в следующей последовательности. Определяют отношение разностей концентраций газов

$$P_K = \frac{c_{p.з} - c_p}{c_{p.з} - c_0}, \tag{17.4}$$

где $c_{p.з}$ – концентрация газов в воздухе рабочей зоны, мг/м³;

c_p – предельно допустимая концентрация газов в воздухе на рабочем месте, мг/м³;

c_0 – концентрация газов в воздухе, подаваемом из душирующего патрубка, мг/м³.

В зависимости от величины P_K находят искомые величины для одного из двух случаев

$$\begin{aligned}
\text{при } P_K < 0,4 \quad F_0 &= \left(\frac{P_K \cdot x}{0,4n} \right)^2; \quad v_0 = \frac{v_p \cdot x}{0,5m\sqrt{F_0}}; \\
\text{при } P_K = 0,4 - 1 \quad F_0 &= \left(\frac{x + 3,7P_K - 1,5}{0,75n} \right)^2; \quad v_0 = \frac{v_p}{0,55 + 0,14 \cdot (0,8m\sqrt{F_0} - x)}.
\end{aligned} \tag{17.5}$$

Когда в цехе необходимо иметь несколько душей, вблизи расположенных один от другого, то их объединяют в одну местную приточную систему.

17.2. Воздушные завесы. Классификация и конструкция воздушных завес

В наружных ограждениях производственные здания обычно имеют двери для прохода людей и ворота для проезда транспорта, а иногда могут иметь и технологические проёмы для транспортёров и пневмотранспорта. В холодное время года при открывании этих проёмов в помещение попадает наружный воздух с низкой температу-

рой, что приводит к интенсивному охлаждению рабочих мест и может вызывать простудные заболевания.

С целью предотвращения попадания в помещение холодного воздуха, у открывающихся наружных проёмов устраивают тамбуры, шлюзы, вращающиеся двери (рис. 17.3) или воздушные завесы (рис. 17.4). Тамбуры располагают с внутренней или наружной сторон проёма, они имеют два ряда последовательно открываемых и закрываемых полотен ворот. Тамбуры и шлюзы могут быть утеплёнными, тогда в них подают подогретый воздух. Вращающиеся двери служат для прохода людей.

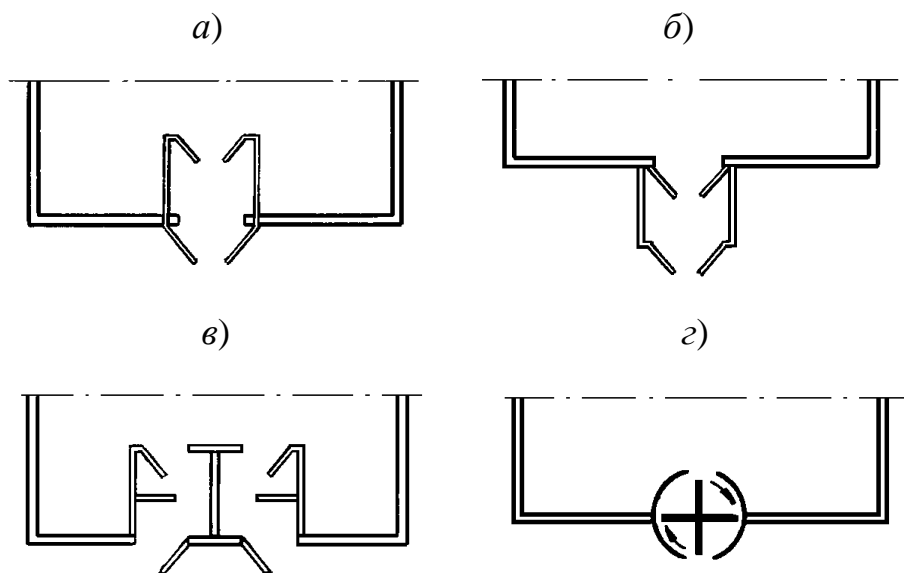


Рисунок 17.3 – Устройства, предотвращающие врывание холодного воздуха в помещение: *а* – внутренний тамбур; *б* – наружный тамбур; *в* – шлюз; *г* – вращающиеся двери.

Воздушная завеса представляет собой вентиляционное устройство, создающее плоскую воздушную струю, перекрывающую открытый проём и препятствующую проникновению в помещение холодного наружного воздуха или перетеканию воздуха из загрязнённого помещения в чистое. Когда подаваемый воздух предварительно подогревают, завесу называют воздушно-тепловой.

Строительными нормами и правилами определено, что воздушные или воздушно-тепловые завесы надлежит применять в следующих случаях: 1) у ворот, открывающихся чаще 5 раз или не менее чем на 40 мин в смену, а также у технологических проёмов зданий, расположенных в районах с расчётной температурой наружного воздуха для холодного периода года минус 15 °С и ниже (параметры Б), если исключена возможность устройства тамбуров или шлюзов; 2) у ворот и технологических проёмов при любых расчётных температурах и любой продолжительности открывания при соответствующем обосновании.

а) *б)*

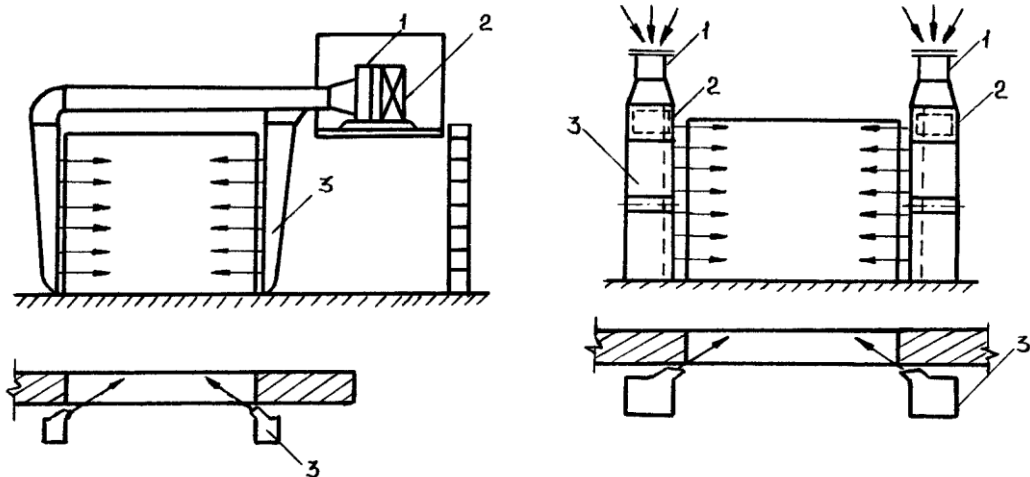


Рисунок 17.4 – Двусторонние боковые завесы шиберующего типа с горизонтальной подачей воздуха: *а* – установка с одним осевым вентилятором на площадке у верха ворот; *б* – установка осевых вентиляторов на раздаточных коробах; 1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – раздаточный короб.

Воздушно-тепловые завесы следует предусматривать у входных дверей вспомогательных зданий предприятий в зависимости от расчётной температуры наружного воздуха (параметры Б) и количества людей, проходящих в течение часа; у дверей помещений с вблизи расположенными рабочими местами или со значительными выделениями влаги, или оборудованных системами кондиционирования воздуха, а также при обосновании у проёмов и отверстий в ограждениях технологического оборудования для уменьшения поступления через них вредностей и холода.

Схемы воздушных завес показаны на рис. 17.4. Как видно, завесы могут быть с одним или двумя вентиляторными агрегатами, которые устанавливаются на полу цеха или на площадке у верха ворот. Для образования в проёме плоских шиберующих струй служат воздуховоды равномерной раздачи, имеющие щелевые насадки с направляющими пластинками. В воздушно-тепловых завесах у вентиляторов устанавливают калориферы. Для завес применяют центробежные или осевые вентиляторы.

Воздушные завесы бывают периодического и постоянного действия. Первый вид завес применяют у периодически открываемых проёмов, второй – у постоянно открытых проёмов. При этом независимо от характера работы, завесы не должны влиять на тепловой и воздушный режимы помещения. Завесы постоянного действия дополнительно могут быть использованы в качестве средства для создания притока или вытяжки воздуха в помещении, они могут также выполнять роль воздушно-отопительных агрегатов.

По направлению движения создаваемых плоских струй завесы бывают: нижние – с подачей струи снизу вверх (рис. 17.5, *а*), боковые – с горизонтальной подачей струи (рис. 17.4) и верхние – с подачей струи сверху вниз (рис. 17.5, *б*).

А)

Б)

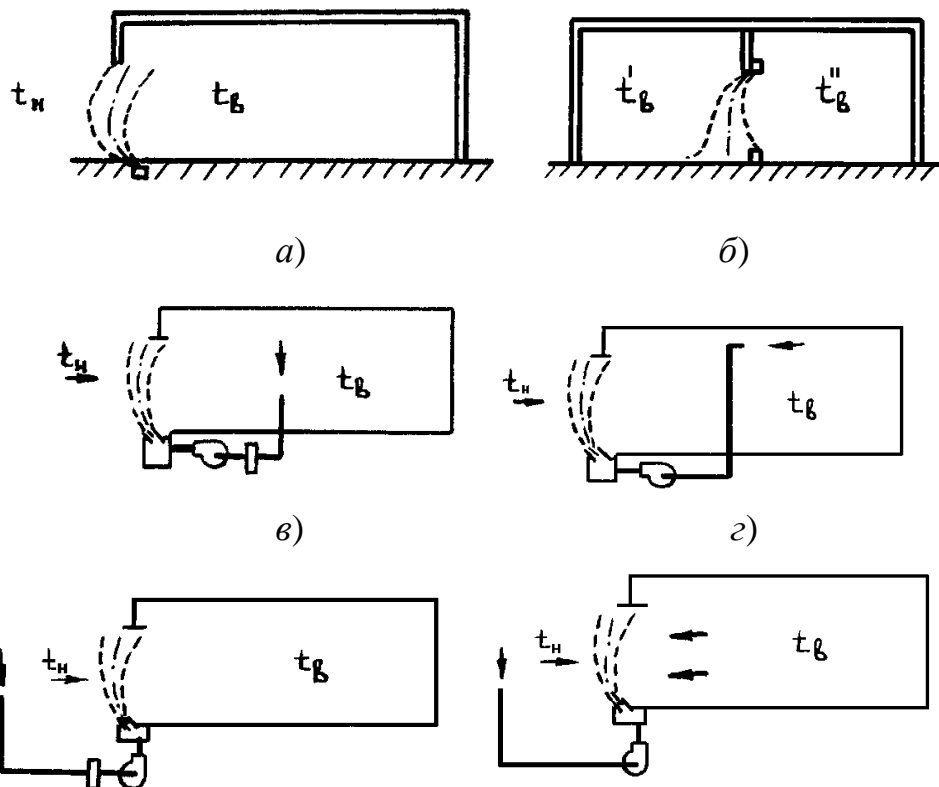


Рисунок 17.5 – Воздушные завесы: *A, B* – с различным направлением струи; *a-g* – с различными местами воздухозабора.

Завесы с подачей струи воздуха снизу вверх наиболее надёжно препятствуют врыванию холодного воздуха в рабочую зону помещения. Их следует применять при ширине проёма, значительно большей, чем высота. В условиях же, когда в проёмах транспорт делает остановки или в них установлены транспортёры, а воздухоподогревательная щель загрязняется сыпучими материалами, завесы с нижней подачей воздуха не применяют.

Завесы с горизонтальным направлением струи наиболее широко распространены, они бывают односторонние и двусторонние. Односторонние завесы пригодны для проёмов малой ширины. Воздушные завесы с подачей воздуха сверху вниз у наружных проёмов непригодны, так как не обеспечивают надёжную защиту рабочей зоны от проникания холодного воздуха. Поэтому их используют у проёмов во внутренних ограждениях или у отверстий в ограждениях технологического оборудования.

В зависимости от места воздухозабора и температуры подаваемого воздуха завесы разделяют на следующие виды:

1) завесы с забором внутреннего воздуха с температурой t_b и подогревом его перед подачей до t_3 – устраивают в проёмах у наружных ограждений, когда вблизи них расположены постоянные рабочие места или когда к воздушной среде помещения предъявляются повышенные требования (рис. 17.5, *a*);

2) завесы с забором внутреннего воздуха и подачей его без подогрева – применяют у проёмов в наружных ограждениях помещений, когда в них допускают некото-

рое периодическое понижение температуры, и у проёмов во внутренних ограждениях (рис. 17.5, б);

3) завесы с забором наружного воздуха и подогревом его перед подачей – используют при постоянном их действии и дополнительно в качестве приточных вентиляционных установок (рис. 17.5, в);

4) завесы с забором наружного воздуха и подачей его без подогрева – осуществляют при наличии в помещении избыточного давления, препятствующего попаданию воздуха завес в помещение за счёт его выдавливания (рис. 17.5, г).

Для ворот промышленных зданий воздушно-тепловая двусторонняя завеса состоит из двух агрегатов. Каждый агрегат имеет вентиляторную секцию 1 с осевым или центробежным вентилятором, нагревательную секцию 2 и воздухоподогревательные короба 3, с воздуховыпускными щелями (рис. 17.4, б). Короба состоят из отдельных секций высотой 1200 и 1800 мм для монтажа их соответственно высоте проёма ворот. Ширину щели коробов регулируют специальным устройством. При открывании и закрытии ворот вентиляторы завесы автоматически включаются и выключаются. Воздух из щелей коробов выпускают под определенным углом к плоскости проёма ворот. Вентиляционное оборудование завесы располагают внутри помещения.

В целях более надёжной защиты проёмов от проникания холодного наружного воздуха разработаны также двух- и трёхслойные воздушные завесы с разной температурой воздуха в подаваемых струях.

Во время открывания ворот, дверей и технологических проёмов завесы должны обеспечивать в холодный период года температуру воздуха в помещениях на постоянных рабочих местах не ниже 14 °С при лёгкой физической работе, 12 °С при работе средней тяжести и 8 °С при тяжёлой работе. Поэтому температура смеси наружного воздуха и воздуха завесы должна быть не ниже указанных пределов.

17.3. Расчёт воздушных завес

Завесы рассчитывают обычно без учёта ветрового давления. При уравновешенном воздушном балансе помещения количество воздуха, подаваемого завесой, находят по формуле (кг/ч)

$$G_z = 1,6 \cdot 10^4 \cdot \bar{q} \cdot \mu_{np} \cdot F_{np} \sqrt{h \cdot (\rho_n - \rho_v) \cdot \rho_{см}}, \quad (17.6)$$

где \bar{q} – отношение количества воздуха, подаваемого завесой, к количеству смеси воздуха, проходящего через проём G_{np} ;

μ_{np} – коэффициент расхода воздуха, движущегося через проём при работе завесы (табл. 17.1);

F_{np} – площадь проёма, м²;

$h = 0,5H_{np}$ – вертикальное расстояние от середины проёма до нейтральной зоны для помещений без аэрационных отверстий, м;

H – высота проёма, м;

ρ_n – плотность наружного воздуха при температуре по расчётным параметрам Б для холодного периода года, кг/м³;

ρ_v – плотность внутреннего воздуха, кг/м³;

$\rho_{см}$ – плотность смеси воздуха, проходящего через проём, при нормируемой температуре в районе ворот, кг/м³.

При наличии в помещении дисбаланса механической вентиляции расход воздуха завесой подсчитывают по формулам:

- при заборе воздуха завесой из помещения

$$G_3 = \Delta G \cdot \frac{\bar{q}}{1 - \bar{q}} \cdot \frac{F_{np} \cdot \mu_{np}}{\sum(F_n \cdot \mu_n) + \sum(F_{np} \cdot \mu_{np})}; \quad (17.7)$$

- при заборе воздуха завесой снаружи

$$G_3 = \Delta G \cdot \bar{q} \cdot \frac{F_{np} \cdot \mu_{np}}{\sum(F_n \cdot \mu_n) + \sum(F_{np} \cdot \mu_{np})}, \quad (17.8)$$

где ΔG – превышение механической вытяжки над механическим притоком (должно быть не более однократного обмена в час), кг/ч;

$\sum(F_{np} \cdot \mu_{np})$ – сумма произведений площадей одновременно открытых проёмов, оборудованных завесами, на соответствующие им коэффициенты расхода, м²;

$\sum(F_n \cdot \mu_n)$ – сумма произведений площадей открытых приточных проёмов на соответствующие им коэффициенты расхода, м².

Подаваемое завесой количество воздуха, полученное по формулам (17.7) и (17.8), не должно превышать 4000 кг/ч на 1 м² площади проёма. Если превышает, то необходимо увеличить производительность приточной механической вентиляции или предусмотреть дополнительные приточные проёмы.

Результаты расчёта G_3 по формулам (17.7) и (17.8) должны быть проверены по формуле (17.6) и за расчётный расход воздуха завесы следует принимать большее значение из полученных по формулам (17.7) и (17.6) или (17.8) и (17.6).

Таблица 17.1. Значения коэффициента μ_{np} для боковых завес

Завеса	Относительная площадь $\bar{E} = F_{np} / F_{ц}$	Значения μ_{np} для раздвижного (числитель) и распашного (знаменатель) проёма при относительном расходе воздуха \bar{q}					
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

боковая	10	0,42	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29
		0,36	0,33	0,31	0,28	0,26	0,25
	20	0,35	0,32	0,30	0,29	0,29	0,29
		0,30	0,27	0,26	0,25	0,25	0,25
30	0,31	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	
	0,27	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
40	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	
	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
нижняя	10	0,50	0,45	0,40	0,37	0,34	0,31
		0,42	0,38	0,36	0,32	0,30	0,27
	20	0,40	0,35	0,30	0,28	0,25	0,23
		0,34	0,30	0,28	0,25	0,23	0,21
	30	0,35	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20
		0,31	0,26	0,24	0,21	0,20	0,18
	40	0,31	0,27	0,24	0,21	0,20	0,18
		0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15

Температура воздуха, подаваемого завесой (°С)

$$t_3 = t_n + \frac{t_{см} - t_n}{q \cdot (1 - \bar{Q})}, \quad (17.9)$$

где t_n – температура наружного воздуха для холодного периода года по расчётным параметрам Б, °С;

$t_{см}$ – температура смеси воздуха, проходящего через открытый проём, равная нормируемой в районе ворот, °С;

\bar{Q} – отношение количества теплоты, теряемой с воздухом, уходящим через проём наружу, к тепловой мощности калориферов завесы (принимается по графикам рис. 17.6).

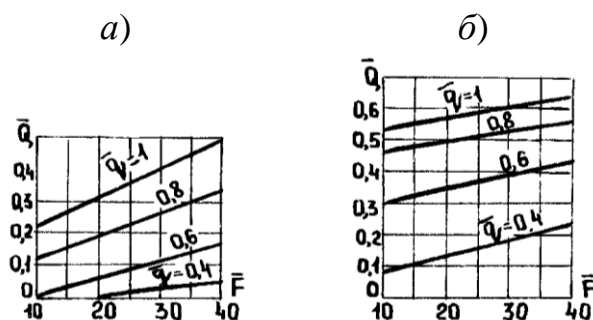


Рисунок 17.6 – Графики к определению \bar{Q} : а – для боковой завесы; б – для нижней завесы.

Тепловая мощность калориферов воздушно-тепловой завесы (Вт)

$$Q_3 = 0,28 \cdot G_3 \cdot c_p \cdot (t_3 - t_{заб}), \quad (17.10)$$

где $t_{заб}$ – температура воздуха, забираемого на завесу, °С; при заборе на уровне всасывающего отверстия вентилятора равна нормируемой в районе ворот, при

заборе из верхней зоны равна температуре в этой зоне, при заборе снаружи равна температуре наружного воздуха для холодного периода года по расчётным параметрам Б.

Теплопотери помещения вследствие врывания воздуха через открытый проём, оборудованный завесой (Вт)

$$Q_{np} = 0,28 \cdot \frac{G_3}{q} \cdot c_p \cdot (t_g - t_{cm}) \frac{n}{60}, \quad (17.11)$$

где n – время открывания проёма за 1 ч, мин.

Ширина щели завесы (м)

$$b_{щ} = \frac{F_{np}}{\bar{F} \cdot l_{щ}}, \quad (17.12)$$

где $\bar{F} = \frac{F_{np}}{F_{щ}}$ – относительная площадь;

$F_{щ}$ – суммарная площадь воздуховыпускных щелей завесы, м²;

$l_{щ}$ – суммарная длина щелей завесы, м.

Скорость воздуха на выходе из щели (м/с)

$$v_{щ} = \frac{G_3}{3600 \cdot b_{щ} \cdot l_{щ} \cdot \rho_3}, \quad (17.13)$$

где ρ_3 – плотность воздуха, подаваемого завесой (при t_3), кг/м³.

Если скорость $v_{щ}$, подсчитанная по формуле (17.13), окажется выше допустимой, то следует увеличить ширину щели.

Потеря давления в раздаточном коробе (Па)

$$\Delta p_{кор} = \zeta_{кор} \frac{v_{щ}^2}{2} \rho, \quad (17.14)$$

где $\zeta_{кор} = 2$ – коэффициент местного сопротивления раздаточного короба.

Если кроме раздаточных коробов завеса имеет дополнительные воздуховоды, необходимо произвести обычный аэродинамический расчёт их и определить общие потери давления в установке с учётом сопротивления калориферов, а затем подобрать вентилятор.

Если завеса дополнительно служит в качестве воздушно-отопительного агрегата, восполняя в помещении недостающее количество теплоты Q_{don} , Вт, то она должна подавать смесь воздуха со следующей температурой (°С):

$$t_{cm} = \frac{Q_{don} \cdot \bar{q} + 0,28 \cdot G_3 \cdot c_p \cdot t_g}{0,28 \cdot G_3 \cdot c_p}. \quad (17.15)$$

ТЕМА 18 СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ И ПНЕВМОТРАНСПОРТА

Системы аспирации и пневмотранспорта – предназначены для перемещения частиц материала в движущемся газовом потоке;

система аспирации – удаляет запыленный воздух от технологического оборудования и подает его на очистку к пылеулавливающему оборудованию;

система пневмотранспорта – служит для перемещения материала в газовом потоке в технологических целях.

18.1. Движение материала в потоке воздуха

Принцип действия систем аспирации и пневматического транспорта заключается в перемещении частиц сыпучего материала в движущемся воздушном потоке.

Пневмотранспорт применяют для перемещения гранул полиэтилена на химических заводах, технической сажи, зерна, формовочных материалов в литейном производстве, хлопка на текстильных фабриках, асбеста при его переработке, песка, молотой глины, аспирацию – для перемещения металлических опилок, отходов древесины на деревообрабатывающих предприятиях, отходов графита и т.п.

При нахождении частицы материала в восходящем воздушном потоке на неё действуют в противоположных направлениях сила тяжести $P = m \cdot g$ и сила сопротивления воздуха $R = k \cdot v_s^2$. Когда эти силы уравниваются, частица начинает витать. Скорость воздушного потока, при которой частица находится во взвешенном состоянии, называют скоростью витания.

При условии $P = R$ частица материала находится во взвешенном состоянии, поэтому скорость витания, м/с будет равна

$$v_s = \sqrt{\frac{m \cdot g}{k}}, \quad (18.1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

m – масса частицы, кг;

k – коэффициент пропорциональности.

Сила сопротивления воздуха движущемуся в нём телу представляется зависимостью

$$R = c \cdot F \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \frac{v_s^2}{2}, \quad (18.2)$$

где c – коэффициент сопротивления, зависящий от критерия Рейнольдса;

F – площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную вектору скорости, м²;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³.

Из формулы (18.2) следует, что коэффициент k будет равен

$$k = \frac{1}{2} \cdot c \cdot F \cdot \rho_{\text{в}},$$

а скорость витания

$$v_s = \sqrt{\frac{2m \cdot g}{c \cdot F \cdot \rho_{\text{в}}}}, \quad (18.3)$$

Учитывая, что $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, $\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$, для частиц, имеющих форму шара,

$$m = V \rho_{\text{м}} = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \rho_{\text{м}} \quad \text{и} \quad F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

получим, что выражение (3) примет вид

$$v_s = 3,6 \sqrt{\frac{d \cdot \rho_{\text{м}}}{c \cdot \rho_{\text{в}}}}, \quad (18.4)$$

где d – диаметр частицы, м;

$\rho_{\text{м}}$ – плотность материала, кг/м^3 .

По этой формуле можно рассчитывать скорость витания для древесины, для частиц металла и абразивного материала, а также других сыпучих материалов.

В области $Re < 1$ коэффициент сопротивления шара c обратно пропорционален критерию Рейнольдса. При увеличении Re от 10 до 1000 происходит уменьшение коэффициента сопротивления, и для этого интервала В. П. Ромадиным получена зависимость

$$c = \frac{13}{\sqrt{Re}}. \quad (18.5)$$

Далее при $Re = 10^3 \div 2 \cdot 10^5$ коэффициент сопротивления сохраняет своё значение в среднем равное 0,48, а при дальнейшем увеличении Re он резко уменьшается до 0,22.

Скорость витания частиц различных сыпучих материалов можно определять экспериментальным путём.

Скорости витания частиц различных материалов необходимо знать для определения требующихся скоростей перемещения этих материалов по воздуховодам систем аспирации и пневмотранспорта. Существуют также эмпирические формулы для подсчёта скоростей витания. Так скорость витания древесных отходов может быть определена по формуле

$$v_s = 0,14 \sqrt{\frac{\rho_{\text{м}}}{\left(0,02 + \frac{a}{h}\right) \cdot \rho_{\text{в}}}}, \quad (18.6)$$

где a – коэффициент, зависящий от формы частиц: при квадратном поперечном сечении $a = 1,1$; при прямоугольном – $a = 0,9$;

h – толщина частицы, мм.

Скоростью трогания называют минимальную скорость движения воздуха, при которой частица начинает сдвигаться со своего места в горизонтальном воздуховоде. По Л. С. Клячко скорость трогания равна

$$v_{mp} = 1,3 \cdot \sqrt[3]{\rho_m}. \quad (18.7)$$

В воздуховоде частица всегда перемещается со скоростью меньшей, чем скорость воздуха. Отношение скорости движения частицы к скорости движения воздуха называют относительной скоростью, т.е.

$$A = \frac{v_m}{v_v}, \quad (18.8)$$

где v_m – скорость движения частицы материала, м/с;

v_v – скорость движения воздуха, м/с.

В момент трогания $A = 0$. При скорости движения воздуха, большей скорости трогания всегда $A < 1$. Дальнейшее увеличение скорости движения воздуха увеличивает относительную скорость и придаёт большую устойчивость движению частицы в воздушном потоке.

Критической скоростью называют такую скорость воздуха в горизонтальном воздуховоде, при которой относительная скорость A , достигает своего максимального значения. Критическая скорость зависит от многих факторов, в том числе от размера и формы частиц, плотности материала и плотности воздуха, концентрации частиц в воздушном потоке и т.д.

Транспортирующей скоростью называют такую скорость движения воздуха в воздуховоде, при которой обеспечивается устойчивое транспортирование материала. Требуется, чтобы транспортирующая скорость была несколько больше критической скорости.

Для древесных отходов транспортирующая скорость в горизонтальном участке воздуховода может быть определена по формуле

$$v_{zop} = c \cdot \left(4\mu_p \frac{v_v}{v_m} + 0,01\rho_m + b \right), \quad (18.9)$$

где $c = 1-1,15$ – коэффициент, учитывающий снижение скорости движения материала в местных сопротивлениях системы;

$$\mu_p = \frac{G_m}{G_v}$$

– массовая концентрация смеси, равная отношению количества транспортируемого материала G_m (кг/ч) к количеству транспортирующего воздуха G_v (кг/ч);

b – коэффициент, зависящий от вида транспортируемого материала.

При перемещении материалов по вертикальным участкам воздуховодов (угол наклона более 60°) под действием силы тяжести постепенно может увеличиваться массовая концентрация смеси, что приводит к оседанию транспортируемого материала и образованию завалов. Для повышения надёжности работы систем аспирации и пневмотранспорта необходимо принимать скорость движения воздуха в вертикальных участках воздуховодов большую, чем транспортирующая скорость в горизонтальных воздуховодах на величину скорости витания, т.е.

$$v_{верт} = v_{гор} + v_s \quad (18.10)$$

18.2. Аспирация

Аспирация - особая разновидность системы вентиляции, целью которой является недопустить (минимизировать) поступления вредностей (выделяемых при технологическом процессе) в атмосферу цеха.

При деревообработке, литье, обработке металлов, пересышке муки и т.д. и т.п. выделяется большое количество пыли, запахов и т.п. Система аспирации должна уловить (локализовать) эти вредности, очистить их и выбросить на улицу.

Системы аспирации можно встретить практически на любых производствах.

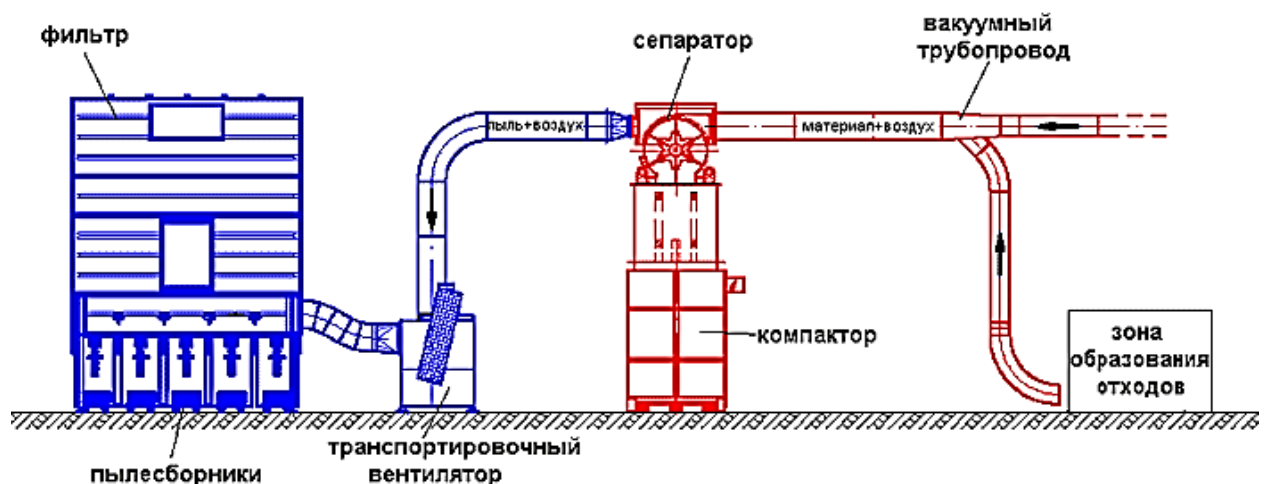


Рисунок 18.1 – Схема системы аспирации.

Классическая система аспирации имеет всего несколько ключевых элементов:

1. Местный отсос. Зонт, укрытие, бортовой отсос и т.п. - любое устройство, которое помогает уловить вредности.

2. Наклонные воздуховоды из толстостенной стали, которые отводят воздух с пылью от местного отсоса до улицы.

3. Высоконапорный вентилятор.

4. Система очистки выбросов. Фильтр, циклон и др. устройства, которые очищают вытяжной воздух перед выбросом на улицу (или возврата в цех).

Главный критерий оценки эффективности аспирационной системы - степень невыбивания, т.е. как много или мало вредных веществ уходят мимо местного отсоса и поступают в атмосферу цеха.

Т.е. чем более эффективна система аспирации, тем меньше вредных веществ поступает в помещения из местного отсоса.

Особенности системы аспирации

Проектирование систем методами, применяемыми при проектировании обычной вентиляции, приводит к неэффективной работе системы - засорение, залипание, обрывы, быстрому износу воздуховодов, уменьшения производительности местных отсосов.

Скорости воздуха в аспирационных воздуховодах очень значительны (чтобы пыль не оседала на воздуховодах).

Толщина металла. Аспирационные воздуховоды работают в более тяжелых условиях, чем приточные. Поэтому аспирационные воздуховоды изготавливают не из тонколистовой стали, а из более толстого металла (1,2-5 мм). Фасонные части - из металла на 1 мм толще, чем прямые участки.

Крепление аспирационных воздуховодов. Увеличение толщины металла, повышенная опасность обрыва при засорении и залипании требуют изменение способа крепления труб. Использование хомута на подвеске запрещается. Для монтажа используются кронштейны, к которым крепятся хомуты. Иногда применяют цепи. При диаметре труб до 400 мм расстояние между кронштейнами - до 4 м., при большем диаметре труб - до 3 м.

Соединение воздуховодов. Соединение воздуховодов с помощью фланцев зачастую не применимо в аспирационных системах. Это связано с тем, что аспирационные воздуховоды достаточно часто должны разбираться для чистки или замены. Через некоторое время (полгода) фланцы могут стать неразборными. В связи с этим, для соединения воздуховодов используют быстроразборные конструкции.

Регулировочные устройства. В системах аспирации не применяют дроссель-клапаны, вместо них используют шиберы.

Конфигурация воздушной сети. При неправильном проектировании воздушной сети система аспирации полностью теряет эффективность из-за засора воздуховодов пылью. При неправильно спроектированной системе воздуховодов требуется очистка воздуховодов 1-2 раза в месяц. Правилом "хорошего тона" является разработка мер по самоочистке воздуховодов. Это достигается прокладкой воздуховодов под углом. При

скоростях до 20 м / с воздуховоды должны прокладываться под углом 60 и более градусов, при скоростях до 25 м / с - до 60 градусов.

Все воздуховоды должны быть максимально короткими и должны быть проложены по кратчайшему расстоянию.

Одна аспирационная система должна обслуживать от одного до шести местных отсосов.

Залипание воздуховодов липкой пылью. В этом случае задачей является уменьшить трудоемкость по чистке воздуховодов. Проектируются максимальные скорости воздуха, кроме того, внутри воздуховода размещают вкладыши и чехлы из бумаги, пленки и т.п.

Факельный выброс применяют для уменьшения заноса выбрасываемых вредностей в помещение. Скорость воздуха при выбросе составляет 15-20 м / с. Выброс должен осуществляться как минимум в 20 метрах от приемных решеток по горизонтали или 6 по вертикали.

Выбор вентилятора. В качестве вентилятора для системы аспирации нельзя выбирать обычные, общепромышленные вентиляторы. В противном случае вентилятор выйдет из строя через 3-4 месяца работы из-за полного износа или коробление ротора вентилятора.

Потери воздуха. Очень значительная часть воздуха аспирационной системы теряется в неплотностях воздушной сети. В советское время нормировались потери воздуха в воздушной сети на уровне 15%. Однако, многочисленные опыты показывают, что потери в воздуховодах, в среднем, достигают 30% и даже более! Поэтому, при подборе вентиляторов это должно быть учтено.

Следующий фактор, который зачастую просто-напросто не учитывается – **подсосы воздуха через пылегазоочистные устройства.** Реальные значения подсоса воздуха при различных очистных устройствах от 10% (мокрые пылеулавливатели) до 23% (электрофильтры).

Источники поступления вредностей. Места подачи в технологическое оборудование сыпучих материалов и места вывода таких материалов. Незакрываемые во время работы окна, отверстия, люки, карманы, проемы в конструкции отсоса, необходимы для ведения основных, вспомогательных и подсобных технологических операций на оборудовании.

Неплотности самой конструкции местного отсоса (щели, неплотно закрываемые двери, крышки, отверстия для трубопроводов и т.п.).

Местные отсосы. Первой целью при экспертизе или проектировании является оценка эффективности того или иного местного отсоса (укрытия). От того, удачный отсос будет подобран или нет, зависит, прежде всего, эффективность всей системы аспирации.

Установить «какой-то зонт» и надеяться, что вредности сами пойдут вверх - значит поступать непрофессионально. Разработка отсоса, согласование его с технологом - это важнейший шаг в создании работоспособной аспирационной установке.

К местным отсосам относятся также укрытия кабинного типа, витринные отсосы, вытяжные шкафы и боксы, выгородки, шлюзы для ручных работ, стационарные кабины операторов, панели равномерного всасывания и т.д. и т.п. Использование того или иного отсоса должно быть проанализировано с точки зрения эффективности и согласовано с технологом на предмет того, возможно ли использование укрытия для данного производства.

Аспирационные системы вытягивают очень существенное количество пыли.

Литейные производства - до 2,5 кг на 1 м³ воздуха.

Дробильные производства - до 8 кг.

Размольные производства - до 20 кг.!

Пескоструйные производства - до 8 кг.

18.3. Очистка аспирационного воздуха

Грубая очистка от пыли - это предварительная очистка воздуха при запыленности более 1г/м³. При начальной запыленности более 10г/м³ предусматривают последовательную установку двух разных аппаратов грубой очистки.

Применение пылевых мешков, обункерованных газоходов, пылевых мешков рекомендуется при наличии в аспирационном воздухе волокнистых частиц, смолистых веществ, слипающейся пыли, древесной стружки, крупного волокна. Их следует устанавливать как можно ближе к местному отсосу.

При налипающей пыли рекомендуется применение бесперегородочных пылевых камер и пылевых мешков, с устройством внутренних навесных стенок или стенок со съемным покрытием (бумага, картон, пленка, резина и т.п.).

Классикой предварительной сухой очистки является применение сухих центробежных циклонов.

Для средней очистки часто применяют мокрые пылеулавители -- скрубберы.

Тонкая очистка осуществляется последовательно установленными системами очистки: батарейный циклон-электрофильтр или циклон-рукавный фильтр; Комплекс из двух рукавных фильтров разной конструкции.

При небольшой запыленности - до 2мг / м³ можно устанавливать один рукавный фильтр. При большей запыленности рекомендуется установка средней (циклон) и тонкой очистки (рукавный фильтр).

При липкой пыли, высокой температуры пыли, повышенной кислотности и т.п. устанавливают электрофильтры или высоконапорную трубу Вентури.

18.4. Классификация и схемы систем аспирации и пневмотранспорта

По месту установки и назначению системы аспирации бывают внутрицеховые, а системы пневмотранспорта разделяют на внутрицеховые и межцеховые. **Внутрицеховые** системы служат для перемещения материалов только в пределах помещения цеха, **межцеховые** – для транспортирования материалов из цеха в цех или из цеха в склад.

По принципу создания тяги системы аспирации и пневмотранспорта бывают всасывающие, нагнетательные и комбинированные – всасывающе-нагнетательные. По величине потерь давления их разделяют на системы низкого давления ($\Delta p \leq 5$ кПа), среднего давления ($5 < \Delta p \leq 20$ кПа) и высокого давления ($\Delta p > 20$ кПа).

По величине массовой концентрации двухфазного потока системы аспирации и пневмотранспорта разделяют на установки низкой ($\mu_p < 0,5$), средней ($0,5 \leq \mu_p \leq 4$) и высокой концентрации ($\mu_p > 4$).

Во всасывающих установках повышение степени разрежения в воздуховодах уменьшает плотность потока, снижает его несущую способность и увеличивает расход воздуха. Поэтому при средних и высоких массовых концентрациях материала транспортирование его во всасывающих установках допускают на расстояние не более 100 м. При необходимости транспортирования на большие расстояния следует применять нагнетательные установки.

Системы аспирации удаляют запыленный воздух от технологического оборудования и подают его на очистку к пылеулавливающему оборудованию. Эти системы предназначены для эффективного обеспыливания воздуха в цехах и охраны атмосферного воздуха от загрязнения пылевыми выбросами.

Системы аспирации могут быть всасывающими или всасывающе-нагнетательными в зависимости от расположения пылеуловителей по отношению к вентилятору. Характеризуются они небольшой массовой концентрацией транспортируемой смеси.

Системы пневмотранспорта предназначены для перемещения материала в газовом потоке (чаще воздушном) в технологических целях. Здесь количество воздуха принимают минимальным, а массовую концентрацию максимально возможной.

По компоновке системы аспирации и пневмотранспорта различают открытые и кольцевые. В открытых системах воздух после транспортирования материала выпускают в атмосферу. В кольцевых же системах он непрерывно циркулирует по воздуховодам и на определённых участках своего пути транспортирует материал. Обычно в практике применяют полукольцевые системы, в которых основное количество транспортирующего воздуха циркулирует в закрытой системе, а небольшую его часть засасывают и выпускают из системы вместе с перемещаемым материалом.

Внутрицеховые всасывающие системы аспирации древесных отходов выполняют по следующим схемам (рис. 18.2).

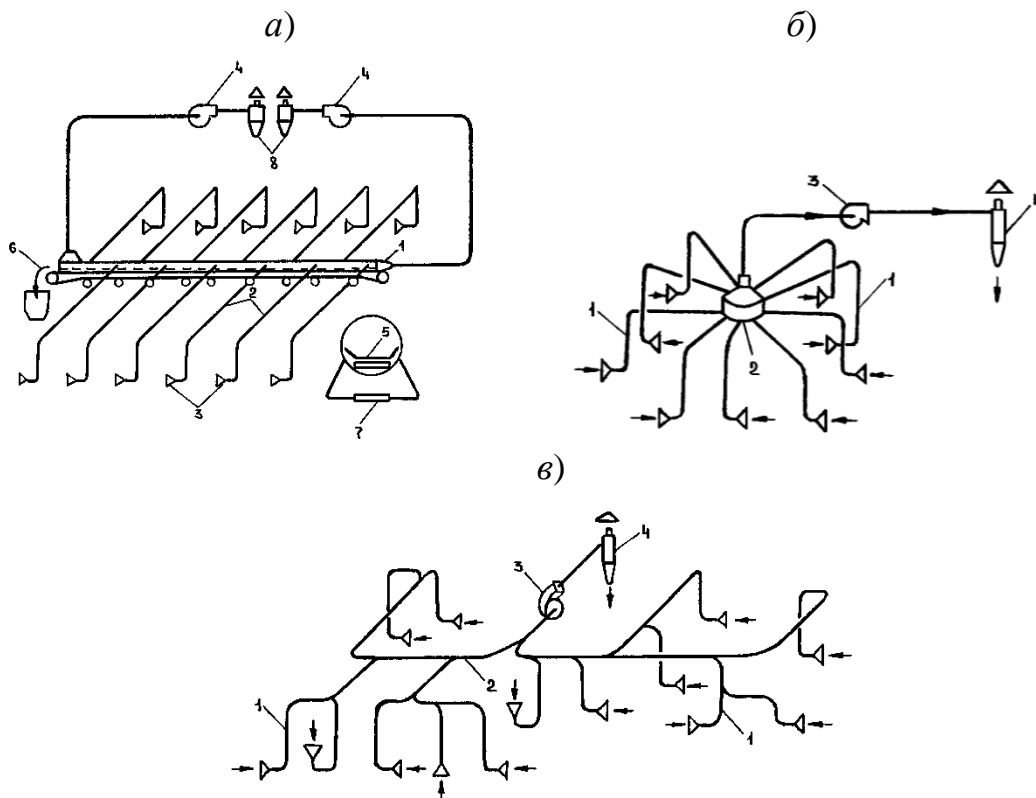


Рисунок 18.2 – Схемы систем аспирации: *а* – универсальная с магистральным коллектором; *б* – упрощённая универсальная с коллектором-сборником; *в* – с разветвлённой сетью воздухопроводов

Универсальная система с магистральным коллектором показана на рис. 18.2, *а*. К коллектору 1 под прямым углом подключают воздухопроводы 2, по которым удаляют отходы от пылестружкоприёмников 3, установленных на станках. Благодаря всасывающей работе вентиляторов 4, подключенных к обоим концам коллектора, в нём создаётся разрежение примерно одинаковое по всей его длине. Внутри коллектора установлен транспортёр 5, предназначенный для удаления оседающих отходов в бункер 6. Отходы оседают в коллекторе вследствие поддержания в нём небольшой скорости воздуха, не обеспечивающей удаление отходов во взвешенном состоянии. Поддержание небольшой скорости воздуха в коллекторе позволяет снизить перепад давления в системе и уменьшить энергозатраты. Холостая ветвь транспортера движется по роликам 7, прикреплённым к днищу коллектора. Из коллектора воздух подается вентиляторами в циклоны 8, где очищается от оставшихся частиц отходов и пыли.

Преимущество универсальной схемы аспирации состоит в том, что все ответвления находятся почти под одинаковым разрежением. Поэтому к магистральному коллектору можно присоединять новые станки или от него отключать их без нарушения аэродинамического режима работы системы.

Эту схему применяют в больших вытянутых по длине деревообрабатывающих цехах с числом станков порядка 40-50 и более.

Упрощенная универсальная система с коллектором-сборником представлена на рис. 18.2, *б*. По этой схеме ответвления от станков 1 подключают к коллектору-

сборнику 2, из которого вентилятор 3 отсасывает воздух вместе с отходами, и подаёт его в циклон 4, где происходит очистка воздуха от пыли и отходов. Один коллектор-сборник может обслуживать до 15 станков.

Отличительной особенностью упрощённой универсальной системы является поддержание постоянного разрежения для всех ответвлений, подключённых к коллектору-сборнику. Это придаёт системе большую маневренность, так как можно вести эксплуатацию меняющегося количества станков без снижения надёжности работы системы аспирации. Конструкции коллекторов-сборников бывают различные: вертикального и горизонтального типа; типа "люстра"; с верхним, боковым и верхнеконическим подключением ответвлений, шарообразной формы и т.д.

В промышленности упрощённая универсальная система аспирации получила широкое применение.

На рис. 18.2, в изображена *схема системы аспирации с разветвлённой сетью воздухопроводов*. Ответвления от станков 1 подключены в сеть 2 без определённого порядка, поэтому структура сети отличается сложностью и трудностью аэродинамической увязки. От станков воздух вместе с отходами отсасывает вентилятор 3. Отделение воздуха от отходов и пыли происходит в циклоне 4.

Вследствие своей негибкости в эксплуатации система аспирации с разветвлённой сетью воздухопроводов получила ограниченное применение для обслуживания небольших деревообрабатывающих мастерских с числом станков не более 10. Система может удовлетворительно выполнять свои функции только при стационарном количестве станков. Всякое изменение в их расстановке и подключении приводит к нарушению нормального режима работы системы аспирации.

Для внутрицехового перемещения измельченных материалов иногда применяют кольцевые системы пневмотранспорта, в которых воздух непрерывно циркулирует. Преимущество таких систем состоит в том, что отпадает необходимость в тщательной очистке воздуха от примесей, так как загрязнённый транспортирующий воздух не выпускают в атмосферу. Недостатком является повышение влажности воздуха от непрерывного соприкосновения с транспортируемым материалом, что ухудшает условия его перемещения. Поэтому кольцевые системы имеют ограниченную область применения – только для перемещения сухих материалов. Более широкое применение получили кольцевые полузакрытые системы пневмотранспорта. Принципиальное отличие их заключается в том, что часть транспортирующего воздуха непрерывно очищают в фильтре и выпускают в атмосферу, а взамен него засасывают воздух снаружи в необходимом количестве.

На рис. 3, а показана схема кольцевой полузакрытой системы пневмотранспорта. Измельчённый материал подают в загрузочную воронку 1, имеющую шлюзовый затвор 2. Через затвор материал попадает в нагнетательный воздухопровод 3, по которому перемещается к циклону 4. Здесь воздух освобождается от материала и движется во всасывающий воздухопровод 5.. По дороге часть воздуха удаляется наружу через циклон

б. На всасывающей стороне вблизи вентилятора или воздуходувки 7 через устройство 8 с фильтром 9 происходит подсосывание наружного воздуха в количестве равном количеству воздуха, ушедшего в атмосферу через циклон 6. Количество транспортирующего воздуха регулируется клапаном 10, установленным в обратном воздуховоде.

Полузакрытые системы пневмотранспорта особенно целесообразно применять: при транспортировании ценных материалов; материалов, незначительная концентрация которых в воздухе помещения опасна для людей; при необходимости перемещать материалы не воздухом, а каким-либо инертным газом без значительных его потерь.

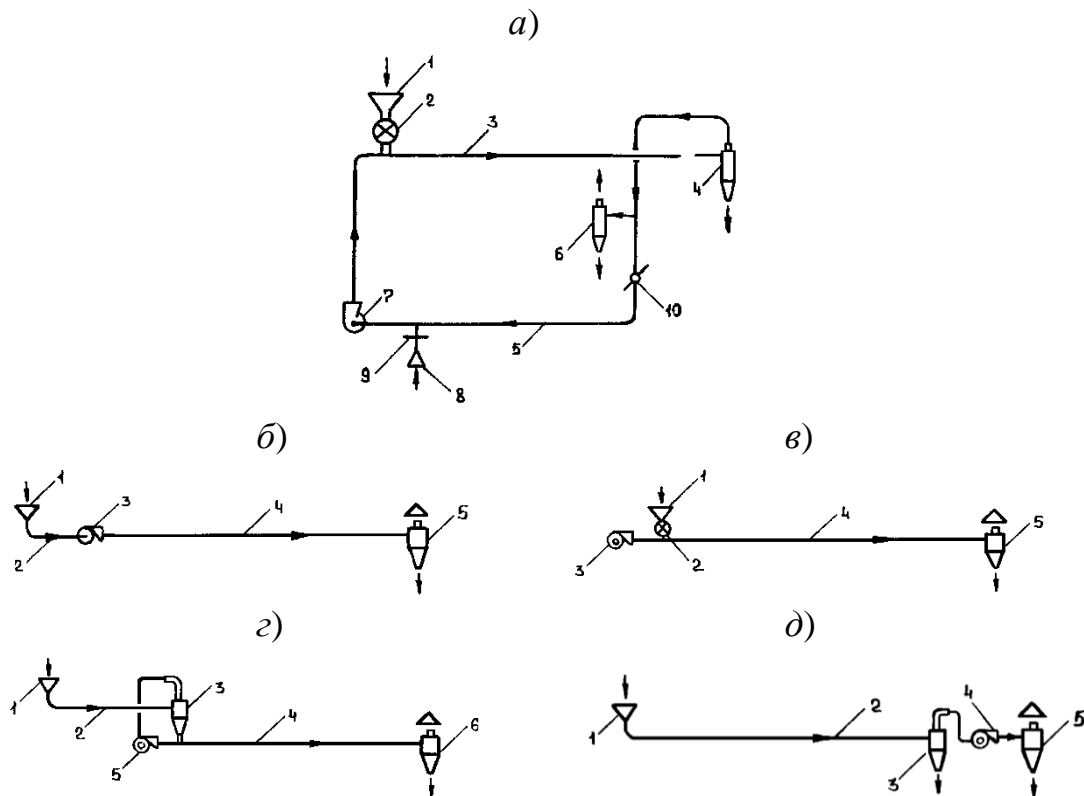


Рисунок 18.3 – Схемы систем пневмотранспорта: а – внутрицеховая кольцевая полузакрытая; б, в, г, д – межцеховые

Межцеховые системы пневмотранспорта осуществляют по следующим схемам.

На рис. 18.3, б представлена **всасывающе-нагнетательная система**. Материал подают в загрузочную воронку 1, затем он движется вместе с воздухом по всасывающему воздуховоду 2, проходит через вентилятор 3 и подаётся по нагнетательному воздуховоду 4 в циклон 5. Отделившись от воздуха, материал из циклона поступает в его бункер. Систему применяют для транспортирования отходов от деревообрабатывающих станков на расстояние до 250 м. К недостаткам системы можно отнести дополнительное измельчение транспортируемого материала и повышенный износ вентилятора.

При **нагнетательной системе** (рис. 18.3, в) материал вводят в сеть через загрузочную воронку 1 и шлюзовый затвор 2, затем вентилятором 3 материал перемещается по нагнетательному воздуховоду 4 к циклону 5, где происходит отделение его от воздуха. Преимущество данной системы состоит в том, что материал не проходит через вентилятор и не подвергается дополнительному измельчению.

Всасывающе-нагнетательная система пневмотранспорта с промежуточным отделением материала (рис. 18.3, *з*) имеет то же преимущество, что и в предыдущем случае – материал не проходит через вентилятор. После загрузки в воронку 1 материал движется по всасывающему воздухопроводу 2 и попадает в циклон 3, где отделяется от воздуха и под действием силы тяжести загружается в нагнетательный воздухопровод 4. Движение материала обеспечивается за счёт всасывающе-нагнетательной работы вентилятора 5. В циклоне 6 транспортируемый материал вторично и окончательно отделяется от воздуха и выгружается в месте своего назначения.

Во **всасывающей системе пневмотранспорта** (рис. 18.3, *д*) материал после загрузочной воронки 1 попадает во всасывающий воздухопровод 2, а затем в циклон 3, где, отделившись от воздуха, разгружается. Из выхлопной трубы циклона воздух отсасывается вентилятором и подаётся на очистку от пыли в циклоне 5. Таким образом, в этой системе материал перемещается только по всасывающему воздухопроводу и не подвергается дополнительному измельчению.

Установки аспирации и пневмотранспорта просты по устройству и дешевы по сравнению с другими видами транспорта, легко вписываются в технологические схемы, хорошо поддаются автоматизации, транспортируют материал или отходы изолированно от внешней среды, уменьшают пожароопасность, улучшают условия труда.

Кроме того, достоинством пневматического транспортирования является также возможность использовать его в сочетании с различными массообменными и технологическими процессами, например, сушкой и охлаждением транспортируемых материалов, размолотом и сепарацией, очисткой несущей среды от твердой фазы и т.д.

Наряду с этими положительными качествами имеются и недостатки. Основные из них: высокий расход электрической энергии, быстрый износ конструктивных элементов (трубопроводов, фасонных частей, вентиляторов и др.), невозможность перемещения влажных материалов и крупноразмерных частиц.

18.5. Оборудование систем аспирации и пневмотранспорта

18.5.1. Воздуховоды

Воздуховоды применяются для перемещения воздушного потока в системе приточно-вытяжной вентиляции, а также для перемещения смеси воздуха с древесными частицами в системах аспирации и пневмотранспорта.

Для систем аспирации и пневмотранспорта низкого давления используют обычные воздуховоды из кровельной стали толщиной 1-1,7 мм и диаметром от 100 до 800 мм. По таким воздуховодам перемещают неабразивные материалы при малых массовых концентрациях (древесные опилки, отходы кожи, спичечную соломку, органическую пыль и др.). Малоабразивные материалы перемещают по воздуховодам из листовой стали толщиной до 3-4 мм со сваркой всех швов. Для систем пневмотранспорта среднего и высокого давления применяют цельнотянутые стальные трубы с толщиной

стенки от 6 до 12 мм. Большую толщину стенки выбирают при необходимости транспортировать абразивные материалы (кварцевый песок, формовочную землю, золу, доменный шлак и др.).

Отдельные звенья воздухопроводов соединяют между собой с помощью сварки или фланцев с уплотняющими прокладками. Причём сварку стыков осуществляют с применением центровочных хомутов. Очень важно, чтобы стыковочные соединения воздухопроводов были соосными и максимально герметичными, в противном случае работа пневмотранспорта не будет надёжной. Материалами для прокладок фланцевых соединений служат резина, паронит, асбест и др.

По длине воздухопроводов через каждые 10-15 м предусматривают устройство лючков для осмотра и при необходимости для очистки системы аспирации и пневмотранспорта от осевшего материала. В сети воздухопроводов не устанавливают обычные регулирующие устройства (шиберы или дроссель-клапаны, диафрагмы). Допускают применение только косых шиберов, перекрывающих поперечное сечение воздухопровода под углом не более 30-40°.

Воздуховоды выполняются в виде труб круглого или прямоугольного сечения. Наибольшее распространение получили металлические воздухопроводы круглого сечения. Их делают из черной тонколистовой стали сварными (прямошовными или спирально-навивными) или с фальцевым соединением. Воздуховоды круглого сечения по сравнению с прямоугольными более эффективны и экономичны. Во всем мире они постепенно вытесняют трубопроводы прямоугольной формы.

1. Герметичность круглых воздухопроводов

Современные расчеты аспирационных систем выполняются с учетом возможных подсосов или утечки воздуха, которые составляют до 15% от объемного потока воздуха. Очень важно, чтобы воздух перемещался по трубопроводу без потерь.

Утечка воздуха зависит от количества и герметичности соединений. Круглая труба имеет длину до 6 м, прямоугольная – 1 – 1,5 м. Следовательно, круглые трубопроводы имеют меньшее количество соединений.

В европейских странах введена классификация по герметичности. Современный стандарт CEN/Eurovent 2.2 устанавливает три класса герметичности:

- А – низший класс с коэффициентом утечки $1,32 \text{ (л/с)/м}^2$ при 400 Па;
- В – средний класс с коэффициентом утечки $0,44 \text{ (л/с)/м}^2$ при 400 Па;
- С – высший класс с коэффициентом утечки $0,15 \text{ (л/с)/м}^2$ при 400 Па.

Часто трубы соединяются между собой по длине с помощью фланцев и прокладок между ними. Такой способ требует несколько соединительных элементов (два фланца, прокладку, болты, гайки) и не обеспечивает надежной герметизации.

В последние годы европейские фирмы разработали другой более совершенный ниппельный способ соединения, обеспечивающий легкий и быстрый монтаж трубопроводов (рис. 14).

На спирально-навивной трубе 1 развальцована канавка, в которую поставлена резиновая прокладка 2 U-образной формы и закреплена стальной полоской. Труба 3 надевается на трубу 1 с небольшим зазором, при этом U-образное уплотнение сжимается. Соединительные элементы труб выполняются на заводе.

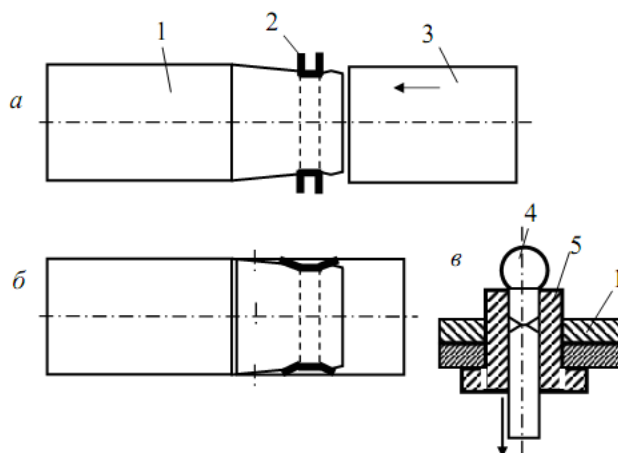


Рисунок 18.4 – Способ соединения труб по длине: а – подготовка труб для сборки; б – труба после сборки; в – способ установки заклепок

Фиксация соединяемых труб осуществляется алюминиевыми заклепками. Для этого в трубе высверливаются отверстия, в них вставляются заклепки 5 со стальными вытяжными стержнями 4, которые частично ослаблены (надрезаны). При вытягивании стержня наружу тот своей сферической головкой деформирует заклепку. Заклепка зажимает соединяемые трубы и стержень, который, в конце концов, обрывается в ослабленном месте.

После установки заклепок место соединения труб обмазывают герметиком и обматывают скотчем. Получается надежное герметичное соединение труб по длине, соответствующее по герметичности классу С евростандарта CEN/Eurovent 2.2.

2. Размеры воздуховодов круглого сечения

Для систем пневмотранспорта должны применяться воздуховоды следующих диаметров: 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000 мм.

В системах аспирации с расходной массовой концентрацией материала μ до 0,2 кг на 1 кг воздуха, применяют воздуховоды из тонколистовой стали. Толщина стали δ приведена ниже.

	δ, мм
Диаметр воздуховода $d \leq 200$ мм	1,4/2,0
Диаметр воздуховода $d > 200$ мм при скорости воздуха:	
$v \leq 23$ м/с	1,4/2,0
$v > 23$ м/с	2,0/3,0

Примечание. В числителе указаны значения δ при прокладке воздуховода внутри помещений, в знаменателе – при наружной прокладке.

Толщину стального листа для воздуховодов систем вентиляции следует принимать в зависимости от диаметра:

Диаметр воздуховода, мм	100...450	500...1250	1400...2000
Толщина стенки, мм	0,5...0,7	0,7...1	1...1,4

Трубопроводы диаметром более 315 мм, работающие на всасывающем участке с большим разрежением, под действием внешнего атмосферного давления часто складываются. Для повышения жесткости такие трубопроводы снабжают кольцевыми ребрами (рис. 18.5). Жесткость трубы можно повысить при изготовлении ее спирально-навивной с фальцевым соединением.

3. Рукава. Гибкие воздуховоды, именуемые в технике рукавами, применяют для подключения к системам аспирации (отсоса) деревообрабатывающего станка, режущие органы которого могут в процессе эксплуатации перемещаться.

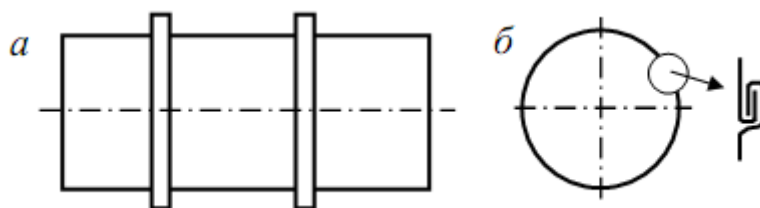


Рисунок 18.5 – Способы повышения жесткости труб: а – установкой колец; б – навивкой труб с фальцевым соединением

В аспирационных системах применяются рукава металлические, резиновые и спирально-навивные из винилискожи. Резиновые рукава имеют преимущества перед металорукавами: они герметичны, создают меньший уровень шума, а их гидравлическое сопротивление такое же, что и у стальных воздуховодов.

4. Фасонные и узловыe элементы воздуховодов. Фасонные элементы воздуховодов применяются либо при необходимости изменения направления движения воздушного потока, либо при его сужении или расширении. Узловыe элементы воздуховодов обеспечивают слияние или разделение двух и более воздушных потоков. Основной формой изгиба воздуховода является отвод (колени).

Отводы для систем аспирации (рис. 6, а), как правило, собирают из пяти звеньев 2 и двух стаканов 1. Соединение звеньев и стаканов осуществляется методом фальцевания, если толщина листового материала не превышает 1 мм. При толщине листа 1,5...2 мм применяют сварку. Средний радиус кривизны колена $R_{ср}$ принимают равным $2d$, где d - диаметр проходного сечения трубы.

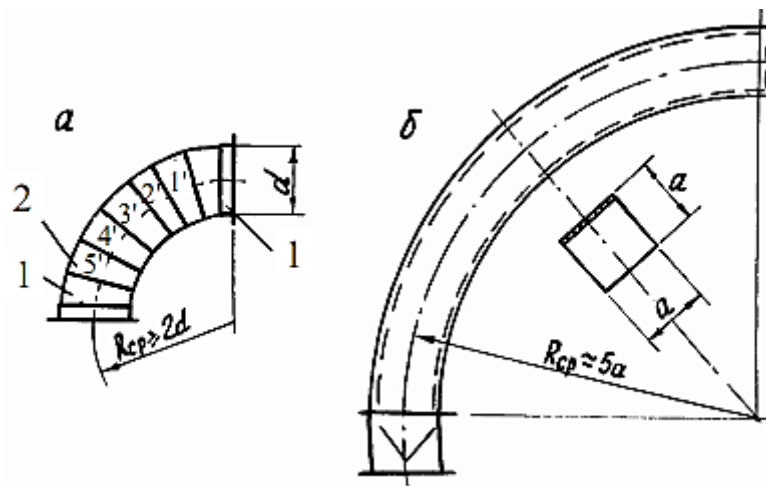


Рисунок 18.6 – Отводы: а - для систем аспирации; б - для транспортной пневмосистемы

Отводы для транспортных пневмосистем (рис. 18.6, б) рекомендуется выполнять сварными квадратного сечения. Его наиболее изнашиваемая наружная стенка имеет большую толщину и может быть съемной. Для снижения аэродинамических потерь радиус изгиба отвода принимается $R \geq 5d$.

5. Узловые элементы воздуховодов. Узловые элементы воздуховодов, в которых происходит слияние или разделение двух потоков (рис. 18.7), называют тройниками.

Тройники с симметричным расположением ответвлений (рис. 18.7, б) называют штанообразными. Геометрически каждый тройник характеризуется углом α слияния двух потоков и отношением площадей поперечных сечений ответвления и прохода к площади сборной трубы: f_0/F и f_1/F . На рис. 18.7 сплошной стрелкой указано направление воздуха при всасывании, а пунктирной – при нагнетании.

Коэффициенты местных сопротивлений тройников даются в технической литературе. Они могут иметь отрицательный знак, что обуславливается эжекцией струй.

Если параллельные потоки тройника соединяются между собой под небольшим углом ($8...10^\circ$), то потери давления в нем оказываются близкими нулю ($\xi = 0$).

Узловые элементы воздуховодов, обеспечивающие слияние более двух воздушных потоков в один, называются коллекторами.

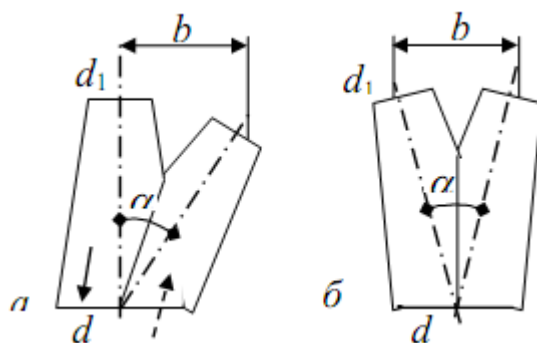


Рисунок 18.7 – Тройники: а – несимметричный; б – штанообразный

Наибольшее распространение получили коллекторы конструкции Гипродрев (рис. 18.8). Горизонтальные коллекторы, например типа КГ, удобны для применения в случае одностороннего расположения обслуживаемого оборудования.

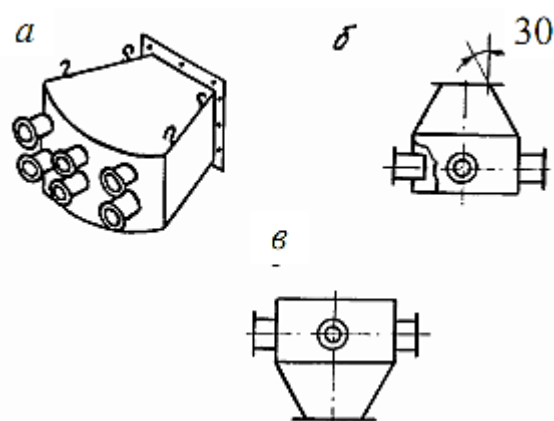


Рисунок 18.8 – Коллекторы: а - горизонтальный типа КГ; б - вертикальный типа КВВ; в - вертикальный типа КВН

Вертикальные коллекторы с верхним выходом в сборную трубу отличаются высокой надежностью в работе, так как в них реже возникают отказы по причине засорения сборного воздуховода. Однако для размещения сборной трубы в этом случае потребуется дополнительный запас высоты потолка.

В случае же применения коллекторов с нижним выходом в сборную трубу приходится считаться с потерей надежности из-за возможности засорения в конусной части коллектора.

Конструктивно коллекторы достаточно просты и изготавливаются из листовой стали толщиной $\delta = 1,5 - 2$ мм. Для удобства обслуживания в коллекторах рекомендуется устанавливать смотровые лючки для устранения последствий случайного засорения.

Частным случаем конструктивного исполнения коллектора является коллектор в виде трубы большого диаметра с входными отверстиями по бокам для подсоединения отдельных воздухопроводов.

Потери давления на вход воздуха из ответвлений в коллектор принято оценивать коэффициентом сопротивления $\xi_{вх}$.

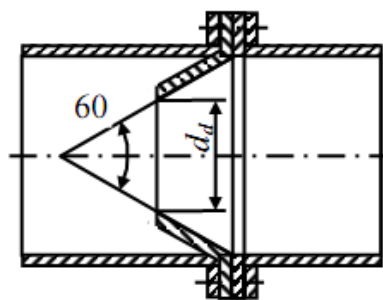


Рисунок 18.9 – Установка диафрагмы

18.5.2. Диафрагмы

Диафрагмы (рис. 18.9) устанавливаются в воздуховодах на прямых участках для выравнивания сопротивлений ответвлений, подсоединенных к одному коллектору. Диаметр диафрагмы dd определяется расчетом.

18.5.3. Приемники

Все аспирационные установки начинаются с приемников. Приемники (уловители) служат для улавливания измельченных отходов и пыли, которые образуются при механической обработке древесины. Приемник представляет собой сварную или литую коробку, частично охватывающую режущий инструмент.

Большинство деревообрабатывающего оборудования выпускают со встроенными приемниками, которые одновременно играют роль ограждающего устройства для режущего органа станка.

Частицы древесины отбрасываются режущим инструментом со скоростью, близкой к скорости резания, и пролетают в свободном пространстве некоторое расстояние под действием сил инерции. Факел древесных частиц попадает в приемник и увлекается в воздуховод потоком воздуха.

При проектировании приемников следует руководствоваться следующими основными положениями:

1. Воздух, засасываемый в приемник, увлекает за собой только пыль. Крупные отходы в виде опилок и стружек попадают в приемник только в том случае, если они сами туда попадут. Поэтому форма приемника и его положение на станке должны быть согласованы с направлением естественного движения стружки.

2. Факел стружек, отбрасываемых режущим инструментом, значительно рассеивается. Важно, чтобы факел полностью попал в приемник, и стружка не потеряла бы при этом свою кинетическую энергию. Для этого поверхность приемника должна быть гладкой, с плавными поворотами. Отсасывающий патрубок приемника должен располагаться в таком месте, где будет обеспечено попадание в него даже сильно отклоняющихся частиц.

Иногда около режущего инструмента располагают несколько приемников.

3. Для предупреждения скапливания в приемнике отходов, потерявших свою скорость при случайных ударах о стенки приемника, скорость воздуха в сечении приемника должна быть не ниже 8 – 10 м/с. По условию аспирации скорость воздуха в сечении приемника назначается значительно выше и достигает 15 – 35 м/с.

Обрабатываемая заготовка частично перекрывает сечение приемника, поэтому важно в приемнике предусмотреть места для прохода воздуха, который, попадая в приемник, подхватывал бы летящие частицы стружки.

4. Приемник должен обладать наименьшим аэродинамическим сопротивлением входу воздуха, поэтому площадь поперечного сечения на входе должна

быть достаточно большой. Иногда в приемнике делают дополнительные окна для входа воздуха в приемник.

5. Приемник не должен затруднять уход за станком. Приемник или его части должны легко и быстро сниматься, открывая свободный доступ к режущему инструменту. В целях безопасного обслуживания приемник должен быть снабжен элементами электроблокировки.

18.5.4. Вентиляторы и воздуходувки

Перемещение материалов и отходов по воздуховодам происходит за счёт создания в них тяги работающими вентиляторами или воздуходувками. В системах аспирации и пневмотранспорта низкого давления в качестве побудителей тяги служат радиальные вентиляторы. Когда материал проходит через вентилятор износ последнего увеличивается, и в этих случаях применяют пылевые вентиляторы, имеющие повышенную износостойкость. Если же транспортируемый материал не проходит через вентилятор, то устанавливают радиальные вентиляторы обычного исполнения, предназначенные для чистого воздуха.

В системах пневмотранспорта среднего давления получили распространение радиальные вентиляторы высокого давления, а также турбовоздуходувки, развивающие давление до 20 кПа. В системах пневмотранспорта высокого давления устанавливают воздуходувные машины.

Вентиляторы. Вентилятором называют гидравлическую машину с рабочим органом в виде приводного лопаточного колеса, предназначенную для перемещения воздуха или пылевоздушной смеси. По конструкции и принципу действия вентиляторы подразделяются на центробежные и осевые.

По направлению вращения рабочего колеса, если смотреть со стороны всасывания, вентиляторы бывают правого вращения (колесо вращается по часовой стрелке) и левого вращения (колесо вращается против часовой стрелки).

Лопаточное колесо вентилятора может быть закреплено непосредственно на валу электродвигателя (исполнение 1), может быть соединено с валом электродвигателя муфтой (исполнения 2, 3, 5) и может быть соединено с валом электродвигателя ременной передачей (исполнения 4, 6, 7).

В аспирационных и пневмотранспортных системах применяют вентиляторы радиальные (центробежные).

Вентиляторы ВВД. Вентиляторы высокого давления типа ВВД развивают давление до 6000 Па и предназначены для транспортных пневмосистем. Они подключаются только к нагнетательному воздуховоду. Эти вентиляторы не могут пропускать через себя материаловоздушную смесь.

Вентилятор ВВД-5 выпускается на одном валу с электродвигателем (исполнение 1), но может быть соединен с двигателем через ременную передачу (исполнение 6). Вентилятор ВВД-8 выпускается только в 6-м исполнении.

В системах аспирации и пневмотранспорта широко применяются вентиляторы центробежные пылевые типа В-ЦП, которые развивают давление до 3200 Па. Они предназначены для перемещения древесной стружки и других взрывобезопасных неабразивных пылегазовоздушных смесей при температуре не выше 80°C. Концентрация механических примесей в перемещаемой среде допускается до 1 кг/м³. Общий вид вентилятора показан на рис. 18.10.



Рисунок 18.10 – Общий вид вентилятора пылевого.

Корпус вентилятора может быть установлен в любых из указанных на рис. 23 положениях. Выпускаются вентиляторы с корпусом, установленным в положение "Пр 0°" или "Л0°". Общая характеристика вентиляторов приведена в табл. 8.

За номер вентилятора принимается величина номинального диаметра рабочего колеса D, выраженная в дециметрах.



Рисунок 18.11 – Схема положений корпуса вентиляторов

Выбор вентилятора. Вентилятор выбирают с использованием аэродинамических характеристик по заданным значениям производительности вентилятора по воздуху, L, м³/ч, и давления, P, Па. При подборе вентилятора необходимо стремиться к тому, чтобы рабочая точка характеристики вентилятора приближалась к максимальному значению КПД.

Воздуходувки. В пневмотранспортных системах для создания напора воздуха в пределах 3-10 тыс. Па используют вентиляторы. При использовании двух-трех вентиляторов, установленных последовательно, можно получить суммарный напор до 10000 Па. В этом случае производительность по воздуху остается равной производительности одного вентилятора, а напор увеличивается в два-три раза.

Для создания напора воздуха выше 6000 Па лучше использовать турбинные воздуходувки.

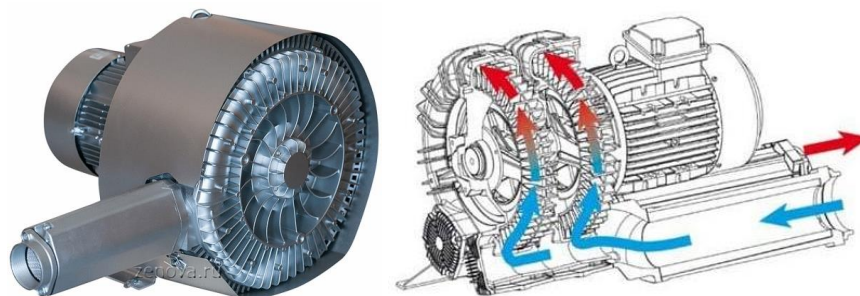


Рисунок 18.12 – Общий вид и схема воздуходувки.

Воздуходувки могут создавать напор воздуха до 160 кПа при мощности электродвигателя до 400 кВт.

В системах аспирации и пневмотранспорта перемещённый к месту назначения материал отделяют от воздуха в циклонах. При наличии большого количества мелкой пыли устраивают вторую ступень очистки в виде матерчатых фильтров. Для отделения от воздуха древесных отходов применяют циклоны конструкции Гипродревпрома серии Ц или УЦ, а иногда их используют совместно с инерционными пылеотделителями.

18.5.5. Циклоны

Циклоны устанавливают на расстоянии 10-15 м от здания и они должны соединяться герметично с емким бункером. При улавливании пыли от шлифовальных и полировальных станков эффективность циклонов снижается. В этом случае приходится применять вторую ступень очистки, в качестве которой применяются матерчатые рукавные фильтры или мокрая очистка.

При обработке металлических изделий (заточка, обдирка, шлифовка) для улавливания образующейся пыли (металл, абразив) предпочтение отдается унифицированным циклонам типа ЦН или используются индивидуальные пылеулавливающие агрегаты.

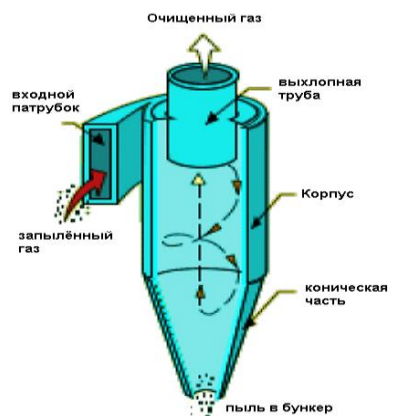


Рисунок 18.13 – Схема циклона типа ЦН.

ТЕМА 19 ВЕНТИЛЯЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Промышленная вентиляция, вне зависимости от типа производственного процесса, сталкивается с главной задачей – справиться с вредностями, которые выделяются при производстве.

К вредностям относятся:

1. Тепловыделение;
2. Влаговыведение;
3. Паро- и газовыделения, включая токсичные вещества;
4. Пылевыведения;
5. Дымовыведение (аэрозоли) – выделение мельчайших твердых частиц, свободно витающих в воздухе и др.

В связи с этим возникает несколько главных задач:

1. Правильно рассчитать производительность системы вентиляции, достаточной, чтобы добиться необходимых условий в помещении.

2. Разработать подходящие способы подачи и вытяжки воздуха, чтобы система была максимально эффективной. Это включает в себя разработку системы аспирации. Аспирация в промышленности – отсос воздуха от места образования пыли (при производственных процессах) чтобы не допустить ее распространение по помещению.

3. Разработать, при необходимости, систему фильтрации воздуха.

Особенно важно - разработать систему, которая будет максимально разумна с экономической точки зрения. Правильные зонты, укрытия, воздушные души, естественная вытяжка, правильные отсосы, увлажнение – эти и многие другие моменты могут снизить расход воздуха в вентиляционной системе, а значит стоимость оборудования, воздушной сети, работ и т.п. При этом эффективность системы останется на нужном уровне.

19.1. Общие правила вентиляции цехов и промышленной вентиляции

Существует два типа промышленной вентиляции – **общеобменная** и **местная** (местные отсосы и т.п.). Общеобменная вентиляции прекрасно справляется только с тепловыделениями, т.е. когда нет поступления значительных вредностей в атмосферу цеха.

Если при производстве выделяются газы, пары и пыль применяют смешанную вентиляцию – общеобменная плюс местные отсосы.

Однако бывают случаи, когда практически отказываются от общеобменной вентиляции. Такое происходит на предприятиях со значительными пылевыведениями и в случае выделения особо вредных веществ. В обоих случаях мощная общеобменная вентиляция может разнести пыль или вредности по объему цеха.

Общая концепция построения вентиляции промышленных объектов – удалить максимум вредности с помощью местных отсосов, а оставшиеся вредности разбавить в помещении свежим воздухом, чтобы довести концентрацию вредностей до предельно допустимых концентраций.

Поскольку выделения вредностей чаще всего сопровождается тепловыделениями, поэтому частицы загрязнений (которые не попали в местный отсос) уходят вверх, под потолок. Именно поэтому под потолком цехов находится зона с максимальными загрязнениями, а внизу – с минимальными. В связи с этим и вентиляция устроена чаще всего следующим образом – приток подается вниз, в рабочую зону, а общеобменная вытяжка – под кровлей. Однако, когда выделяется тяжелая пыль, то она оседает сразу, создавая максимальную загрязненность внизу.

Существует главное правило вентиляции цехов: «Подавай воздух в чистую зону и извлекай из грязной»

Для удаления газовых вредностей, паров, аэрозолей наиболее эффективно использовать укрытия (местный отсос, который полностью или частично накрывает источник загрязнений). Зачастую возникает необходимость устанавливать воздушный душ – устройство, которое направляет поток чистого приточного воздуха в область лица человека, работающего на рабочем месте. Обычно один душ подает 1700 – 2000 м³/ч воздуха.

Определение расхода воздуха местного отсоса:

При проектировании местных отсосов нужно руководствоваться главнейшим правилом – отсос должен иметь такую форму и должен быть так расположен, чтобы вытягиваемый поток вредностей не проходил через область лица человека.

Расчет системы вентиляции:

1. Определяется количество воздуха, необходимое для эффективной работы отсосов.
2. Вытягиваемый через отсосы воздух компенсируется таким же притоком.
3. В дополнение к этому, проектируется общеобменная вентиляция с кратностью 2-3.

Расчет расхода воздуха через местный отсос проводится (при упрощенном расчете) по простой формуле:

$$L=3600 \cdot F \cdot v, \quad (19.1)$$

где L – расход воздуха через зонт (то, что мы хотим Определить), 3600 - перевод расхода в м³/ч, F – площадь среза зонта (т.е. площадь, через которую затягивается воздух), v – скорость воздуха на краю зонта (существует таблицы необходимых скоростей).

Борьба с теплом

Справляются с тепловыделениями с помощью местных отсосов и с помощью общеобменной вентиляции.

При определении тепловыделений от механизмов считают, что до 35 до 45% от установленной мощности переходит в тепло.

Борьба с влагой

Влагу можно убрать двумя путями – с помощью общеобменной вентиляции или с помощью местных отсосов. В случае с общеобменной вентиляцией расход воздуха составляет 130-150 м³/ч на удаление 1 кг влаги в час, а при местном отсосе можно добиться того же результата с помощью 50 м³/ч, а в случае кожуха – 20 м³/ч. Но нужно иметь в виду, что если источник влаги находится в кожухе, то в помещение, тем не менее, поступает 15-20% влаги. Если установлен зонт, то в помещение поступает до 30-35% влаги. Это говорит о том, что даже самый хороший зонт имеет эффективность 70%.

Борьба с пылью

Самый эффективный способ борьбы с пылью – это совместные усилия технологов и вентиляционщиков. К примеру, увлажнение пыли или использование кожухов повышает эффективность борьбы с пылью в разы.

Система аспирации – это пылеотсасывающая вентиляция, удаляющая воздуха с содержанием пыли более 1 кг в 1 м³. Аспирация встречается в дробильных, размольных, литейных, химических и металлургических цехах. Отличительной особенностью аспирационной системы являются сильно наклонные воздуховоды. В менее пыльных производствах используется пылеудаляющая вентиляция (отличается отсутствием наклонных воздуховодов).

Приток в помещения с выделением пыли подается с очень малыми скоростями, чтобы избежать пыления. Часто применяются перфорированные воздуховоды и панели. Удаление воздуха осуществляется небольшими воронками, которые подсоединяются к кожухам, укрытиям и т.п.

Данные по системе аспирации:

1. Все воздуховоды должны быть максимально короткими и должны быть проложены по кратчайшему расстоянию;
2. Системе не должна иметь горизонтальных участков – все воздуховоды вертикальные или под углом 45-60 град к горизонту;
3. Одна аспирационная система должна обслуживать от одного до шести местных отсосов.

В пылеудаляющей вентиляции (в отличие от аспирационной системы) допустимо прокладывать горизонтальные участки. Аспирационные воздуховоды выполняются из стали толщиной 0,7 мм для диаметров до 200 мм и из стали 1 мм для больших воздуховодов. Для сильно абразивных делают отводы из стали 1.5-2 мм.

Скорости воздуха в аспирационных воздуховодах очень значительны (чтобы пыль не оседала на воздуховодах):

Легкая сухая пыль	10-12
Сухие опилки, текстильная пыль	12-14
Глина и порошки огнеупорной глины	16-17
Минеральная пыль – песок, земля	15-16
Тяжелая минеральная пыль	18-20
Стружка металлическая	22-23

Расход воздуха через отсасывающую воронку, подсоединяемую к сплошному кожуху или укрытию, находится в пределах 1000-1700 м³/ч.

Если кожух установить невозможно, то расход воздуха через бортовые, верхнебоковые и др. отсосы составляет 6000-9000 м³/ч с 1 кв.м. От каждого устройства может быть несколько воронок и отсосов. Аспирационная система одного укрытия на конвейере может составить 10 000 м³/ч, а система для дробилки – 30 000 м³/ч и более.

Аспирационные системы вытягивают очень существенное количество пыли.

Литейные производства – до 2.5 кг на 1 м³ воздуха.

Дробильные производства – до 8 кг.

Размольные производства – до 20 кг.!

Пескоструйные производства – до 8 кг.

Такое количество пыли не должно выбрасываться в атмосферу. Поэтому, применяются устройства для задержания пыли. Устройства типа «циклон» могут улавливать от 60 до 85% пыли. Матерчатые фильтры – до 95-99%.

Борьба с химическими соединениями (газ)

Подача воздуха на химических производствах осуществляется непосредственно в рабочую зону. Для этого используются воздушные души – направление струй чистого воздуха в область груди и лица рабочего.

Кратность общеобменной вентиляции (в дополнение к местным отсосам!) ***в химической промышленности:***

Хлорное производство – 6-10 крат

Фтористый алюминий – 3-5

Хлористый кальций – 4-5

Хлористый барий – 3-5

Фосфорное – 10-12

Фтористые соли – 8-10

Пластификаторы – 8-10

Соляная кислота – 6-8

Соляная кислота (хранение) – 3-4

Серная кислота (хранение) – 1-2

Красители – 4-5

Азотная кислота – 7-9

Синтез каучука – 10-12

Укрытия и зональные отсосы устанавливаются у всех мест возможной неплотности аппаратуры. При этом, один отсос вытягивает примерно 200-1000 м³/ч. На химических производствах, где существует опасность выделения токсических веществ, устанавливаются аварийную вытяжку. Она включается не в случае выхода из строя главного агрегата (в этом случае включается резервный вентилятор), а когда выделяются токсические вещества, и главная вытяжка не справляется с ними. Только работая совместно, они решают «аварийную» задачу.

Кратность аварийной вытяжки (в зависимости от токсичности веществ) составляет от 8 до 16.

Очистка выбросов

В связи с жесткими требованиями по экологии требуется устанавливать на вытяжке систему фильтрации воздуха. Очистка воздуха от пыли осуществляется в пылеуловителях. Они могут быть разного типа:

- Пылеосадительные камеры (улавливают крупную пыль)
- Циклоны (используется принцип инерции)
- Тканевые и волокнистые фильтры (ячейковые, самоочищающиеся, рулонные, рукавные, сетчатые фильтры)
- Электрические

Разнос решеток забора и выброса воздуха вентиляционных систем промышленных предприятий должен осуществляться как по высоте, так и по ширине – по высоте – 3 метра (минимум), по ширине – 12 м.

В промышленности применяется резервирование вентиляторов систем. Приточные системы обычно не резервируют (только если один агрегат обслуживает несколько цехов или участков). Вытяжные вентиляторы дублируются по условиям технологии, когда недопустима остановка работы даже на короткое время.

Факельный выброс. Для того, чтобы не делать трубы вытяжной вентиляции очень высокими, используется явление факельного выброса. При этом, воздух выбрасывается из вертикальной трубы с большой скоростью от 10 до 40 м/сек (в зависимости от вредности выхлопа)!

Системы отопления в цехах чаще всего совмещают с вентиляцией, т.е. выполнена по схеме **воздушное отопление** – вентиляция подает теплый воздух в объеме, достаточном для поддержания зимой необходимой температуры в цехе.

Кратность для некоторых производственных и лабораторных помещений:

Физическая лаборатория	4-6
Препараторская	5
Весовая	3
Рентгеноаппаратная	8-10
Фотокомната	4-5

Проявительная	10
Аккумуляторная	15 (из верхней и нижней зоны)
Кислотная	10 (из верхней и нижней зоны)
Щелочная	8 (из верхней и нижней зоны)
Сборка с пайкой оловом	8-20
Склад химикатов	5-8 (отсос из шкафов)

Воздуховоды обычно выполняются из оцинкованной стали. Преимущество отдается воздуховодам круглого сечения. Если воздух в воздуховоде имеет температуру свыше 80 градусов или содержит механические примеси, то используют воздуховоды из черной стали 1.4 мм и выше.

Рекомендуемые скорости движения воздуха, м/с:

Воздушная сеть	5-8
Приточные решетки у потолка	0,5 - 1
Вытяжные решетки	1-2

19.2. Вентиляция некоторых производственных зданий

Вентиляция металлургического цеха

Вентиляция горячих цехов решает главную задачу – справиться с жаром, который поступает в помещение.

Для приблизительного расчета количество тепла можно использовать опытные данные:

Мартеновский, конверторный, электросталеплавильный цех – 175-280 Вт/м³.

Прокатный – 150-200

Стале-чугунолитейный – 50

Термический – 200-250

Кузнечнопрессовой – 100-150.

Возьмем прокатный цех с объемом помещения 50 000 м³. Перемножим 50 000 м³ на 200 Вт/м³ и получим: 10 000 КВт тепла поступает в помещение.

Вентиляция кузнечного цеха

Основные вредности: Конвективное и лучистое тепло, окись углерода, сернистый газ и др.

Отопление: Совместно с вентиляцией.

Общеобменная вентиляция: Расчет на сьем теплоизбытков и растворения вредностей до допустимых концентраций. Во все времена года используется аэрация (в данном случае - естественное проветривание при движении горячего воздуха от печей вверх и удаление его через устройства на кровле).

Местное душирование: Применяется местное душирование на рабочих местах, подверженных тепловому облучению.

Местные отсосы: Местные вытяжки над загрузочными отверстиями печей, у горнов.

Вентиляция термического цеха

Основные вредности: Тепловыделения, лучистое тепло, пары масла и воды, окись углерода, сернистый газ, аммиак и т.п.

Отопление: Совместно с вентиляцией.

Общеобменная вентиляция: Приточный воздух подается в рабочую зону. Предусматривается аэрация.

Местное душирование: Воздушное душирование рабочих мест, подверженных тепловому облучению.

Местные отсосы: Местные отсосы над загрузочными отверстиями, ваннами промывки, окислирования, нейтрализации, травления, очистки, над электромасляными ваннами.

Зонты над печью: Скорость воздуха через зонт -1.5 (желоб выпуска чугуна, шлака, загрузочное окно)-5 (участок заливки металла в формы) м/сек.

Электродуговые печи: 1 тонна – 4 000 м³/ч, 3 тонны – 5000, 6 тонн – 6000, 10 тонн – 10000.

Вентиляция механического цеха

В эту группу включены цеха с обработкой металла на строгальных, долбежных, сверлильных, токарных, фрезеровальных, шлифовальных и др. станках, а также заточка и правка режущего инструмента.

Основные вредности: Тепловыделения от электродвигателей, людей, солнца, аэрозоли масла и эмульсии, пары от охлаждающих жидкостей, металлическая и наждачная пыль

Отопление: Воздушное отопление, совмещенное с вентиляцией

Общеобменная вентиляция: Расчет воздуха идет на ассимиляцию теплоизбытков и влаговыделений (но не менее 30 м³/ч на одного рабочего). Приточный воздух подается сверху.

Местные отсосы: Над станками без охлаждения, над ваннами для мытья деталей, над баками для приготовления эмульсии, над шлифовальными, обдирочными станками (плюс фильтры на выброс). Удаление пыли осуществляется местными отсосами в виде кожухов или отсасывающих воронок.

Вентиляция сварочного цеха

Основные вредности: Газы: окислы азота, окиси углерода, озона, фтористых соединений.

Отопление: Воздушное отопление, совмещенное с вентиляцией

Общеобменная вентиляция: Расчет воздуха на растворение вредностей от сварки до предельно-допустимой концентрации. Расчет ведется с учетом веса сварочных электродов, расходуемых в час. Ручная сварка – 1500-4500 м³/ч на 1 кг электродов. Полуавтоматическая сварка в углекислом газе – 1700-2000 м³/ч на 1 кг. Сварка порошковой проволокой- 2500-5400 м³/ч. В среднем, один сварочный пост расходует 5 кг электродов в час. Вытяжка – 1/3 из верхней зоны, 2/3 – из нижней.

Местные отсосы: По возможности устанавливаются местные отсосы.

Вентиляция окрасочного цеха

Основные вредности: Пары растворителей и разбавителей, окрасочная пыль.

Отопление: Централизованное или воздушное, совмещенное с вентиляцией

Общеобменная вентиляция: Приток на компенсацию местных вытяжек, плюс один крат. Общеобменная вытяжка не менее 1 крат из верхней зоны. В зависимости от того, тяжелее пары краски воздуха или легче, соответственно организуется и вытяжка -2/3 снизу – 1/3 сверху (или наоборот).

Местные отсосы: Местная вытяжка у окрасочных камер, столов, стенов, ванн окунания, установок струйного облива, сушильных камер, агрегатов обезжиривания.

Вентиляция гальванического цеха (вентиляция цеха металлопокрытий)

Основные вредности: Цианистый водород, пыль, пары кислот, щелочей, электролитов, а также тепло и влага.

Отопление: Воздушное, совмещенное с вентиляцией

Общеобменная вентиляция: Все воздуховоды – из антикоррозионных материалов или покрываются антикоррозионными материалами (лаки). Приток компенсирует все местные вытяжки и общеобменную вытяжку. Во все смежные помещения подается 5% от притока для создания подпора в них. В отделениях приготовления растворов, складов хранения и развести цианистых солей требуется 3 кратный воздухообмен. Вытягиваемый воздух должен проходить фильтрацию.

Местные отсосы: Бортовые отсосы ванн. Вентиляторы взрывобезопасные. Вытяжные системы ванн с цианистыми растворами и для ванн с кислыми растворами должны быть независимыми. Местные отсосы ванн с цианистым растворами, азотной и соляной кислотами должны иметь резервные вентиляторы. Вытягиваемый воздух должен проходить фильтрацию.

Вентиляция деревообрабатывающего цеха

Основные вредности: Опилки, стружки, древесная пыль, теплота от прессов, пары клея, растворителей и т.п.

Отопление: Воздушное, совмещенное с вентиляцией.

Общеобменная вентиляция: Приточный воздух подается в верхнюю зону рассредоточено, чаще всего через перфорированные воздуховоды. В малярном цехе общеоб-

менная вентиляция служит для растворения неуловленных местными отсосами паров растворителей до предельно допустимых концентраций.

Местные отсосы: Местные отсосы от станков, напольные и подпольные отсосы для древесных отходов. Воздух очищается в циклонах или рукавных фильтрах. В малярном цехе – отсосы от окрасочных камер, сушильных шкафов, краскотерок. Сушильное отделение – $30\text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 кг пара (но не менее 5 крат) – у разгрузочных ворот сушильных камер.

Вентиляция трикотажного цеха

Основные вредности: Тепло от швейных машин, прессов, утюгов, нагретых изделий и т.п., влага от прессов, утюгов и людей.

Общеобменная вентиляция: Рассчитана на сьем теплоизбытков помещения.

Вентиляция автосервисов

Основные вредности: Выхлопные газы

Общеобменная вентиляция: Вытяжка из верхней зоны, приток в рабочую зону и канавы. В смотровые канавы – $125\text{ м}^3/\text{ч}$, в прямки – $100\text{ м}^3/\text{ч}$, в тоннели 5 крат.

Местные отсосы: Местный отсос (диаметр 100-200 мм) от выхлопной трубы. В помещение поступает 10% выхлопа.

Вытяжка:

До 120 л.с. – $350\text{ м}^3/\text{ч}$

120-180 л.с. – $500\text{ м}^3/\text{ч}$

180-240 л.с. – $650\text{ м}^3/\text{ч}$

Более 240 л.с. – $800\text{ м}^3/\text{ч}$.

Местный отсос от мойки агрегатов и деталей.

Сварочный цех

При сварочных работах выделяются вредности: окислы азота, окиси углерода, озона, фтористых соединений. Вытяжная вентиляция должна максимально эффективно удалять вредности, а приточная вентиляция должна компенсировать вытяжку, разбавляя вредности до предельно допустимых концентраций (ПДК).

Вытяжная вентиляция должна уловить максимум вредностей от рабочего места

Расчет ведется с учетом веса сварочных электродов, расходуемых в час.

- Ручная сварка – $1500\text{-}4500\text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 кг электродов.

- Полуавтоматическая сварка в углекислом газе – $1700\text{-}2000\text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 кг.

- Сварка порошковой проволокой- $2500\text{-}5400\text{ м}^3/\text{ч}$.

В среднем, один сварочный пост расходует 5 кг электродов в час. Вытяжка – 1/3 из верхней зоны, 2/3 – из нижней.

Отопление - обычно воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией.

Металлургические предприятия

На металлургических предприятиях приходится бороться не только с громадным тепловыделением в цехах. Основу всей системы промышленной вентиляции составляет аспирация, т.е. система удаления вредных (преимущественно пыли) из цеха. Аспирационная система в обязательном порядке оснащается мощной системой фильтрации выбросов (электрофильтр, рукавный фильтр). Кроме того, нужно не забывать о том, что на металлургических комбинатах существуют целые здания-башни с оборудованием (к примеру, подача угольного топлива в доменные печи), которые должны оснащаться системой вентиляции, отопления и кондиционирования.

На металлургических комбинатах необходимо прежде всего бороться с тепловыделениями и пылью.

Проектирование и монтаж промышленной вентиляции металлургических предприятий:

- Огромные расходы воздуха,
- вентиляторы в сотни киловатт мощности,
- чрезвычайно запыленный воздух,
- пожароопасность некоторых помещений,
- необходимость поддержания заданной температуры,
- задача обеспечить персоналу приемлемые условия,
- необходимость обеспечить экономное и простое обслуживание.

Механический цех

В эту группу включены цеха с обработкой металла на строгальных, долбежных, сверлильных, токарных, фрезеровальных, шлифовальных и др. станках, а также заточка и правка режущего инструмента.

При механообработке в воздух выделяется небольшое количество вредных: тепло и влага.

ТЕМА 20 АВАРИЙНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ. СИСТЕМА ПРОТИВОДЫМНОЙ ЗАЩИТЫ

20.1. Аварийная вентиляция

Системы аварийной вентиляции устраивают в производственных помещениях, в которых возможно внезапное поступление в воздух больших количеств вредных или взрывоопасных веществ. Производительность аварийной вентиляции определяется расчетом в технологической части проекта или в соответствии с требованиями ведомственных нормативных документов.

Аварийный воздухообмен обеспечивается совместной работой основной (общеобменной и местной) и аварийной вентиляции. В аварийный режим должен быть обеспечен воздухообмен не менее 8 крат/ч по полному внутреннему объему помещения, а в помещениях категорий А, Б и Е - 8-кратный воздухообмен дополнительно к воздухообмену, создаваемому основной вентиляцией.

Совместными действиями вентиляционных устройств концентрация вредных веществ, попавших в помещение в кратчайшее время, должна быть уменьшена ниже предельно допустимой концентрации (ПДК).

Расчет аварийной вентиляции состоит в определении величины аварийного воздухообмена и времени, за которое концентрация вредного вещества должна быть снижена до ПДК с помощью аварийной вентиляции.

Системы аварийной вентиляции в помещениях с производствами категорий А, Б и Е устраиваются с механическим побуждением.

Вентиляторы применяются во взрывобезопасном исполнении. В помещениях с производствами категорий В, Г и Д допускается применение аварийной вентиляции с естественным побуждением (с проверкой на теплый режим).

Для перемещения взрывоопасных газов следует предусматривать системы аварийной вентиляции с помощью эжекторов. Если для аварийной вентиляции используется одна основная, производительность которой достаточна для аварийного воздухообмена, то для нее следует применять резервный вентилятор с электродвигателем. Резервные вентиляторы должны включаться автоматически при остановке основных.

Для компенсации воздуха, удаляемого аварийной вытяжной вентиляцией, дополнительных приточных систем вентиляции предусматривать не следует.

Аварийная вентиляция, как правило, устраивается вытяжной. Возмещение воздуха, удаляемого вытяжной аварийной вентиляцией, должно предусматриваться преимущественно за счет поступления наружного воздуха. Выбросные устройства аварийной вентиляции не следует располагать в местах постоянного пребывания людей и размещения воздухозаборных устройств приточной вентиляции. Запуск

устройств аварийной вентиляции следует проектировать дистанционным у доступных мест как изнутри, так и снаружи помещений.

Местные отсосы, удаляющие вещества 1-го и 2-го классов опасности от технологического оборудования, следует блокировать таким образом, чтобы оно не могло работать при бездействии вытяжной вентиляции.

Для аварийной вентиляции допускают использование эксплуатационных местных вытяжных и общеобменных систем вентиляции, которыми оснащено помещение. Для этого в аварийных случаях общеобменные приточные системы могут автоматически переключаться на всасывающую работу, для чего целесообразно их оборудовать обводными воздуховодами с переключающимися клапанами (рис. 20.1). При таком реверсировании не изменяется направление вращения рабочего колеса вентилятора. При обычной нагнетательной его работе открыты клапаны 1 и 4, а клапаны 2 и 8 закрыты. Наоборот, в момент реверсирования направления движения воздуха клапаны 1 и 4 мгновенно закрывают, а клапаны 2 и 8 открывают.

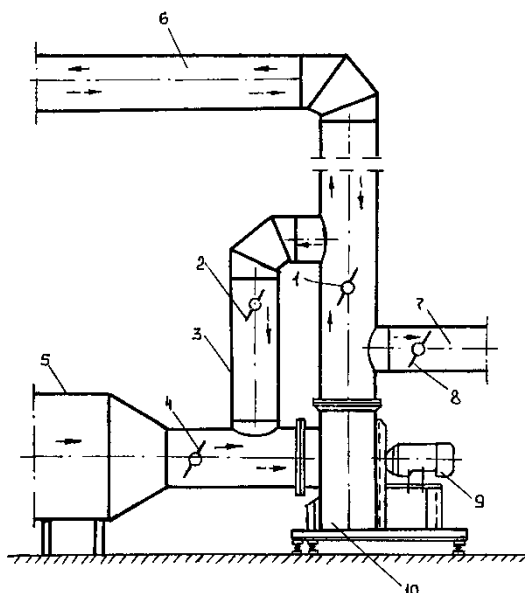


Рисунок 20.1 – Схема реверсирования вентиляторной установки. 1, 2, 4, 8 – переключающие клапаны; 5 – приточная камера; 6 – магистральный воздуховод; 3, 7 – обводные воздуховоды; 9 – электродвигатель; 10 – вентилятор.

Если для аварийной вентиляции используют местные вытяжные и общеобменные системы, производительность которых достаточна для аварийного воздухообмена, то для них должны быть предусмотрены резервные вентиляторы с электродвигателями, рассчитанными на аварийный воздухообмен.

Если производительность местных вытяжных и общеобменных систем вентиляции помещения меньше требуемой для аварийного воздухообмена, то дополнительно предусматривают систему аварийной вентиляции на недостающий воздухообмен или только систему вентиляции, рассчитанную на весь аварийный воздухообмен.

Решетки или патрубки для удаления воздуха системами аварийной вентиляции необходимо размещать в рабочей зоне при поступлении в помещение паров и газов тяжелее воздуха или в верхней зоне при выделении паров и газов легче воздуха.

Величину воздухообмена аварийной вентиляции обычно указывают в ведомственных нормативных документах. Если же такие указания отсутствуют, то аварийный воздухообмен должен составлять не менее 8 обменов в 1 ч для помещений высотой 6 м, а из помещений высотой более 6 м необходимо удалять не менее 50 м³/ч на 1 м² площади пола помещения.

При известной кратности аварийного воздухообмена n и концентрациях вредного вещества $q_{нач}$ и $q_{ПДК}$ необходимое время работы аварийной вентиляции (ч) составляет

$$\tau = \frac{1}{n} \ln \frac{q_{нач}}{q_{ПДК}}. \quad (20.1)$$

20.2. Требования к вентиляции категорийных помещений

1) При устройстве общеобменной механической вентиляции, помещение должно иметь не менее 2-х приточных и 2-х вытяжных систем или должен предусматриваться резервный двигатель, причём производительность каждой системы должен быть не менее 50% потребного количества воздуха.

2) В помещениях категорий А, Б и Е должен быть создан подпор т.е.

$$L_{пр} = 0,95 L_{выт} \quad (20.2)$$

3) Запрещено располагать вентиляционные камеры в подвальных помещениях.

4) Для помещений категорий А, Б и Е должны проектироваться самостоятельные системы вентиляции.

5) Для помещений категорий А, Б и Е не допускается рециркуляция. Вентиляторы должны располагаться вне обслуживаемого помещений и быть во взрывобезопасном исполнении.

6) Для предотвращения распространения взрыва по воздуховодам в них требуется устройство противовзрывных клапанов

7) Концентрация взрывчатых веществ в вытяжных воздуховодах должна быть не более 50% величины нижнего предела взрываемости.

8) Системы воздуховодов, обслуживающих взрывоопасные помещения должны прокладываться по кратчайшему пути и выводиться на улицу.

20.3. Системы противодымной защиты зданий

Термины и определения

Верхняя зона помещения - зона помещения, расположенная выше обслуживаемой или рабочей зоны.

Взрывоопасная смесь - смесь горючих газов, паров, пыли, аэрозолей или волокон с воздухом при нормальных атмосферных условиях (давлении 760 мм рт. ст. и температуре 20 °С), у которой при воспламенении горение распространяется на весь объем несгоревшей смеси и развивается давление взрыва, превышающее 5 кПа. Взрывоопасность веществ, выделяющихся при технологических процессах, следует принимать по заданию на проектирование.

Воздушный затвор - вертикальный участок воздуховода, изменяющий направление движения дыма (продуктов горения) на 180° и препятствующий при пожаре прониканию дыма из нижерасположенных этажей в вышерасположенные.

Дым - аэрозоль, образуемый жидкими и (или) твердыми продуктами неполного сгорания материалов.

Дымовой клапан - клапан с нормируемым пределом огнестойкости, открывающийся при пожаре.

Дымоприемное устройство - отверстие в воздуховоде (канале, шахте) с установленным на нем или на воздуховоде дымовым клапаном, открывающимся при пожаре.

Дымоход - вертикальный канал или трубопровод прямоугольного или круглого сечения для создания тяги и отвода дымовых газов от теплогенератора (котла, печи) и дымоотвода вверх в атмосферу.

Дымоотвод - трубопровод или канал для отвода дымовых газов от теплогенератора до дымохода или наружу через стену здания.

Дымовая зона - часть помещения общей площадью не более 3000 м², из которой удаляются продукты горения (дым), обеспечивая эвакуацию людей из горящего помещения.

Защищаемое помещение - помещение, при входе в которое для предотвращения перетекания воздуха имеется тамбур-шлюз или создается повышенное или пониженное давление воздуха по отношению к смежным помещениям.

Коридор, не имеющий естественного освещения - коридор, не имеющий световых проемов в наружных ограждениях.

Место постоянного пребывания людей в помещении - место, где люди находятся более 2 ч непрерывно.

Многоэтажное здание - здание с числом этажей 2 и более.

Огнестойкий воздуховод - плотный воздуховод со стенками, имеющими нормируемый предел огнестойкости.

Помещение с массовым пребыванием людей - помещение (залы и фойе театров, кинотеатров, залы заседаний, совещаний, лекционные аудитории, рестораны, вестибюли, кассовые залы, производственные и др.) с постоянным или временным пребыванием людей (кроме аварийных ситуаций) числом более 1 чел. на 1 м² помещения площадью 50 м² и более.

Помещение, не имеющее естественного освещения - помещение, не имеющее окон или световых проемов в наружных ограждениях.

20.3.1. Общие сведения

Противодымная защита зданий включает комплекс технических решений, обеспечивающих незадымляемость эвакуационных путей, отдельных помещений и зданий в целом.

Виды технических решений регламентируются соответствующими нормативными документами в зависимости от назначения зданий, условий развития пожара, потенциальной опасности распространения дыма за пределы горящего помещения, технико - экономических показателей и подразделяются на объёмно - планировочные, конструктивные и специальные.

К объёмно - планировочным относят решения, предусматривающие: деление объёмов здания на противопожарные отсеки и секции, изоляцию путей эвакуации от смежных помещений, изоляцию помещений с пожароопасными технологическими процессами и размещение их в плане и по этажам здания.

Конструктивные решения предусматривают применение дымонепроницаемых ограждающих конструкций с достаточным пределом огнестойкости и соответствующей защитой в них дверных и технологических проёмов, отверстий для прокладки коммуникаций, а также применение специальных конструкций конструктивных элементов для удаления дыма в желаемом направлении: дымовых и вентиляционных шахт, люков, проёмов.

Специальные технические решения по противодымной защите зданий предусматривают создание систем дымоудаления с механическим или естественным побуждением, а также систем, обеспечивающих избыточное давление воздуха в защищаемых объёмах: лестничных клетках, шахт лифтов, тамбур - шлюзах и др.

Противодымная защита зданий осуществляется совокупностью технических решений. Так, незадымляемость лестничных клеток в зданиях повышенной этажности может быть обеспечена за счёт устройства поэтажных входов в лестничную клетку через воздушную зону по балконам, лоджиям или галереям, либо созданием избыточного давления воздуха в объёме лестничной клетки механическими вентиляционными системами. При наличии системы подпора воздуха для создания перепада давлений в дверных проёмах лестничной клетки на этажах здания требуется устройство системы дымоудаления из поэтажных коридоров. Кроме того, в обоих вариантах по обеспечению незадымляемости лестничных клеток требуется предусмотреть меры по изоляции защищаемых объёмов от подвальных помещений и чердаков, помещений различного назначения на этажах здания.

Главной целью противодымной защиты здания является создание условий для эвакуации людей на случай пожара. Особое значение придается этому направлению при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий с массовым пребыванием людей, детских учреждений, больниц и т. п.

При неудовлетворительном решении вопросов противодымной защиты здания продукты горения распространяются по шахтам лифтов, коридорам, лестничным клеткам, вентиляционным системам, мусоропроводам, отверстиям и проёмам в ограждающих конструкциях, что затрудняет эвакуацию людей, а в некоторых случаях и блокирует её. Например, заполнение дымом поэтажных коридоров исключает возможность использования для эвакуации даже незадымляемых лестничных клеток.

Дым оказывает на человека токсикологическое и психологическое воздействие. В помещениях, заполненных продуктами горения, резко снижается видимость, затрудняется ориентировка людей при эвакуации, создаются трудности в обнаружении очага пожара и его тушении. Ещё сложнее бывает обстановка на пожаре, когда при горении веществ выделяются продукты неполного сгорания или токсичные вещества. Кроме того, продукты горения, нагретые до высоких температур, способствуют распространению пожара и при определённых условиях могут вызвать повторные очаги пожара на значительном расстоянии от первоначального. Это предопределяет второе направление противодымной защиты развития пожара и созданием условий для его успешного тушения. зданий, связанное с ограничением

Таким образом, технические решения по противодымной защите зданий должны гарантировать защиту от задымления путей эвакуации в течение времени, достаточного для эвакуации людей, создавать условия для успешной локализации и ликвидации пожара.

В соответствии с Нормативными документами, системы вытяжной противодымной вентиляции для удаления продуктов горения при пожаре следует предусматривать:

а) из коридоров и холлов жилых, общественных, административно-бытовых и многофункциональных зданий высотой более 28 м. Высота здания (для эвакуации людей) определяется разностью отметок поверхности проезда для пожарных автомашин и нижней отметки открывающегося окна (проема) в наружной стене верхнего этажа (не считая верхнего технического);

б) из коридоров (туннелей) подвальных и цокольных этажей без естественного освещения их световыми проемами в наружных ограждениях (далее - без естественного освещения) жилых, общественных, административно-бытовых, производственных и многофункциональных зданий при выходах в эти коридоры из помещений, предназначенных для постоянного пребывания людей (независимо от количества людей в этих помещениях);

в) из коридоров длиной более 15 м без естественного освещения для производственных и складских зданий категорий А, Б, В₁-В₂ с числом этажей два и более, а также для производственных зданий категории В₃, общественных и многофункциональных зданий с числом этажей шесть и более;

г) из общих коридоров и холлов зданий различного назначения с незадымляемыми лестничными клетками;

д) из коридоров без естественного освещения жилых зданий, в которых расстояние от двери наиболее удаленной квартиры до выхода непосредственно в лестничную клетку или до выхода в тамбур, ведущий в воздушную зону незадымляемой лестничной клетки типа Н₁, более 12м;

е) из атриумов зданий высотой более 28 м, а также из атриумов высотой более 15 м и пассажей с дверными проемами или балконами, выходящими в пространство атриумов и пассажей;

ж) из лестничных клеток типа Л₂ с открываемыми автоматически при пожаре фонарями зданий стационаров лечебных учреждений;

з) из каждого производственного или складского помещения с постоянными рабочими местами без естественного освещения или с естественным освещением через окна и фонари, не имеющие механизированных приводов для открывания фрамуг в окнах (на уровне 2,2 м и выше от пола до низа фрамуг) и проемов в фонарях (в обоих случаях площадью, достаточной для удаления дыма при пожаре), если помещения отнесены к категориям А, Б, В₁-В₃, а также В₄, Г или Д в зданиях IV степени огнестойкости;

и) из каждого помещения без естественного освещения:

- общественного, предназначенного для массового пребывания людей;
- площадью 50 м² и более с постоянными рабочими местами, предназначенного для хранения или использования горючих веществ и материалов;
- торговых залов;
- гардеробных площадью 200 м² и более. Допускается проектировать удаление продуктов горения через примыкающий коридор из помещений площадью до 200 м²: производственных категорий В₁-В₃ или предназначенных для хранения или использования горючих веществ и материалов.

Требования не распространяются:

а) на помещения (кроме помещений категорий А и Б) площадью до 200 м², оборудованные установками автоматического водяного или пенного пожаротушения;

б) на помещения, оборудованные установками автоматического газового или порошкового пожаротушения;

в) на коридор и холл, если из всех помещений, имеющих двери в этот коридор или холл, проектируется непосредственное удаление продуктов горения.

Примечание - Если на площади основного помещения, для которого предусмотрено удаление продуктов горения, размещены другие помещения, каждое площадью до 50 м², то удаление продуктов горения из этих помещений допускается не предусматривать.

20.3.2. Расчет параметров систем дымоудаления с естественным побуждением

Существует два подхода к организации дымоудаления из помещений большого объема.

Первый подход предполагает создание в нижней части помещения свободной от дыма зоны. При втором - устройства дымоудаления должны обеспечить незадымление путей эвакуации из здания и помещений, смежных с горящим.

Рассмотрим физические предпосылки первого подхода. В его основе лежит условие баланса между количеством дыма, поступающего от источника в подпотолочный слой, и количеством дыма, удаляемого из верхней части подпотолочного слоя дымоудаляющими устройствами (рис.2).

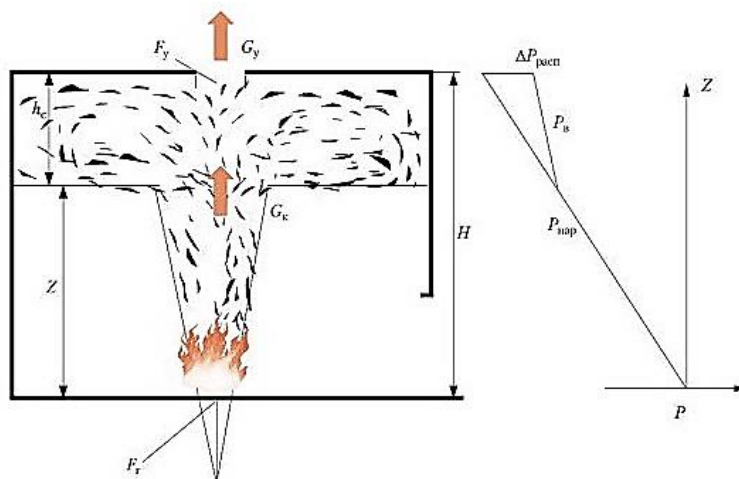


Рисунок 20.2 – Физические предпосылки расчета параметров дымоудаляющих устройств для обеспечения незадымленной зоны в нижней части помещения.

Когда очаг пожара невелик и пламя не доходит до подпотолочного слоя дыма (характерный размер очага горения меньше половины высоты незадымленной зоны), объемный расход дыма выражается зависимостью, предложенной И. А.- Шепелевым:

$$L_K = 0,182y \left[qQ_{0y} / (c_p \rho_n T_n) \right]^{1/3} \quad (20.3)$$

Q_0 - конвективная производительность очага пожара;

c_p - удельная изобарная теплоемкость;

ρ_n, T_n - соответственно плотность и температура воздуха в помещении.

Для случая, когда пламя проникает в подпотолочный слой дыма, расход дыма в конвективной колонке выражается зависимостью:

$$G_K = 0,188 \Pi y^{3/2} \quad (20.4)$$

Общим в формулах для L_K и G_K является то, что с уменьшением незадымленной зоны уменьшается и расход газа, поступающего в подпотолочный слой.

Расход удаляемого из верхней зоны помещения дыма может быть выражен формулой:

$$G_y = \mu_y F_y [2\rho_{\text{ПГ}} q h_c (\rho_H - \rho_{\text{ПГ}})]^{1/2} \quad (20.5)$$

F_y - площадь проходного сечения люков дымоудаления;

μ_y - коэффициент расхода люков дымоудаления;

$\rho_{\text{ПГ}}$ - плотность дыма в подпотолочном слое.

Наиболее важным с физической точки зрения в формуле для G_y является то, что с увеличением толщины слоя дыма h_c возрастает расход удаляемого дыма G_y . Сумма высоты незадымленной зоны u и толщины слоя дыма равна высоте здания, а высота здания остается постоянной. С уменьшением u возрастает h_c , с уменьшением G_K (L_k) возрастает G_K . При определенном u наступает равновесие G_K и G_y и величина u стабилизируется. Величина u , при которой достигается равенство G_K и G_y , зависит от многих факторов: скорости и направления ветра, положения проемов (открыто, закрыто) и их размеров, температуры газов в подпотолочном слое, аэродинамических характеристик люков дымоудаления и др. Одним из немногих факторов, с помощью которых можно управлять величиной u , является площадь проходного сечения люков дымоудаления F_y . Задачей расчета и является выбор величины F_y , при которой достигается заданное значение u .

Для того чтобы получить выражение для площади люков дымоудаления, приравняем зависимости для G_y и G_K

$$\mu_y F_y [2\rho_{\text{ПГ}} q h_c (\rho_H - \rho_{\text{ПГ}})]^{1/2} = 0,188 \Pi u^{3/2} \quad (20.6)$$

Или

$$0,188 \Pi u^{3/2} / \{ \mu_y F_y [2\rho_{\text{ПГ}} q h_c (\rho_H - \rho_{\text{ПГ}})]^{1/2} \} \quad (20.7)$$

Для того чтобы воспользоваться формулой, необходимо знать плотность продуктов горения в подпотолочном слое $\rho_{\text{ПГ}}$ или их температуру $T_{\text{ПГ}}$. Температуру продуктов горения можно вычислить из уравнения теплового баланса. Уравнение теплового баланса представляет собой математическую запись равенства - количества тепла, приходящего в подпотолочный слой с конвективной колонкой и уходящего с дымовыми газами:

$$(1 - \varphi) \eta Q_p^H \psi_{y0} F_{\text{зоп}} = c_p G_y T_{\text{ПГ}} \quad (20.8)$$

$$T_{\text{ПГ}} = (1 - \varphi) \eta Q_p^H \psi_{y0} F_{\text{зоп}} / c_p G_y \quad (9)$$

φ - доля тепла, отдаваемого очагом горения ограждающим конструкциям ($\varphi = 0,25-0,5$);

η - коэффициент полноты сгорания ($\eta = 0,85-0,9$);

Q_p^H - теплота сгорания, кДж/кг;

$\psi_{уд}$ - удельная скорость выгорания, кг/(с·м²);

$F_{гор}$ - площадь горения, м²;

c_p - удельная изобарная теплоемкость, кДж/(кг·К).

Если исходных данных для расчета $T_{пр}$ недостаточно, можно принять, что при горении ЛВЖ и ГЖ $t_{пр} = 600^\circ\text{C}$, при горении твердых материалов $T_{пр} = 450^\circ\text{C}$, при горении волокнистых материалов $T_{пр} = 300^\circ\text{C}$.

Расчет требуемой площади люков дымоудаления может быть выполнен с использованием номограмм. Номограмма для определения площади люков дымоудаления для малого очага пожара (характерный размер зоны горения меньше половины высоты незадымленной зоны) показана на рис.20.3.

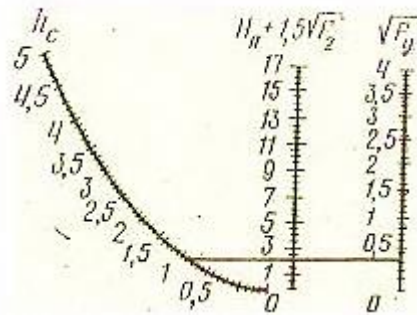


Рисунок 20.3 – Номограмма для определения требуемой площади люков дымоудаления при малом пожаре

Для определения площади люков дымоудаления достаточно знать высоту помещения от пола до оголовка устройства дымоудаления H_n , уровень незадымленной зоны u и площадь очага горения $F_{гор}$.

На рис. 20.4 приведена номограмма для определения требуемой площади люков дымоудаления при пожаре средних размеров (характерный размер очага горения больше половины высоты незадымленной зоны, площадь приточных проемов больше 1/20 площади очага горения). Исходными данными в этом случае являются высота помещения, требуемый уровень незадымленной зоны и периметр зоны горения.

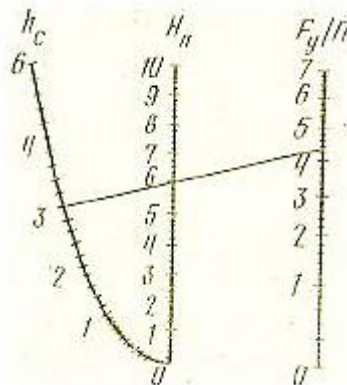


Рисунок 20.4 – Номограмма для определения площади люков дымоудаления при пожаре средних размеров (при $d > 0,5 u$)

Недостатком расчета по номограммам является неучет некоторых определяющих факторов, например, влияния температуры продуктов горения, скорости и направления ветра, температуры наружного воздуха.

Рассмотрим основы расчета площади люков дымоудаления для случая, когда задачей системы является незадымляемость путей эвакуации из здания и смежных с горящим помещением. Этот подход был разработан Б. В. Грушевским и лег в основу нормативных документов.

На различные фасады здания действуют различные ветровые давления (рис. 20.5)

$$P_{0з} = K_з \rho_H v_B^2 / 2; \tag{20.10}$$

$$P_{0бок} = K_{бок} \rho_H v_B^2 / 2; \tag{20.11}$$

$$P_{0н} = K_H \rho_H v_B^2 / 2; \tag{20.12}$$

Наименьшее давление реализуется со стороны заветренного фасада. Система дымоудаления должна предотвратить выход дыма в смежные помещения, расположенные как с наветренной, так и с боковых и заветренной сторон. Плоскости равных давлений между горящим и смежными помещениями должны располагаться выше всех дверных проемов.

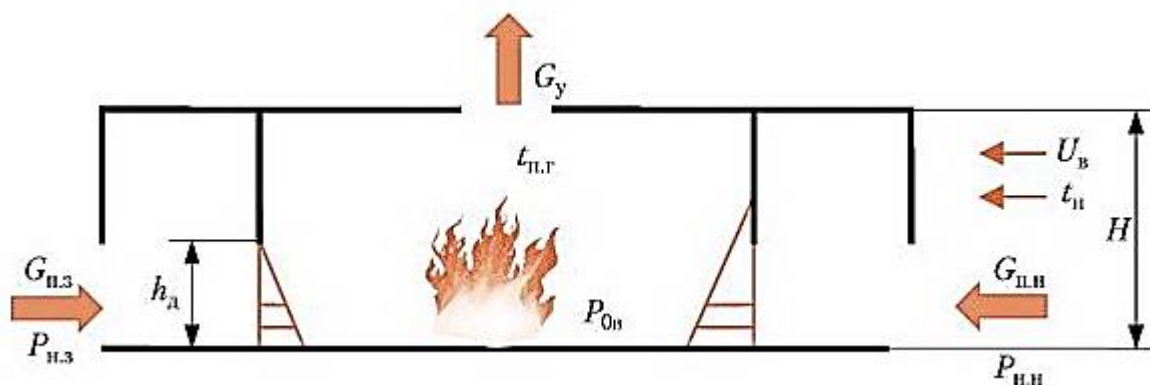


Рисунок 20.5 – Физические предпосылки расчета параметров дымоудаляющих устройств для обеспечения незадымляемости путей эвакуации и смежных с горящим помещений.

Ниже остальных плоскость равных давлений располагается у проемов, выходящих на заветренный фасад. Минимальные расходы приточного воздуха в горящее помещение поступают через проемы с заветренного фасада, максимальные - с наветренного. Расход удаляемого дыма равен сумме расходов воздуха, поступающего через все проемы на всех фасадах здания:

$$G_y = G_з + G_{бок1} + G_{бок2} + G_H \tag{20.13}$$

G_3 - расходы через проемы заветренного фасада;
 $G_{бок1}, G_{бок2}$ - расходы через проемы боковых фасадов;
 G_H - расход через проемы наветренного фасада.

Для того чтобы вычислить расходы, необходимо знать давление на уровне пола горящего помещения $P_{ов}$, которое вычисляется по формуле:

$$P_{ов} = -0,3 \rho_H v_B^2 / 2 - q h_{II} \left[1 + (F_1 / F_2)^2 \right] (\rho_H - \rho_{IIГ}) \quad (20.14)$$

Если на заветренный фасад выходят несколько проемов, то расчет ведется для тех из них, для которых $P_{ов}$ принимает наименьшее значение. Зная давление $P_{ов}$, можно вычислить перепады давлений на уровне середины проемов горящего помещения и расходы, входящие в формулу для G_y . Перепады давления на уровне середины проема вычисляются таким образом:

$$P_i = P_{oi} - P_{ов} - g h_{II} (\rho_H - \rho_{IIГ}) / 2 \quad (20.15)$$

i - номер рассматриваемого фасада (для наветренного фасада $i = H$, $P_{oi} = P_{оH} = 0,2 \rho_H v_B^2$ и т. д.).

Требуемая площадь устройств дымоудаления вычисляется по формуле:

$$F_y = G_y / \left[y (2 \rho_{IIГ} \Delta P_{расп})^{0,5} \right] \quad (20.16)$$

$\Delta P_{расп}$ - располагаемый перепад давлений.

Располагаемый перепад давлений - это разность давления внутри помещения на уровне оголовка устройства дымоудаления и давления вне здания на том же уровне:

$$\Delta P_{расп} = P_{вд} - P_{нард} \quad (20.17)$$

$P_{вд}$ - давление в помещении на уровне оголовка устройства дымоудаления; $P_{нард}$ - давление вне здания на уровне оголовка устройства дымоудаления.

Располагаемый перепад давлений должен быть положительным, т. е. $P_{вд} > P_{нард}$. В противном случае проем, предназначенный для удаления дыма, будет работать как приточный, и дым будет выходить в смежные помещения.

Выражение для располагаемого перепада давлений имеет вид:

$$\Delta P_{расп} = P_{ов} - H q \rho_{IIГ} - K_{л} \rho_H v_B^2 / 2 + H q \rho_H = P_{ов} - K_{л} \rho_H v_B^2 / 2 + (\rho_H - \rho_{IIГ}) \quad (20.18)$$

При организации дымоудаления через проемы в покрытии или шахты в качестве H берется высота помещения от пола до оголовка шахты. При организации дымоудаления через открывающиеся фрамуги окон или светоаэрационных фонарей в качестве H берется расстояние от пола до середины фрамуги. При такой организации дымоудаления необходима проверка условия $\Delta P_{расп} > 0$. В качестве аэродинамического коэффициента для проверки следует брать коэффициент для наветренного фасада здания ($K_u = 0,4$), а в качестве H - расстояние от пола до нижнего среза фрамуги.

Если условие $\Delta P_{расп} > 0$ не выполняется, то фрамуги нельзя использовать для дымоудаления. Если в здании имеются оконные проемы на противоположных фасадах и для наветренного фасада $\Delta P_{расп} < 0$, то для дымоудаления можно использовать фрамуги на заветренном фасаде. В этом случае система дымоудаления должна быть оборудована автоматикой, открывающей фрамуги на заветренном фасаде и блокирующей их открывание на наветренном фасаде. Если остекление есть лишь на одном фасаде здания и условие $\Delta P_{расп} > 0$ не выполняется, дымоудаление через шахты. Проверка условия $\Delta P_{расп} > 0$ необходима и для шахт дымоудаления. Если для шахты дымоудаления условие $\Delta P_{расп} > 0$ не выполняется, следует предусматривать механическую систему дымоудаления.

20.3.3. Дымоудаляющие устройства

Дымоудаляющие устройства в сочетании с объёмно - планировочными и конструктивными решениями зданий способствуют задержке объёмного распространения пожара, удалению продуктов горения в желаемом направлении, исключают возможность распространения пожара за пределы горящего помещения, чем создают необходимые условия для эвакуации людей и работы пожарных. При отсутствии дымоудаляющих устройств или их недостаточной площади неизбежно задымление смежных помещений либо всего здания. В отдельных случаях дымоудаляющие устройства могут быть использованы для раздымления нижней зоны в объёме горящего помещения и снижения в нём температуры среды. Это достигается применением специальных конструктивных решений по ограничению возможной площади горения и увеличению газообмена в горящем помещении. В реальных условиях излишне организованный приток воздуха в зону горения способствует интенсификации пожара, а снижение температуры среды и раздымление нижней зоны объёма горящего помещения возможно при одновременной организации активных мер по локализации пожара и его тушению.

Функции дымоудаляющих устройств во многих помещениях выполняют оконные проёмы или фонари. Однако в связи с внедрением в практику строительства бесфонарных зданий появилась необходимость проектировать в них специальные дымоудаляющие устройства.

В состав систем дымоудаления входят:

Дымоприёмные устройства - отверстия в воздуховоде (канале, шахте) с установленным на нем или на воздуховоде дымовым клапаном, открывающимся при пожаре.

Вентиляторы дымоудаления предназначены для создания разряжения и отсоса дымовых газов из защищаемых помещений. Имеют электропривод.

Вентиляционные каналы (воздуховоды), шахты предназначены для транспортировки дымовых газов из защищаемых помещений наружу. Выполняются из негорючих материалов.

Шахты дымоудаления выполняются, как правило, из сборных железобетонных элементов с металлическим каркасом, с пределами огнестойкости не менее:

- EI 150 - для транзитных воздуховодов и шахт за пределами обслуживаемого пожарного отсека; при этом на транзитных участках воздуховодов и шахт, пересекающих противопожарные преграды пожарных отсеков, не следует устанавливать противопожарные клапаны;

- EI 45 - для вертикальных воздуховодов и шахт в пределах обслуживаемого пожарного отсека при удалении продуктов горения непосредственно из обслуживаемых помещений;

- EI 30 - в остальных случаях в пределах обслуживаемого пожарного отсека;

Вентиляторы подпора воздуха (создание избыточного давления в лифтовых шахтах, лестничных клетках, тамбур-шлюзах для исключения их задымления). Имеют электропривод.

Огнезадерживающие клапаны устанавливаются в системах вытяжной и общеобменной вентиляции для ограничения распространения по ним опасных факторов пожара (дымовые газы и др.). Имеют электропривод или тепловой замок.

Иногда конструктивные особенности здания не позволяют реализовать требуемые площади устройств дымоудаления. Удаление дыма пределами огнестойкости 0,5ч/200°C; 0,5ч/300°C; 1,0ч/300°C; 2,0ч/400°C; 1,0ч/600°C; 1,5ч/600°C в зависимости от расчетной температуры перемещаемых газов согласно НПБ 253 и в исполнении, соответствующем категории обслуживаемых помещений естественным путём, как правило, неэффективно в зданиях с количеством этажей более одного-двух. Этим трудностей удаётся избежать при использовании механических вентиляторов. При этом нужно использовать вентиляторы (в том числе радиальные крышные вентиляторы).

Вентиляторы для удаления продуктов горения следует размещать в отдельных помещениях, выгороженных противопожарными перегородками 1-го типа, предусматривая вентиляцию, обеспечивающую при пожаре температуру воздуха, не превышающую 60 °С в теплый период года (параметры Б) или соответствующую техническим данным изготовителей вентиляторов.

Вентиляторы противодымных вытяжных систем допускается размещать на кровле и снаружи здания (кроме районов с расчетной температурой наружного воздуха минус 40°C и ниже - параметры Б) с ограждениями для защиты от доступа посторонних лиц. Допускается установка вентиляторов непосредственно в каналах при условии обеспечения соответствующих пределов огнестойкости вентиляторов и каналов.

На рисунках ниже приведены некоторые типы вентиляторов:



Рисунок 20.5 – Вентилятор радиальный для удаления газов, возникающих при пожаре ВР-80-75-ДУ



Рисунок 20.6 – Вентилятор крышной радиальный дымоудаления с выходом потока в стороны ВКРС-ДУ



Рисунок 20.7 – Вентиляторы осевые дымоудаления ВОД



Рисунок 20.8 – Вентилятор для подпора воздуха на

20.3.4. Аэродинамические характеристики вентиляторов

При подборе вентилятора необходимо руководствоваться следующим: зона рабочих режимов вентилятора должна находиться в зоне максимальной эффективности вентилятора и быть за пределами срывного режима вентилятора.

В соответствии с ГОСТ10616-90 рабочая зона аэродинамической характеристики вентилятора должна быть ограничена диапазоном производительностей, в котором полный КПД вентилятора составляет 0,9 от максимального КПД. Именно в таком виде приведены аэродинамические характеристики вентиляторов в каталогах большинства производителей вентиляторов. Однако, в этом случае теряются режимы максимальной производительности, при которых возможна работа вентилятора, хотя и с меньшей эффективностью.

В каталогах некоторых западных, а в последнее время в каталогах отечественных, производителей приводится кривая полного давления от режима $Q=0$, до режима максимальной производительности Q_{\max} . Если не приведены ни кривая мощности ни полного (статического) КПД, то выбрать рабочую зону затруднительно. В этом случае, для оценки, можно принимать, что режим максимального полного КПД имеет место примерно на $2/3$ максимальной производительности вентилятора Q_{\max} . Коэффициент запаса k_c можно принимать $k_c = 1,25 \dots 1,5$ (большие значения, если срыв оказывает большее силовое воздействие на конструкцию вентилятора).

При подборе вентиляторов (радиальных, осевых) по аэродинамическим характеристикам, приведенным в каталогах, необходимо обращать внимание на следующее:

- а) является ли указанная в характеристиках мощность, потребляемой вентилятором, или же это мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора из сети;
- б) имеет ли электродвигатель, комплектующий вентилятор, запас мощности на пусковые токи, низкие температуры перемещаемой среды.

Эти параметры определяют эффективность вентилятора, его аэродинамические характеристики и работоспособность электродвигателя при низких температурах перемещаемого воздуха. Например, если электродвигатель не имеет запаса мощности (канальные вентиляторы с внешним ротором), прямой пересчет давления на пониженную температуру может не дать правильных результатов, так как из-за увеличения потребляемой мощности электродвигатель может «сбросить» обороты.

При анализе аэродинамических характеристик осевых вентиляторов необходимо иметь в виду следующее обстоятельство. В отечественной практике в ряде случаев, например, когда электродвигатель расположен перед колесом, а втулка колеса выходит за пределы корпуса, динамическое давление подсчитывается по скорости выхода потока, определенной по ометаемой лопатками площади (полная площадь, определенная по диаметру колеса, за исключением площади, занимаемой втулкой колеса). В за-

падных каталогах динамическое давление осевых вентиляторов определяется по полной площади, то есть по площади, ометаемой колесом.

Разница в статических давлениях, определенных по этим двум методам, начинает заметно сказываться при относительном диаметре втулки более $n \geq 0,4$ (отношение диаметра втулки к диаметру вентилятора). Если не учитывать этого обстоятельства, то подобранный вентилятор может не дать ожидаемого расхода в данной сети.

Особый интерес представляют аэродинамические характеристики, приведенные в технических условиях на радиальные вентиляторы в спиральном корпусе и, соответственно, в каталогах большинства их производителей. Рассмотрим это на примере характеристики вентиляторов типа ВР 80-75-2,5. Масштаб графиков - логарифмический, кривые полного давления вентиляторы обозначены линиями. Здесь же приведена серия ниспадающих кривых, пересекающих кривые $P_v(Q)$. Эти кривые, зачастую ошибочно, называют кривыми мощности (иногда их называют кривыми равной мощности). На каждой такой кривой приведена установочная мощность электродвигателя с запасом на пусковые токи и отрицательную температуру. На самом деле, это кривые полного давления $P_v(Q)$, которое имел бы этот вентилятор, если бы он работал с переменной частотой вращения, но при постоянной мощности: в левой части от точки пересечения с реальной кривой $P_v(Q)$ - с повышенной частотой относительно номинала, а правее точки пересечения - с пониженной частотой. Из всего вышесказанного следует понимать только одно: в левой части, до пересечения мнимой кривой с реальной, электродвигатель работает с запасом по мощности, а в правой части перегружен и при длительной работе может выйти из строя.

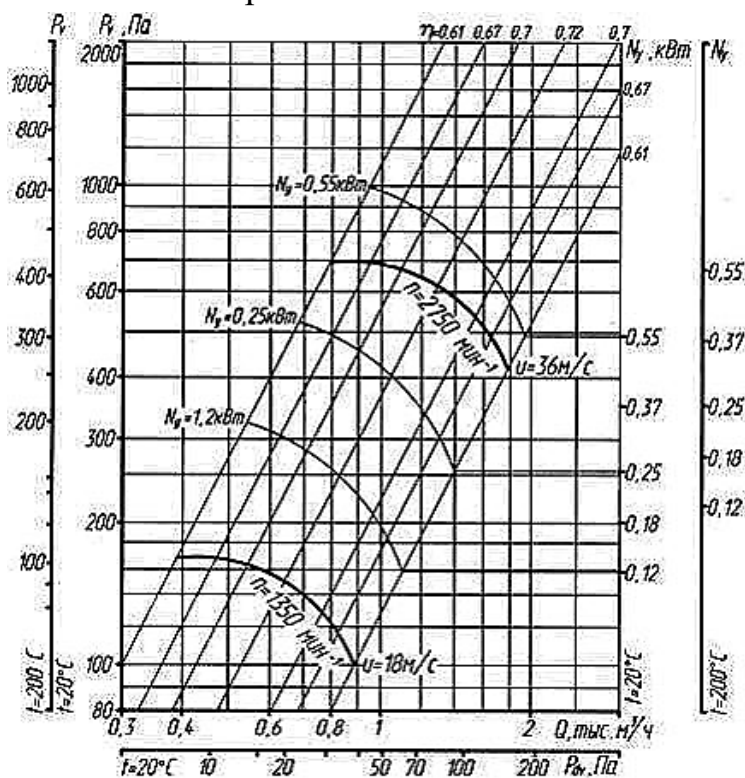


Рисунок 20.9 – Аэродинамическая характеристика вентилятора ВР 80-75-2,5.

20.3.5. Расчет параметров вентиляционного оборудования систем противодымной защиты зданий повышенной этажности

Основной задачей расчета системы противодымной защиты здания повышенной этажности является определение технических параметров вентиляторов дымоудаления из коридоров, подачи воздуха на незадымленные лестничные клетки и в шахты лифтов, при которых обеспечивается незадымляемость вертикальных путей эвакуации из здания.

Первая методика расчета требуемых параметров вентиляторов систем противодымной защиты жилых зданий повышенной этажности была разработана Н.Н. Разумовым; И.С. Шаповаловым и И.Т. Светашовым в 1973 г. В результате проведенных ВНИПО натуральных огневых испытаний, опытов на полномасштабной экспериментальной установке "фрагмент этажа высотного здания" и теоретических исследований были уточнены исходные параметры этой методики и разработаны рекомендации по расчету параметров системы противодымной защиты жилых и общественных зданий повышенной этажности. Расчеты системы производятся при следующих исходных; данных:

- пожар происходит в холодное время года на нижнем типовом этаже здания;
- окна помещения, где возник пожар, и выбросные отверстия систем дымоудаления выходят на наветренный фасад здания, входная дверь здания и воздухозаборные отверстия систем подпора воздуха выходят на заветренный (подветренный) фасад здания,
- кабины лифтов располагаются на первом этаже, двери кабин и лифтовых шахт открыты;
- двери на пути эвакуации от горящего помещения до улицы открыты, остальные окна, и двери в здании закрыты.

Схема противодымной защиты здания повышенной этажности приведена на рис. 20.10. В верхние части незадымляемых лестничных клеток 2-го типа и шахт лифтов приточными вентиляторами подается наружный воздух для создания в них избыточного давления. Из коридора этажа пожара по специальной шахте через открытый клапан удаляется дым. Шахта дымоудаления оборудована вытяжным вентилятором.

Подаваемый в лестничную клетку воздух через неплотности и щели в окнах фильтруется в окружающую атмосферу, через щели притворов дверей - в другие части здания (рис. 20.11). Часть воздуха из лестничной клетки уходит в коридор этажа пожара, а оставшаяся часть - через открытую входную дверь здания. На верхних этажах лестничной клетки избыточное давление выше давления в шахте лифтов. За счет этого в верхнюю часть шахты лифта происходит фильтрация воздуха из объема здания. В шахте дымоудаления создается разрежение по отношению к окружающим помещениям и из них в шахту дымоудаления фильтруется воздух

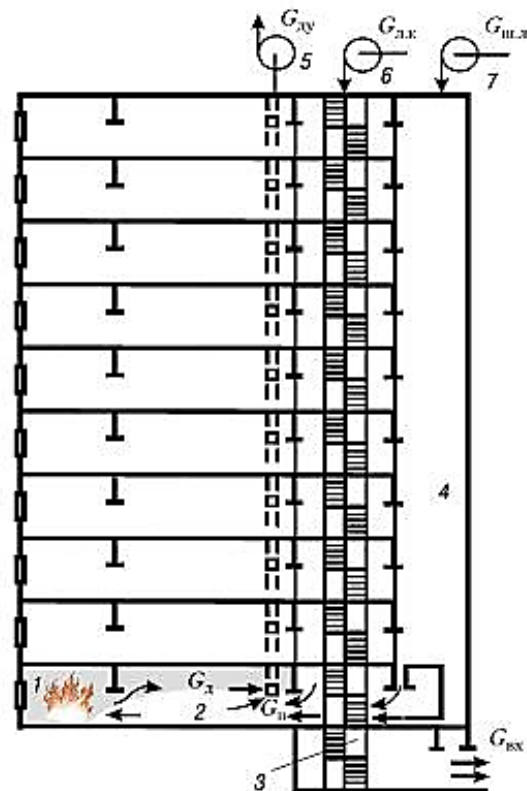


Рисунок 20.10 – Схема противодымной защиты здания повышенной этажности.

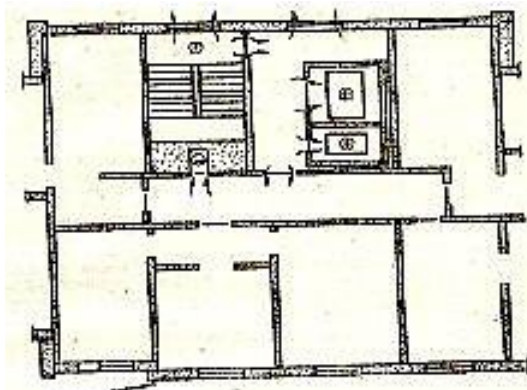


Рисунок 20.11 – Движение воздуха на этаже здания при работе системы противодымной защиты

В расчете взаимодействие систем дымоудаления, подпора воздуха в лестничную клетку и шахты лифтов не учитывается, т. е. считается, что взаимных перетеканий воздуха и газов между этими системами нет.

Рассмотрим физическую картину газообмена коридора этажа пожара при работе вентиляционной системы противодымной защиты (рис. 20.12).

В коридор из защищаемого объема подается воздух в количестве G_n . За счет расслоения холодного приточного воздуха и нагретых продуктов горения эпюра давлений на приточном проеме имеет вид трапеции. В верхней части коридора находятся продукты горения с температурой 300°C , а в нижней - воздух с температурой, равной температуре в лестничной клетке. Часть приточного воздуха G_1 проходит в помещение очага пожара, другая часть $G_n - G_1$ смешивается с продуктами горения. Из помещения очага пожара в коридор выходят продукты горения в количестве G_2 . Экспери-

ментальные и теоретические исследования показали, что выход дыма из коридора этажа пожара в лестничную клетку исключается путем создания притока по всей площади дверного проема со скоростью не менее 1,3 м/с для жилых зданий и 1,5 м/с для общественных.

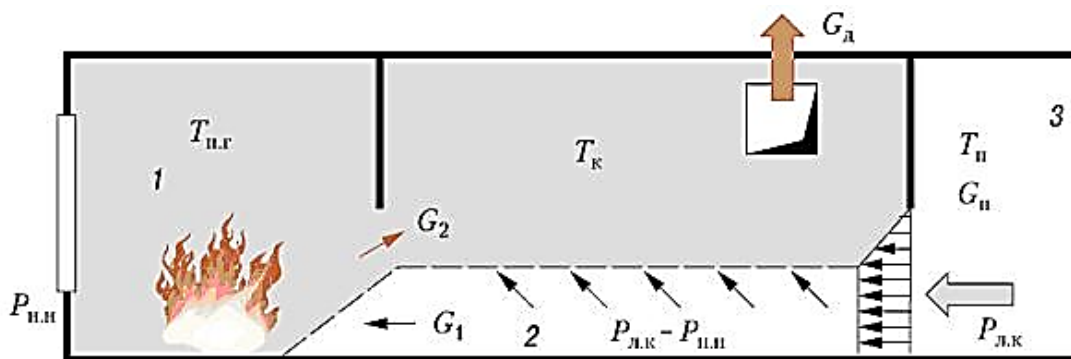


Рисунок 20.12 – Газообмен коридора этажа пожара при работе вентиляционной системы противодымной защиты.

Давление в коридоре этажа пожара выше давлений на наветренном и заветренном фасадах здания. Часть воздуха и продуктов горения, через щели дверей негорящих квартир и другие неплотности в ограждающих конструкциях уходит из коридора. Поэтому расход удаляемого дыма для жилых зданий вычисляется по формуле: меньше расхода воздуха, поступающего из защищаемого объема в коридор.

$$G_{Д} = 0,96B_{П}H_{П}^{3/2} \quad (20.19)$$

а для общественных – по формуле:

$$G_{Д} = 1,2B_{П}H_{П}^{3/2} \quad (20.20)$$

$B_{П}$, $H_{П}$ – ширина и высота проема из защищаемого объема в коридор, м.

Методика расчета требуемых параметров вентиляторов системы противодымной защиты зданий повышенной этажности очень близка к методике конструкторского расчета обычной вентиляционной сети. Некоторые отличия обусловлены спецификой системы противодымной защиты. В расчетах необходимо учитывать не только изменение давления по тракту вентиляционных систем противодымной защиты, но и изменения давлений по высоте здания. Следует учитывать также снижение температуры в тракте дымоудаления за счет фильтрации холодного воздуха и подмешивания его к продуктам горения.

20.3.6. Расчет параметров вентиляторов дымоудаления из коридора

Для проведения расчетов параметров вентиляторов системы противодымной защиты здания повышенной этажности необходимо знать распределение внутренних и наружных давлений по высоте здания. Наружные давления на заветренном фасаде вычисляются по формуле:

$$P_{нз}^i = - 0,6 p_{н} v_{в} / 2 - h_i g (p_{н} - p_{п}) \quad (20.21)$$

на наветренном фасаде – по формуле:

$$P_{i}^{HH} = 0,8 \rho_n v_B / 2 - h_i g (p_n - p_{\Pi}) \quad (20.22)$$

h_i – высота середины дверного проема 1-го этажа от уровня нижнего среза входной двери здания, м;

ρ_{Π} – плотность приточного воздуха, кг/м³.

Давление внутри здания на всех этажах, кроме первого, принимается равным среднеарифметическому между давлениями на наветренном и заветренном фасадах:

$$P^B_i = 0,1 \rho_n v_B / 2 - h_i g (p_n - p_{\Pi}) \quad (20.23)$$

Давление в коридоре первого этажа принимается равным наружному давлению на наветренном фасаде на уровне этого этажа. Плотность приточного воздуха определяется по его температуре T_{Π} , а температура принимается равной среднеарифметическому значению между наружной температурой и расчетной температурой воздуха в здании.

ТЕМА 21 ВЕНТИЛЯЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

21.1. Основные положения

Удовлетворение потребностей населения в продуктах животноводства и растениеводства возможно только при применении индустриальных методов их производства. Низкая себестоимость продуктов достигается на крупных, высокомеханизированных животноводческих и растениеводческих предприятиях. Наиболее кондиционный корм содержит химические добавки микроэлементов, хранящихся, развешиваемых и фасуемых на специальных комбикормовых заводах. Они, в свою очередь, имеют разгрузочные станции, бункеры, сита, весы, систему конвейеров, аналогичную заводам по производству строительных материалов.

Корма, сырьё и готовая продукция транспортируется автотранспортом, сельскохозяйственная техника применяется для массового производства кормов. Производство, содержание и ремонт любой техники требуют машиностроительных и ремонтных заводов, гаражей; переработка готовой продукции осуществляется на предприятиях пищевой, кожевенной, лёгкой промышленности.

Вентиляция всех сельскохозяйственных объектов, за исключением животноводческих и птицеводческих помещений, по схемам и применяемому оборудованию строится аналогично соответствующим промышленным предприятиям.

Специалисты считают, что продуктивность животных и птицы, например, на 50-60 % определяется кормами, на 20 % – качеством ухода и на 20-30 % – параметрами внутренней воздушной среды, в которой они находятся. Иначе говоря, оптимизация и поддержание микроклимата в помещениях – крупный резерв в производстве продукции сельскохозяйственных предприятий интенсивным методом, поэтому вентиляция, как средство создания необходимого микроклимата, должна быть совершенной и надёжной.

Вентиляция сельскохозяйственных и животноводческих помещений также подразделяется на общеобменную и местную, естественную и механическую. В ней используются как серийно выпускаемые узлы и агрегаты, так и те, которые предназначены только для объектов сельского хозяйства, в частности, мягкие плёночные воздуховоды, теплогенераторы (вместо воздушно-отопительных агрегатов). Специфика имеется и в конструкции самих вентсистем.

Величина воздухообменов для животноводческих и птицеводческих помещений подсчитывается исходя из утверждённых норм количества воздуха, потребного для одного животного конкретного вида и физического состояния или на единицу его веса. Например, следует подавать воздуха на 1 голову ($\text{м}^3/\text{ч}$) зимой и летом соответственно: в коровник – 85 и 340 (по 20-30 $\text{м}^3/\text{ч}$ на 1 центнер живой массы); в откормочник со свиньями массой до 40 кг – 10-22, до 100 кг – 15-85; в помещения для опороса и мо-

лочных поросят – 17-85. В тёплый период в птичники должно подаваться наружного воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$) на 1 кг живой массы: для взрослых кур – 5,9; для молодняка возрастом до 30 суток – 9,2-9, до 60 суток – 7,7-6,4, до 180 суток – 6,8-6,2. Расчёт общего воздухообмена аналогичен таковому по нормам на единицу или по нормам кратности для промышленных предприятий.

Схемы вентиляции животноводческих и птицеводческих помещений принимаются с учётом вида животного, их количества, требований к климатическим параметрам воздушной среды. Рассмотрим эти схемы отдельно.

21.2. Помещения крупного рогатого скота

Технологические вредности, сопутствующие нахождению животных в помещении, – тепловыделения, влаговыделения, газовыделения (CO_2 , сероводород, аммиак). Воздушная среда помещений имеет повышенную влажность, неприятные запахи, агрессивность к металлам.

Практика вентиляции показала, что CO_2 содержится в основном в растворённом состоянии в водяных парах тёплого влажного воздуха и находится больше под потолком, нежели у пола. Аммиак и сероводород более или менее равномерно распределяются по высоте помещения, более высокие концентрации их у пола приурочены к местам скопления навоза. Равномерности распределения этих газов способствуют насыщенность внутреннего воздуха водяным паром и постоянная подвижность атмосферы.

При расчёте величины воздухообмена для помещений следует иметь в виду, что кратности воздухообменов до 10-15 единиц в час не оказывают вредного действия на животных.

Научными исследованиями установлено, что крупные животные чувствительны к климатическим условиям в помещениях своего содержания. Диапазон температур, при которых не снижаются удои молока – 24-27 °С, а зоологическая оптимальная для тёплого периода – 24 °С.

В помещениях молодняка коров и скота на откорме температура воздуха должна быть при их содержании беспривязном в боксах без подстилки – 13 °С, привязном – 18 °С, в отделениях родильном – 18 °С и доильно-молочном – 15 °С, в телятниках – 17 °С. Скорость воздуха в указанных помещениях допускается в холодный и переходный периоды 0,3-0,5 м/с, в тёплый – 0,5-1 м/с. Предельные параметры воздуха в тёплый период в коровниках допустимы: температура $t_{\text{в}}$ на 5 °С больше наружной $t_{\text{н}}$, но не выше 30 °С; относительная влажность воздуха $\varphi_{\text{в}}$ – более 55 %; скорость воздуха в зоне пребывания животных – не более 1 м/с. Выход $t_{\text{в}}$ за пределы +5...+25 °С сопровождается уменьшением удоев молока, суточного привеса массы животных, увеличением расхода кормов. Исходя из этого, всякая вентиляция помещений для содержания крупного рогатого скота должна учитывать необходимость создания и поддержания в них требуемых температур, влажности и скорости движения воздуха.

Крупные животные выделяют достаточно много теплоты, и её необходимо использовать при организации отопления и вентиляции помещений. Вентиляция последних строится с использованием общеобменного механического максимально равномерно распределённого притока в комбинации с только естественной равномерно распределённой общеобменной вытяжкой из верхней зоны, с естественной и механической вытяжкой из верхней зоны на 30 % через навозные каналы. Варианты расположения вентсистем в типовых коровниках приведены на рис. 21.1, *a-d*.

При проектировании и эксплуатации телятников и коровников для привязного содержания молочных коров необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

- В холодный и переходный периоды года подогретый приточный воздух целесообразно раздавать в верхней зоне рассредоточенными струями, удаление воздуха осуществлять вытяжными шахтами из верхней зоны и одновременно из нижней зоны через навозные каналы в объеме 30 % от величины притока.
- В тёплый период желательны общеобменный механический приток осевыми вентиляторами, установленными в шахтах, или естественный через оконные проёмы; а общеобменная вытяжка (естественная) через оконные проёмы совмещается с механической – через навозные каналы (30 % от объёма притока).

В практике животноводчества применяются и другие схемы организации воздухообмена в животноводческих помещениях (рис. 1 *e-c*). С точки зрения омывания воздухом зоны содержания животных для тёплого периода года лучше схемы *e-o*, для холодного – *n-c*. Лучший обдув обеспечивают схемы *e-u*, худший – в схемах *л, н, о*.

На рис.21.2 показаны схемы вентиляции телятников для животных одного (схема *a*) и разного – (схема *б*) возрастов. Они разрабатываются по тем же принципам, что и для взрослых животных.

В животноводческих помещениях применяется типовое вентиляционное оборудование (фильтры, калориферы, вентиляторы, воздухопроводы). Стальные воздухопроводы в воздушной среде быстро корродируют, поэтому специально для таких помещений разработаны плёночные перфорированные полиэтиленовые воздухопроводы, предназначенные только для приточных систем. Однако, как показала практика, и они недолговечны. Агрессивность воздушной среды в животноводческих помещениях требует новых долговечных материалов для воздухопроводов вентсистем.

Выбор той или иной схемы вентиляции помещений крупного рогатого скота осуществляется с учётом количества, возраста, пола, физического состояния, особенностей стойлового содержания животных. Для исключения их переохлаждения от инфильтрующегося через щели и неплотности строительных конструкций воздуха предусматривается создание в помещениях подпора воздуха путём превышения на 10-20 % объёма притока над вытяжкой.

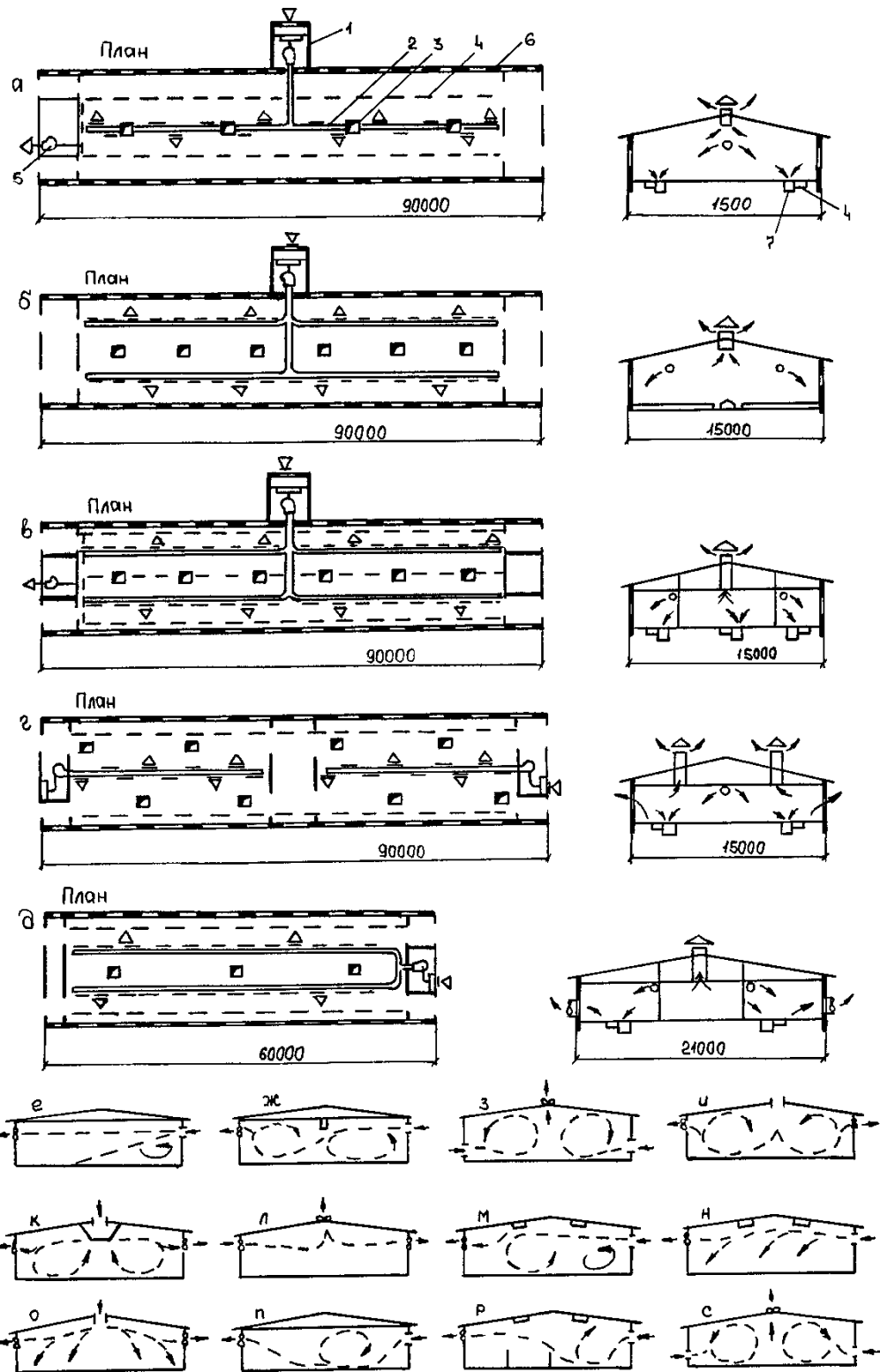


Рисунок 21.1 – Схемы вентиляции животноводческих помещений. 1 – приточный центр; 2 – приточный воздуховод; 3 – вытяжная шахта; 4 – подпольный воздуховод; 5 – вытяжной вентилятор; 6 – окно; 7 – навозный канал; 8 – осевой вентилятор; 9 – вентиляционное отверстие.

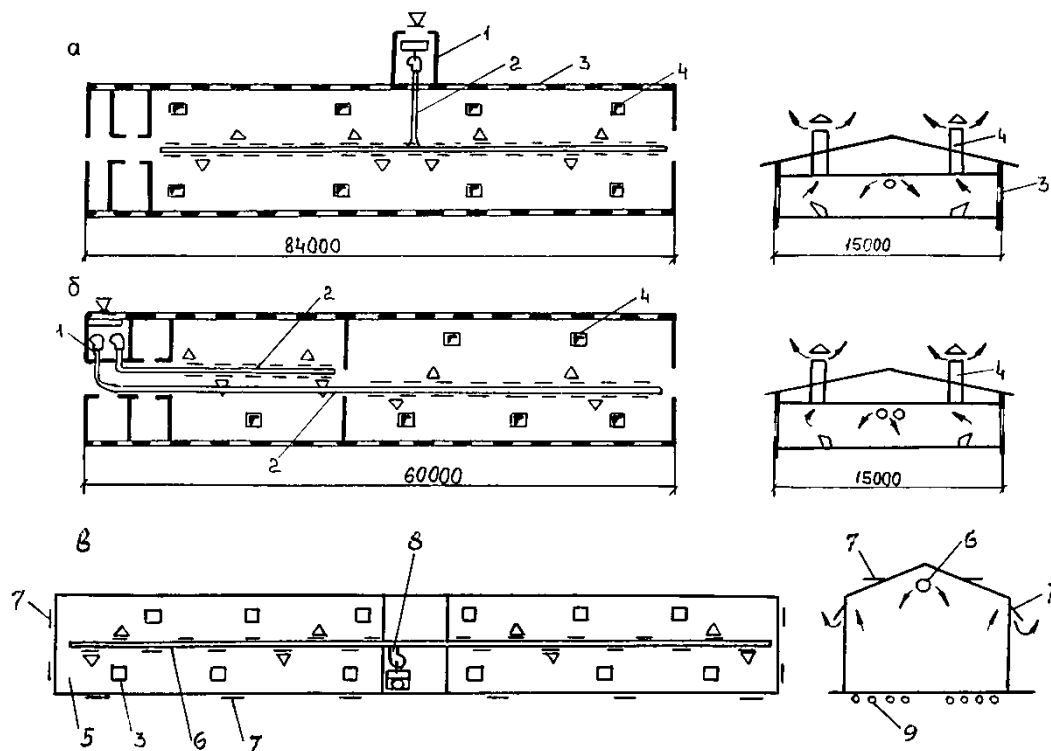


Рисунок 21.2 – Схемы вентиляции телятников (а, б) и теплицы (в). 1 – приточный центр; 2 – приточный воздуховод; 3 – окно; 4 – вытяжная шахта; 5 – секция теплицы; 6 – приточный воздуховод; 7 – приточный воздуховод; 8 – приточный центр; 9 – система нагрева грунта.

С приточным воздухом в помещения могут заноситься вредные пары, микроорганизмы, запахи, содержащиеся в выбросном воздухе. Чтобы этого не допустить, разносят друг от друга на максимально возможные расстояния по горизонтали и вертикали воздухозаборные отверстия приточных и выбросные отверстия вытяжных систем. Поскольку приток в основном выполняется механическим от приточных центров, это даёт возможность централизованной дезодорации воздуха непосредственно в них.

21.3. Овощеводческие теплицы

Теплицы являются наиболее сложными и совершенными культивационными сооружениями. Они подразделяются на ангарные и блочные, предназначены для сезонного или круглогодичного выращивания овощей (в основном огурцов и томатов), оснащаются системами обеспечения микроклимата и различными механизмами и машинами.

Основная производственная вредность в теплицах – углекислый газ, выделяющийся в процессе дыхания растений. Основное требование к микроклимату помещений – максимально строгое поддержание температуры воздуха, наиболее благоприятной для растений (22-23 °С для огурцов и томатов).

Наиболее распространённая схема вентиляции теплиц показана на рис. 21.2, в. Она основывается на общеобменном механическом равномерно распределённом притоке из приточных воздуховодов б, прокладываемых в верхней зоне и получающих

подогретый воздух из приточного центра 8. Общеобменная естественная вытяжка осуществляется через фрамуги 7, закладываемые в торце, боковых стенах и кровле секций теплиц. Управляя фрамугами, внутри секций создают небольшой подпор воздуха, устраняющий появление наружных необработанных инфильтрационных потоков воздуха даже при условии неплотностей в плёночном покрытии теплиц. Вентиляционное оборудование и системы автоматического управления микроклиматом теплиц являются серийно выпускаемыми и широко применяемыми в практике промышленной вентиляции.

21.4. Свиноводческие помещения

В свиноводческих помещениях имеют место выделения и такой же характер распределения во внутренней атмосфере вредностей, как в помещениях для крупного рогатого скота. Аналогичный подход предусматривается и к системам вентиляции свиноводческих помещений.

Оптимальной для свиней является температура внутреннего воздуха: при массе животных 20-45 кг – 15-22 °С, при массе более 45 кг – 10-22,5 °С. Расчётные температуры в помещениях со свиньями должны быть: для холостых, легкосупоросных маток и хряков-производителей – 16 °С; для поросят-отъёмышей, ремонтного молодняка и тяжелосупоросных подсосных маток – 20 °С; для откормочника – 16 °С. Скорости воздуха в этих помещениях установлены в холодный и переходный периоды – 0,15-0,3 м/с, в тёплый – 0,4-1 м/с. В тёплый период рекомендуется поддерживать $t_{в}$ не более 25 °С, скорость воздуха для свиней на откорме – 1 м/с, для супоросных и подсосных маток – 0,4 м/с.

Свиноводческие комплексы отличаются большим поголовьем одновременно содержащихся животных и постоянством их нахождения в помещениях. В таких условиях дисбаланс метеоусловий внутренней воздушной среды ощутимо сказывается на общем привесе массы животных. По этой причине вентиляция свиноводческих помещений должна обеспечивать и строго поддерживать максимально возможное постоянство температуры, относительной влажности и скорости воздуха по всей зоне нахождения животных.

Она строится аналогично таковым для помещений с крупным рогатым скотом с учётом количества, физического состояния, возраста животных и технологии их содержания. Так для свинарников-маточников рекомендуется: в холодный и переходный периоды приток в верхнюю зону рассредоточено струями или воздуховодами равномерной раздачи, а вытяжку из верхней зоны вентиляционными шахтами и 30-35 % – через навозные каналы; в тёплый период приток естественный через оконные проёмы или механический осевыми вентиляторами через вентиляционные шахты, вытяжка естественная через окна и механическая в объёме 30-35 % зимнего притока через

навозные каналы. Считается, что для свинарников-маточников приемлемы схемы вентиляции, аналогичные схемам *a* и *b* на рис. 21.1.

В свиарниках-откормочниках для холодного и переходного периодов принимается такая же, как в свиарниках-маточниках, схема притока и вытяжки. В тёплый период предусмотрены приток естественный через оконные проёмы или механический осевыми вентиляторами через вентиляционные шахты, вытяжка естественная через оконные проёмы с механической через навозные каналы в объёме 30-35 % зимнего притока и осевыми вентиляторами в стенах. Для них более целесообразны схемы вентиляции, подобные схемам *г* и *д* на рис. 21.1.

Поскольку животные в свиноводческих помещениях находятся в нижней зоне помещений, здесь в большей мере необходимо поддерживать в холодный период подпор воздуха превышением на 10-20 % объёма притока над вытяжкой.

21.5. Птицеводческие помещения

Современные птичники – высокомеханизированные производства с высокой концентрацией птицы в помещениях.

Существуют клеточный и напольный (на глубокой подстилке или планчатом полу) способы содержания птицы. Предпочтение отдается первому, поскольку допускается при этом высокая плотность птицы (от 60 до 80 голов на 1 м² площади пола) и возможность механизации различных процессов, связанных с кормлением птиц, сбором яиц, уборкой помёта, являющегося ценным сельскохозяйственным удобрением.

Птичники дают яйцо и куриное мясо различного качества. Крупные птицеводческие предприятия имеют целью крупномасштабное, массовое, непрерывное производство этих продуктов.

Производственными вредностями в птичниках являются избыточная теплота, углекислый газ, аммиак, сероводород. Аммиак скапливается в верхней зоне помещений, а CO₂ и H₂S – на уровне 0,5 м от пола, но при этом, благодаря действию вентиляции, их концентрации резко снижаются и усредняются по объёму внутренней атмосферы.

Продуктивность птицы зависит от размеров и теплотехнических свойств наружных ограждений, уровня освещённости, продолжительности светового дня, физического состояния птицы, температуры, относительной влажности и подвижности воздуха, её химической и биологической чистоты. Птицы чувствительны к изменению температуры и особенно подвижности воздуха. Они легко простужаются от сквозняков, подвержены массовым эпидемическим заболеваниям. Вследствие их высокой жизненной активности они потребляют большие количества воздуха, различные, однако, в зависимости от возраста. Все эти особенности содержания и жизни птиц должны учитываться при разработке вентиляции птицеводческих помещений.

Оптимальные параметры воздуха в птичниках в летний период для взрослых кур при клеточном и напольном содержании: температура – 29,5 °С, относительная влаж-

ность – 50-80 %, подвижность – до 1,2 м/с; для бройлеров соответственно 15-24 °С, 50-80 % и до 0,6 м/с.

Схемы организации воздухообмена в птицеводческих помещениях зависят от технологии содержания птицы и конструктивных особенностей зданий. Вентиляция имеет целью равномерное распределение и строгое поддержание оптимальных метеоусловий воздушной среды во всём производственном помещении. Она строится на использовании равномерно распределённого естественного, механического, естественного и механического притока с равномерно распределённой механической вытяжкой. Типовые схемы вентиляции отечественных типовых птичников показаны на рис. 21.3, а-г.

В зависимости от назначения помещений рекомендуются следующие схемы вентиляции:

- при клеточном содержании птицы – круглогодично приток механический в верхнюю и нижнюю зоны (в проходы между клетками или под них) сосредоточенными струями, вытяжка механическая из верхней, средней и нижней зон с противоположной от притока стороны (схемы *в* и *г* рис. 21.3);

- при напольном содержании птицы в холодный и переходный периоды – механический приток сосредоточенными струями в верхнюю зону, вытяжка механическая из верхней и нижней зон; в тёплый период – приток вентиляционными шахтами в верхнюю зону, вытяжка механическая из нижней зоны (схемы *в* и *г* рис. 21.3);

- для цыплят и бройлерников круглогодично – приток механический в верхнюю зону рассредоточенными струями, вытяжка механическая из нижней зоны (схемы *а-в*, рис. 21.3).

В зарубежной практике применяются сравнительно небольшие одноэтажные птицеводческие помещения. С учётом конкретных данных в них применяются различные схемы вентиляции (рис. 21.3 *д-н*). Лучшими считаются схемы *ж* и *и*.

Вентиляционное оборудование приточных центров должно располагаться в отгороженных помещениях, поскольку уровень шума от вентиляционного оборудования в помещениях для птиц и скота не должен превышать 70 дБ. Приточные и вытяжные сети птичников должны оборудоваться системами обеззараживания воздуха. В птичниках также необходимо поддерживать подпор воздуха превышением на 10-20 % притока над вытяжкой.

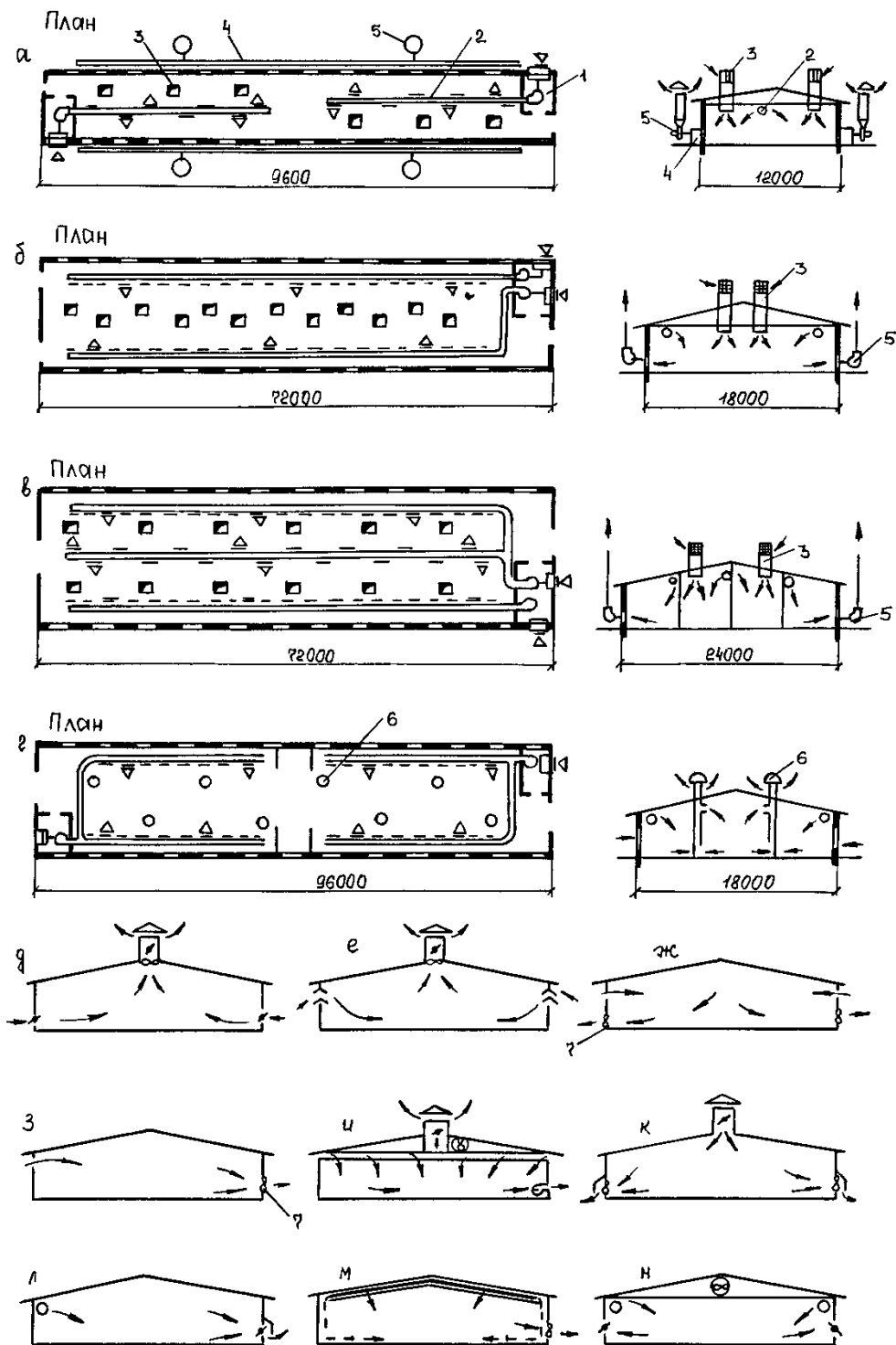


Рисунок 21.3 – Схемы вентиляции птицеводческих помещений.

1 – приточный центр; 2 – приточный воздуховод; 3 – приточная шахта; 4 – наружный вытяжной воздуховод; 5 – наружный центробежный вентилятор; 6 – крышный вентилятор; 7 – осевой вентилятор.

21.6. Вентиляция овощехранилищ

Современный подход к системе производства и реализации плодоовощной продукции основан на повышении рентабельности отрасли за счет не только увеличения объемов производства, но и совершенствования способов обработки и хранения ово-

щей, позволяющих минимизировать их потери. Новые промышленные технологии хранения плодоовощной продукции включают в себя современные экспресс-методы оценки качества и химического состава закладываемой на хранение продукции, использование таких методов хранения, как РГС и МГС, в том числе с применением полимерных упаковок с газоселективными вставками, использование новых материалов для укрытия продукции при полевом хранении в буртах и траншеях, и, конечно, модернизированные системы вентилирования хранилищ.

Необходимость выдерживания параметров хранения в достаточно жестких рамках в течение длительного времени заставляет более ответственно подходить к оснащению хранилищ, в первую очередь, системами вентиляции.

Особая значимость вентиляции для сохранности плодоовощной продукции заключается в особенностях хранения овощей, учитывающих продолжение процессов жизнедеятельности, таких как испарение, выделение тепла, дыхание, и в процессе их хранения. Эти процессы напрямую влияют на газовый состав воздуха в помещениях хранилища, его температуру и влажность. Помимо дыхания и испарения источниками тепла и влаги в помещениях хранилища могут являться, например, почва либо тепло, выделяющееся при конденсации влаги на границе соприкосновения поднимающегося вверх более теплого воздуха хранилища с холодной крышей.

Первостепенное значение для сохранности овощной продукции имеет влажность. Водяные пары в той или иной концентрации всегда присутствуют в атмосферном воздухе. И абсолютная и относительная влажность подвержены колебаниям в зависимости от изменений температуры. А изменения относительной влажности воздуха вызывают изменения влажности хранимой плодоовощной продукции. Каждый вид или сорт овощей рассчитан на содержание в атмосфере с определенной влажностью, отклонение от которой может вызвать изменение направленности химических и биохимических процессов, протекающих в них. Хранение плодов и овощей предусматривает поддержание в помещениях хранилища высокой относительной влажности воздуха (80-95%).

Температурный фактор является решающим в ускорении биохимических и химических процессов в хранимой продукции, активизации жизнедеятельности микроорганизмов, являющихся возбудителями болезней. Причем не только повышение температуры способно привести к появлению очагов плесени или грибковых поражений, но и ее скачки, так как резкие колебания температурных параметров могут вызвать образование конденсата, излишнее увлажнение овощей и, как следствие, их порчу и гниение.

При создании необходимого микроклимата в овощехранилищах нельзя сбрасывать со счетов состав газовой среды, который также влияет на сохраняемость овощей. В состав атмосферного воздуха входит обычно 21% кислорода, 78% азота и 0,03% углекислого газа. Следует учитывать тот факт, что плоды и овощи лучше сохраняются и медленнее дозревают в атмосфере с пониженным содержанием кислорода и повышенным – углекислого газа.

Дыхание плодов и овощей сопровождается образованием энергии, часть которой расходуется на процессы жизнедеятельности, а оставшаяся, довольно значительная ее доля, выделяется в окружающую атмосферу в виде тепла. Выделяемое при интенсивном дыхании тепло является одним из негативных факторов, влияющих на эффективность хранения, поскольку может приводить к самосогреванию овощной продукции или ее запариванию.

Кроме того, уменьшение массы плодов и овощей, также является следствием дыхания. На активность дыхательных процессов оказывают влияние самые различные факторы: вид овощей, степень их зрелости, наличие повреждений или очагов подмораживания и т. д. Наивысшая интенсивность дыхания зафиксирована у зеленой продукции и томатов, наименьшая – у корнеплодов и лука репчатого. Выше активность дыхания у незрелых плодов и овощей в сравнении с продукцией в состоянии полной зрелости. Механические или иные повреждения также усиливают интенсивность дыхания.

Если дыхание овощей можно назвать своего рода внутренним фактором, влияющим на процесс хранения, то температура окружающего воздуха – это наиболее сильный внешний фактор. Повышение температуры воздуха в хранилище стимулирует процессы дыхания в овощной продукции и приводит, тем самым, к незапланированным потерям питательных веществ, что сказывается на потребительских свойствах овощей.

Изменение газового состава внутреннего воздуха овощехранилища, т. е. изменение соотношения в нем кислорода и углекислого газа, в частности, снижение концентрации кислорода и повышение – углекислого газа (до определенных пределов), способствует замедлению дыхательных процессов, а, следовательно, сказывается на эффективности хранения самым благоприятным образом.

Увядание плодов и овощей, являющееся следствием испарения ими влаги, во многом зависит не только от состояния и вида закладываемой на хранение продукции, но и от условий хранения. Интенсивность испарения влаги овощами напрямую зависит от скорости циркуляции воздуха в овощехранилище.

Конечно, в какой-то мере, использование современных методов агротехники способно улучшить лежкость овощей во время хранения, однако основным путем увеличения длительности хранения является строительство хранилищ нового поколения с инновационными прогрессивными системами вентиляции и охлаждения.

Основными требованиями к вентиляционной системе овощехранилищ можно назвать:

- обеспечение требуемого воздухообмена;
- удаление избытка углекислого газа;
- удаление этилена;

- работа в режимах обогрева, сушки или лечения плодоовощной продукции;
- предотвращение образования конденсата на теплоизолирующих ограждениях и поверхности продукции.

По назначению вентиляционные системы подразделяются на приточные и вытяжные. Если приточные системы подают воздух в помещение хранилища, то функцией вытяжной вентиляции является удаление отработанного воздуха.

Вытяжная вентиляция в овощехранилищах может быть естественной или вытяжной. Объемы удаляемого воздуха из хранилищ без искусственного охлаждения зависят от влаговыделения продукции и условий хранения данного вида овощей. По способу создания давления и перемещения воздуха вентиляция овощехранилищ может быть естественной и принудительной. Активная вентиляция является более прогрессивной разновидностью принудительной вентиляции.

Естественная вентиляция может обеспечивать воздухообмен за счет разности давлений внутреннего и наружного воздуха, а также благодаря ветру, проникающему через неплотности конструкций, при открывании дверей и т. д. В хранилищах сельскохозяйственной продукции естественная вентиляция предполагает воздухообмен через приточные и вытяжные каналы, степень открытия которых можно регулировать для достижения требуемых условий хранения. Дыхание массы картофеля или других овощей, сопровождаясь тепловыделением, нагревает воздух, который при этом расширяется и поднимается вверх вместе с парами содержащейся в нем воды, откуда удаляется через вытяжные каналы или трубы. Соответственно, более тяжелый и плотный, холодный наружный воздух проникает через приточные трубы, каналы, люки или двери. Скорость перемещения воздуха, определяющая эффективность вентилирования, находится в прямой зависимости от разницы температур удаляемого и приточного воздуха, а также от расстояния между приточным отверстием и вытяжным.

Естественная вентиляция – это довольно несовершенный способ поддержания требуемого для хранения овощей режима хранения, эффективность которого в значительной степени обусловлена человеческим фактором. В осенний послеуборочный период хранения, требующий обычно понижения температуры для охлаждения продукции, вытяжные и приточные каналы, люки или двери, как правило, оставляют полностью открытыми, закрывают лишь решетчатые двери. Чтобы не создавать лишних препятствий перемещению воздушных масс, не рекомендуется заваливать овощной продукцией проходы. По мере снижения температуры наружного воздуха вентиляционные каналы постепенно закрывают. В зимнее время вентилирование производится через вытяжные трубы или двери, которые при сильных морозах закрывают. Весной вентилирование производится в наиболее холодное время суток, а при сильном потеплении (при более высокой температуре наружного воздуха в сравнении с внутренней

температурой в хранилище) хранилище для вентиляции не открывают, чтобы сберечь прохладу.

В настоящее время естественную вентиляцию устраивают лишь в небольших по объему хранилищах (250-500 т), насыпь овощей в которых невелика по высоте. Обеспечение достаточного воздухообмена в более крупных овощехранилищах требует монтажа системы принудительной вентиляции.

При внушительной высоте загрузки овощной продукции, особенно в тех случаях, когда овощи сильно загрязнены, система естественной вентиляции не позволяет достаточно интенсивно вентилировать всю массу, что приводит к появлению очагов самосогревания и порчи. Сложности с вентилированием большой массы овощей возрастают в осенний и весенний периоды хранения.

В системах принудительной вентиляции разность давлений, обуславливающая требуемый воздухообмен, создается при работе вентиляторов. Более высокая эффективность этой системы объясняется возможностью подачи воздуха с заданными параметрами температуры и влажности. Возможна и предварительная очистка от пыли и различных примесей. Использование принудительной вентиляции позволяет более дифференцированно подойти к регулированию температурно-влажностного микроклимата в помещениях овощехранилищ, с учетом различных требований к хранению огромного многообразия видов и сортов овощной продукции, применять при хранении большую высоту загрузки, что позволяет более эффективно использовать полезную емкость хранилищ, увеличить продолжительность хранения без снижения потребительских качеств хранимых овощей, снизить потери.

Наиболее распространенным типом вентиляционной системы, применяемой в **хранилищах картофеля и плодоовощной продукции**, является комбинированная приточно-вытяжная вентиляция, при которой приток воздуха осуществляется искусственным путем с использованием вентиляторов через вентиляционные приточные шахты, а удаление отработанного воздуха основано на естественном вентилировании с помощью вытяжных каналов. Поскольку температура приточного воздуха должна быть выше 0 °С, то в холодное время года следует предусмотреть его предварительный прогрев до требуемой температуры во избежание подмораживания овощной продукции. Согревание приточного воздуха в системах приточно-вытяжной вентиляции происходит за счет его полной или частичной рециркуляции, при которой наружный воздух попадает сначала в воздухосмесительные камеры, где прогревается до нужной температуры, смешиваясь с внутренним воздухом. В овощехранилище по воздуховодам поступает уже прогретый таким образом воздух. При отрицательных наружных температурах используется режим полной рециркуляции, когда осуществляется циркуляция лишь внутреннего воздуха овощехранилища. Притока наружного воздуха в данном случае нет.

Содержание углекислого газа во внутреннем воздухе хранилища регулируется постоянным притоком свежего наружного воздуха и смешиванием его с внутренним в требуемой пропорции.

Наиболее эффективной на сегодняшний день признана система активной вентиляции, предполагающая периодическое интенсивное продувание с заданной скоростью воздуха с определенными параметрами температуры и влажности сквозь массу овощей (в зависимости от применяемой схемы вентилирования: снизу вверх или сверху вниз). Подача наружного воздуха может осуществляться как непосредственно в массу продукции без смешивания с воздухом хранилища, так и с частичной рециркуляцией, при которой происходит смешивание холодного наружного воздуха с более теплым воздухом хранилища. При очень низких температурах наружного воздуха вентилирование производится только воздухом хранилища (полная рециркуляция). С помощью рециркуляции обеспечивается требуемый температурный режим. Оптимальные параметры температуры и влажности могут быть достигнуты и при использовании калориферов для обогрева воздуха либо при охлаждении приточного воздуха системами кондиционирования.

Применение системы активного вентилирования позволяет в разы увеличить сохраняемость овощной продукции за счет более высокой скорости ее охлаждения и осушения, «адресной» направленности воздушного потока, равномерно обдувающего каждый экземпляр продукции. При использовании системы активной вентиляции во всех точках штабеля или навала овощей поддерживается одинаковая температура, влажность и газовый состав, без скачков и резких перепадов. Объем хранилища используется более экономично и рационально, поскольку высота насыпи или штабелей с плодоовощной продукцией значительно увеличивается.

Системы активной вентиляции нашли свое применение и в простейших хранилищах: буртах и траншеях.

Простейшие хранилища, предназначенные для временного или длительного зимнего хранения овощей и картофеля устраиваются, как правило, в поле либо на территории плодоовощных баз и приемных пунктов. Чаще всего в буртах хранят капусту зимних сортов, в траншеях – картофель и корнеплоды. Устройство таких хранилищ не требует больших расходов, что является существенным плюсом. Тем не менее, в таких хранилищах трудно поддерживать оптимальную для хранения температуру, что может стать проблемой в теплые зимы. Сложности возникают и в связи с невозможностью выгрузки продукции по частям, трудностями с переборкой и удалением испорченной продукции.

Вентиляционное оборудование простейших хранилищ (буртов и траншей) состоит в большинстве случаев из горизонтальной решетчатой деревянной трубы квадратного или треугольного сечения, размещенной по дну бурта или траншеи, и вертикальных труб, нижние концы которых примыкают к горизонтальной трубе. Вместо горизонтальной трубы в ряде случаев допустимо использование обычной канавы глубиной

и шириной 200 мм, перекрытой сверху деревянной решеткой или хворостом. Вертикальные трубы с просверленными в них отверстиями диаметром не менее 20 мм изготавливают из досок либо пучков хвороста, так называемых, фашин. Располагают вертикальные трубы с промежутками в 4-5 метров. Трубы, размещаемые по краям простейшего хранилища, обычно делают выступающими над укрытием на 500 мм и закрывают металлической насадкой, промежуточные же трубы заканчиваются в соломенном слое укрытия. Наружный воздух поступает внутрь бурта через крайние выступающие трубы, где при помощи нижней горизонтальной трубы и промежуточных вертикальных распределяется по всей массе хранимой продукции.

С целью снизить потери при хранении в простейших хранилищах, увеличить длительность хранения, в настоящее время получило распространение устройство буртов и траншей с активной вентиляцией.

Широко практикуется устройство постоянных буртовых площадок, объединенных общей системой активной вентиляции. В каждый отдельно взятый бурт воздух подается по центральному и боковым воздухопроводам. Размеры таких буртов с активной вентиляцией гораздо внушительнее, чем обычных, оборудованных естественной вентиляцией. Ширина у основания буртов с системой активной вентиляции, составляет 3-3,5 м, высота по гребню – до 2 м, тогда как ширина и высота по гребню у буртов с естественной вентиляцией составляет, соответственно, 2-2,5 и 1,5-1,7 м.

Хранение овощей состоит из трех основных этапов, каждый из которых предполагает задействование определенного режима вентилирования.

1. Этап закладки овощей на хранение. Это подготовительный период, в течение которого плодоовощная продукция доводится до стойкого в хранении состояния. Данный этап приурочен к послеуборочному периоду. Вентиляция овощехранилищ в этот период должна быть ориентирована на создание оптимального режима для просушки овощной продукции. А это не только поддержание температуры, необходимой для обсушивания овощей, но и оптимальная влажность, чтобы избежать пересушивания. На этом этапе прохладный наружный воздух поступает в приточные вентиляционные шахты и затем, прогоняясь сквозь встроенные воздухонагреватели, нагревается до требуемых температур.

2. Подготовка овощей к глубокому хранению. Данный этап (этап охлаждения) характеризуется плавным снижением температуры воздуха в овощехранилище до определенного оптимального предела, чтобы избежать переохлаждения продукции.

3. Период непосредственного хранения. Это наиболее длительный период. Основной задачей вентиляционной системы в это время является обеспечение постоянной циркуляции воздушных потоков, при которой соблюдается необходимый баланс температуры и влажности, определяемый режимом хранения того или иного вида овощей.

В период основного хранения интенсивность вентилирования, как правило, снижается на 50%.

В периоды же охлаждения или лечебный период интенсивность вентилирования определяется значениями нижеприведенной таблицы:

Вид хранимой овощной продукции	Интенсивность вентилирования в районах с расчетной зимней температурой, м ³ /т*ч	
	От -20 °С и выше	От -30 °С и ниже
Продовольственный картофель и корнеплоды	70	50
Семенной картофель	100	70
Лук, капуста, чеснок	150	100

Использование современных систем вентиляции позволяет сократить потери урожая на 5% при сохранении потребительских свойств продукции, ее товарного вида.

К оптимальным условиям хранения большинства овощей и корнеплодов, как мы уже говорили, можно отнести высокую относительную влажность, достаточное содержание кислорода и низкие положительные температуры. Хранилища, оборудованные естественной вентиляцией, чаще всего не обеспечивают таких условий в течение всего периода хранения.

На эффективность хранения влияют и такие факторы, как степень зрелости овощей и увлажненность почвы, на которой они возделывались. Даже при высоте насыпи картофеля менее 1 метра, эффективность хранения при естественной вентиляции будет невелика, если картофель убран из переувлажнённой почвы, недостаточно просушен и не дозрел. Не полностью созревшие клубни картофеля испаряют в 20 раз больше влаги, чем заложенные на хранение полностью созревшими и готовыми к длительному хранению, т.е. имеющими плотную кожуру без механических повреждений и поражения болезнями и вредителями. Излишняя увлажненность приводит к тому, что покрытые водяной пленкой клубни не могут нормально дышать, затруднены процессы залечивания повреждений, что приводит к развитию болезней, гниению и порче картофеля.

При хранении картофеля в условиях активной вентиляции первый этап предполагает интенсивное обсушивание клубней, что особенно важно при закладке на хранение увлажненной продукции. Значение этого этапа в сохранности продукции очень велико, так как сухая неповрежденная поверхность не благоприятствует развитию очагов микробиологического поражения. Обсушивание картофеля производится в течение 2-3 суток при условии непрерывной подачи в насыпь овощей сухого воздуха. Следует отметить, что обсушивание не всегда требует подачи подогретого воздуха, допустимо обдувание овощей воздушными потоками более низкой температуры, в сравне-

нии с температурой самой продукции. При прохождении сквозь толщу продукции влагоемкость такого воздуха возрастает в результате его нагревания, чем и объясняется осушающий эффект.

Тем не менее, при поступлении на хранение излишне увлажненного картофеля, что является вполне распространенным явлением в условиях средней полосы России, где содержание влаги на поверхности клубней картофеля достигает порой 68 кг на 1 тонну продукции при температурах наружного воздуха менее +5 градусов С, такой подход не даст желаемого результата. Во избежание развития очагов грибкового поражения, появления плесени, более целесообразной представляется подача в массу картофеля предварительно подогретого на 4-5 градусов воздуха. Полная просушка клубней займет при этом около 2-2,5 суток.

Второй этап при хранении картофеля и овощей – этап подготовки к глубокому хранению, иначе называется лечебным и занимает от 7 до 15 суток.

Оптимальной температурой хранения на этом этапе можно считать:

- для картофеля – 12-18 градусов С;
- для корнеплодов – 7-13 градусов С.

Здесь следует отметить, что в случае поступления на хранения корнеплодов с температурой ниже 7 градусов С, их не выдерживают столь длительный срок, а сразу охлаждают до оптимальной температуры.

Лечебный этап характеризуется изменением режима подачи воздушных потоков в насыпь продукции: воздух в массу картофеля или корнеплодов подается периодически 4 – 6 раз в сутки по 20-30 минут через одинаковые промежутки времени. Скорость подачи – 0,12 – 0,5 м/с. Режимы вентиляции постоянно корректируются с учетом состояния закладываемых на хранение овощей, в частности, изменяются в зависимости от интенсивности тепловыделения овощной продукции.

Некоторые овощи, а особенно клубни картофеля, обладают такой отличительной особенностью, как способность к регенерации покровных тканей на участках их механических повреждений, что является важным фактором в предупреждении развития микробиологических заболеваний. Быстрее всего рубцуются повреждения у продолжающих расти либо свежесобраных клубней и корнеплодов. Сохраняется эта способность и на первом этапе хранения, однако с началом процессов прорастания эта способность полностью угасает.

В хранилищах с естественной и принудительной вентиляцией, особенно при значительной высоте насыпи овощей, процессы залечивания повреждения протекают чрезвычайно медленно. Существует теория, согласно которой при подобных условиях хранения на поврежденной поверхности клубней (особенно свежесобраных, а, следовательно, с пока еще повышенной интенсивностью процессов жизнедеятельности) образуется пленка из продуктов обменных реакций, таких как вода и двуокись углерода, которая образует своеобразный барьер, не пропускающий кислород к клеткам повре-

жденных тканей. При активном вентилировании воздушный поток, равномерно обдувая практически каждую единицу хранимой продукции, удаляет эту пленку, чем открывает свободный доступ кислороду в клетки поврежденных тканей. В результате образуется, так называемая, раневая перидерма, служащая защитой от проникновения в клубни и развития фитопатогенных микроорганизмов.

Ускорению процессов заживления способствует высокая влажность потока подаваемого в насыпь воздуха при скорости потока в диапазоне 0,12-0,5 м/с. Здесь нужно отметить, что активное вентилирование в зернохранилищах предполагает подачу исключительно сухого воздуха.

При меньшей скорости воздушного потока образования раневой перидермы не происходит, при большей же – возникает эффект выбивания молекул воды из микрокапилляров клубней, что приводит к потере клетками тургора. Как результат – возникает пересыхание поврежденных участков и их растрескивание, раневая перидерма опять-таки не образуется.

Таким образом, своевременная уборка урожая и оптимальные для каждого этапа хранения режимы вентиляции обеспечивают формирование раневой перидермы уже в первые две недели хранения.

Хранение **репчатого лука** в условиях активного вентилирования обладает только ему присущей спецификой, обусловленной необходимостью высушивания кроющих чешуй.

Первый этап хранения лука включает в себя не только обсушивание, но и прогревание подогретым калорифером воздухом. Прогревание позволяет предупредить возникновение наиболее характерных для лука заболеваний – шейковой гнили и ложной мучнистой росы. Процесс осушения и прогрева лука в хранилищах выглядит следующим образом: в течение первых трех суток хранения в насыпь подается воздух температурой 25-30 градусов С, при этом влажность кроющих верхних чешуй постепенно снижается с 30-50% до 14-16%. Далее в течение 8-24 часов осуществляют процесс прогрева при 45 градусах С. Благодаря активной вентиляции, обеспечивающей оптимальный теплообмен, запаривания продукции не происходит. Термическая обработка репчатого лука, убранного в сухую погоду, при условии его хранения в хранилище с активной вентиляцией, не обязательна, так как при оптимальном микроклимате, обеспечиваемом правильным вентилированием, развития и передачи возбудителей шейковой гнили и ложной мучнистой росы не происходит.

Хранение **капусты белокочанной** при активном вентилировании вообще предполагает отсутствие первого подготовительного периода хранения. Хранение капусты начинается непосредственно с этапа охлаждения, что довольно часто имеет место и при закладке на хранение корнеплодов, если их температура на тот момент не превышает 10 градусов С.

Как мы уже отмечали, задачей второго этапа хранения, так называемого, периода охлаждения, является постепенное снижение температуры массы овощей до уровня,

при котором жизнедеятельность патогенных микроорганизмов полностью угнетается, но не ниже предела, при котором возможно проявление физиологических низкотемпературных нарушений обмена веществ, что может привести к снижению товарного вида и потребительских свойств хранимой плодоовощной продукции.

Значимой характеристикой, определяющей сохранность потребительских свойств овощной продукции, является темп или скорость охлаждения. Особенно велико значение данного фактора на качество хранимого картофеля, характеризующегося длительной стадией глубокого покоя (около 1,5 месяцев после уборки). Оптимальный для картофеля темп охлаждения составляет 0,25 градусов в сутки. При более быстром охлаждении, например, при снижении температуры хранения с 15 до 4 градусов С меньше, чем за 20 суток, в клубнях развиваются функциональные нарушения, которые проявляются при варке почернением.

Что касается **корнеплодов**, то темп их охлаждения должен быть намного выше, поскольку длительное их пребывание при температурах выше 3 градусов С может привести к развитию инфекционных заболеваний и, как следствие, повышению потерь при хранении.

Для **лука репчатого** период охлаждения также не должен быть слишком растянутым, чтобы снизить возможные потери сухого вещества на дыхание. Темп охлаждения лука на развитие фитопатогенных заболеваний особого влияния не оказывает, поскольку при хранении подсушенных луковиц в условиях относительно сухого воздуха (60-70% влажности) развития микроорганизмов не происходит.

В течение следующего периода – периода основного хранения – активным вентилированием из массы овощей удаляются выделяемые в процессе их жизнедеятельности продукты обмена и тепло. Так же, как и в остальные периоды хранения, основополагающим фактором для сохранности продукции в этот период является температура хранения.

Следует иметь в виду, что интенсивность тепловыделения в период основного хранения снижается. В качестве примера можно привести значения тепловыделения картофеля в период охлаждения и в основной период. Так, если в период охлаждения картофель с исходной травмированностью клубней до 20% выделяет 90 кДж тепла, то в основной период хранения эта цифра снижается до 43,5 кДж.

Специфические особенности протекающих в клубнях картофеля обменных процессов обусловили более высокую, в сравнении с другими овощами, оптимальную температуру хранения в основной период. В процессе хранения картофеля в клубнях наблюдается распад содержащегося в них крахмала до сахаров, расходующихся частично на процесс дыхания, а частично вновь на образование крахмала (так называемый, процесс ресинтеза). Особенности биохимических процессов, протекающих в картофеле, объясняются, главным образом, различной скоростью их замедления при снижении температуры. При понижении температуры от 20 до 0 градусов С скорость реакции распада крахмала до сахаров снижается на 30%, в то время как скорость реак-

ции ресинтеза сахаров обратно в крахмал уменьшается на 20%; расход же сахаров на дыхательные процессы уменьшается в 3 раза. Очевидно, что имеет место преобладание накопления в условиях низкотемпературного хранения сахаров (более 2% вместо 1%), а это является причиной сладковатого вкуса клубней, снижения развариваемости картофеля, его витаминной ценности, а также изменения окраски при термической обработке, что, понятно, снижает товарную и потребительскую ценность картофеля. Изменение окраски картофеля при варке можно объяснить взаимодействием избыточного количества сахаров, содержащихся в картофеле, с аминокислотами, что приводит к образованию темноокрашенных соединений – меланоидинов. Для промышленной переработки такой картофель непригоден. Избыточную сладость такого картофеля обычно устраняют повышением температуры хранения. Непосредственно перед реализацией картофель прогревают до температуры 10-12 градусов С, чтобы снизить вероятность травмирования клубней при предреализационной обработке и перевозках, а также для улучшения органолептических показателей.

Подбирая оптимальный режим хранения картофеля, обеспечивающий максимальную его сохранность, следует учитывать тот факт, что наиболее благоприятной температурой для протекания как процесса распада крахмала, так и процесса ресинтеза, является температура +10 градусов С. Несмотря на это, долгому хранению картофеля в таких условиях не подлежит, в первую очередь, благодаря активизации при такой температуре болезнетворных бактерий и грибков, а также увеличению убыли по массе за счет интенсификации процессов испарения, дыхания и прорастания. Минимальная интенсивность дыхания картофеля обеспечивается при температуре хранения +2 градуса С.

Учитывая вышеназванные факторы, при хранении в промышленных масштабах, исходят из принципов большей целесообразности, используя при хранении картофеля более низкую температуру, несмотря на явное ухудшение вкусовых качеств картофеля.

Таким образом, оптимальными температурными режимами хранения в условиях активного вентилирования для продовольственного картофеля ранних сроков созревания и с коротким периодом покоя (Белорусский ранний, Эпрон и др.) можно считать – +2 - +3 градуса С, для картофеля со средним (Огонек, Темп, Форан и др.) и длинным периодом покоя (Гатчинский, Лорх, Петровский и др.), т. е. сортов среднего и позднего сроков созревания - +3 - +4 градуса С. Температура хранения сильно загрязненного и пораженного фитофторозом картофеля должна поддерживаться на еще более низком (на 1-2 градуса) уровне и ниже. Оптимальной температурой хранения семенного картофеля является 1-3 градуса С. Лук репчатый продовольственного назначения лучше всего хранится при температуре от -1 до -3 градусов С, а лук-матка при довольно высоких положительных температурах: от 2 до 8 градусов С. Еще более высокой является температура хранения лука-севка и лука-выборки (18-25 градусов С). Оптимальная температура хранения белокочанной капусты и корнеплодов продовольственного

назначения находится в пределах от -1 до 0 градусов С, а их маточников – 0 - +1 град. С.

Активное вентилирование позволяет обеспечить равномерность температуры по всей высоте навала овощей. Периодическое вентилирование производится от 2 до 6 раз в сутки в зависимости от вида хранимой продукции в течение 20-30 минут. Хранение картофеля и свеклы столовой предполагает 4 цикла такого вентилирования в сутки, моркови и капусты – 6, для эффективного же хранения лука репчатого достаточно 2 циклов. Следует избегать избыточного вентилирования, могущего стать причиной дополнительных влагопотерь в результате испарения, а, следовательно, убыли по массе.

Удаление из массы хранимых овощей избыточной влаги также является одним из условий эффективного хранения. Чтобы обеспечить поддержание в сухом состоянии поверхности клубней картофеля и других овощей, достаточно подачи в насыпь воздушного потока с относительной влажностью около 80%.

В хранилищах активного вентилирования используют различные типы складирования продукции: закромное, навалом, секционное, контейнерное. Опыт применения доказал низкую эффективность использования складского объема, присущую закромным хранилищам, поэтому в настоящее время их больше не строят, а уже готовые модернизируют, реконструируя в секционные или хранилища навалального типа.

Флодоовощная продукция в хранилищах навалального типа размещается насыпью высотой от 2,8 до 4 м. Однако следует иметь в виду, что хорошие результаты дает хранение в одном помещении лишь одного хозяйственно-ботанического вида овощей, а не нескольких, даже при одинаковых требованиях к условиям хранения. Наилучшим способом навалального хранения можно назвать хранение каждого вида продукции в отдельных секциях вместимостью по 200-700 т овощей каждая. Для каждой секции предусматривается наличие автономного вентилятора, что дает возможность обеспечить оптимальные режимы хранения для каждого вида или сорта хранимой овощной продукции.

Строительство картофелехранилищ навалального типа предполагает монтаж между насыпью продукции и капитальными стенами деревянных щитов на определенном расстоянии от стен. Данное пространство предназначено для циркуляции воздуха, отводящего тепло, выделяемое хранимой продукцией. Наличие такой своеобразной воздушно-тепловой подушки позволяет предотвратить переохлаждение внешних слоев насыпи овощей (у стен и потолка), а также от излишнего увлажнения конденсатом.

Хранилища навалально-секционного типа дают возможность более полного использования полезного объема хранилища (70-80%), в то время как закромное рассчитано лишь на 65-70%. Более эффективным и удобным является применение в таких хранилищах средств механизации.

Все эти преимущества активного вентилирования при навалальном типе складирования овощной продукции явились причиной растущей популярности таких храни-

лиц. Только в Московской области около 75% картофелехранилищ представляют собой именно хранилища навалного типа с активным вентилированием.

Перенимая опыт зарубежного хранения, отечественные производители сельскохозяйственной продукции все шире используют бесперевалочную технологию хранения, при которой картофель и овощи доставляются в хранилища в контейнерах и в них же хранятся.

В Голландии, Финляндии и некоторых других странах способ хранения картофеля в контейнерах со сплошными стенками и решетчатым дном на поддоне доказал свою эффективность и давно с успехом используется.

При укладке таких контейнеров в штабеля, их поддоны формируют горизонтальные каналы, в которые осуществляется подача воздуха из горизонтальных щелей канала-коридора, расположенного в одной из стен камеры хранения. подача воздуха осуществляется непосредственно под каждый ярус контейнеров с продукцией, благодаря продуманному их размещению, а также за счет соответствия высоты контейнеров расстоянию по вертикали между щелями в стене. Такой способ хранения обеспечивает максимальный выход продукции высокого товарного качества, длительного ее хранения, что объясняется не только меньшей повреждаемостью клубней картофеля или корнеплодов при их доставке к месту хранения без перевалки, но и стабильной равномерной температурой и влажностью по всей высоте штабеля с контейнерами.

Лежкость овощей и выбор вентиляционной системы определяется и способом складирования овощной продукции.

При хранении овощей в контейнерах более распространена общеобменная вентиляция, а при навальном наиболее эффективной является система активной вентиляции.

При контейнерном способе хранения, предполагающем наличие общеобменной вентиляции, приточный воздух подается либо в верхнюю зону хранилища либо через подпольные каналы и решетки в полу. Поскольку температура приточного воздуха должна быть положительной, то при отрицательных температурах наружного воздуха используется рециркуляция.

При закромном способе хранения полы хранилищ для обеспечения лучшей циркуляции воздуха делаются решетчатыми.

При навальном хранении по конструктивному решению расположения воздухопроводов вентилирование бывает подпольным и с использованием напольных воздухо-распределительных каналов.

Хранение овощей насыпью позволяет наиболее полно использовать объем хранилища и менее затратно, чем контейнерный способ, требующий применения дорогостоящих контейнеров. Однако при таком способе повреждаемость продукции существенно выше, затруднения вызывает и контроль за состоянием продукции, извлечение поврежденных и пораженных болезнями плодов.



Рисунок 21.4 – Закромный способ хранения овощей

Качественная вентиляция хранимой навалом овощной продукции предполагает отсутствие в массе остатков ботвы или мусора. Особые требования предъявляются и к прочности самого здания хранилища: внешние его стены должны иметь повышенные показатели по прочности, рассчитанные на боковое давление. Дополнительные затраты при таком способе хранения связаны и с необходимостью приобретения спецтехники для погрузки/разгрузки продукции.

Контейнерное же хранение обеспечивает превосходное вентилирование продукции. Кроме того, при контейнерном хранении намного проще осуществлять контроль за состоянием овощной продукции и своевременно отбраковывать некондицию, легче перемещать и транспортировать хранимый товар. Главными недостатками контейнерного способа хранения можно назвать высокую стоимость контейнеров и необходимость наличия дополнительных площадей для хранения пустых контейнеров.

Вид хранимой овощной продукции, ее предназначение (продовольственное, для переработки, маточники капусты или семенной картофель и т. д.), предполагаемое время реализации и некоторые другие факторы определяют выбор той или иной схемы хранения.

Контейнерный способ хранения может включать в себя как применение смешивающих камер, так и вентиляционную стены.

Схема контейнерного хранения с устройством напорной вентиляционной стены предполагает размещение контейнеров с овощами напротив напорной стены таким образом, чтобы между ними было обеспечено наличие вентилируемых зазоров.

Через отверстия в напорной стене, расположенные на уровне дна каждого контейнера, поступает охлажденный воздух в заданном направлении и распределяется между контейнерами, охлаждая продукцию. При такой схеме вентилирования требуется использование специальных контейнеров. Подача воздушного потока происходит непосредственно к хранимой продукции, что самым благоприятным образом сказывается на длительности хранения.

Вентиляция с помощью напорной стены может функционировать в двух режимах – сушка и охлаждение. При работе в режиме сушки, циркуляция воздуха внутри овощехранилища осуществляется таким образом, чтобы влажность его внутри хранилища была меньше, чем наружного воздуха. Не все зависит от применяемых технологий и

оборудования. Так, эффективность вентилирования в режиме сушки во многом определяется состоянием заложённой на хранение продукции, погодными условиями при сборе урожая, тщательностью сортировки.

Обычно овощехранилища оборудуются одной напорной стеной, в некоторых случаях для повышения эффективности вентилирования допускается установка двух таких стен. При монтаже напорной стены с одной стороны, максимальное продуваемое расстояние составляет 30 м, при двух напорных стенах это расстояние увеличивается вдвое. Установку напорной стены производят на некотором расстоянии от стены, на которой размещены впускные и выпускные заслонки. Угол открывания заслонок регулируется автоматически в зависимости от показаний датчиков. Заслонки допускается монтировать как на одной, так и на двух противоположных стенах. В случае форс-мажорных обстоятельств, например, при обрыве сети происходит аварийное закрытие заслонок, что позволяет избежать переохлаждения или, наоборот, перегрева и порчи продукции.

В настоящее время существует несколько схем контейнерного хранения с напорной стеной:

- с нагнетательной и всасывающей системами воздухообмена;
- с горизонтальными и вертикальными каналами;
- с устройством демпферов;
- с дополнительными воздуховодами;
- серпантинная схема воздухообмена;
- туннельная схема.

Любой из этих способов организации вентилирования хранилищ картофеля и плодоовощной продукции может быть дооборудован установкой блока принудительного охлаждения воздуха.

Распространённым способом хранения при контейнерном складировании овощной продукции является использование комплексных смешивающих камер (КСК), рассчитанных на работу в различных режимах:

- режим вентиляции с использованием для охлаждения наружного воздуха;
- режим охлаждения;
- комбинация этих двух режимов.

Принцип действия КСК заключается в следующем: прохладный воздух (холодный наружный, охлаждённый с помощью холодильника либо смешанный) подается в пространство над верхним поддоном, а затем под тяжестью собственного веса опускается в зазоры между поддонами. Использование данной схемы вентилирования значи-

тельно снижает риск заболевания картофеля фитофторой. Одним из достоинств применения комплексных смесительных камер является равномерность обдува всего объема помещения овощехранилища (при контейнерном способе хранения).

Подпольное вентилирование предполагает наличие решетчатого пола и подпольных воздухораспределительных каналов со щелями, сквозь которые приточный наружный воздух попадает в подпольное пространство непосредственно под решетчатый пол.

При подпольном вентилировании обеспечивается оптимальное распределение воздуха в массе продукции, поскольку вентиляция осуществляется по всей площади хранилища благодаря решетчатому полу. Для достижения необходимого режима хранения при этом требуются меньшие, в сравнении с другими способами вентилирования, сроки. Пройдя сквозь массу овощей, воздушный поток выводится наружу с помощью вытяжных каналов с дефлекторами. Дефлекторы представляют собой аэродинамические устройства, повышающие эффективность вентилирования за счет увеличения тяги в вытяжных каналах.

Загрузка-разгрузка овощей при подпольном способе вентилирования менее затруднительна.

К недостаткам можно отнести сравнительно высокую стоимость и трудоемкость обслуживания.

Использование напольных воздухопроводных каналов требует меньших капиталовложений, они удобны в установке (легко собираются и устанавливаются одним человеком, не нуждаются в болтовом креплении и сварочных работах), долговечны и практически универсальны в применении. Кроме того, несложны в обслуживании: после выгрузки продукции они легко очищаются. Благодаря округлой форме верхней части таких каналов продукция меньше повреждается.



Рисунок 21.5 – Напольный воздуховод

Здесь есть и свои минусы: при погрузке/выгрузке все-таки возможен риск их повреждения, к тому же полезная площадь хранилища при установке напольных воздухопроводов уменьшается. Функцией воздухораспределительных каналов является обеспечение равномерной подачи воздуха в насыпь продукции. Основными требованиями к конструкции напольных воздухопроводов являются легкость и, в тоже время, способность выдерживать нагрузки от насыпи картофеля и корнеплодов.

Геометрическое сечение напольных вентканалов может быть прямоугольным, треугольным, трапециевидным, в виде круга, полукруга или сегмента. Треугольные и трапециевидные воздухопроводы обычно изготавливают в виде каркасных конструкций с обшивкой пиломатериалами, водостойкой фанерой и др. Напольные воздухопроводы могут быть изготовлены как из металла, так и из дерева. Металлические воздухопроводы чаще всего выполняют из оцинкованной стали либо окрашивают. Круглые воздухопроводы изготавливают из перфорированных алюминиевых труб с отверстиями около основания. Воздуховоды же в виде полукруга или сегмента выполняют, как правило, из гофрированных, перфорированных у основания конструктивных элементов из стали или алюминиевых сплавов.

Использование напольных каналов допускается не только при строительстве новых овощехранилищ, но и при реконструкции старых, а также в **зернохранилищах** (здесь применяется другой тип перфорации).

Чаще всего встречаются напольные вентканалы, конструктивно представляющие собой арочное сечение (полутрубу), как правило, из оцинкованной стали толщиной 1,0 – 1,5 мм с перфорацией. Сборка канала производится из отдельных секций. Монтаж их осуществляется плоской поверхностью на дно овощехранилища. Дополнительно вдоль продольной оси оцинкованному листу придается волновое сечение с высотой волны 15 мм и шагом - 90 мм. Стыковка секций вентканала между собой производится наложением крайних волн друг на друга. Применение напольных вентканалов позволяет увеличить высоту насыпи картофеля или других овощей до 4,5 – 5 метров.

Размеры магистральных и распределяющих воздухопроводов определяются расчетом, исходя из условий обеспечения равномерной подачи воздуха в массу продукции.

Для быстровозводимых каркасных и бескаркасных арочных овощехранилищ отлично подходит любая система вентиляции, выбор которой определяется лишь предполагаемым способом хранения и пожеланиями заказчика.



Рисунок 21.6 – Напольные полукруглые каналы систем вентиляции

Вентиляторы холодильного оборудования обычно недостаточны по мощности и другим характеристикам (производительности по воздуху и давлению), чтобы обеспечить в достаточной мере все мероприятия, являющиеся составляющими процесса хра-

нения: просушку плодоовощной продукции, заживление травм поверхностных и более глубоких тканей, отвод тепла и водяных паров, двуокиси углерода из нижнего и среднего слоя насыпи или штабелей с контейнерами.

Использование холодильных машин при хранении плодов и овощей целесообразно лишь в сочетании с системами активной вентиляции. Правильный выбор вентиляционной системы дает возможность поддерживать оптимальные для хранения плодоовощной продукции условия в течение всего периода (как правило, 7 - 8 месяцев) после уборки урожая при минимуме затрат и убыли продукции.

Использование системы активной вентиляции позволяет увеличить высоту насыпи (

хранении) до четырех – пяти метров. К преимуществам активной вентиляции можно отнести также нивелирование разницы между температурой внутри массы продукции и температурой воздуха в помещении хранилища, между температурами непосредственно в толще хранимой продукции (между верхним и нижним слоем), уменьшение отпотевания верхнего слоя насыпи. При активной вентиляции уменьшается поражаемость вирусными и грибковыми болезнями, что является вполне распространенным явлением при естественной вентиляции.

В хранилищах плодоовощной продукции должно быть предусмотрено наличие систем отопления, мощность которых рассчитывается, исходя из значений следующих параметров:

- потерь тепла через ограждающие конструкции;
- теплотеря в результате работы вентиляционной системы;
- потерь тепла или, наоборот, притоков его через грунты;
- тепловыделений хранимой продукции.

Согласно статистическим данным, количество хранимых в режиме активного вентилирования плодов и овощей составляет ежегодно около 8 млн. тонн продукции. Тем не менее, несмотря на столь внушительные объемы хранилищ, оборудованных системами активного вентилирования, спрос на них растет. Поэтому строительство современных хранилищ, оснащенных подобной системой, либо модернизация существующих, являются на сегодняшний день задачами первостепенной важности.

Чтобы более наглядно убедиться в явных преимуществах и экономической выгоде подобного способа хранения, приведем некоторые цифры. Оценивая величины потерь картофеля, в том числе и естественную убыль по массе, специалисты сравнили три наиболее распространенных способа хранения картофеля и пришли к выводу, что при хранении в беззакромных хранилищах навалного типа, оснащенных системой активной вентиляции, потери при хранении минимальны и составляют приблизительно 5,3%. В то же время, при той же длительности хранения в закромных хранилищах с

естественной конвекцией, потери составили 12,1 %, а в буртах и того меньше – всего 13%.

Экономический эффект, как говорится, налицо. Однако следует иметь в виду, что мало оснастить хранилище самыми высокотехнологичными и прогрессивными системами хранения, в том числе и системой активного вентилирования, необходимо грамотно их эксплуатировать, а также соблюдать все необходимые условия при возведении хранилищ и их оборудовании, руководствуясь требованиями существующих нормативов и стандартов.

Правильный выбор строительной компании в этой связи, способной не только профессионально составить проект хранилища и построить его с учетом инженерно-геологических условий местности, назначения хранилища, способа хранения и т. д., но и полностью подготовить его к эксплуатации, оснатив самым современным оборудованием, является гарантией высокой прибыльности строящегося хранилища, разумеется, при условии наличия квалифицированного персонала, обученного работе с новым оборудованием.

Оптимальные режимы вентилирования различаются для различных регионов нашей страны. Так, не всегда максимальная эффективность достигается при непрерывном вентилировании в течение 4-8 часов, что является частой практикой в эксплуатации хранилищ с активной вентиляцией. В некоторых регионах более результативным признан метод периодического (прерывистого) вентилирования по 15-30 мин при подаче воздуха 140-150 м³/ч на 1 тонну картофеля при высоте насыпи 3 м. В сравнении с непрерывным вентилированием зафиксировано существенное увеличение естественной убыли по массе с 8,6% до 4,2%.

Неполное использование возможностей системы активного вентилирования обуславливается в некоторых случаях отсутствием системы искусственного охлаждения, что в южных регионах нашей страны, отличающихся более высокой температурой даже в зимнее время и низкой относительной влажностью в течение всего года, приводит к невозможности обеспечения оптимальных для хранения температурно-влажностных параметров в помещении хранилища. Для эффективного функционирования системы активной вентиляции и возможно более полного использования возможностей системы, наличие охладителей рекомендуется и для хранилищ, расположенных в средней полосе России, что диктуется, главным образом, тенденцией к изменению климата и повышением температур в весенне-летний период. Лишь достаточное оснащение хранилищ системами искусственного холода может решить столь актуальную в настоящее время проблему круглогодичного хранения. Возможность торможения ростовых процессов в весенне-летний период и предотвращение развития фитопатогенных микроорганизмов за счет использования систем искусственного охлаждения позволит значительно продлить сроки реализации плодоовощной продукции и получить максимальную прибыль.

Базовый набор составляющих системы активного вентилирования включает в себя:

- приточную шахту для забора наружного воздуха с жалюзийным заборным отверстием;
- воздухосмесительную камеру;
- воздухосмесительные клапаны и заслонки;
- датчики температуры и влажности;
- фильтры;
- рециркуляционный воздухопровод с клапаном для забора внутреннего воздуха хранилища;
- вентиляторы (осевой или центробежный);
- магистральный воздухопровод;
- распределительные воздухопроводы с клапанами;
- вытяжные каналы или шахты;
- воздухонагреватели;
- охладители;
- систему автоматики (по желанию).

В задачу общеобменной системы входит подача наружного воздуха в помещение овощехранилища, частичная или полная рециркуляция внутреннего воздуха (при необходимости с искусственным его охлаждением и увлажнением) и смешивание воздуха в объеме хранилища.

При подборе оборудования для системы вентиляции овощехранилища руководствуются обычно следующими параметрами:

- производительностью по воздуху (м³/ч);
- рабочим давлением (Па);
- скоростью воздушного потока в воздуховодах (м/с);
- мощностью калорифера (кВт);
- допустимым уровнем шума (дБ).

Подбор необходимого оборудования для систем вентиляции овощехранилищ, в первую очередь, определяется требуемой для обеспечения режима хранения производительностью по воздуху (м³/ч). Производительность же зависит от требуемой кратности воздухообмена, которая разнится в зависимости от назначения помещения, вида хранимой продукции и др. Кратность воздухообмена показывает, сколько раз в течение одного часа происходит полная смена воздуха в помещении. Требуемая производительность по воздуху зависит и от объема вентилируемого помещения. В системах с принудительной вентиляцией производительность вентиляторов рассчитывается, ис-

ходя из 20-30-кратного воздухообмена за час, используются, главным образом, центробежные вентиляторы среднего давления.

Кроме того, выбор оборудования, как мы уже говорили, определяется рабочим давлением, скоростью потока воздуха в воздуховодах и допустимым уровнем шума.

Конструкционное решение шахт для забора воздуха должно быть рассчитано на подачу внутрь хранилища чистого атмосферного воздуха без пыли, вредных газов и паров. Предельно допустимая концентрация вредных веществ в струе приточного воздуха на выходе из воздухораспределителя – не более 30%.

Шахты для забора воздуха в системах принудительной вентиляции выполняются либо в виде отдельно расположенных конструкций, либо в виде пристроек, либо в виде отверстий в ограждающих конструкциях. Приточные отверстия для забора воздуха должны располагаться на высоте не менее 2 метров от уровня земли. Для защиты от атмосферных осадков они должны иметь жалюзи. Скорость движения воздуха в воздухоприемных каналах при механической вентиляции принимается 2-6 м/с, в отверстиях – 4-12 м/с.

От воздухоприемных отверстий к вентиляторам и далее воздух подается по воздуховодам, расположенным внутри помещения хранилища. Воздуховоды могут быть выполнены в виде каналов в строительных конструкциях, могут быть также подвесными или приставными. Форма воздуховодов может быть круглой или квадратной в сечении, диаметр воздуховодов определяется мощностью вентиляционной установки.

Воздухораспределительная сеть вентиляционной системы состоит из воздуховодов (магистрального и распределительных), фасонных частей (переходников, поворотов, отводов, переходов, тройников, врезок, заглушек и др.) и распределителей воздуха.

Что касается рабочего давления, то чем больше протяженность воздуховодов и чем больше в них поворотов и ответвлений, тем давление создаваемое вентилятором должно быть выше. Рассчитывается рабочее давление в зависимости от диаметра и типа воздуховодов, числа поворотов и переходов с одного диаметра на другой и типа воздухораспределителей. Скорость потока воздуха также зависит от диаметра воздуховодов. Следует учитывать, что при слишком больших скоростях значительными будут и потери давления.

Как мы уже говорили, при навальном способе хранения плодоовощной продукции воздух подается в толщу хранимой продукции по напорным каналам, причем каналы могут быть не обязательно в напольном исполнении.

Основными преимуществами подпольных вентиляционных каналов помимо большей равномерности воздухораспределения, является меньшая по времени продолжительность вентилирования, необходимая для достижения требуемых параметров хранения, а также меньшая трудоемкость закладки продукции и ее выгрузки.

Наиболее надежным способом, но и самым затратным в то же время, является бетонирование, т. е. устройство углублений в бетонном полу непосредственно в процессе строительства.

Самым экономичным вариантом устройства напорных каналов, которые можно изготовить даже собственноручно, являются треугольные модули из фанеры, бруса или металла.



Рисунок 21.7 – Треугольные модули напорных каналов

И, наконец, самый востребованный на сегодняшний день тип напорных каналов, - это полукруглые напольные каналы, перфорированные в нижней части короба. Расстояние между центрами линий каналов – 4 метра. Прочность конструкций достаточно велика: каналы спокойно выдерживают вес навала картофеля высотой до 5 метров.

При устройстве активной вентиляции овощехранилища следует иметь в виду, что расстояние между осями воздухораспределительных каналов не должно превышать 2 метра. Торцы каналов должны находиться от стен на расстоянии 60-80 см. Скорость подачи воздуха на выходе из воздухоподающих устройств в системах активной вентиляции должны быть 1-2 м/с.

Чтобы максимально снизить сопротивление движению воздуха, внутренняя поверхность воздуховодов выполняется как можно более гладкой, изгибы и ответвления должны быть плавными. Круглые воздуховоды, представляющие собой разветвленную в большинстве случаев систему труб круглого сечения, получили наибольшее распространение в комплектации вентиляционных конструкций хранилищ и производственных помещений. Круглые в сечении воздуховоды создают меньшее аэродинамическое сопротивление, чем прямоугольные. Благодаря круглому сечению воздушный поток перемещается по системе воздухопроводов с гораздо большей скоростью, чем при использовании воздуховодов прямоугольного сечения, что увеличивает эффективность работы всей системы в целом.

Кроме того, они обладают большей прочностью и менее материалоемки при изготовлении (на 8-10 %), чем воздуховоды прямоугольного сечения. Удобство и скорость монтажа, а также демонтажа при необходимости очистки, обеспечивается фланцевыми соединениями. Однако при ограниченной высоте помещений более применимы прямоугольные воздухопроводы, как более компактные. При использовании воздухо-

проводов прямоугольного сечения достигается значительная экономия полезного пространства, причем компактность прямоугольных воздухопроводов ничуть не умаляет их функциональности.

Ни одна система вентиляции не обходится без воздухораспределительных устройств, определяющих форму воздушных потоков.

В зависимости от места установки различают приточные и вытяжные **воздухораспределительные устройства**. Разнятся и их форма: встречаются устройства квадратной, прямоугольной и круглой формы с направлением воздуха в одну, две, три или четыре стороны. Для работы во влажных и агрессивных средах, к которым можно отнести и микроклимат овощехранилищ, предназначены специальные решетки. Тип воздушной струи определяется конструкцией решетки: различают плоские, неполные верные и другие типы струй.

Крепление решеток осуществляется с помощью винтов или специальных зажимов.

Для подогрева воздуха, подаваемого в овощехранилища в зимнее время года, в состав приточных вентиляционных систем вводят калориферы. Калориферы незаменимы и при сырой дождливой осени – времени сбора урожая и закладки на хранение. Одним из этапов предварительной подготовки овощной продукции перед закладкой на хранение является ее просушивание. Калориферы в этой ситуации способны помочь сберечь урожай от гниения или замерзания.

Работа калориферов может быть основана на принципе дополнительного забора воздуха извне, что является наиболее предпочтительным вариантом для хранилищ сельскохозяйственной продукции. Вторая схема работы на основе замкнутой циркуляции более применима для жилых и офисных помещений.

Калориферы в овощехранилищах обычно являются встраиваемыми в цепь воздухообмена. Мощность калорифера, используемого в приточной системе вентиляции для подогрева наружного воздуха, подаваемого в хранилище, подбирается исходя из производительности вентиляционной системы, требуемой температуры и минимальной температуры наружного воздуха в данном регионе.

По виду теплоносителя различают калориферы:

- водяные, подключаемые к системе центрального отопления;
- паровые;
- электрические.

По форме поверхности теплообмена водяные и паровые калориферы делятся на гладкотрубные (трубчатые) и ребристые.

В гладкотрубных калориферах в качестве нагревательного элемента выступает труба с гладкой поверхностью. Теплотехнические показатели таких калориферов рассчитаны на сравнительно небольшие расходы нагреваемого воздуха. Температуры

нагрева также невелики. Чтобы увеличить коэффициент теплопередачи в вентиляционных системах с гладкотрубными калориферами, предусматривается установка большего количества труб с расстоянием между ними 0,5 см.

Наиболее востребованы для применения в овощехранилищах пластинчатые калориферы, популярность которых в значительной степени объясняется легкостью их монтажа и эксплуатации. Они представляют собой прямоугольные или круглые стальные пластины, насаженные на трубы. В оребренных или спирально-навивных калориферах на трубки навиваются стальные ленты шириной 10 мм и толщиной 0,5 мм.

Горячая вода или пар, протекая по трубам, нагревает и металлические пластины. Воздух, подающийся от вентиляторов, проходя через зазоры между трубами и пластинами (стальными лентами), нагревается до требуемой температуры и подается в помещение хранилища. Температуру нагрева можно регулировать.

Оребрение наружной поверхности труб в ребристых калориферах увеличивает площадь теплопередающей поверхности, что является показателем их более высоких теплотехнических характеристик;

Электрические калориферы состоят из ТЭНов, изготовленных из нержавеющей стали, нагревательные элементы которых соединены посекционно. Благодаря посекционному соединению обеспечивается различная степень нагрева воздуха. Электрические калориферы обычно включают в себя и системы защиты: встроенный термостат перегрева, размыкающий цепь при температуре 45 градусов С и противопожарный, отключающий калорифер при 130 градусах С.

Для приточных установок небольшой мощности целесообразнее будет использование электрических калориферов, так как установка такой системы не требует особых затрат.

Для хранилищ же площадью свыше 100 м² более предпочтительным вариантом будет установка водяных нагревателей, так как электрические требуют слишком больших расходов на электроэнергию.

Устанавливаются калориферы, как правило, при монтаже вентиляционной системы хранилища непосредственно перед вентилятором. Калорифер (воздухонагреватель) может содержать один или несколько блоков теплообменника, что определяется заданными условиями хранения.

Система активного вентилирования предусматривает, наряду с подачей непосредственно в толщу хранимой продукции наружного или внутреннего воздуха либо их смеси, также возможность изменения интенсивности вентилирования в камерах овощехранилища или в отдельных частях насыпи продукции с помощью специальных регулирующих устройств.

Помимо базовых комплектующих вентсистем, в них входят многочисленные запорно-регулирующие устройства, такие как шиберы, дроссельные клапаны, герметические клапаны, обратные клапаны, многостворчатые клапаны, предназначенные для

регулирования количества воздуха перемещаемого по разным воздуховодам, отключения отдельных ветвей либо всей сети воздуховодов.

Как **шиберы**, так и **дроссельные клапаны** регулируют количество перемещаемого по вентканалам воздуха путем изменения площади сечения воздуховодов. В шибах перемещение заслонки осуществляется в направлении, поперечном движению воздуха, а дроссельные клапаны изменяют площадь проходного сечения воздуховодов за счет поворота заслонки вокруг оси. Шиберы обычно устанавливают рядом с вытяжным отверстием, а дроссельные клапаны - на ответвлениях сети воздуховодов. Дроссельные клапаны рассчитаны как на ручное, так и дистанционное управление и могут использоваться в автоматизированных вентиляционных системах.

Для полного отключения отдельных ветвей сети воздуховодов или всей сети в целом предназначены герметичные клапаны.

В функции **обратных клапанов** входит пропускание воздушного потока в одном направлении и предотвращение обратного его перемещения. Рабочая часть такого клапана представляет собой две вращающиеся вокруг своей оси створки. При движении воздушного потока в требуемом направлении створки открыты, при прекращении движения воздуха створки закрываются, перекрывая сечение воздухопровода, что препятствует оттоку воздуха.

Для воздуховодов с большой площадью проходного сечения используют **многостворчатые клапаны**, которые, по сути, представляют собой несколько совместно действующих дроссельных клапанов. Многостворчатые клапаны, как правило, входят в состав системы центрального кондиционирования и предназначены для регулирования смешивания наружного и внутреннего воздуха при рециркуляции.

Основной функцией воздухосмесительных клапанов, как регулирующих устройств, является подача и удаление воздуха. Оснащение заслонок приводами для автоматического открытия/закрытия под определенным углом, в зависимости от показаний датчиков, повышает эффективность работы системы.

В зависимости от типа системы воздуховодов, вида управления и др. в вентиляции овощехранилищ используются **заслонки** прямоугольного или круглого сечения, с ручным управлением или электроприводом.

Заслонки изготавливаются из алюминия, нержавеющей стали, пластмассы или из thermosool-панелей, что является гарантией их влагостойкости.

Непосредственно под впускными заслонками размещаются напорные вентиляторы, предназначенные для подачи воздуха в напорные каналы.

Таким образом, формируется камера смешения наружного воздуха с воздухом под потолком хранилища, что приводит к созданию оптимальных температурных условий хранения в массе продукции.

Выпускные заслонки предназначены для снижения внутреннего давления воздуха внутри помещения хранилища и для удаления, так называемой, тепловой подушки (завесы) между насыпью овощей и крышей хранилища.

Особую значимость для сохранности плодоовощной продукции имеют установки, предотвращающие образование конденсата на поверхности хранимой продукции и потолке хранилища. Для этой цели предназначено использование **циркуляционных потолочных вентиляторов**.

Работа циркуляционных вентиляторов препятствует созданию значительного перепада температур между хранимой продукцией и холодной поверхностью крыши, что является причиной выпадения конденсата. В этой связи также применима установка потолочных вентиляторов со спиралью обогрева (дополнительная мощность 1,5 кВт), создающих тепловую завесу между потолком хранилища и поверхностью массы продукции.

В качестве дополнительного оборудования в системе вентиляции предусматривается наличие увлажнителей, предназначенных для поддержания требуемого уровня влажности в помещении овощехранилища.

В южных районах, особенно в районах засушливого земледелия установка внутри напорной стены увлажнителей и охлаждающих установок является желательной мерой, позволяющей предотвратить пересушивание продукции. Распространены **форсуночные увлажнители** Condair Fast Fog производительностью не менее 6 л/час, способные увлажнять воздух хранилища в заданных пределах, согласно требованиям хранения того или иного продукта.



Рисунок 21.8 – Форсуночные увлажнители.

Обычно рекомендуется установка одного увлажнителя на каждую напорную стену в районе камеры смешения. При хранении картофеля предусматривается один увлажнитель на 500 т продукции. Следует иметь в виду, что для работы увлажнителей потребуется система водоснабжения. При ее отсутствии заменой могут послужить бочки с насосной станцией. Давление поступающей воды должно составлять от 0,5 до 3 бар.

Увлажнители форсуночного или тарелочного типа монтируются, главным образом, внутри напорной стены.

Изготовленные из специальной целлюлозной смеси, уникальные увлажняющие ячейки способны обеспечить высокую степень увлажнения с эффектом охлаждения. При закладке на хранение влажной продукции, увлажнитель отключают, при этом его панели раздвигаются, что позволяет воздушному потоку беспрепятственно проникать в хранилище.

Для поддержания требуемой влажности в период хранения в вентиляционных каналах размещают специальные центробежные увлажнители.

Включать увлажнители в комплект вентиляционного оборудования не всегда целесообразно. Так, например, климатические условия средней полосы России и Финляндии характеризуются повышенной влажностью и сравнительно низкими температурами, а учитывая, что влажность в овощехранилищах, в основном, должна находиться в пределах 85-87%, то в данных регионах, скорее всего, понадобятся меры по борьбе с излишней влажностью.

Рекомендуется устанавливать увлажнители в хранилищах моркови.

Установка систем кондиционирования в овощехранилищах целесообразна лишь в тех случаях, если система вентиляции, в том числе с испарительным охлаждением воздуха, не способна обеспечить требуемый технологией хранения данного вида продукции режим.

Для охлаждения овощной продукции в ряде случаев рекомендуется использовать компактные воздухоохладители, включающие в себя компрессор, конденсатор и испаритель (в одном устройстве), а также все необходимое измерительное и контрольное оборудование. Это универсальное решение практически для любого хранилища. Установка охладителя осуществляется таким образом, чтобы тепло, являющееся следствием его работы, выделялось наружу. Обычно его размещают в дверном проеме, все зазоры вокруг него надежно герметизируют.

Охладители, используемые в вентиляционных системах могут быть водяными и фреоновыми. Применение водяных охладителей требует обязательного наличия холодной воды, т. е. системы водоснабжения. Охлаждение воды может осуществляться с помощью специальных холодильных машин – чиллеров. Если испаритель холодильной установки работает на фреоне, то в качестве холодильной машины применяется компрессорно-конденсаторный блок. Следует иметь в виду, что при использовании системы охлаждения воздуха нужно предусмотреть качественную теплоизоляцию приточных воздуховодов. Особая значимость теплоизоляции в этом случае объясняется возможной опасностью образования конденсата на воздуховоде ввиду большой разности температур приточного воздуха и внутреннего воздуха хранилищ.

Любая вентиляционная система предусматривает наличие пылеуловителей, т. е. фильтров, предназначенных для задерживания пылевых частиц любых фракций и пропускающих в камеры хранения лишь обеспыленный, чистый атмосферный воздух.



Рисунок 21.9 – Карманный фильтр (Мешочного типа)

Значение фильтров заключается не только в создании чистого воздуха в помещении овощехранилища, но и, что более существенно, в защите оборудования и конструктивных блоков собственно вентиляционной системы. Установка фильтров предполагает герметичное их крепление на специальной раме таким образом, чтобы обеспечить возможно большую простоту их смены и обслуживания. Очистка фильтров производится не реже одного раза в месяц. Наиболее эффективными признаны фильтры мешочного типа.

Неотъемлемой частью любого хранилища плодоовощной продукции являются **датчики температуры и влажности.**

В зависимости от местоположения и назначения различают каналные датчики, контролируемые параметры температуры и влажности напорных каналов, и датчики улицы, фиксирующие аналогичные показатели наружного воздуха. Датчики продукта размещают в массе овощей, потолочные датчики, размещаемые под потолком хранилища, служат для контроля температур в подкровельном пространстве, что особенно важно для определения разницы температур между потолком овощехранилища и поверхностью навала овощей, чтобы предотвратить образование конденсата.

Возможность подключения к одному блоку управления нескольких автономных, расположенных в удалении друг от друга секций хранения, обеспечивается концентратором датчиков, к которому подключаются все датчики вентиляционной системы.

1. Датчик относительной влажности овощной продукции
2. Датчик температуры и влажности наружного воздуха
3. Входной клапан
4. Датчик защиты от перегрузки
5. Температурный датчик вентканала и датчик системы оттаивания
6. Датчик содержания CO₂
7. Вентиляторы
8. Датчик температуры воздуха в помещении хранилища
9. Датчик температуры хранимой продукции
10. Выходной клапан.

Важным элементом вентиляционной системы являются **воздухосмесительные камеры**, в которых осуществляется смешивание наружного воздуха, поступающего через заслонки, и внутреннего. С помощью напорных вентиляторов смешанный воз-

дух с оптимальными температурно-влажностными параметрами подается в насыпь овощей по напорным воздуховодам. Наличие камер смешения особенно важно с точки зрения предотвращения резких температурных скачков, способных нанести вред хранимой продукции.

Воздухосмешивающие устройства особенно в сочетании с компактными холодильными установками позволяют при минимальных затратах добиться максимальной отдачи. Чаще всего воздухосмешивающие устройства применяют в хранилищах с контейнерным хранением картофеля и овощной продукции. Конструктивно такое устройство представляет собой оцинкованную раму с полимерным покрытием, внутри которой размещается осевой вентилятор и автоматически управляемый клапан, предназначенный для смешивания воздуха. Заданная, согласно режиму хранения, температура поддерживается автоматическим смешиванием в нужных соотношениях наружного и более теплого внутреннего воздуха. Полученная воздушная смесь выдувается воздухосмешивающим устройством через три трубы, положение которых можно регулировать, непосредственно над контейнерами или мешками с овощами. Автоматическая система контроля воздухосмешивающего устройства взаимодействует с программным обеспечением общей системы контроля. Показатели, измеряемые с помощью датчиков (температура, содержание CO₂, влажность), передаются в компьютерный центр, где преобразуются в команды, исполняемые воздухосмешивающим устройством.

Вентиляционные системы могут комплектоваться также **оборудованием для озонирования воздуха в целях дезинфекции**, уничтожения очагов плесени и других патогенных микроорганизмов как в помещении хранилища, так и на самой продукции.

Даже сравнительно небольшая концентрация озона в воздухе (10 мг/л) при кратковременном воздействии способна полностью очистить обрабатываемую поверхность от бактерий и вирусов. Для уничтожения грибковых спор потребуется больше времени и большая концентрация озона, тем не менее, дезинфекция хранилищ с помощью озона может практически полностью снять проблему преждевременного гниения продукции и несвоевременного ее созревания. Кроме того, озонирование картофеля увеличивает его питательную ценность за счет повышения содержания в клубнях крахмала и витамина С, в сравнении с необработываемым озоном картофелем, а также тормозит его прорастание.

Хранилища могут оснащаться **термо-дверями**, управление которыми осуществляется с помощью автоматики. Плавность регулировки забора внешнего воздуха обеспечивается двумя дверями разного размера.

Простейшая система управления состоит обычно лишь из выключателя с индикатором, тогда как современные хранилища оснащены более совершенными системами управления, включающими в себя элементы автоматики.

Высокотехнологичные хранилища нового поколения предполагают обязательное оснащение вентиляционных систем **автоматическими системами управления**, позволяющими регулировать необходимый микроклимат в овощехранилищах в запро-

граммированном режиме. Многофункциональные системы наблюдения и контроля обеспечивают постоянное фиксирование показателей температуры, влажности и газового состава, мгновенно выявляют даже малейшие отклонения от заданного режима, что способствует бесперебойной, стабильной работе вентиляционной системы, а, следовательно, максимальной сохранности урожая овощей. Данные измерений могут по желанию предоставляться в графическом исполнении. Оснащение автоматизированных систем управления сигнализацией, позволяет своевременно реагировать на возникшие изменения или сбои в работе системы. Еще одним преимуществом автоматизации является функция защиты от риска возгорания, заключающаяся не только в размыкании электрической цепи при ее нагреве до определенных температур, но и в прекращении подачи электричества и обесточивании телефонных линий во время грозы.

Данная система не занимает много места и довольно проста в использовании. Важным преимуществом является возможность с помощью данной системы осуществлять управление несколькими объектами хранения (до 10). Считывание информации возможно с любого устройства, имеющего доступ к интернету, т. е. с ПК либо мобильного телефона. Данная система автоматизации хранения позволяет получать данные за любой период хранения, не выходя из помещения офиса, причем, как мы уже отмечали, с распечаткой и при необходимости в виде графика.

Подобные системы хранения применимы в любых типах хранилищ и для любого способа хранения, как контейнерного, так и навалного. Установка такой системы не потребует много времени и затрат, поскольку отсутствует необходимость прокладывания множества кабелей и проводов.

Благодаря полной автоматизации все процессы контролируются с помощью компьютера.

Функционирование приточной системы вентиляции, т. е. подача воздушных потоков в подпольные вентканалы под насыпь с овощами производится по заданной программе, учитывающей особенности хранения именно данного вида овощной продукции. Работа в режиме активного вентилирования осуществляется в зависимости от показаний датчиков регистрации температуры, влажности и содержания CO₂ в толще продукции (термостатов, гигрометров, датчиков давления и др.).

Температурные показатели приточного воздуха фиксируются с помощью датчиков, расположенных в магистральном воздуховоде на расстоянии 2 м от вентилятора. Температура в насыпи овощей измеряется с помощью датчиков, заложенных в толщу продукции на глубину 0,5-0,7 м от поверхности массы. Измерение температуры в верхней зоне овощехранилища производится датчиками, находящимися на расстоянии 0,5 м от перекрытия. Датчик, контролирующий содержание углекислого газа, устанавливается обычно перед камерой смешения в потоке обратного воздуха из хранилища.

Современные хранилища с активной вентиляцией, оснащенные системой автоматического управления и контроля режима хранения плодоовощной продукции, при температурах наружного воздуха ниже температуры воздуха в помещении хранилища,

автоматически обеспечивают охлаждение продукции до требуемых температур наружным воздухом. Если холода наружного воздуха недостаточно, система сама подключит холодильную установку.

Оборудование автоматического управления системой вентиляции в нужный момент позволит обеспечить дополнительное увлажнение воздуха либо при необходимости его нагрев, включая в нужный момент воздухонагреватель (калорифер). Система автоматики проследит и за чистотой фильтра, отрегулирует интенсивность подачи воздуха путем управления воздушными клапанами и т. д.

Автоматически регулируемая система активной вентиляции овощехранилищ отличается энергоэффективностью, максимально используя для охлаждения продукции низкие наружные температуры, особенно в ночное время.

Система управления и автоматики располагается, как правило, в электрощите. Схема используемой автоматической системы управления и ее состав в значительной мере определяют и конечную стоимость всей вентиляционной системы овощехранилища. Однако не следует сбрасывать со счетов тот факт, что чем более технологичной является система хранения, то тем более результативным будет итог хранения, а, следовательно, выше будет и полученная прибыль. С помощью щитов автоматики осуществляется контроль и управление работой всего вентиляционного оборудования овощехранилища, а также систем кондиционирования, отопления, пожарозащиты и др., являющихся неотъемлемыми составляющими современных хранилищ сельскохозяйственной продукции.

Система активного вентилирования конструктивно и технологически является более сложной системой, требующей грамотного управления и контроля, значимость которых трудно переоценить. Так, например, при подаче более сухого, чем требуется режимом хранения, воздуха либо при избыточном проветривании может возникнуть опасность увядания продукции, увеличивается и риск поражения овощей сухой гнилью и черной пятнистостью. Справиться с этой проблемой помогут новые автоматические системы управления вентилированием, и в значительной мере использование современного оборудования, в частности, электронно-коммутируемых вентиляторов производства фирмы «ebm-papst». В сравнении с традиционными вентиляторами на основе электропривода, инновационная ЕС-техника GreenTech выделяется впечатляющим КПД (более 90%) и низким энергопотреблением, а, следовательно, более низкими эксплуатационными расходами (минимум на 30%). Использование электронно-коммутируемых электродвигателей безщеточного типа (сокращенно Elektronically Commutated мотор или ЕС-мотор) дает возможность при подключении к действующим системам управления микроклиматом обеспечить оптимальную настройку интенсивности вентилирования в зависимости от изменяющихся параметров высоты и площади насыпи овощей, а также вида и сорта хранимой овощной продукции. По сути, ЕС-мотор представляет собой электродвигатель постоянного тока со встроенными магнитами в роторе и электронно-коммутируемыми обмотками статора. В отличие от двига-

телей постоянного тока изменение направления тока в обмотках статора осуществляется не щетками, а электронными коммутаторами. Заданные параметры подачи поддерживаются с помощью встроенного ПИД-регулятора (пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор) – устройства для формирования управляющего сигнала. Работа электромоторов ЕС-типа допускается как от источников постоянного тока, так и от сети переменного тока напряжением 230 или 400 В при частоте 50/60 Гц.

Для обеспечения подачи одного и того же количества воздуха коммутируемые (ЕС) вентиляторы потребляют гораздо меньшее количество энергии, чем вентиляторы с асинхронными (АС) двигателями. ЕС-вентиляторы с интегральной электронной системой управления обеспечивают оптимальную нагрузку на двигатель и отличаются простотой управления. Встроенная в мотор вентилятора электронная система управления изменяет скорость в соответствии с заданными режимами по расходу воздуха, что обуславливает высокий уровень эффективности. Плюс ко всему электронно-коммутируемые вентиляторы отличаются низким уровнем шума и компактностью. Благоприятный для хранения плодоовощной продукции микроклимат обеспечивается за счет плавной (от 0 до 100%) подачи воздуха, что позволяет избежать скачков температуры, являющихся одной из причин порчи продукции и увеличения количества отходов.

Расчеты и опыт использования показали, что капитальные первоначальные затраты на ЕС-технику полностью окупаются в течение одного года с начала эксплуатации, и это без учета лучшей сохранности продукции и увеличения длительности ее хранения, что позволяет гарантированно получать более высокую прибыль. Экономия при применении ЕС-вентиляторов достигается и за счет отсутствия пусковых токов, требующих в случае применения АС-вентиляторов более высокой мощности силовых линий и пускового оборудования, рассчитанного на пяти-семикратное превышение по отношению к номинальному току.

Расчеты и опыт применения активной вентиляции в хранилищах овощной продукции показывают, что, в среднем, оптимальный режим вентилирования насыпи картофеля предполагает поддержание интенсивности вентилирования в пределах 40-70 м³/ч на тонну продукции и статического давления в диапазоне 340-450 Па. Наиболее распространенные в хранилищах осевые вентиляторы традиционных используемых производителей не способны обеспечить требуемые параметры давления, при увеличении же их производительности возрастает риск поломки вентиляторов либо ненормированной усушки хранимой продукции. Более предпочтительным вариантом является использование радиальных вентиляторов низкого давления. Одно существенное: громоздкость таких вентиляторов не вписывается в существующие системы активного вентилирования. Применение центробежных вентиляторов от компании ebmpapst может стать отличным выходом из создавшегося положения. Помимо непревзойденной эффективности, эти вентиляторы отличаются легкостью и компактностью,

что позволяет размещать их практически в любом удобном месте, причем вполне допустимо располагать рядом сразу несколько таких вентиляторов. Модернизация существующих хранилищ предполагает вполне реальную возможность замены на такие вентиляторы действующих осевых.

Вентиляционное оборудование, используемое в овощехранилищах, должно отвечать комплексу требований, предъявляемых к технике такого рода:

- обладать функциональностью, т. е. обеспечивать заданные режимом хранения параметры микроклимата в помещении овощехранилища;
- комплектующие системы должны быть удобными в эксплуатации и обладать высокой износостойкостью;
- впускные и выпускные клапаны вентиляционной системы должны предотвращать появление мостиков холода за счет качественной их теплоизоляции;
- производительность используемых вентиляторов должна быть не менее 100-150 м³/ч на тонну хранимой плодоовощной продукции при сопротивлении 250-300 Па;
- надежность и точность измерительной техники должна максимально способствовать снижению потерь при хранении.

Только качественное вентиляционное оборудование известных производителей способно обеспечить эффективное вентилирование овощной продукции при любом способе хранения (насыпью или в контейнерах) и при любых погодных условиях выращивания и уборки урожая, что является залогом сохранности продукции в течение длительного времени.

Использование микропроцессорной техники позволяет с высокой точностью регулировать значения параметров микроклимата в каждой отдельно взятой секции хранилища.

II ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № 1

Лабораторная работа № 2

Лабораторная работа № 3

Лабораторная работа № 4

Лабораторная работа № 5

Лабораторная работа № 6

Лабораторная работа № 7

Лабораторная работа № 8

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № 1

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ И ОБСЛЕДОВАНИЙ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Цель работы: Ознакомится с устройством и действием контрольно-измерительных приборов:

1. Термометры: жидкостный, инфракрасный термометр testo 830-T1;
2. Манометр: дифференциальный манометр цифровой ДМЦ-01М, барометр-анероид метеорологический БАММ-1, микроманометр с наклонной трубкой ММН-2400 (5)-1,0;
3. Термоанемометр testo 410-1;
4. Анемометры: чашечный МС-13, крыльчатый АСО-3;
5. Гигрометр психрометрический типа ВИТ-1;
6. Термогигрометр ТГЦ-МГ4;
7. Тахометр часовой ТЧ 10-Р;

1. Основные термины и определения

Контрольно-измерительные приборы и инструменты находят широкое применение не только в сфере производства, но и при эксплуатации, диагностике технических систем, обеспечении их экологической безопасности.

Измерение – нахождение значения физической величины (ФВ) опытным путем с помощью специальных технических средств.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных.

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Совокупные измерения – производимые одновременно измерения нескольких величин.

Средство измерения (СИ) – техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

Измерительный прибор – СИ, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измерительный преобразователь – СИ, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразо-

вания, обработки и (или) хранения, но не воспринимаемой непосредственно наблюдателем.

Диапазон измерения (предел измерения) – диапазон значений измеряемой величины, который может быть измерен данным средством измерения и для которого нормируется допускаемая погрешность средства измерения.

Погрешность измерения – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

2. Термометры.

2.1. Температура может быть определена как параметр теплового состояния. Измерение температуры осуществляется контактным и бесконтактным способами. Контактным способом температура измеряется с помощью **термометров расширения жидкостных** (Рис.1). Жидкостные термометры построены на принципе теплового расширения жидкости в стеклянном резервуаре. В качестве рабочих веществ применяют ртуть и органические жидкости. Жидкостные стеклянные термометры расширения состоят из стеклянного капилляра, заполненного термометрической жидкостью, и стеклянного корпуса со шкалой. При нагревании объем термометрической жидкости увеличивается, уровень в капиллярной трубке повышается, что определяется по градуированной шкале. Ртутно-стеклянные термометры применяют для измерения температуры от -30 до $+500^{\circ}\text{C}$. Термометры с органическими жидкостями называют низкотемпературными. В них применяется этиловый спирт до -130°C , толуол до -90°C , петролейный эфир до -30°C и пентан до -190°C .

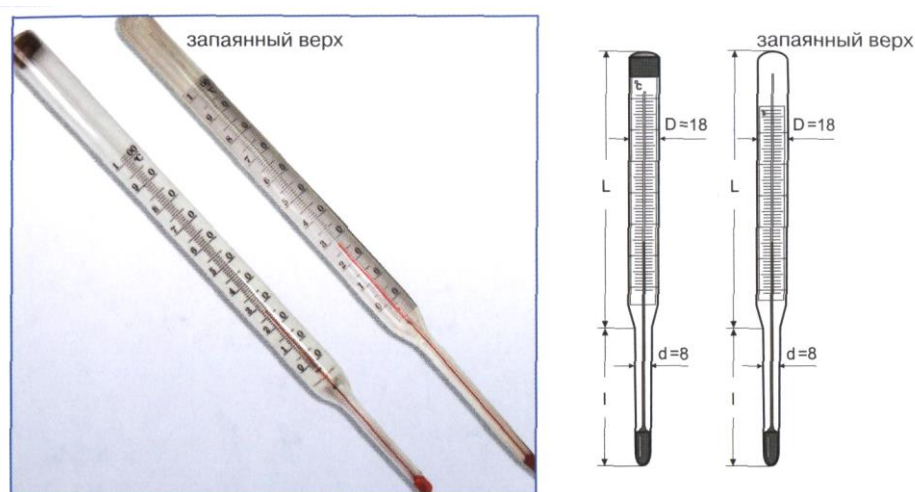


Рис. 1.1. Термометры расширения жидкостные ТСЖ.

Для измерения температуры воздуха в рабочей зоне помещения термометры устанавливают на высоте 1,5 м от пола, вдали от холодных наружных ограждений и оборудования, излучающего тепло, и вне зоны действия приточных струй и солнечных

лучей. Температуру воздуха в воздуховодах рекомендуется измерять термометрами, вводимыми внутрь воздуховодов через специальное отверстие или лючки. Места измерения температуры воздуха в воздуховодах должны выбираться с учетом того, что установленные термометры не должны подвергаться вибрации и тряске, на показания термометров не должно оказывать влияние лучистое тепло от калориферов, должна быть также исключена возможность попадания капель воды на термометр при замерах после камер орошения.

2.2. При измерении температуры холодных и горячих поверхностей очень удобны бесконтактные термометры с инфракрасным датчиком. К числу таких приборов относится *инфракрасный термометр testo 830-T1* (Рис.2). У материалов различный коэффициент излучения, т.е. они излучают различный уровень электромагнитной радиации. Инфракрасное измерение представляет собой оптическое измерение поверхности. Инфракрасный термометр предназначен для бесконтактного измерения температуры поверхности. Диапазон ИК-измерений – от -30 до $+400^{\circ}\text{C}$; ИК-погрешность $\pm 1,5 - 2^{\circ}\text{C}$.



Рис. 1.2. Инфракрасный термометр testo 830-T1.

1. Манометры.

Приборы для измерения давления в зависимости от назначения и пределов измерения можно разделить на следующие группы:

3.1. *Барометр-анероид метеорологический БАММ-1* (Рис.3) – для измерения атмосферного давления в наземных условиях при температуре от 0 до 40°C и относительной влажности до 80% . Диапазон измеряемого давления $80 - 106$ ($600 - 800$) кПа (мм рт. ст.); пределы допускаемых погрешностей составляет $\pm 0,2 - 0,5$ кПа (мм рт. ст.).



Рис. 1.3. Барометр-анероид метеорологический БАММ-1

3.2. Микроманометры бывают жидкостными и электронными. **Микроманометр многодиапазонный с наклонной трубкой ММН-2400 (5)-1,0** (Рис.4) – предназначен для измерения избыточного, вакуумметрического давления и разности давлений газов, неагрессивных к стали, латуни, олову и полиэтилену в пределах от 600 до 2400 Па при статическом давлении не более 10 000 Па. Класс точности – 1,0. Рабочая жидкость – спирт этиловый ректификованный. Жидкостный микроманометр устроен по принципу простого U-образного манометра, только одна трубка заменена резервуаром, а вторая со шкалой может наклоняться и фиксироваться в определенном положении. Принцип действия прибора основан на том, что измеряемое давление воздуха уравновешивается давлением столба рабочей жидкости, который образуется в наклонной трубке (к трубке подводится меньшее давление). При этом условии уровень спирта в измерительной трубке будет повышаться, а в резервуаре – понижаться.

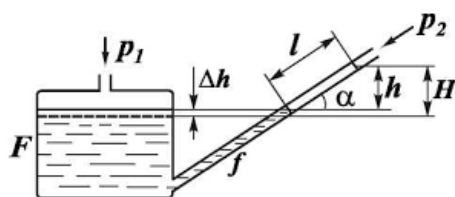


Рис. 1.4. Микроманометр многодиапазонный с наклонной трубкой ММН-2400 (5)-1,0

3.3. Наряду с жидкостными микроманометрами при наладке вентсистем широко применяются электронный **Дифференциальный манометр ДМЦ-01М** (Рис.5). Это цифровой прибор для измерения давления, разрежения, скорости и объемного расхода воздушного потока в воздуховоде. Диапазон измерения перепада давления – 0 ... 2,0 кПа (0 ... 200 мм вод.ст.); погрешность 1%.



Рис. 1.5. Дифференциальный манометр ДМЦ-01М.

3.4. Для визуального контроля основных параметров теплоносителя (давления и температуры) как правило, применяют манометр и термометр. Попытка объединить эти два прибора привела к созданию комбинированного прибора, получившего название «термоманометр».

Термоманометр ТМТБ-31Р.1 (0...120С) (0...0,25МПа) G1/2" радиальный (Рис.6) предназначен для одновременного измерения температуры и избыточного давления неагрессивных к медным сплавам сред. 120гр.С; 2,5Мпа

Область применения: системы отопления, водоснабжение, бойлеры, паровые котлы и т.д.

Термоманометр — комбинированный прибор, для измерения давления и температуры.

Конструктивно термоманометр ТМТБ объединяет деформационный манометр и биметаллический термометр. Термоманометры имеют циферблат с двумя шкалами и две указательные стрелки. Одна шкала служит для отсчета давления, другая — температуры.

Диаметр корпуса 80, 100 мм; Класс точности 2,5; Диапазоны показаний температур 0...120 / 150 °С; Диапазон показаний давлений 0...0,25 / 0,4 / 0,6 / 1 / 1,6 / 2,5 МПа; Рабочая температура – Окружающая среда: -60...+60 °С; Измеряемая среда: до +150 °С.

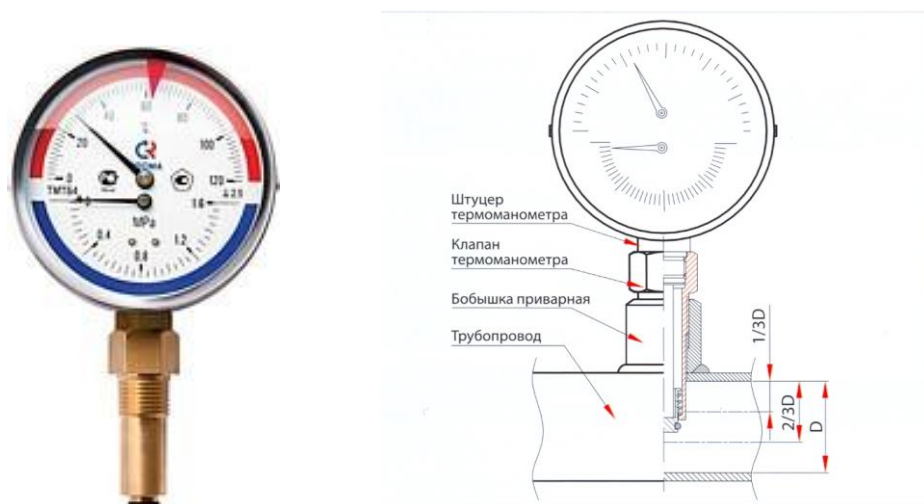


Рис. 1.6. Термоманометр ТМТБ-31Р.1

4. Термоанемометр.

4.1. **Термоанемометр testo 410-1** (Рис.7) служит для измерения скорости потока воздуха и температуры. Прибор подходит для измерения скорости потока воздуха на выходах воздуховодов вентиляционных систем. Наряду с измерением температуры можно провести анализ климатических условий. Диапазон измерения: 0,4 ... 20 м/с; -10 ... 50°С. Погрешность $\pm 0,2$ м/с + 2% измерения; $\pm 0,5$ °С.



Рис. 1.7. Термоанемометр testo 410-1

5. Анемометры.

Скорость движения воздуха измеряют анемометрами – крыльчатками, чашечными, электронными, цифровыми универсальными.

5.1. **Крыльчатый анемометр АСО-3** (Рис.8) служит для измерения средней скорости направленного воздушного потока в диапазоне измерения 0,3 ... 5 м/сек. Предел допускаемой погрешности не более $\pm 0,1 + 0,05V$ м/с. Ветроприемником анемометра служит крыльчатка, насаженная на трубчатую ось с подшипниковыми втулками. На конце трубчатой оси закреплен червяк, передающий вращение ветроприемника зубчатому редуктору счетного механизма. Счетный механизм имеет три стрелки, его циферблат имеет соответственно три шкалы: единиц, сотен, тысяч.

5.2. **Чашечный анемометр МС-13** предназначен для измерения средней скорости воздушного потока в промышленных условиях и средней скорости ветра скорости от 1,0 до 20 м/сек. Предел допускаемой погрешности не более $\pm 0,3 + 0,05V$ м/с. Ветроприемником анемометра служит четырехчашечная вертушка. Ветроприемник анемометра соединен с редуктором счетного механизма.



Рис. 1.8. Крыльчатый анемометр АСО-3



Рис. 1.9. Чашечный анемометр МС-13

6. Психрометр.

6.1. Относительную влажность воздуха в помещениях определяют с помощью психрометров. **Простой психрометр аспирационный МВ – 4М.** (Рис.10) представляет собой корпус, на котором закреплены два одинаковых ртутных термометра. Баллон одного термометра «сухой», а баллон другого – обернут тканью, конец ткани опущен в стакан с водой. По психрометрической разности и показанию «сухого» термометра, пользуясь специальными таблицами или номограммами, определяют относительную влажность воздуха. Показания прибора существенно зависят от скорости воздуха, обдувающего «мокрый» термометр, что необходимо учитывать при определении относительной влажности.

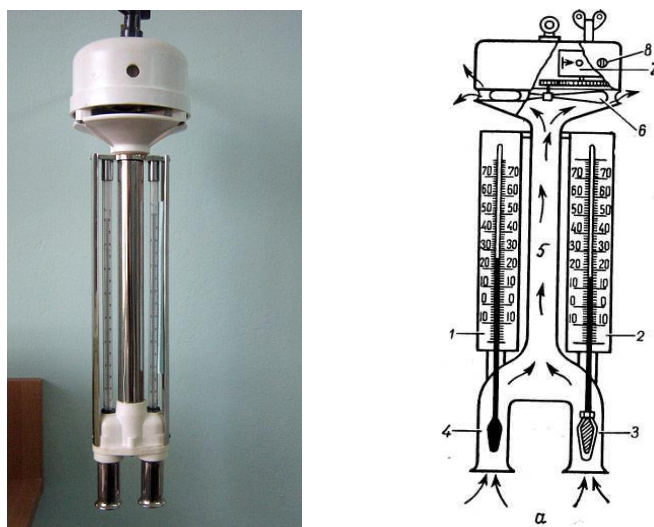


Рис. 1.10. Психрометр аспирационный МВ – 4М.

7. Гигрометр психрометрический.

7.1. **Психрометрический гигрометр типа ВИТ-1** (Рис.11) предназначен для измерения относительной влажности и температуры воздуха в помещении. Диапазон измерения относительной влажности – от 20 до 90%; температурный диапазон измерения влажности – от 5 до 25°C; диапазон измерения температуры – от 0 до 25°C. Абсолютная погрешность термометров после введения поправок составляет $\pm 0,2^\circ\text{C}$; предел допускаемой погрешности гигрометра при аспирации от 0,5 до 1 м/с составляет $\pm 5 - 7 \%$. В качестве термометрической жидкости в термометрах гигрометра используется толуол. Гигрометр типа ВИТ-1 относится к приборам полного погружения, т.е. находится полностью в измеряемой среде. Время выдержки гигрометра в измеряемой среде до начала отсчета температуры не менее 15 минут. Гигрометр представляет собой прибор, собранный на основании из полистирола. К основанию крепятся два термометра со шкалой, психрометрическая таблица, стеклянный питатель, заполняемый водой. Резервуар термометра под надписью «Увлажн.» увлажняется водой из питателя с помощью фитиля.

Метод измерения относительной влажности гигрометром основан на зависимости между влажностью воздуха и психрометрической разностью – разностью показаний «сухого» и «увлажненного» термометров, находящихся в термодинамическом равно-

веса с окружающей средой. Затем по показаниям «сухого» термометра и разности показаний «сухого» и «увлажненного» термометров определяют относительную влажность воздуха по психрометрической таблице.

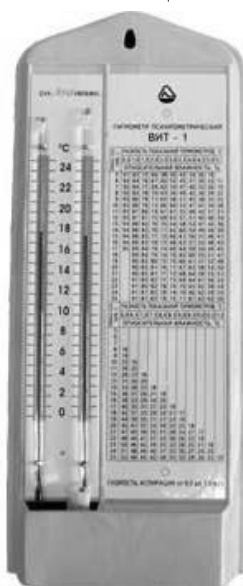


Рис. 1.11. Психрометрический гигрометр типа ВИТ-1

8. Термогигрометр.

8.1. Для измерения относительной влажности в жилых и рабочих помещениях, а также на открытом воздухе применяются *термогигрометры типа ТГЦ-МГ4* (Рис.12), которые состоят из блока индикации и измерительного преобразователя, соединенных между собой гибким кабелем. Преобразователь установлен на корпусе индикации, а гибкий кабель в скотанном состоянии находится внутри блока индикации.



Рис. 1.12. Термогигрометр типа ТГЦ-МГ4

9. Тахометр.

9.1. Приборы для измерения числа оборотов называются тахометрами. Тахометры бывают контактного и бесконтактного измерения. *Тахометр часовой ТЧ10-Р* (Рис.13) контактного типа со сменными наконечниками предназначен для кратковре-

менного (4 – 5 сек) измерения частоты вращения частей машин и механизмов, имеющих центровочные элементы, и линейных скоростей способом непосредственного присоединения. Обеспечивает диапазон измерения частоты вращения от 50 до 1000 и от 1000 до 10 000 оборотов в минуту, линейных скоростей от 10 до 100 и от 100 до 1000 м/мин. Погрешность этого прибора составляет $\pm 1\%$ от верхнего предела измерений. Тахометр состоит из счетного и часового механизмов и механизма возврата стрелок. Счетный механизм показывает число оборотов на циферблате. Для измерения частоты вращения применяются два вида наконечников с прямым и обратным конусами. Для измерения линейных скоростей применяется дисковой наконечник.

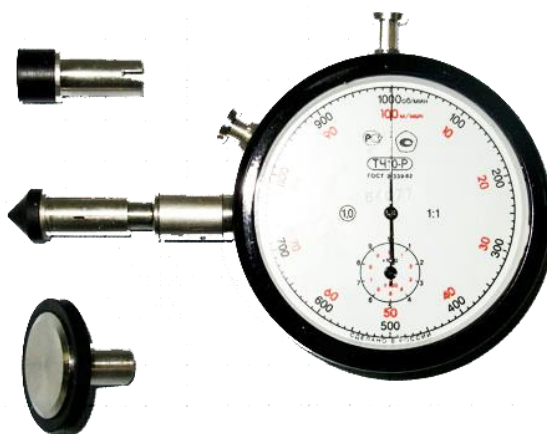


Рис. 1.13. Тахометр часовой ТЧ10-Р

10. Порядок проведения работы и оформления отчета.

1. Ознакомиться с техническими характеристиками контрольно-измерительных приборов;
2. Изучить сведения об устройстве и принципе работы приборов;
3. Провести измерения воздуха в помещении с помощью приборов;
4. Данные измерений занести в таблицу:

№	К И П	Измеряемые величины	
1	Жидкостный термометр	Температура воздуха в помещении, °С	
2	Инфракрасный термометр <i>testo 830-T1</i>	Температура поверхности отопительного прибора, °С	Температура поверхности вентиляционного воздуховода, °С
3	Барометр-анероид метеорологический <i>БАММ-1</i>	Атмосферное давление, кПа (мм рт.ст.)	
4	Термоанемометр <i>testo 410-1</i>	Скорость потока воздуха, м/с	Температура охлаждения ветром, °С
5	Чашечный анемометр <i>МС-13</i>	Скорость потока воздуха, м/с	
6	Крыльчатый анемометр <i>АСО-3</i>	Скорость потока воздуха, м/с	
7	Психрометр	Относительная влажность, %	Температура воздуха в по-

			мещении, °С
8	Психрометрический гигрометр ВИТ-1	Относительная влажность, %	Температура воздуха в помещении, °С
9	Термогигрометр ТГЦ-МГ4	Относительная влажность в помещении, %	Относительная влажность на открытом воздухе, %
		Температура воздуха в помещении, °С	Температура воздуха на открытом воздухе, °С
		Точка росы в помещении, °С	Точка росы на открытом воздухе, °С
10	Тахометр часовой ТЧ10-Р	Число оборотов вала вентилятора, об/мин	

11. Контрольные вопросы.

1. Что такое измерение и средства измерения?
2. Какие есть виды измерений?
3. Что такое диапазон измерения и погрешность измерения?
4. Как работают контактные термометры расширения?
5. Для чего предназначены манометры? Какие приборы используют для измерения давления в вентиляционной сети?
6. Для чего предназначены анемометры? Какие виды анемометров вы знаете?
7. Какими приборами измеряют относительную влажность воздуха?
8. Для чего предназначен часовой тахометр?

ПРИЛОЖЕНИЕ к лаб. раб. №1

ИНФРАКРАСНЫЙ ТЕРМОМЕТР testo 830-T1

1. Включение прибора: ▲ или кнопка измерений. Кратковременно загораются все сегменты дисплея. Прибор переключается в состояние ИК-измерений. После каждого нажатия кнопки включается подсветка дисплея на 15 сек.

2. Выполнение измерений.

Начало измерений: Нажмите и удерживайте ▲ или кнопку измерений. Направьте точку лазера на измеряемый объект (лазерная точка указывает центр пятна измерений). Отображаются текущие измерения.

Окончание измерений: Отпустите кнопку. Загорится **HOLD**. Последние показания сохраняются до следующего измерения.

3. Выключение прибора: Нажмите и удерживайте ▼, пока дисплей не потемнеет. При бездействии прибор отключается через 1 мин.

Примечание.

1. Не смотрите в лазерный луч.
2. При измерениях на частях, находящихся под напряжением соблюдайте необходимую дистанцию безопасности (0,5 ... 5 м).

3. Не подвергайте прибор воздействию электромагнитного излучения, статического напряжения, высоких температур или больших перепадов температуры.

БАРОМЕТР – АНЕРОИД МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ БАММ-1

1. Рабочее положение барометра – горизонтальное. Для устранения влияния позиционных ошибок следует установить барометр так, чтобы при визуальном осмотре не был затенен какой-либо наклон шкалы барометра. Барометр должен быть защищен от влияний прямого солнечного света и резких колебаний температуры.

2. При изменении атмосферного давления отсчитывают показание барометра, соблюдая следующие условия:

- а) перед отсчетом, для устранения влияния трения в механизме барометра, необходимо слегка постучать по корпусу или стеклу барометра;
- б) во избежание искажений при отсчете угол зрения должен быть перпендикулярен к плоскости шкалы;
- с) отсчет по барометру производить с точностью до 0,05 кПа (0,5 мм рт. ст.).

3. Отсчет по барометру должен быть исправлен введением в его показания поправок, указанных в таблице:

Показания шкалы, кПа	Поправка, кПа	Показания шкалы, кПа	Поправка, кПа
106	+0,29	92	+0,09
105	+0,21	91	+0,09
104	+0,14	90	+0,09
103	+0,12	89	+0,09
102	+0,09	88	+0,09
101	+0,11	87	+0,09
100	+0,09	86	+0,09
99	+0,06	85	+0,09
98	+0,04	84	+0,09
97	+0,04	83	+0,06
96	+0,04	82	+0,04
95	+0,04	81	+0,02
94	+0,04	80	-0,01
93	+0,06		

ТЕРМОАНЕМОМЕТР *testo 410-1*

1. Для обеспечения точного измерения расположите прибор таким образом, чтобы поток воздуха был направлен с тыльной стороны прибора.

2. Включение прибора. Нажмите кнопку «*Включение/выключение*». Прибор в режиме измерения.

3. Измерение параметров: Нажмите кнопку ▲ несколько раз, пока не отобразится необходимый параметр.

а) Нажмите кнопку «**Mode**» несколько раз, пока не отобразятся индикаторы **Hold** и **Avg**;

б) Нажмите и удерживайте кнопку «**Mode**» пока не отобразится «- - - -»;

с) Отпустите кнопку «**Mode**», начнется расчет значения, усредненного по времени, на экран выводятся текущие данные.

4. Окончание измерения: Нажмите кнопку «**Mode**», на экране отобразится средний показатель.

5. Нажмите и удерживайте кнопку «*Включение/выключение*» в течение 2 секунд пока дисплей не погаснет.

АНЕМОМЕТР ЧАШЕЧНЫЙ МС – 13

1. В измеряемом воздушном потоке анемометр устанавливают вертикально и через 10-15 секунд одновременно включают механизм анемометра и секундомер поворотом против часовой стрелки.

2. Экспонирование анемометра в воздушном потоке производят в течение 1 – 2 мин.

3. По истечении этого времени механизм и секундомер выключают поворотом по часовой стрелке и записывают показания по шкалам анемометра и время экспозиции в секундах. Разность между конечным и начальным отсчетом делят на время экспозиции и определяют число делений шкалы, приходящихся на одну секунду.

АНЕМОМЕТР КРЫЛЬЧАТЫЙ АСО – 3

1. Перед началом работы включают с помощью арретира передаточный механизм поворотом против часовой стрелки и записывают начальное показание счетчика по трем шкалам. После этого анемометр устанавливают в воздушном потоке ветроприемником навстречу потоку и ось крыльчатки вдоль направления потока. Через 10–15 секунд одновременно включают механизм анемометра и секундомер.

2. Анемометр держат в воздушном потоке в течение 1-2 минут. После этого механизм и секундомер включают, записывают конечное показание счетчика и время экспозиции в секундах и делением разности конечного и начального показаний счетчика на время экспозиции определяют число делений, приходящихся на одну секунду.

3. Скорость потока определяют по градуировочному графику, приложенному к анемометру, следующим образом:

а) На вертикальной оси графика отыскивают число, соответствующее числу делений шкалы счетчика анемометра в секунду.

- b) От этой точки проводится горизонтальная линия до пересечения с прямой графика.
- c) Из полученной точки пересечения опускается вертикальная линия до пересечения с горизонтальной осью.
- d) Точка пересечения дает искомую скорость воздушного потока в м/с.

Примечание.

- Анемометр требует осторожного обращения во избежание механических повреждений. Из-за повреждения ветроприемника могут быть нарушены градуировочные характеристики анемометра.

- Не следует подвергать анемометр действию скорости потока выше 5 м/с.
- В промежутках между измерениями прибор должен храниться в футляре.

ГИГРОМЕТР ПСИХРОМЕТРИЧЕСКИЙ типа ВИТ-1

Подготовка к работе:

1. Снимите питатель с основания. Заполните питатель дистиллированной водой. Заполнение производится путем погружения питателя в сосуд с водой запаянным концом вниз.

2. Установите питатель на основании таким образом, чтобы от края открытого конца питателя до резервуара термометра было расстояние не менее 20 мм, а фитиль не касался открытого конца питателя.

*Примечание. **Внимание!*** Перед установкой питателя в рабочее положение смочите фитиль и резервуар «увлажненного» термометра водой из питателя.

Порядок измерения:

1. Измерение относительной влажности гигрометром проводится только после установления показаний термометров гигрометра (время выдержки в измеряемой среде – 30 мин).
2. Снимите показания по «сухому» и «увлажненному» термометрам.
3. Вычислите разность температур по «сухому» и «увлажненному» термометрам.
4. Определите относительную влажность воздуха по психрометрической таблице. Искомая относительная влажность будет на пересечении строк температуры по «сухому» термометру и разности температур по «сухому» и «увлажненному» термометрам.

Термометры	Измеренные температуры, °С	Разность $T_c - T_b$ по таблице, °С	Относительная влажность, %
«Сухой»	$T_c =$		
«Увлажненный»	$T_b =$		

ТАХОМЕТР ЧАСОВОЙ ТЧ 10-Р

Порядок измерения:

1. Для измерения частоты вращения необходимо:

– наконечник приводного вала тахометра прижать к торцу испытуемого вала так, чтобы их оси совпадали, и вал тахометра пришел во вращение;

– нажать до упора и отпустить кнопку «пуск», при этом часовой механизм тахометра должен начать работать.

2. После остановки механизма отсоединить наконечник тахометра от измеряемого вала, произвести отсчет показаний на шкале.

*Примечание. **Внимание!*** Между двумя последовательными включениями тахометра следует делать выдержку 30 секунд во избежание искажения показаний прибора.

ТЕРМОГИГРОМЕТР ТГЦ-МГ4

Порядок измерения:

1. На лицевой панели электронного блока размещен ЖК индикатор и клавиатура, состоящая из пяти кнопок: «ВКЛ», «Режим», «Ввод», ▲, ▼.

2. В верхней части электронного блока расположены гнезда соединительных разъемов для подключения первичного преобразователя.

3. Включение прибора и его отключение производится кратковременным нажатием кнопки «ВКЛ».

4. Внести первичный преобразователь в зону контроля, после чего на индикаторе высвечиваются текущие значения относительной влажности и температуры.

5. Вывод на дисплей температуры точки росы в процессе измерения влажности и температуры осуществляется нажатием кнопки ▲.

6. Возврат к экрану индикации влажности и температуры осуществляется нажатием кнопки ▼.

7. Занесение результатов измерений в Архив осуществляется нажатием кнопки «Ввод» в момент стабилизации значений влажности и температуры.

Примечание.

- При проведении измерений в условиях перепада температуры воздуха более чем на 3 ... 5 °С (преобразователь вынесен из помещения и установлен на улице либо в камере с большей или меньшей температурой) время установления показаний увеличивается на 5 ... 7 минут на каждые 10 °С перепада температур.

- При проведении измерений следует фиксировать преобразователь прибора в месте измерений, не допуская значительных его колебаний.

ПСИХРОМЕТР АСПИРАЦИОННЫЙ МВ – 4М

Порядок измерения:

1. Включают вентилятор в сеть.
2. Отсчет по термометру производится на 4-й минуте после пуска вентилятора.
3. Снимают показания «сухого» и «мокрого» термометров.
4. Вычисление относительной влажности воздуха φ по показаниям психрометра производится по *психрометрическим таблицам, психрометрическому графику или по $I - d$ диаграмме.*

5. Определение относительной влажности по психрометрическому графику производится в следующем порядке: по вертикальным линиям отмечают показания «сухого» термометра, а по наклонным – показания «мокрого» термометра; на пересечении этих линий получают значение относительной влажности, выраженное в процентах.

6. Определение относительной влажности воздуха φ по $I - d$ диаграмме производится графическим путем. Для этого проводим изотерму, соответствующую температуре «мокрого» термометра $t = const$ до пересечения с кривой полного насыщения $\varphi = 100\%$ (точка А). Т.к. с поверхности «мокрого» термометра при установившемся состоянии влага испаряется за счет теплосодержания воздуха, то изменение состояния воздуха пойдет по линии постоянного теплосодержания I . Проводя из точки А линию $I = const$ до пересечения с изотермой, соответствующей температуре «сухого» термометра, получим точку Б, которая соответствует значению относительной влажности воздуха.

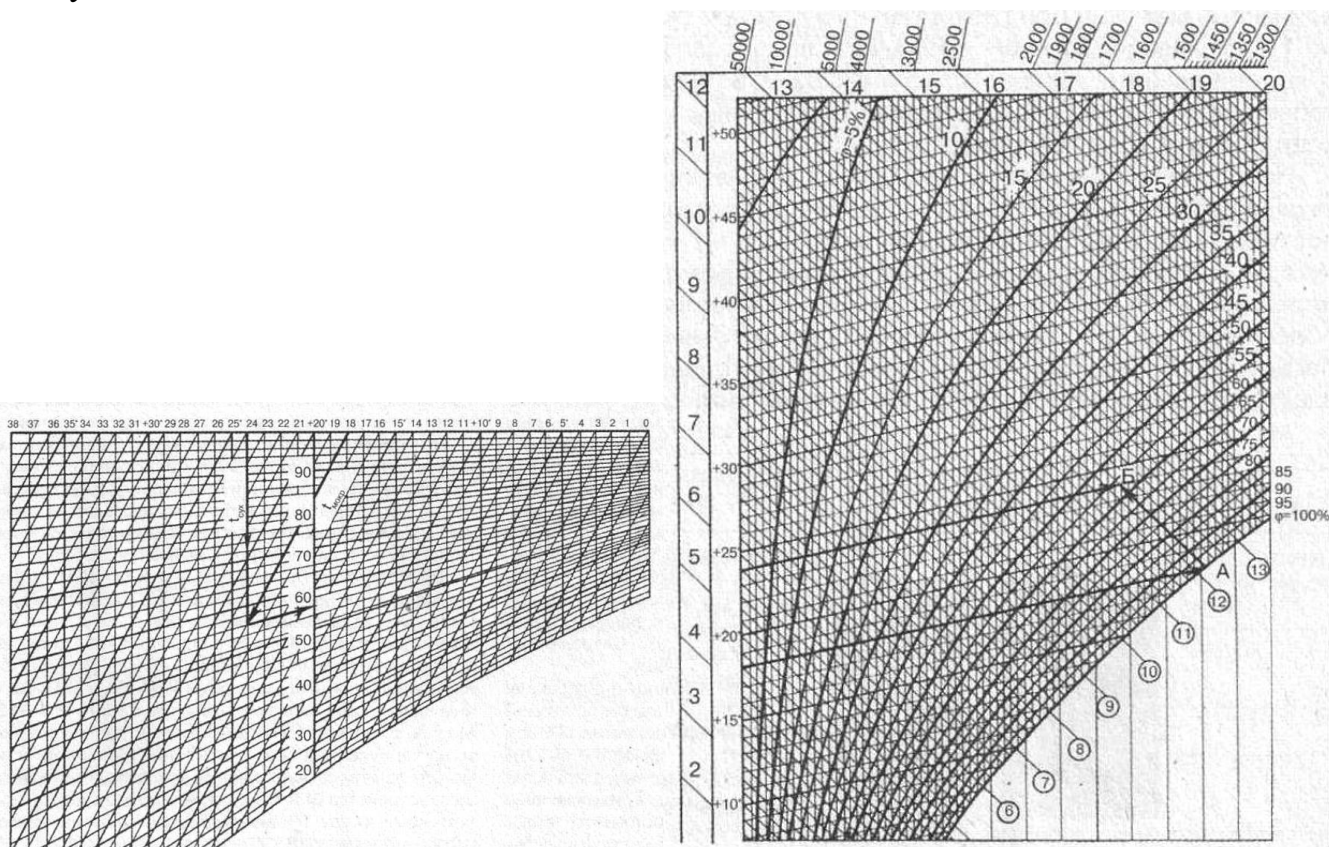


Рис. 1.14. Определение относительной влажности воздуха

Лабораторная работа № 2

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРЧАТЫХ ФИЛЬТРОВ

Цель работы: Исследование аэродинамического сопротивления матерчатых фильтров (из различных материалов) и построение графической его зависимости от удельных нагрузок.

Основные положения теории

Загрязнение атмосферного воздуха пылью вызывает необходимость его очистки в приточных системах вентиляции. Очистка приточного воздуха необходима во всех случаях, если запыленность наружного воздуха превышает 30 % ПДК пыли, установленной для помещений. Кроме того, приточный воздух необходимо очищать для защиты вентиляционного оборудования (теплообменников, оросительных устройств, автоматики и др.) от запыления. Воздух помещений промышленных, коммунально-бытовых и других предприятий загрязняется в результате выделения пыли в процессе работы на них.

В зависимости от концентрации и дисперсности пыли для очистки приточного воздуха применяются различного рода фильтры, удерживающие пыль своей пористой средой. Для очистки сильно загрязненного воздуха устанавливаются несколько фильтров, тонкость очистки воздуха которыми последовательно по ходу его движения возрастает. Такая мера обеспечивает защиту фильтров тонкой очистки от забивания крупной пылью, увеличивает срок их действия и улучшает качество очистки.

К числу основных показателей работы обеспыливающих устройств относятся: степень очистки, пропускная способность, пылеёмкость, аэродинамическое сопротивление, расход энергии.

Воздушные фильтры отличаются умеренным сопротивлением и небольшим относительным объемом.

Фильтры выбирают с учетом начальной запыленности воздуха и допускаемой остаточной концентрации пыли в воздухе после его очистки, т.е. по их эффективности. Одновременно принимают во внимание начальное сопротивление фильтра и изменение сопротивления при запылении фильтра, а также его конструктивные и эксплуатационные особенности.

Все фильтры в зависимости от эффективности их действия делят на три класса: I, II и III класс. Коэффициент очистки в фильтрах I класса составляет не менее 0,99, при этом задерживаются частицы пыли любых габаритов. Фильтры II класса имеют коэффициент очистки более 0,85 и происходит задержка частиц размером более 1 мкм. Коэффициент очистки в фильтрах III класса превышает 0,60. В них осуществляется задержка частиц размерами более 10 – 50 мкм.

Описание установки:

Стенд испытаний фильтров воздушных СИФВ

1. Корпус стенда для испытания фильтров воздушных СИФВ состоит из каркаса, выполненного из алюминиевого профиля и установленного на стальной раме с регулируемыми опорами, позволяющими выставить стенд на нужную высоту. На каркас крепятся панели обшивки, изготовленные из стальных оцинкованных листов и заполненные теплоизоляционным материалом.

2. Конструктивно стенд для испытания фильтров воздушных выполнен в виде моноблока. В его конструкцию входят следующие функциональные элементы: фильтр типа ФяК 5662 класс очистки F5 (1); фильтр воздушный типа ФВС класс очистки G4 (2); вентилятор осевой (3); воздуховод прямоугольного сечения 550x550 мм и длиной 1,25 м.

Расшифровка условного обозначения – ФяК 5662:

ФяК – фильтр ячейковый карманный;

ФВС – фильтр воздушный складчатый;

5 – класс фильтра F5;

6 – длина карманов – 600 мм;

6 – количество карманов – 6 шт.;

2- габаритные размеры входного сечения 592x592 мм (см. таблица в каталоге вентиляторов).

Ячейковые карманные фильтры 1-ой ступени (тип F5), воздушные сетчатые фильтры 1-ой ступени (тип G4).

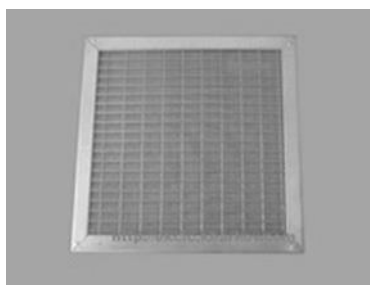
Функция и применение:

- В качестве единственного фильтра в системах вентиляции и кондиционирования воздуха для помещений с обычными требованиями по чистоте воздуха.
- В качестве фильтра 1-ой ступени перед фильтрами более высокого класса для помещений с высокими требованиями по чистоте воздуха (гостиницы, рестораны, кинотеатры, театры, торговые центры, концертные залы).

Устройство:



а)



б)

Рисунок 2.1. Фильтры: а) – карманный; б) – складчатый.

Карманные фильтры

Фильтрующие карманы длиной 600 мм, закрепленные в металлической раме толщиной 25 мм. Фильтрующая ткань из полиэстрового волокна.

Фильтр состоит из металлической рамки и фильтрующего материала, сшитого в виде карманов.

Рамка фильтра выполнена из оцинкованной стали и имеет оригинальную конструкцию. Карманы фильтра закреплены механически.

Швы карманов термически спаяны. Это одновременно придает жесткость конструкции фильтра и обеспечивает полную герметичность.

Держатели зазоров, выполненные из тонкой водо- и воздухопроницаемой синтетической ткани, препятствуют сильному раздуванию и слипанию смежных карманов фильтра, обеспечивая равномерный зазор между стенками карманов как внутри них, так и снаружи.

Спаянные, термически формованные карманы, специально рассчитанная жесткость фильтроматериала, держатели зазоров - все эти факторы не дают карманам провисать даже при большой загрузке пылью и обеспечивают равномерную фильтрацию воздуха по всей площади фильтра, что существенно продлевает срок службы воздушного фильтра.

Сетчатые фильтры

Фильтры воздушные сетчатые типа ФВС предназначены для грубой очистки наружного или рециркуляционного воздуха при его большой запыленности и применяются в системах вентиляции и кондиционирования на предприятиях различных отраслей промышленности, в условиях умеренного климата. Фильтры обеспечивают эффективную очистку атмосферного воздуха от пыли с размерами частиц 5...10 мкм и могут применяться в качестве предварительной ступени очистки. Окружающая среда и фильтруемый воздух не должны содержать агрессивных газов и паров в количествах, превышающих требования санитарных норм.

- Фильтры состоят из металлического оцинкованного корпуса, внутри которого между двумя опорными решетками размещается фильтровальный материал.

- В плоских фильтрах могут быть использованы объемные нетканые фильтрующие материалы. Фильтрующий материал представляет собой нетканый волокнистый слой из полипропиленовых или полиэтиленовых волокон диаметром 25 – 40 мкм.

Средняя степень очистки – 92%. Предельный перепад давлений: G4 – $\Delta P=150$ Па, F5 – $\Delta P=250$ П.

Частота смены фильтрующего материала зависит от потока и загрязненности воздуха, а также степени фильтрации фильтрующего материала

Важнейшими показателями воздушных фильтров является их эффективность, пылеемкость, аэродинамическое сопротивление и производительность.

Эффективность очистки η определяется отношением количества уловленной пыли $G_{ул}$ к количеству пыли поступающей G :

$$\eta = \frac{G_{ул}}{G} \cdot 100\% . \quad (2.1)$$

Пылеёмкость определяется массовым количеством пыли, задержанной 1 м² поверхности фильтра, при удвоенном его аэродинамическом сопротивлении $P_{ср}$, Па.

Аэродинамическое сопротивление фильтра $P_{ф}$ зависит от воздушной нагрузки $L_{ф}$, м³/(м²ч).

Производительность (нагрузка на 1 м²) фильтра определяется измерением средней скорости $v_{ср}$ в сечении после фильтра анемометром и измерением площади сечения:

$$L_{ф} = (3600 \cdot v_{ср} \cdot F) / F. \quad (2.2)$$

Методика проведения опыта

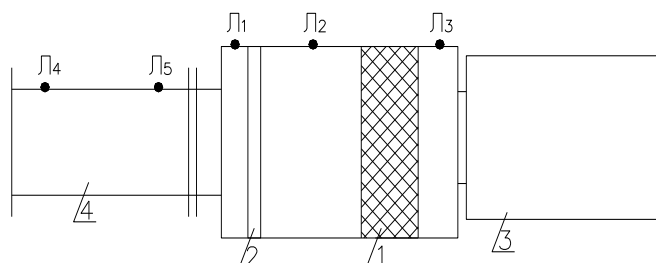


Рисунок 2.2. Стенд для испытания фильтров воздушных СИФВ-6/6. 1-карманный фильтр; 2-касетный фильтр; 3-вентилятор осевой; 4-воздуховод прямоугольный $l=1,25$ м 550х550мм; Л1-Л5-лючки для замеров.

Вентилятором воздух по воздуховоду подается в камеру, где установлены фильтры. Измерение скорости воздуха осуществляется в сечении 4 – 4 с помощью анемометра и вычисляется воздушная нагрузка фильтров $L_{ф}$.

$$L_{ф} = L / F , \quad (2.3)$$

$$L = 3600 F v , \quad (2.4)$$

где L – расход воздуха, м³/ч; $F=0,43$ – площадь входного сечения фильтров, м²; v – скорость движения воздуха, м/с.

Сопротивление фильтров определяется по показаниям микроманометра с трубками Пито для измерения полного и динамического давлений.

Потери давления при проходе воздуха через фильтры равны разности полных давлений в сечениях 1 – 1 и 3 – 3:

$$\Delta P = P_{п1} - P_{п3} , \quad (2.5)$$

$$P_{п1} = P_{с1} + P_{д1} , \quad (2.6)$$

$$P_{п3} = P_{с3} + P_{д3} , \quad (2.7)$$

где $P_{с1}$, $P_{с3}$ – статическое давление в сечениях 1 – 1 и 3 – 3; $P_{д1}$, $P_{д3}$ – динамическое давление в сечениях 1 – 1 и 3 – 3.

Так как площади поперечных сечений фильтров равны и скорости воздуха одинаковы, то $P_{д1} = P_{д3}$.

Следовательно, потеря давления ΔP между сечениями 1 – 1 и 3 – 3 при движении воздуха равна разности статических давлений в этих сечениях которую можно зафиксировать микроманометром,

$$\Delta P = P_{c1} - P_{c3} . \quad (2.8)$$

Для того, чтобы вычислить значение потери давления в фильтрах, следует учесть потери давления на трение о стенки камеры, где установлены фильтры.

$$P_{\phi} = (P_{c1} - Rl) - (P_{c3} + Rl) = P_{c1} - P_{c3} - 2Rl , \quad (2.9)$$

где R – потери давления на трение, Па/м (значение R находим по таблицам, вычислив d , и определив скорость движения воздуха); $l = 1,17$ м – расстояние между Л1 и Л3.

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

$F, \text{ м}^2$	$L, \text{ м}^3/\text{ч}$	$L_{\phi}, \text{ м}^3/\text{ч}$	$v, \text{ м/с}$	$P_{c1}, \text{ Па}$	$P_{c3}, \text{ Па}$	$\Delta P, \text{ Па}$	$R, \text{ Па/м}$	$P_{\phi}, \text{ Па}$

Контрольные вопросы

1. Каковы основные функции, показатели и область применения фильтров?
2. Где и в каких случаях применяются воздушные фильтры?
3. Что такое пылеемкость фильтра?
4. Как изменяется аэродинамическое сопротивление фильтра во время его эксплуатации?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВСАСЫВАЮЩЕГО ФАКЕЛА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ В ТОРЦЕ ВСАСЫВАЮЩЕГО ВОЗДУХОВОДА.

Цель работы: Исследование всасывающего факела, образующегося в торце всасывающего воздуховода.

Теория вопроса

Устройства воздухоудаления представляют собой приемные отверстия вытяжного и рециркуляционного воздуха, оборудованные решетками и перфорированными панелями. К вытяжному отверстию воздух движется со всех сторон в пределах всасывающего факела, имеющего весьма ограниченные размеры активного действия (рис. 3.1). Закономерности образования всасывающих факелов используются при расчете местной вытяжной вентиляции в производственных условиях.

Движение воздуха у нагнетательного отверстия распространяется в виде струи на значительное расстояние, а у всасывающего отверстия зона движения воздуха очень мала. При всасывании в устройство воздухоудаления воздух поступает со всех сторон. На рис. 3.1 показаны линии равных скоростей и линии токов для всасывающего отверстия. Закономерности течения воздуха в этом случае зависят от формы отверстия: у круглого отверстия уже на расстоянии одного диаметра скорость воздуха составляет всего 5% от скорости в центре отверстия, т.е. на расстоянии $x = 2R_0$ скорость составляет лишь 5% начальной скорости V_0 .

Зона всасывания у вытяжного отверстия щелевидной формы больше по размерам и более активна, чем у круглого или квадратного отверстий, так как у щелевидного отверстия не точечный, а линейный сток.

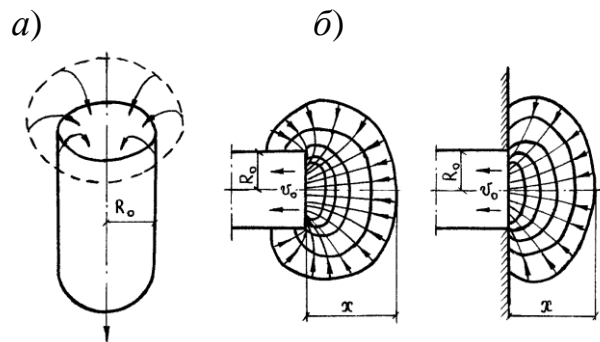


Рис. 3.1. Спектры всасывания круглого отверстия: *a* – с острыми кромками; *б* – заделанного в стенку.

Скорость воздуха затухает вблизи от всасывающего отверстия. Линии тока совпадают с радиусами, направленными к центру отверстия.

Совокупность кривых линий одинаковых скоростей всасывания называют спектром скоростей всасывания (рис. 3.1). Кривые линии равных скоростей воздуха называют изотаксами.

Максимальное расстояние от плоскости всасывания до границы спектра по оси потока составляет лишь немногим больше диаметра всасывающего отверстия. Быстрое затухание скоростей всасывания у вытяжного отверстия приводит к выводу, что местные отсосы будут достаточно эффективны по улавливанию пыли и вредных газов только в том случае, когда они установлены в непосредственной близости от мест вредных выделений.

Зависимость изменения осевых скоростей всасывающих факелов имеет следующий вид:

$$\frac{V_x}{V_0} \approx \frac{V_x}{V_{cp}} = \frac{1}{1+k \left(\frac{x}{\sqrt{F}}\right)^{14}}, \quad (3.1)$$

где V_x – осевая скорость всасывающего факела на расстоянии от всасывающего патрубка, м/с;

V_0 – осевая скорость во всасывающем патрубке, м/с;

V_{cp} – средняя скорость в сечении всасывающего патрубка, м/с;

x – расстояние по оси от всасывающего патрубка, на котором определяется осевая скорость, м;

F – площадь поперечного сечения всасывающего патрубка (550x550мм), м²;

k – опытный коэффициент (коэффициент затухания для струй) для круглого и квадратного (прямоугольного) сечений, равный 7,7.

При выполнении работы необходимо определить зону действия всасывающего факела квадратного (прямоугольного) воздуховода, измерить осевую скорость на расстоянии x от всасывающего отверстия и сопоставить ее значение с величиной, полученной по выражению (1), а также выявить изменения осевой скорости в зоне действия факела.

Опытная установка и методика проведения опытов

Установка состоит из вентилятора 1, всасывающего воздуховода 2 и анемометра 3, закрепленного на передвижном штативе 4. Зона действия всасывающего факела, образующегося во всасывающем отверстии воздуховода при включенном вентиляторе 1, определяется путем перемещения анемометра 3 по оси струи в направлении от всасывающего отверстия на расстояние, когда крыльчатка анемометра перестает вращаться. Измерив, расстояние от всасывающего патрубка до места остановки анемометра, получают величину зоны действия всасывающего факела.

На расстоянии x от всасывающего патрубка анемометром 3, установленным по оси, измеряется осевая скорость V_x .

Для нахождения величины V_x по выражению (3.1) и сопоставления с величиной V_x , полученной непосредственным измерением, тем же анемометром измеряют осевую скорость в сечении всасывающего патрубка V_0 , а также площадь всасывающего отверстия F , м².

Изменение осевой скорости факела по мере удаления от всасывающего патрубка измеряется анемометром при перемещении его по оси через интервалы 20-30 мм до полной остановки крыльчатки.

Изменение осевой скорости факела представляется в виде графика, на оси абсцисс которого откладывают расстояние от всасывающего отверстия x (мм), на оси ординат – скорости V_x (м/с). Результаты измерений и расчетов сводятся в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№ Измерения	Осевая скорость во всасывающем патрубке	$F, \text{ м}^2$	$x, \text{ м}$	Осевая скорость на расстоянии x	Аналитические данные $V_x, \text{ м/с}$ по формуле (1)
	Показания анемометра $V_o, \text{ м/с}$			Показания анемометра $V_x, \text{ м/с}$	
1					
2					
3					

Контрольные вопросы

1. Что называется струей воздуха? Как классифицируют струи в зависимости от аэродинамического режима?
2. Классификация по изотермичности, по истечении, по геометрической форме. Дать определение.
3. От чего зависят закономерности течения воздуха у всасывающего отверстия?
4. Зависимость скорости воздуха всасывающего факела от расстояния.
5. Разновидности веерных струй.

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ КАМЕРЫ АКЭ-3-3 .

Цель работы: Изучить работу приточной камеры.

Теоретические основы работы

Приточные установки предназначены для использования в промышленном и гражданском строительстве, в том числе в общественном и жилом. Раздача воздуха может осуществляться как по сети воздуховодов, так и непосредственно в помещение. Агрегаты предназначены для обработки воздуха, не содержащего включений, агрессивных к сталям обыкновенного качества, а также взрывоопасных смесей, липких, волокнистых и абразивных материалов, с запыленностью не более 100 мг/м^3 .

Приточные установки осуществляют фильтрацию свежего воздуха, при необходимости его нагрев (в холодное время года) и подачу в систему воздуховодов для последующей раздачи по помещениям.

При подборе приточных вентиляционных установок учитываются:

- Производительность по воздуху ($\text{м}^3/\text{ч}$). Благодаря широкому модельному ряду может составлять от нескольких десятков до нескольких десятков тысяч $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$L = 3600 F \cdot v \quad (4.1)$$

где F – площадь сечения в створе ТЭНов электрокалорифера ($F = 0,093 \text{ м}^2$),

v – скорость воздушного потока, м/ч .

- Мощность подогревателя (кВт). Величина мощности определяется из условия подогрева в зимнее время свежего воздуха. Требуемую электрическую мощность электрокалорифера можно рассчитать по формуле:

$$P = L \cdot 0,36 \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вход}}) \quad (4.2)$$

где P – электрическая мощность калорифера, Вт,

L – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{час}$,

$(t_{\text{вых}} - t_{\text{вход}})$ – разница температур на входе и выходе из электрокалорифера, $^{\circ}\text{C}$.

- Теплопроизводительность электрокалорифера (кДж):

$$Q = G \cdot c (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) \quad (4.3)$$

$$G = L \cdot \rho \quad (4.4)$$

где G – массовый объем воздуха, проходящего через камеру (кг/ч);

ρ – плотность воздуха в сечении, где производилось измерение скорости;

$c = 1,005$ ($\text{кДж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$) – теплоемкость воздуха.

- Напор или внешнее статическое давление (кПа).
- Уровень шума (ДБ). Система автоматического управления приточной установкой позволяет ступенчато или плавно регулировать тепловую мощность калорифера, что определяет выходную температуру воздуха из установки на

зимнем режиме работы. Также существует возможность подключения таймера для регулировки температурных параметров на переходных режимах.

Описание опытной установки

Агрегат канальный электрический АКЭ-3-3 предназначен для зданий промышленного и сельскохозяйственного назначения в качестве вентиляционных и отопительно-вентиляционных установок.

- Габаритные размеры агрегата: длина – 960 мм; ширина – 400 мм; высота – 400 мм.
- Масса общая 50 кг;
- Расход воздуха 70 ... 400 ± 10 м³/ч;
- Клапан воздушный с ручным приводом КВ 330х210.
- Фильтр ячейковый гофрированный ФВС G4 305х305х48, класс очистки G4.
- Электрокалорифер ТЭН 195 А 10/1,5 Т220 – 2 шт.; мощность 3,0 кВт.
- Вентилятор D2E 140-NR97-07; количество оборотов рабочего колеса – 2235 об/мин; установленная мощность двигателя – 0,13 кВт; максимальный ток – 0,58 А; 3 ступени регулирования.

Устройство и принцип работы

1. Агрегат представляет собой сборную моноблочную конструкцию (Рис. 4.1) в виде каркаса из алюминиевого профиля. На каркас крепятся панели обшивки и двери.

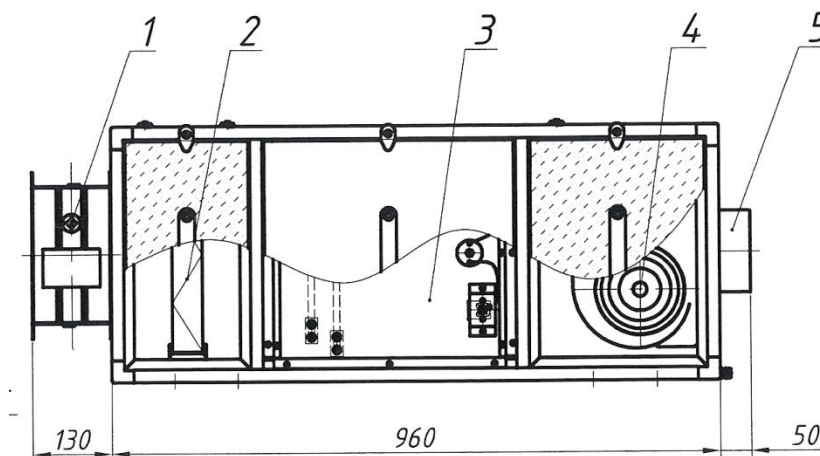


Рис. 4.1. Агрегат канальный электрический АКЭ-3-3.

2. В агрегат входят следующие функциональные элементы: клапан воздушный типа КВ с ручным приводом (1); фильтр воздушный типа ФВС класс очистки G4 (2); электрокалорифер с ТЭНами мощностью 3,0 кВт (3); вентилятор D2E с двигателем (4); присоединительный выходной воздуховод (5).

3. В качестве вентилятора приточного используется вентилятор на основе двигателя с внешним ротором.

4. Прием и регулирование количества приточного воздуха осуществляется клапаном воздушным КВ. Клапан воздушный установлен на торцевой панели агрегата и состоит из корпуса, лопаток поворотных, уплотнений, шестерен и стержня приводного. Корпус с фланцем и лопатки поворотные изготовлены из алюминиевого сплава, уплотнение из профилированной резины, шестерни изготовлены из нейлона. В связи плотным примыканием пустотелых лопаток между собой и корпусом, клапан относится к незамерзающим и не требующим обогрева. Клапан оснащается электроприводом для плавного двухпозиционного регулирования («открыто – закрыто»). Регулирование количества подаваемого воздуха осуществляется путем поворота лопаток с помощью механизма привода.

5. Фильтр воздушный ФВС служит для обеспыливания приточного воздуха и предупреждения засорения поверхности ТЭНов от загрязнений. Фильтр представляет собой рамку из оцинкованной стали, внутри которой уложен фильтрующий материал в виде гофр, опирающихся со стороны выхода воздуха на сетку гофрированной формы.

6. Для подогрева приточного воздуха, подаваемого в помещение до заданной температуры, в агрегате установлены ТЭНы мощностью 3,0 кВт. ТЭНы предназначены для подогрева чистого движущегося воздуха, не содержащего горючие или взрывоопасные примеси, испарения химикатов и т.д.

7. Агрегат осуществляет приток воздуха в обслуживаемое помещение через систему воздухопроводов, присоединяемых к агрегату. При этом приточный воздух поступает через клапан воздушный на фильтр. Затем очищенный воздух нагревается до требуемой температуры на ТЭНах и вентилятором подается в систему вентиляции обслуживаемого помещения.

При пуске агрегата включается вентилятор, открывается клапан воздушный – система находится в состоянии автоматического регулирования.

8. Управление работой агрегата в заданном режиме осуществляется системой автоматического управления и защиты (САУ). САУ состоит из шкафа автоматического управления (далее по тексту ШАУ), встроенного в агрегат и выносного пульта управления (комнатный контроллер), обеспечивающих контроль и управление компонентами вентиляционных агрегатов. САУ обеспечивает:

- включение двигателя приточного вентилятора;
- переключение скоростей приточного вентилятора (при комплектации агрегата многоскоростным вентилятором);

- задержку на выключение двигателя приточного вентилятора в режиме “Продувка” для обеспечения охлаждения нагревательных элементов после выключения агрегата;
- управление воздухом нагревателем электрическим;
- продувку электрического нагревателя после выключения установки. Данная функция обеспечивает обдув нагревательных элементов в течение установленного времени (2 мин.), чтобы избежать перегрева нагревательного элемента;
- индикацию аварийных статусов;
- индикацию загрязненности фильтров.

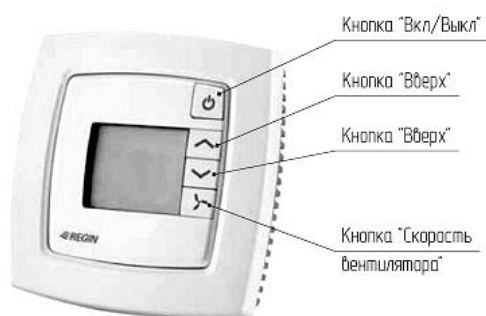


Рис. 4.2. Выносной пульт Regio RC с дисплеем.



Рис.3. Дисплей выносного пульта Regio RC.

Методика проведения опыта

Изучение приточной камеры включает в себя следующие операции:

1. Замер **полного давления** воздуха до и после приточной установки.
2. Замер **статического давления** до и после каждой секции приточного агрегата.
3. Замер **скорости воздушного потока** (после приточной камеры в выходном воздуховоде).
4. Определение **расхода воздуха**, проходящего через установку L ($\text{м}^3/\text{ч}$).
5. Производят не менее двух циклов **замера температур воздуха** до и после нагревателя, продолжительность цикла при этом не менее 20 минут. - Измерения производят при установившемся режиме. Установившийся режим характеризуется стабильностью температур воздуха до и после воздушнонагревателя.
6. Определение **сопротивления по воздуху** как разность полных давлений до и после приточной камеры.

Потери давления при проходе воздуха через секции агрегата равны разности полных давлений до и после секции:

$$\Delta P = P_{п1} - P_{п2} , \quad (4.5)$$

$$P_{п1} = P_{с1} + P_{д1} , \quad (4.6)$$

$$P_{п2} = P_{с2} + P_{д2} , \quad (4.7)$$

Так как площади поперечных сечений камеры равны и скорости воздуха одинаковы, то $P_{д1} = P_{д2}$.

Следовательно, потеря давления ΔP между сечениями при движении воздуха равна разности статических давлений в этих сечениях которую можно зафиксировать микроманометром,

$$\Delta P = P_{с1} - P_{с2} . \quad (4.8)$$

Определение внутреннего аэродинамического сопротивления установки. Внутреннее аэродинамическое сопротивление установки состоит из суммы сопротивлений ее компонентов.

$$\Delta P_{уст} = \Delta P_{клапана} + \Delta P_{фильтра} + \Delta P_{калорифера} + \Delta P_{вентилятора} \quad (4.9)$$

Сравнение результатов измерения аэродинамического сопротивления приточной камеры с теоретически рассчитанными.

Определение эффективности использования приточной установки, т.е. определение полезной мощности приточной камеры. Полезная мощность – мощность, затраченная на преодоление аэродинамического сопротивления:

$$E = \frac{N_{уст}}{N_{вентилятора}} , \quad (4.10)$$

где мощность вентилятора $N_{вент} = 0,13$ кВт;

$$\begin{aligned} N_{уст} &= N_{клапана} + N_{фильтра} + N_{калорифера} = \\ &= \Delta P_{кларана} \cdot L + \Delta P_{фильтра} \cdot L + \Delta P_{калорифера} \cdot L = \\ &= L \cdot (\Delta P_{кларана} + \Delta P_{фильтра} + \Delta P_{калорифера}), \end{aligned} \quad (4.11)$$

где $\Delta P_{клапана}$, $\Delta P_{фильтра}$, $\Delta P_{калорифера}$ – потери давления соответственно на входной решетке, фильтре и калорифере (Па);

L – расход воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$).

Результаты испытаний и расчетов занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1.

Параметры	Приточная камера	Клапан воздушный	Фильтр	Электронагреватель	Вентилятор
1	2	3	4	5	6
$V, \text{м}^3/\text{ч}$					
$L, \text{м}^3/\text{ч}$					
$Q, \text{кДж}$					
$G, \text{кг}/\text{ч}$					
$t_{вх}, \text{°C}$					

$t_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$					
$\rho, \text{кг/м}^3$					
$P_{\text{п1}}, \text{Па}$					
$P_{\text{п2}}, \text{Па}$					
$\Delta P_{\text{п}}, \text{Па}$					
$P_{\text{с1}}, \text{Па}$					
$P_{\text{с2}}, \text{Па}$					
$\Delta P_{\text{с}}, \text{Па}$					

Контрольные вопросы

1. Назначение и область применения приточных камер.
2. Какие параметры учитывают при подборе приточной камеры?
3. Дать характеристику основным параметрам приточной установки.
4. Как определяют сопротивление приточной камеры по воздуху?
5. Определение внутреннего аэродинамического сопротивления установки.
6. Определение эффективности использования приточной установки.

Лабораторная работа №5

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ И РАСХОДА ВОЗДУХА АНЕМОМЕТРАМИ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Цель работы

В вентиляционных установках необходимо поддерживать заданные скорости движения воздуха, т.е. обеспечить подачу или удаление ими расчетных объемов воздуха при наименьших затратах. Поэтому, работу вентиляционных систем необходимо периодически контролировать по скорости, расходу и создаваемому давлению.

Целью данной работы является ознакомление студентов с методикой измерения скорости воздуха с помощью анемометров и определения расхода воздуха.

Теоретические основы работы

Скорость движения воздуха в воздуховодах, помещениях, приемных отверстиях местных отсосов, проемах и т.д. является одним из важнейших параметров, характеризующих работу вентиляционных систем.

В вентиляционной технике наиболее широкое распространение получили электротермоанемометры, крыльчатые и чашечные анемометры

Термоанемометры предназначены для измерения температуры, скорости и направления воздушных потоков в лабораторных и промышленных условиях.

Измерение скорости воздушного потока термоанемометров основано на измерении температуры и сопротивления подогревного терморезистора, помещенного в поток, в зависимости от величины скорости потока.

При определении направления воздушного потока используется тепловое влияние подогревной обмотки на неподогревный терморезистор при направлении скорости от подогревного к неподогревному элементу. Для измерения температуры используется основное свойство терморезисторов – изменение сопротивления в зависимости от температуры окружающей среды.

В промышленных условиях наиболее широко применяются крыльчатые и чашечные анемометры.

Крыльчатые анемометры предназначены для измерения скорости воздушного потока в пределах от 0,3 до 5 м/с на уровне установки прибора. Приемной частью служит легкое крыльчатое колесо, насаженное на струнную ось. Колесо вращается под давлением проходящего через него воздуха. Порог чувствительности анемометра не выше 0,2 м/с. Крыльчатым анемометром можно пользоваться при температуре воздуха от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$.

Ручной чашечный анемометр предназначен для измерения скорости воздуха от 1 до 20 м/с. Порог чувствительности – 0,8 м/с. Колесо этого прибора представляет собой крестообразно расположенные дужки, насаженные на ось и несущие на себе чашки в виде полушариев. В результате разности давлений на обе чашки, колесо анемометра

приобретает вращательное движение.

Показания чашечного и крыльчатого анемометров читаются по трем циферблатам и составляют четырехзначное число. При измерении стрелка на циферблате указывает число оборотов колеса, выражающее условную длину пути, пройденного воздушным потоком.

Для определения скорости необходимо одновременно вести учет времени секундомером.

Разность показаний, отнесенная ко времени измерения, дает скорость анемометра, которая определяется по выражению

$$v_{\text{ait}} = \frac{m - n}{\tau}$$

где v_{ait} – скорость анемометра – число делений в секунду;

m, n – соответственно конечное и начальное показания анемометра;

τ – время замера, с.

Скорость воздушного потока находится по значению скорости анемометра по паспорту, имеющемуся у каждого прибора.

Паспорт дается в виде таблиц или графиков. Для каждого анемометра используется свой график, полученный по результатам его тарирования. Точность измерения в большой степени зависит от одновременности включения и выключения счетного механизма прибора и секундомере.

Существуют методы измерений скорости: обмер "по точкам" и "обводом сечения" (рис. 5.1)

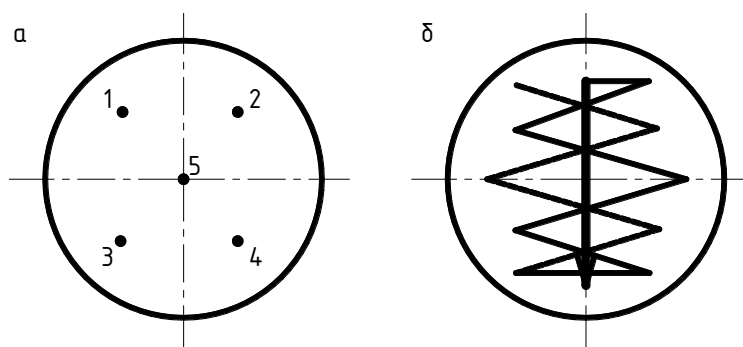


Рис. 5.1 – Схема положения анемометра при измерении средней скорости: а - измерение «по точкам»; б – обводом сечения.

Расход воздуха в данном сечении в м³/ч определяется по формуле

$$L = 3600 \cdot F \cdot v_{\text{cp}}, \quad (5.2)$$

где F - площадь данного сечения, м²;

v_{cp} - средняя скорость воздуха в сечении, м/с.

Порядок проведения работы

1. Включается вентилятор, устанавливается анемометр: крыльчатый – так, чтобы ось колеса совпадала с направлением движения воздуха, т.е. крыльчаткой навстречу потоку; чашечный – чтобы ось была перпендикулярна потоку.
2. Берется начальный отсчет по анемометру.
3. Анемометр помещается в воздушный поток, через 10 –15 сек., когда крыльчатка анемометра начнет вращаться с постоянной скоростью, включается счетный механизм и одновременно секундомер. Измерение производится методом обвода сечения, в течение 100 сек.
4. Через 100 секунд, не вынимая анемометр из потока, выключаются счетный механизм и секундомер. Берется конечный отсчет по анемометру.
5. Результаты измерений заносятся в таблицу 5.1, определяется скорость анемометра U_{ai} , затем по графику определяется действительная скорость воздушного потока. Измерение производится 3 раза, а затем выводится среднеарифметический результат.

Таблица 5.1 – Определение скорости и расхода воздуха

Тип анемометра	Номер опыта	Показания анемометра		Разность отсчетов, m-n	Время измерения, τ, сек	Скорость анемометра, $v_{ан}$	Величина тока измерения, I, мА	Скорость воздуха, v , м/с	Средняя скорость воздуха, $v_{ср}$, м/с	Площадь сечения, F , m^2	Расход воздуха, L , $m^3/ч$
		до измерения, n	после измерения, m								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Чашечный	1										
	2										
	3										
Крыльчатый	1										
	2										
	3										
Термоанемометр	1										
	2										
	3										

6. Измерение скорости воздушного потока термоанемометром производится в следующем порядке:

- а) расположить прибор горизонтально, подключить внешний источник питания через специальные клеммы и в гнездо разъема подключить датчик;
 - б) вынуть из пенала, подключить и установить датчик в зоне измерения;
 - в) переключатель П2 включить в положение "А";
 - г) переключатель П1 остановить в положение "контроль" и ручкой "регулирование напряжения" установить стрелку измерителя на максимальное деление шкалы;
 - д) переключатель П1 переключить в положение "измерение" и плавным поворотом ручки "регулирование подогрева" вывести стрелку прибора на максимальное деление шкалы. Датчик должен быть закрыт футляром и расположен горизонтально;
 - е) сдвинуть защитный футляр, поместить датчик в измеряемый поток;
 - ж) произвести отсчет тока измерителя.
7. По градуировочной зависимости, имеющейся в паспорте анемометра, определяется величина скорости.
8. Измерение производится 3 раза, а затем выводится среднеарифметический результат.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Технические характеристики анемометров.



Рис. 5.2 – Термоанемометр testo 410-1. Чашечный анемометр МС-13. Крыльчатый анемометр АСО-3.

ТЕРМОАНЕМОМЕТР *testo 410-1*

1. Для обеспечения точного измерения расположите прибор таким образом, чтобы поток воздуха был направлен с тыльной стороны прибора.
2. Включение прибора. Нажмите кнопку «Включение/выключение». Прибор в режиме измерения.

3. Измерение параметров: Нажмите кнопку ▲ несколько раз, пока не отобразится необходимый параметр.

d) Нажмите кнопку «**Mode**» несколько раз, пока не отобразятся индикаторы **Hold** и **Avg**;

e) Нажмите и удерживайте кнопку «**Mode**» пока не отобразится «- - - -»;

f) Отпустите кнопку «**Mode**», начнется расчет значения, усредненного по времени, на экран выводятся текущие данные.

4. Окончание измерения: Нажмите кнопку «**Mode**», на экране отобразится средний показатель.

5. Нажмите и удерживайте кнопку «*Включение/выключение*» в течение 2 секунд пока дисплей не погаснет.

АНЕМОМЕТР ЧАШЕЧНЫЙ МС – 13

1. В измеряемом воздушном потоке анемометр устанавливают вертикально и через 10-15 секунд одновременно включают механизм анемометра и секундомер поворотом против часовой стрелки.

2. Экспонирование анемометра в воздушном потоке производят в течение 1 – 2 мин.

3. По истечении этого времени механизм и секундомер выключают поворотом по часовой стрелке и записывают показания по шкалам анемометра и время экспозиции в секундах. Разность между конечным и начальным отсчетом делят на время экспозиции и определяют число делений шкалы, приходящихся на одну секунду.

АНЕМОМЕТР КРЫЛЬЧАТЫЙ АСО – 3

1. Перед началом работы включают с помощью арретира передаточный механизм поворотом против часовой стрелки и записывают начальное показание счетчика по трем шкалам. После этого анемометр устанавливают в воздушном потоке ветроприёмником навстречу потоку и ось крыльчатки вдоль направления потока. Через 10-15 секунд одновременно включают механизм анемометра и секундомер.

2. Анемометр держат в воздушном потоке в течение 1-2 минут. После этого механизм и секундомер включают, записывают конечное показание счетчика и время экспозиции в секундах и делением разности конечного и начального показаний счетчика на время экспозиции определяют число делений, приходящихся на одну секунду.

3. Скорость потока определяют по градуировочному графику, приложенному к анемометру, следующим образом:

e) На вертикальной оси графика отыскивают число, соответствующее числу делений шкалы счетчика анемометра в секунду.

f) От этой точки проводится горизонтальная линия до пересечения с

прямой графика.

g) Из полученной точки пересечения опускается вертикальная линия до пересечения с горизонтальной осью.

h) Точка пересечения дает искомую скорость воздушного потока в м/с.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены анемометры? Какие виды анемометров вы знаете?
2. Каковы рекомендуемые и допустимые скорости движения воздуха в вентиляционных системах?
3. Что обеспечивает расчетный расход воздуха в приточных системах вентиляции?

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ ВОЗДУХОВОДОВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

Цель работы: Ознакомиться с методикой экспериментального определения коэффициентов трения в воздуховодах вентиляционных систем. Сравнение их с величинами, вычисленными теоретически.

Теоретические основы работы

При перемещении воздуха по воздуховодам имеет место потеря удельной энергии движущегося потока на преодоление различных сопротивлений. Сопротивления могут быть разделены на две группы: линейные сопротивления, обычно называемые сопротивлениями трения, и местные сопротивления. Последние представляют собой потерю удельной энергии движущейся среды при проходе через различные фасонные части, а первые – потери на преодоление сил трения о стенки воздуховода.

Для круглого воздуховода, имеющего по всей своей длине одинаковое поперечное сечение и неизменный расход воздуха, уравнение, выражающее собой линейные потери удельной энергии – давление $\Delta P_{\text{тр}}$, имеет вид

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{\lambda}{d} \cdot l \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (6.1)$$

где v – средняя скорость воздуха, м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³; l – длина воздуховода, м; d – диаметр воздуховода, м; λ – коэффициент трения.

Коэффициент трения является переменной величиной и зависит от характера движения воздуха в воздуховодах, который может быть ламинарным и турбулентным. Первый характеризуется тем, что отдельные струйки движутся в потоке прямолинейно параллельно друг другу; второй – наличием поперечных к оси трубопровода пульсаций частиц воздуха, движущейся по беспорядочным и неустойчивым траекториям. Критерием, служащим для определения наличия того или другого характера движения, является критерий (или число) Рейнольдса – Re . Коэффициент трения при ламинарном режиме движения воздуха зависит только от числа Re . В частном случае для каналов круглого сечения:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (6.2)$$

где v – скорость воздуха, м/с; d – диаметр воздуховода, м; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с.

Значения коэффициента кинематической вязкости воздуха приведены в таблице 1.

Таблица 1

Температура воздуха в t , °C	Коэффициент кинематической вязкости ν , м ² /с
- 20	0,0000113

-10	0,0000121
0	0,0000130
10	0,0000139
20	0,0000157
40	0,0000170
60	0,0000192

Критерий Re является величиной безразмерной. Ламинарный режим имеет место при $Re < 2300$, переходный – при $3000 < Re < 10000$, а турбулентный – при $Re > 10000$. При турбулентном режиме движения, кроме чисел Re , коэффициент трения зависит также и от коэффициента относительной шероховатости d/k , где k – абсолютная шероховатость, т.е. средняя высота отдельных мельчайших выступов и неровностей на поверхности стенок в радиальном направлении (мм), а d – диаметр воздуховода (мм). Величина относительной шероховатости характеризует внутренние поверхности воздуховодов в гидравлическом отношении.

В пределах ламинарного режима движения воздуха коэффициент трения λ совершенно не зависит от степени шероховатости стенок и равен

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (6.3)$$

При турбулентном режиме движения воздуха один и тот же воздуховод при данной его шероховатости, характеризуемой отношением d/k , в зависимости от числа Re может быть гидравлически гладким или гидравлически шероховатым. Для гидравлически гладких воздуховодов при числах Рейнольдса $Re < 67,5 d/k$, т.е. при режимах движения жидкости, характерных тем, что выступы шероховатости стенок меньше толщины пограничного ламинарного слоя, имеет место зависимость, называемая формулой Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0,25}} \quad (6.4)$$

По мере возрастания числа Re выше критического ($Re > 2300$) толщина пограничного ламинарного слоя уменьшается, и он перестает покрывать выступы шероховатости; при этом технически шероховатые трубы становятся и гидравлически шероховатыми. В этой области значений чисел Re : $\lambda = f(Re, k/d)$.

При значениях $Re > 10000$ или $Re > 67,5 d/k$ влияние числа Re сказывается уже весьма незначительно, и λ в основном начинает зависеть только от относительной шероховатости. В пределах точности, допустимой для практических расчетов при $Re > 10000$ можно пользоваться приближенной формулой Б.Л. Шифринсона:

$$\lambda = 0.111 (k/d)^{0,25} \quad (6.5)$$

или, что более точно, формулой Никурадзе:

$$\lambda = 0.0032 + \frac{0.221}{Re^{0,237}} \quad (6.6)$$

Коэффициент трения λ при любом значении числа Re можно рассчитывать по универсальной формуле А.Д. Альтшуля:

$$\lambda = \left(\frac{k}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (6.7)$$

Местные потери давления в воздуховодах возникают при резких изменениях сечения или конфигурации потока, при разделении или слиянии потоков в тройниках, крестовинах или других фасонных частях.

Методика проведения работы

1. Замеры производятся в точках 1 и 2.
2. Измеряются статические давления сечения 1 – 2 – P_{C1} , P_{C2} и динамическое давление при помощи дифманометра ДМЦ-01.
3. Определяются потери давления на трение на участке 1 – 2 – $\Delta P_{тр1-2}$. Полные потери давления на участке 1 – 2 определяются следующим образом:

$$\Delta P_{1-2} = (P_{C1} + P_{D1}) - (P_{C2} + P_{D2}) = \left(P_{C1} + \frac{\rho v_1^2}{2} \right) - \left(P_{C2} + \frac{\rho v_2^2}{2} \right) \quad (6.8)$$

Так как на участке 1 – 2 отсутствуют местные сопротивления (т.е. $Z = 0$), то полные потери давления на участке будут равны потерям давления на трение, т.е. $\Delta P_{1-2} = \Delta P_{тр1-2}$. Поскольку расход воздуха и сечение воздуховода на участке 1 – 2 постоянны, то скорости движения воздуха в точках 1 и 2 постоянны и равны: $v_1 = v_2 = v_{1-2}$. Следовательно, равны и динамические давления в точках 1 и 2 $P_{D1} = P_{D2} = P_{D1-2}$. Поэтому можно записать $\Delta P_{тр1-2} = P_{C1} - P_{C2}$.

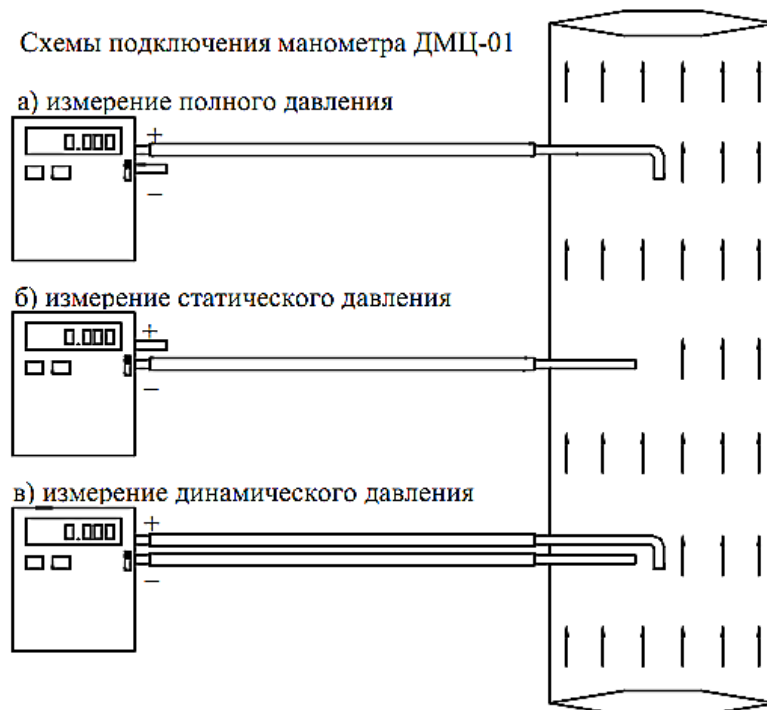


Рис. 6.1. Измерение полного, динамического и статического давления

3. Рассчитывается значение экспериментального коэффициента трения $\lambda_{\text{Э}}$, выраженного из формулы (6.1)

$$\lambda_{\text{Э}} = \frac{\Delta P_{\text{тр}1-2} \cdot d}{l (\rho v_{1-2}^2 / 2)} = \frac{\Delta P_{\text{тр}1-2} \cdot d}{l \cdot R_{\text{Д}1-2}} \quad (6.9)$$

4. Рассчитывается значение скорости на участке 1 – 2: v_{1-2} . Из формулы динамического давления имеем

$$v_{1-2} = \sqrt{\frac{2P_{\text{Д}1-2}}{\rho}} \quad (6.10)$$

5. Определяется значение числа Re по формуле (6.2)

$$Re = \frac{v_{1-2} \cdot d}{\nu} \quad (6.11)$$

Таблица 6.2

Тип воздуховода	Воздуховод квадратный из оцинкованной стали 100x100 мм	Воздуховод круглый из оцинкованной стали диам.100 мм	Воздуховод круглый гофрированный из дюралюминия диам.100мм
l , м			
$P_{\text{С1}}$, кПа			
$P_{\text{С2}}$, кПа			
$P_{\text{Д1}}$, кПа			
$P_{\text{Д2}}$, кПа			
ΔP , кПа			
$\Delta P_{\text{тр}}$, кПа			
$v_{\text{ср}}$, м/с			
Re			
R , кПа/м			
$\lambda_{\text{Э}}$			
$\lambda_{\text{Т}}$			

6. Вычисляется значение коэффициента трения воздуховода по формуле Никурадзе $\lambda_{\text{Т}}$. Сравниваем его с величиной коэффициента трения, полученного экспериментальным путем.

7. Данные измерений и результаты расчетов необходимо занести в табл. 6.2.

8. Сформулировать вывод, в котором надо объяснить возможные причины расхождения экспериментальных и теоретических данных.

Контрольные вопросы

1. От каких параметров и как зависят потери давления на трение в воздуховоде?
2. Напишите формулу Альтшуля для определения коэффициента гидравлического трения. Проанализируйте формулу.
3. Объясните, чем отличаются гидравлические гладкие и гидравлические шероховатые воздуховоды.

4. Напишите формулу для вычисления критерия Рейнольдса, объясните связь числа Рейнольдса с режимами течения в воздуховоде.
5. От каких параметров зависят потери давления в местных сопротивлениях?
6. Чем Вы можете объяснить расхождения между экспериментальными и теоретическими значениями λ и ζ ?

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ АГРЕГАТА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОГО АВТУ-300

Цель работы: ознакомление с принципом работы агрегата вентиляционного теплоутилизационного, определение аэродинамических и теплотехнических характеристик агрегата.

Теория вопроса

Утилизация тепла вытяжного воздуха

Одним из источников вторичных энергоресурсов в здании является тепловая энергия воздуха, удаляемого в атмосферу. Расход тепловой энергии на подогрев поступающего воздуха составляет 40...80% теплопотребления, большая ее часть может быть сэкономлена в случае применения так называемых теплообменников-утилизаторов.

Существуют различные типы теплообменников-утилизаторов.

Рекуперативные пластинчатые теплообменники выполняются в виде пакета пластин, установленных таким образом, что они образуют два смежных канала, по одному из которых движется удаляемый, а по другому - приточный наружный воздух. При изготовлении пластинчатых теплообменников такой конструкции с большой производительностью по воздуху возникают значительные технологические трудности, поэтому разработаны конструкции *кожухотрубных теплообменников-утилизаторов ТКТ*, представляющих собой пучок труб, расположенных в шахматном порядке и заключенных в кожух. Удаляемый воздух движется в межтрубном пространстве, наружный — внутри трубок. Движение потоков перекрестное.

Установки утилизации тепла вытяжного воздуха *с промежуточным теплоносителем* могут применяться в системах механической приточно-вытяжной вентиляции, а также в системах кондиционирования воздуха. Установка состоит из расположенного в приточном и вытяжном каналах воздухонагревателя, соединенного замкнутым циркуляционным контуром, заполненным промежуточным носителем. Циркуляция теплоносителя осуществляется посредством насосов. Удаляемый воздух, охлаждаясь в воздухонагревателе вытяжного канала, передает тепло промежуточному теплоносителю, нагревающему приточный воздух.

Роторные регенеративные теплоутилизаторы (воздухо-воздушные теплообменники, вращающиеся теплоутилизаторы) предназначены для утилизации теплоты удаляемого воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Процесс теплообмена в теплоутилизаторе осуществляется по регенеративному принципу. Через ротор встречными потоками проходят приточный и вытяжной воздух. Ротор изготовлен из цилиндрических алюминиевых обечаек с заполнением пространства между ними гофрированными алюминиевыми лентами. Если установка работает на обогрев, то вытяжной воздух отдает теплоту тому сектору ротора, через

который он проходит. Когда этот нагретый сектор ротора попадает в поток холодного приточного воздуха, приточный воздух нагревается, а ротор, соответственно, охлаждается. Если система работает на охлаждение, то теплота передается от теплого приточного холодному вытяжному воздуху. Эффективность процесса теплообмена регулируется изменением скорости вращения ротора с помощью частотного преобразователя.

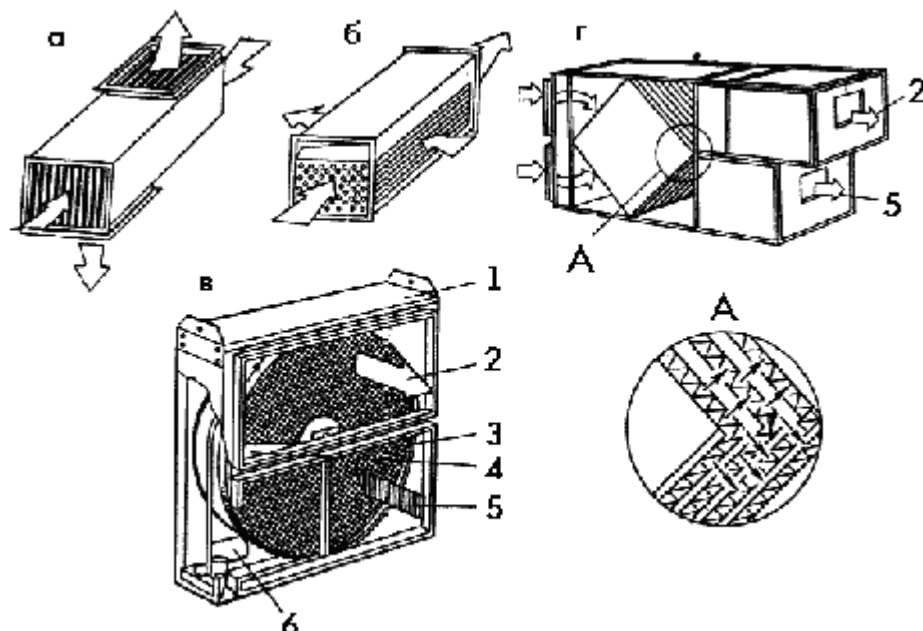


Рис. 7.1. Теплообменники: а – пластинчатый утилизатор; б – утилизатор ТКТ; в – вращающийся (1 – корпус, 2 – приточный воздух, 3 – ротор, 4 – сектор продувной, 5 – вытяжной воздух, 6 – привод); г – рекуперативный.

Теплоутилизаторы на базе тепловых трубок представляют собой пучок герметичных медных труб с алюминиевым оребрением, заполненных хладагентом. Теплообмен осуществляется благодаря испарению хладагента в теплоотдающей среде и конденсации хладагента в среде, принимающей теплоту. Циркуляция промежуточного теплоносителя осуществляется под действием естественной конвекции.

В рабочем положении тепловые трубки закрепляются вертикально или с наклоном в разделительной перегородке, и каждая ее сторона выступает в каналы, по которым движутся потоки, имеющие различную температуру. При вертикальной установке канал удаляемого воздуха находится снизу. Одна сторона трубки омывается потоком с высокой температурой и образует зону отвода теплоты. Образовавшиеся пары хладагента перемещаются в зону низкого давления, которая омывается потоком с более низкой температурой и образует зону отвода теплоты. Сконденсировавшийся в этой зоне хладагент в виде жидкости перемещается из зоны конденсации в зону испарения, где снова превращается в пар.

В установке с теплообменником из тепловых трубок должны быть предусмотрены: каплеуловитель, поддон для сбора конденсата и обводной канал (байпас).

Выбор типа регенеративного теплообменника производят в зависимости от расчетных параметров удаляемого и приточного воздуха и влаговывделений внутри помещения. Регенеративные теплообменники могут устанавливаться в зданиях различного назначения в системах механической приточно-вытяжной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха. Установка регенеративного теплообменника должна обеспечивать противоточное движение воздушных потоков.

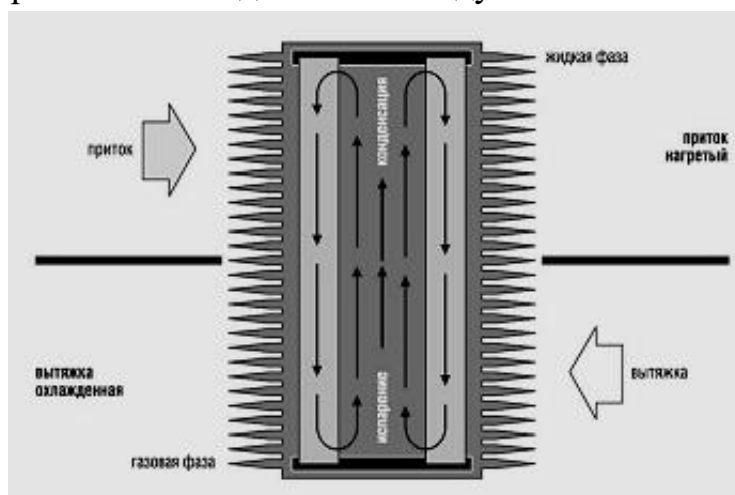
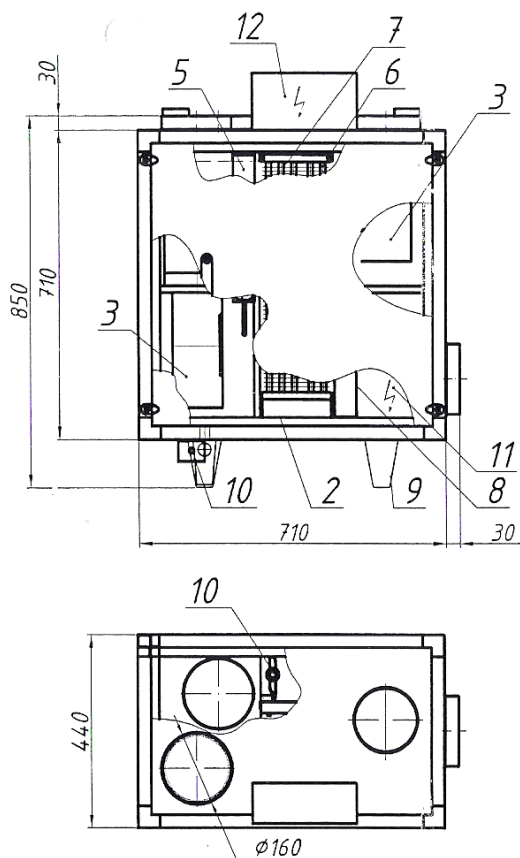


Рис. 7.2. Типовая схема теплоутилизатора на базе тепловых трубок.

Системы вентиляции с теплоутилизаторами обладают рядом достоинств, к числу которых следует отнести:

1. существенную экономию тепловой энергии, расходуемой на нагрев вентиляционного воздуха — от 50 до 90 % в зависимости от типа применяемого утилизатора;
2. высокий уровень воздушно-тепловой комфортности, обусловленный аэродинамической устойчивостью системы вентиляции и сбалансированностью расходов приточного и вытяжного воздуха;
3. возможность гибкого регулирования воздушно-теплого режима в зависимости от режима эксплуатации, в т. ч. с использованием рециркуляционного воздуха;
4. возможность защиты от городского, внешнего шума при использовании герметичных светопрозрачных ограждений;
5. возможность очистки приточного воздуха с помощью высокоэффективных фильтров;
6. возможность поддержания оптимальной влажности воздуха в квартире при использовании регенеративных теплоутилизаторов.

Агрегат вентиляционный теплоутилизационный АВТУ-300 Предназначен для использования в системах принудительной приточно-вытяжной вентиляции, обеспечивая заданные параметры микроклимата в помещениях жилых, административных



зданий, школ, дошкольных учреждений и утилизацию тепла, содержащегося в удаляемом воздухе для подогрева свежего приточного воздуха.

Подача воздуха на притоке – $70-300 \pm 10\%$ ($\text{м}^3/\text{ч}$);

Подача воздуха на вытяжке – $70-300 \pm 10\%$ ($\text{м}^3/\text{ч}$).

В комплектность агрегата входит:

- Вентилятор приточный D2E 160-FI01-01: частота вращения – 1170 мин^{-1} ; установочная мощность двигателя – 0,11 кВт; максимальный ток – 0,5А; 4 ступени регулирования.

- Вентилятор вытяжной D2E 160-FI01-01: частота вращения – 1170 мин^{-1} ; установочная мощность двигателя – 0,11 кВт; максимальный ток – 0,5А; 4 ступени регулирования.

- Воздуонагреватель электрический заблокированный с шумоглушителем.

- Фильтр воздушный ФВС (приточный и вытяжной): класс очистки G4.

- Теплообменник-утилизатор на тепловых трубах ТФ 12 ШР 20 Т6-550/3 (2) с сифоном.

- Система автоматического управления САУ (встроенная).

- Габаритные размеры агрегата: длина – 710 мм; ширина – 440 мм; высота (с опорой) – 850 мм.

Рис.7.3. Устройство АВТУ-300

Устройство и принцип работы

1. Конструктивно агрегат выполнен в виде моноблока, внутри которого смонтировано все воздухообрабатывающее оборудование и автоматика, снаружи расположены патрубки для подсоединения стенда для аэродинамических испытаний.

2. Внутри агрегата имеется горизонтальная перегородка из оцинкованной стали, которая разделяет его на два герметично разделенных канала – приточный и вытяжной.

3. Очистка приточного воздуха осуществляется на фильтре воздушном 5. Фильтр предназначен для очистки от пыли не более $1 \text{ мг}/\text{м}^3$ и предотвращения засорения поверхности теплообменника-утилизатора 7 от загрязнений. Фильтр представляет собой рамку, внутри которой уложен фильтрующий материал в виде гофр, опирающийся со стороны выхода воздуха на сетку гофрированной формы.

4. Фильтр в вытяжном канале 8 очищает отработанный вытяжной воздух, поступающий из помещения в воздуховод.

5. Рекуперативный теплообменник-утилизатор 6 предназначен для передачи явного и скрытого тепла от удаляемого воздуха приточному воздуху в холодное время года. Потоки воздуха при работе агрегата не смешиваются. Приточный и вытяжной каналы агрегата разделены между собой герметичной перегородкой. Тепловые трубы представляют собой фреоновый контур, в котором циклическим образом осуществляются фазовые переходы теплоносителя из жидкого в газообразное состояние и обратно. Тепло, поглощаемое из одного воздушного потока с использованием промежуточного теплоносителя, осуществляющего указанные фазовые переходы за счет разности плотностей в нижней и верхней части трубы, передается другому воздушному потоку.

6. В качестве теплоносителя используется озонобезопасный фреон.

7. Для подачи в помещение обработанного воздуха в агрегате на приточном канале установлен вентилятор радиальный двухстороннего всасывания 3 с двигателем с внешним ротором.

8. Для удаления вытяжного воздуха из помещения в агрегате в вытяжном канале установлен вентилятор 3, конструкция которого аналогична приточному вентилятору.

9. Для подогрева воздуха на сети устанавливается воздухонагреватель электрический, заблокированный с шумоглушителем, мощность 1,0 кВт. Воздухонагреватель служит для догрева воздуха по приточному каналу, система автоматики предусматривает плавное регулирование теплопроизводительности. Воздухонагреватель электрический имеет собственную защиту от перегрева в виде двух предохранительных термостатов – рабочего и аварийного.

10. В процессе охлаждения удаляемого воздуха на поверхности тепловых труб может образовываться конденсат, который стекает в поддон 2 с сифоном 4, который соединен с системой дренажа или с емкостью для сбора конденсата.

11. Управление работой агрегата в заданном режиме осуществляется системой автоматического управления и защиты 11 и 12.

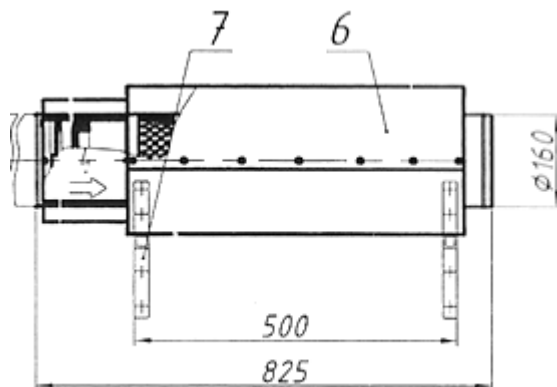


Рис. 7.4. Шумоглушитель со встроенным электрическим воздушнонагревателем.

12. При включении агрегата включаются двигатели приточного и вытяжного вентиляторов. Теплый воздух из помещения попадает в вытяжной канал агрегата, проходит через фильтр, где происходит очистка воздуха для предотвращения загрязнения теплообменника и поступает на ламели теплообменника-утилизатора, в котором осуществляется утилизация тепла, содержащегося в удаляемом воздухе. Эффективная передача тепла от теплого потока воздуха к холодному обеспечивается испарительно-конденсационным циклом теплообменника. При работе теплообменник-утилизатор позволяет 80-85% тепла удаляемого воздуха передать приточному воздуху, что существенно снижает затраты тепловой или электрической энергии в системах приточно-вытяжной вентиляции.

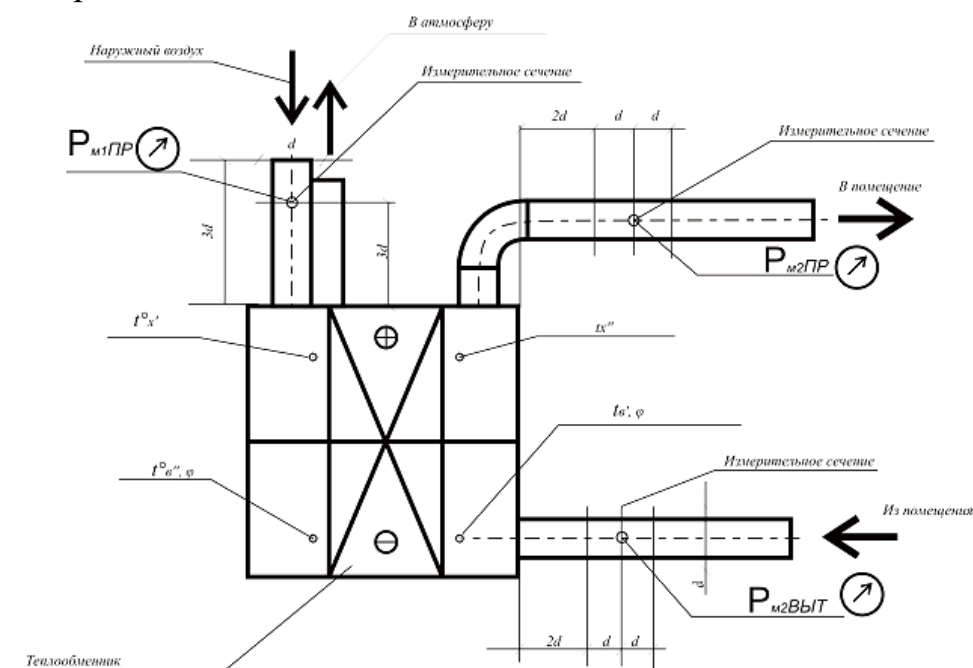


Рис. 7.5. Схема теплоутилизационной установки.

Методика проведения опыта

После включения вентиляционной установки и достижения стабильности расходов в приточном $Q_{\text{пр}}$ и вытяжном $Q_{\text{выт}}$ каналах агрегата производят замеры следующих параметров:

- барометрическое давление окружающего воздуха $P_б$, кПа;
- скорость воздуха до и после утилизатора $v_{\text{пр}}$, $v_{\text{выт}}$, м/с;
- температуру окружающего воздуха в помещении $t_{\text{вн}}$, °С;
- температуру наружного воздуха $t_{\text{нар}}$, °С;
- относительную влажность внутреннего воздуха $\varphi_{\text{вн}}$, %;
- относительную влажность наружного воздуха $\varphi_{\text{нар}}$, %;
- температуру приточного воздуха, соответственно, до и после теплообменника $t^{\text{H}}_{\text{пр}}$, $t^{\text{K}}_{\text{пр}}$, °С;

- температуру вытяжного воздуха, соответственно, до и после теплообменника $t_{\text{ВЫТ}}^{\text{Н}}, t_{\text{ВЫТ}}^{\text{К}}, \text{°C}$;
- относительную влажность вытяжного воздуха, соответственно, до и после теплообменника $\varphi_{\text{ВЫТ}}^{\text{Н}}, \varphi_{\text{ВЫТ}}^{\text{К}}$;
- относительная влажность приточного воздуха, до и после теплообменника $\varphi_{\text{ПР}}^{\text{Н}}, \varphi_{\text{ПР}}^{\text{К}}$.

Измерение скорости, температуры и относительной влажности воздушных потоков проводится с помощью анемометра и термогигрометра.

Вычислить объем приточного $L_{\text{ПР}}$ и вытяжного $L_{\text{ВЫТ}}$ воздуха, ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$L_{\text{ПР}} = 3600 \cdot F \cdot v_{\text{ПР}}, \quad (7.1)$$

$$L_{\text{ВЫТ}} = 3600 \cdot F \cdot v_{\text{ВЫТ}}, \quad (7.2)$$

где $F = 0,02$ – площадь сечения приточного или вытяжного воздуховода (м^2);

Вычислить затраты электроэнергии на дополнительный подогрев уличного воздуха, (кДж):

$$Q_{\text{догрева}} = L_{\text{ПР}} \cdot c \cdot \rho_{\text{ПР}}^{\text{К}} (t_{\text{ВН}} - t_{\text{НАР}}), \quad (7.3)$$

$c = 1,005$ – теплоемкость воздуха, кДж/кг·°C;

$\rho_{\text{ПР}}^{\text{К}}$ – плотность приточного воздуха до утилизатора, кг/м³;

$t_{\text{НАР}}$ – наружная температура воздуха, °C;

$t_{\text{ВН}}$ – температура в помещении, °C.

По результатам измерений вычислить производительность агрегата $Q_{\text{ПР}}, Q_{\text{ВЫТ}}$ (Вт) по формуле:

$$Q_{\text{ПР}} = 0,28 \cdot L_{\text{ПР}} \cdot \rho_{\text{ПР}}^{\text{К}} \cdot c \cdot (t_{\text{ПР}}^{\text{К}} - t_{\text{ПР}}^{\text{Н}}) \quad (7.5)$$

$$Q_{\text{ВЫТ}} = 0,28 \cdot L_{\text{ВЫТ}} \cdot \rho_{\text{ВЫТ}}^{\text{Н}} \cdot c \cdot (t_{\text{ВЫТ}}^{\text{Н}} - t_{\text{ВЫТ}}^{\text{К}}) \quad (7.6)$$

где $\rho_{\text{ВЫТ}}^{\text{Н}}$ – плотность вытяжного воздуха до утилизатора, кг/м³;

$t_{\text{ПР}}^{\text{Н}}, t_{\text{ПР}}^{\text{К}}$ – температура приточного воздуха соответственно до и после утилизатора, °C;

$t_{\text{ВЫТ}}^{\text{Н}}, t_{\text{ВЫТ}}^{\text{К}}$ – температура вытяжного воздуха соответственно до и после утилизатора, °C.

Коэффициент полезного действия утилизационной установки рассчитывается по формуле:

$$\eta = (t_{\text{ПР}}^{\text{К}} - t_{\text{ПР}}^{\text{Н}}) / (t_{\text{ВЫТ}}^{\text{Н}} - t_{\text{ПР}}^{\text{Н}}) \quad (7.7)$$

Коэффициент температурной эффективности утилизации определяется по формуле:

$$\xi = Q_{\text{ПР}} / Q_{\text{ВЫТ}} \quad (7.8)$$

При этом следует иметь в виду, что при наличии конденсации влаги помимо собственно рекуперации имеет место регенерация тепла, оказывающая соответствующее влияние на рассматриваемые показатели эффективности. В связи с этим рассматривают отдельно так называемые «сухую» эффективность рекуператоров (без учета конденсации) и «мокрую» эффективность рекуператоров (с учетом конденсации). В дан-

ном аспекте показатель эффективности существенным образом зависит от соотношения весовых расходов воздуха на притоке $G_{\text{пр}}$ и вытяжке $G_{\text{выт}}$, (кг/ч).

$$G_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{пр}}^{\text{H}} \quad (7.9)$$

$$G_{\text{выт}} = V_{\text{выт}} \cdot \rho_{\text{выт}}^{\text{H}} \quad (7.10)$$

Эффективность рекуперации при этом выражается формулой:

$$\begin{aligned} \xi^{\text{рек}} &= G_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{пр}}^{\text{H}} - t_{\text{пр}}^{\text{K}}) / G_{\text{выт}} \cdot (t_{\text{пр}}^{\text{H}} - t_{\text{выт}}^{\text{H}}) = \\ &= G_{\text{выт}} \cdot (t_{\text{выт}}^{\text{K}} - t_{\text{выт}}^{\text{H}}) / G_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{пр}}^{\text{H}} - t_{\text{выт}}^{\text{H}}) \end{aligned} \quad (7.11)$$

Рассчитать экономию электроэнергии за отопительный период при использовании теплоутилизационного теплообменника (кВт/ч):

$$E = L_{\text{пр}} \cdot c \cdot \rho_{\text{пр}}^{\text{K}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) \cdot \eta \cdot D \cdot \tau / 1000, \quad (7.12)$$

где η – эффективность рекуператора;

$L_{\text{пр}}$ – объем приточного воздуха, м³/ч;

$c = 1,2$ – теплоемкость воздуха, Вт/кг · °С;

$\rho_{\text{пр}}^{\text{K}}$ – плотность приточного воздуха после утилизатора, кг/м³;

$t_{\text{нар}} = 0,2$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

$t_{\text{вн}} = 18$ – температура в помещении (°С),

$D = 187$ дней – продолжительность отопительного периода для г. Бреста;

$\tau = 24$ – время работы вентиляции, часы.

Данные измерений и расчетов свести в таблицы 7.1 и 7.2.

Таблица 7.1

Показатели		Показатели	
1	2	3	4
P_6 , кПа		$\varphi_{\text{пр}}^{\text{H}}$, %	
$t_{\text{вн}}$, °С		$\varphi_{\text{пр}}^{\text{K}}$, %	
$t_{\text{нар}}$, °С		$t_{\text{выт}}^{\text{H}}$, °С	
$\varphi_{\text{вн}}$, %		$t_{\text{выт}}^{\text{K}}$, °С	
$\varphi_{\text{нар}}$, %		$\varphi_{\text{выт}}^{\text{H}}$, %	
$t_{\text{пр}}^{\text{H}}$, °С		$\varphi_{\text{выт}}^{\text{K}}$, %	
$t_{\text{пр}}^{\text{K}}$, °С		$v_{\text{пр}}$, м/с	
		$v_{\text{выт}}$, м/с	

Таблица 7.2

Расчетные данные		Расчетные данные	
1	2	3	4
$\rho_{\text{вн}}$, кг/м ³		$Q_{\text{пр}}$, Вт	
$\rho_{\text{нар}}$, кг/м ³		$Q_{\text{выт}}$, Вт	
$\rho_{\text{пр}}^{\text{H}}$, кг/м ³		ξ	
$\rho_{\text{пр}}^{\text{K}}$, кг/м ³		η	
$\rho_{\text{выт}}^{\text{H}}$, кг/м ³		$G_{\text{пр}}$	
$\rho_{\text{выт}}^{\text{K}}$, кг/м ³		$G_{\text{выт}}$	
$Q_{\text{догрева}}$, кДж		E , кВт/ч	
$L_{\text{пр}}$, м ³ /ч		$\xi^{\text{рек}}$	
$L_{\text{выт}}$, м ³ /ч			

Контрольные вопросы

1. Основные элементы вентиляционного агрегата, их назначение и работа.
2. Принцип работы тепловой трубки.
3. Принцип работы рекуперативного пластинчатого теплообменника.
4. Принцип работы кожухотрубных теплообменников-утилизаторов.
5. Принцип работы установок утилизации тепла вытяжного воздуха с промежуточным теплоносителем.
6. Принцип работы роторного регенеративного теплоутилизатора.
7. Основные типы теплообменников-утилизаторов, примененных в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.
8. Достоинства систем вентиляции с теплоутилизаторами.
9. От чего зависит выбор типа регенеративного теплообменника?

Лабораторная работа № 8

ИСПЫТАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ И СОСТАВЛЕНИЕ ПАСПОРТОВ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Цель работы: провести техническое испытание с целью проверки соответствия фактического режима работы системы расчетному и получения технических характеристик системы, необходимых для составления паспорта.

Теоретические основы работы

Монтажные организации, которые занимаются инженерными системами, по окончании строительно-монтажных работ должны проводить испытания. К таким испытаниям относится испытание системы вентиляции. Оно включает в себя проведение испытаний вентиляторов, а также другого оборудования, которое имеет привод. Испытываются также клапаны и приводы.

После завершения испытания представители монтажных или наладочных организаций приступают к регулировке систем вентиляции. На этом этапе:

- осуществляется проверка качества монтажа и завершенность;
- производится наладка расходов воздуха до проектных расходов;
- проверяется равномерность прогрева калорифера;
- проверяется работа естественной вентиляции;
- производится проверка одновременной работы нескольких вентиляторов в одной сети.

В завершении работ по наладке и соблюдению соответствия проектным документам и нормативам, оформляется **паспортизация** – выдаются паспорта на каждую систему вентиляции и кондиционирования.

Паспортизация – это документирование вентсистемы (заполнение паспорта) и аэродинамические испытания вентилятора, на основании которых заполняются графы паспорта.

Паспорт системы вентиляции – это документ, предоставляемый контрольной организацией, включающий в себя информацию о наименовании монтажной организации и застройщика, контакты, данные об установленном оборудовании. Паспортизация вентсистем – это обязательная процедура для предприятий и зданий, использующих в помещениях принудительную вентиляцию.

Паспорт системы вентиляции и кондиционирования – это документ, подтверждающий, что данная вентиляционная система была смонтирована и налажена согласно действующих строительных норм и правил противопожарной безопасности.

Паспорт вентиляционной системы включает в себя:

1. наименование объекта;
2. адрес объекта;
3. назначение вентиляционной системы;

4. тип и режимы работы вентиляционной системы;
5. местонахождение оборудования;
6. описание системы автоматики;
7. технические характеристики оборудования;
8. вентиляторов, электродвигателей, калориферных установок, пыле-очистительных и увлажнительных устройств;
9. основные технические характеристики системы: расход воздуха, его температура;
10. потребление электроэнергии (удельное, максимальное);
11. энергосбережение (плавный пуск, рекуперация, ...).

Паспорт является основным документом вентсистемы и нужен при правильной организации работы, для эффективной эксплуатации вентсистемы.

Форма паспорта представлена в приложении Д СТБ 2021-2009 «Монтаж систем вентиляции и кондиционирования воздуха зданий и сооружений. Контроль качества работ».

Обязательным условием заполнения паспорта является заполнение таблицы с проектными и фактическими расходами воздуха.

Важный раздел паспорта систем вентиляции – таблица расхода воздуха по сети и обслуживаемым помещениям. При паспортизации вентсистем в документ заносится также аэродинамическая схема с указанием точек замера.

Паспорт вентсистемы подшивают в техническую документацию по наладке объекта. В неё также входят аксонометрические схемы систем вентиляции, в которых указаны реальные расходы воздуха и сечения воздухораспределительных устройств.

После завершения всех работ техническую документацию представляют в составе приёмо-сдаточной документации при сдаче объекта Заказчику и Органам государственного надзора.

После приёмки объекта в эксплуатацию, техническая документация передаётся эксплуатирующей организации. На основании данных, указанных в паспортах вентсистем, в дальнейшем разрабатываются инструкции по эксплуатации на каждую единицу оборудования. Эксплуатирующая организация заполняет паспорт на каждую систему вентиляции, в котором фиксируется любое изменение.

Проводят паспортизацию систем вентиляции и кондиционирования, используя современную измерительную аппаратуру. Все приборы имеют соответствующую государственную аттестацию.

Дополнительно может проводиться определение состояния и эффективности воздушных фильтров, измерение действительной производительности вентиляционной системы, кратности воздухообмена в помещениях и эквивалентных уровней шума и вибрации системы вентиляции и ее отдельных частей.

Описание работы:

При технических испытаниях и составлении паспорта проверке подлежат:

1. производительность, развиваемое давление, число оборотов рабочих колес вентилятора;
2. расход воздуха через вентиляционные отверстия;
3. теплопроизводительность воздухонагревателя;
4. температура приточного воздуха;
5. степень очистки воздуха в фильтре и сопротивление.

Измерение значения указанных величин должны соответствовать паспортным данным. Допустимые отклонения не должны превышать:

- по объему воздуха, проходящего через участки воздуховодов общеобменных установок – $\pm 10\%$;
- по объему воздуха, проходящего через приточные и вытяжные отверстия общеобменных установок – $\pm 20\%$;
- по температуре приточного воздуха – $\pm 2\%$.

Путем наладки и регулирования необходимо довести параметры до заданных значений с допустимыми отклонениями.

После проведения испытания составляют паспорт на вентиляционную установку. В паспорт вносят результаты обработки замеров, проводимых при техническом испытании.

Проведение испытаний.

1. Испытания следует проводить не ранее чем через 15 мин после пуска вентиляционного агрегата.

2. При испытаниях измеряют:

- барометрическое давление окружающей среды B_A , кПа;
- температуру наружного воздуха t_H , °С;
- температуру воздуха в рабочей зоне $t_{P.з.}$, °С;
- температуру приточного воздуха $t_{П.}$, °С;
- скорость воздушного потока на выходе из воздуховода v , м/с;
- статическое давление в точке мерного сечения P_C , Па;
- динамическое давление в точке мерного сечения P_D , Па;
- полное давление воздуха в точке мерного сечения $P_{П.}$, Па.

Примечания: Измерения статического или полного давлений производят при определении давления, развиваемого вентилятором, и потерь давления в вентиляционной сети или на ее участке.

3. Обработка результатов измерений.

На основе величин, измеренных в соответствии с программой, определяют:

3.1. Расход воздуха L , м³/ч, в воздуховоде определяется по формуле

$$L = F \cdot v_{cp} \cdot 3600, \quad (8.1)$$

где $F = \pi d^2/4 = a \cdot b$ – площадь сечения воздуховода, м²

Средняя скорость воздуха определяется из уравнения

$$v_{cp} = K \cdot v_{max}, \quad (8.2)$$

где K – коэффициент поля скоростей; он учитывает неравномерность распределения скоростей воздуха в поперечном сечении воздуховода, определяется опытным путем и для небольших по диаметру круглых и гладких воздуховодов принимается равным 0,9–0,95; v_{max} – максимальная скорость воздушного потока на оси воздуховода, м/с.

Максимальная скорость воздушного потока определяется по формуле

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 P_D}{\rho}}, \quad (8.3)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³.

3.2. Объемный расход $L^{об}$, м³/с, определяют по формуле

$$L^{об} = F \cdot v_{cp}, \quad (8.4)$$

3.3. Плотность перемещаемого воздуха определяют по формуле

$$\rho = \frac{B_A + P_C}{R \cdot K_\phi (t + 273)}, \quad (8.5)$$

где $R = 27,3$ Дж/кг·К – универсальная газовая постоянная;

K_ϕ — коэффициент, зависящий от температуры и влажности перемещаемого воздуха, определяется по таблице 8.1.

Таблица 8.1. Зависимость коэффициента K_ϕ от температуры и влажности перемещаемого воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	10		20		30		40		50	
$\phi, \%$	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100
K_ϕ	0,998	1,003	1,000	1,005	1,004	1,012	1,010	1,025	1,020	1,040

3.4. Составить паспорт вентиляционной системы согласно Приложению.

ПРИЛОЖЕНИЕ

(наименование ведомства, наладочной организации)

ПАСПОРТ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ (СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА)

Объект _____

Зона (цех) _____

А. Общие сведения

1. Назначение системы _____

2. Местонахождение оборудования системы _____

Б. Основные технические характеристики оборудования системы

1. Вентилятор

Данные	Тип	№	Диаметр колеса Дном, мм	Подача, м ³ /ч	Полное давлени- е, Па	Диаметр шки- ва, мм	Частота вра- щения, с ⁻¹
По проекту							
Фактически							

Примечание _____

2. Электродвигатель

Данные	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, с ⁻¹	Диаметр шкива, мм	Вид передачи

Примечание _____

3. Воздухонагреватели, воздухоохладители, в том числе зональные

Данные	Тип или модель	Число	Схема		Вид и параметры теплохладоносителя	Опробование* теплообмен- ников на рабочее давление (выполнено, не выполнено)
			Обязки по теп- лохладоносителю	Расположения по воздуху		

*Выполняется монтажной организацией с участием заказчика (наладочной организации).

Примечание _____

4. Пылесосулаивающее устройство

Данные	Наименование	№	Число	Расход воздуха, м ³ /ч	% подноса (выбив)	Сопротивление, Па
По проекту						
Фактически						

Примечание _____

5. Увлажнитель воздуха

Данные	Насос				Электродвигатель			Характеристика увлажнения
	тип	подача, м ³ /ч	давление перед форсунками, кПа	частота вра- щения, с ⁻¹	тип	мощность, кВт	частота враще- ния, с ⁻¹	
По проекту								
Фактически								

Примечание _____

В. Расходы воздуха по помещениям (по сети)

Номер мерного сече- ния	Наименование поме- щений	Расход воздуха, м ³ /ч		Невязка, % (отклонения от показателей)
		по проекту	фактически	

Схема системы вентиляции (кондиционирования воздуха)

Примечание. Указываются выявленные отклонения от проекта (рабочего проекта) и их согласование с про-
ектной организацией или устранение. _____

Представитель заказчика _____

Представитель проектной организации _____

Представитель монтажной организации _____

Контрольные вопросы

1. Как определить по замерам потери давления между двумя по-
следовательными сечениями?
2. Из чего складываются потери давления между двумя сечениями
воздуховода?
3. Какие работы проводят при испытании и наладке систем вентиля-
ции?
4. Что такое паспортизация вентсистемы? Когда оформляется паспор-
тизация?

5. Что такое паспорт вентсистемы, и какие разделы в него должны быть включены?
6. Какие параметры подлежат проверке при технических испытаниях и составлении паспорта?
7. Какими приборами вы пользовались при испытании вентсистемы?
8. Допустимые отклонения измеряемых параметров при паспортизации вентсистемы.
9. Куда направляется паспорт исследуемой системы и кто проводит паспортизацию?

III РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Понятие вентиляционного процесса.
2. Классификация систем вентиляции (по назначению, по обслуживаемой зоне, по способу побуждения движения воздуха, по наличию воздуховодов).
3. Типы систем вентиляции: естественная и механическая, приточная и вытяжная, местная и общеобменная, канальная и бесканальная, наборная и моноблочная.
4. Требования, предъявляемые к вентиляции.
5. Расчетные параметры воздуха (А и Б) в вентиляционном процессе. Расчетные параметры наружного, внутреннего, приточного, удаляемого воздуха.
6. Номинальные и допустимые параметры воздуха.
7. Понятие вредности. Поступление вредностей в помещение.
8. Источники поступления тепла в помещения общественных и промышленных зданий. Явная, скрытая и полная теплота.
9. Расчет поступления вредностей от людей.
10. Воздухообмен. Кратность воздухообмена.
11. Определение воздухообмена для борьбы с избыточным теплом.
12. Определение воздухообмена для разбавления избыточной влаги.
13. Поступление газов и паров в воздух помещений. Определение воздухообмена при борьбе с газовыми вредностями.
14. Тепловой и воздушный балансы расчетного помещения.
15. Определение требуемого количества приточного и вытяжного воздуха.
16. Неорганизованный воздухообмен в гражданских зданиях (инфильтрация).
17. Аэрация зданий. Область применения аэрации.
18. Конструктивное выполнение аэрационных устройств. Приточные и вытяжные проемы.
19. Аэрационные фонари. Вытяжные шахты. Дефлекторы.
20. Элементы системы вентиляции, характеристики и назначение.

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Струйные течения. Виды и классификация воздушных струй.
2. Образование компактной одиночной струи
3. Настилающиеся и ненастилающиеся струи.
4. Свободные изотермические струи. Свободные неизотермические струи.
5. Стесненные струи.
6. Движение воздуха около вытяжных отверстий. Воздушный поток около всасывающего отверстия.

Воздухораспределители и устройства воздухоудаления. Классификация, виды и применение.

7. Порядок расчета воздухораспределения в помещении.

8. Классификация систем вентиляции (по способу создания давления для перемещения воздуха, по назначению, по зоне обслуживания, по конструктивному исполнению) и их характеристика.

9. Основные элементы систем вентиляции, назначение.

10. Вентиляционные установки: приточные, вытяжные, приточно-вытяжные. Исполнение, состав оборудования.

11. Состав оборудования вентиляционной приточной и вытяжной установки. Назначение и типы оборудования.

12. Фильтры: назначение, классификация, основные характеристики, места установки.

13. Устройства для борьбы с шумом и вибрацией в системах вентиляции. Конструкция и подбор шумоглушителей.

14. Нагревание воздуха. Калориферы – классификация и конструкции. Исходные данные для подбора калорифера.

15. Воздуховоды и вентканалы. Конструкции и устройство.

16. Вентиляционные блоки для жилых многоэтажных зданий. Назначение, схемы, технические решения.

17. Классификация воздуховодов (по форме, по способу соединения, по материалу, по конструкции, по скорости воздушного потока, по рабочему давлению). Рекомендуемая скорость движения воздуха для вентустановок с естественным побуждением (в каналах, коробах, решетках).

18. Рекомендуемые скорости движения воздуха при вентиляции с механическим побуждением (в магистралях, ответвлениях, воздухораспределителях).

19. Давление воздуха в системах вентиляции: статическое, динамическое, полное. Определение величины давлений.

20. Порядок аэродинамического расчета естественной вентсистемы.

21. Порядок аэродинамического расчета механической вентсистемы.

22. Потери давления на трение в воздуховодах. Потери давлений в местных сопротивлениях.

23. Определение величины давления для подбора вентилятора.

24. Системы вентиляции промышленного здания.

25. Нормированные параметры микроклимата на рабочем месте в производственных зданиях (оптимальные, допустимые).

26. Расчет воздухообмена промышленного здания. Исходные данные. Типы вредностей, выделяющихся в промышленных зданиях.

27. Местные системы механической вытяжной вентиляции (приточные, вытяжные).

28. Местные вытяжные устройства: открытого, полукрытого и закрытого типа. Требования, предъявляемые к местным отсосам.
29. Вытяжные зонты. Зонты-козырьки. Конструкции, область применения и особенности работы вытяжных зонтов.
30. Боковые отсосы. Отсасывающие панели. Конструкции, область применения.
31. Бортовые отсосы. Область применения бортовых отсосов. Простые и опрокинутые, односторонние, двухсторонние.
32. Кольцевые бортовые отсосы. Нижние бортовые отсосы.
33. Вытяжные шкафы. Вытяжные шкафы с естественной и механической вытяжкой. Конструкции вытяжных шкафов.
34. Кожухи - пылеприемники.
35. Системы аспирации и пневмотранспорта. Назначение. Материалы и отходы, перемещаемые пневмотранспортом.
36. Скорость витания частицы. Скорость трогания частицы. Транспортирующая скорость.
37. Системы аспирации и пневмотранспорта. Классификация (по месту установки, по назначению, по принципу создания тяги, по величине концентрации двухфазного потока, по компоновке системы).
38. Оборудование систем аспирации и пневмотранспорта. Воздуховоды и фасонные элементы для систем аспирации и пневмотранспорта.
39. Местная механическая приточная вентиляция. Разновидности. Область применения.
40. Местные души. Типы воздушных душей. Параметры и направление воздуха при душировании. Температура и скорость движения воздуха при душировании.
- Воздушные и воздушно-тепловые завесы. Принципы проектирования. Случаи применения воздушных завес.
41. Типы воздушных завес в зависимости от места забора воздуха.
42. Противодымная защита зданий. Назначение, цель дымоудаления.
43. Технические решения противодымной защиты (объемно - планировочные, конструктивные и специальные).
44. Системы дымоудаления (статическое дымоудаление, динамическое дымоудаление).
45. Оборудование систем дымоудаления (клапаны дымоудаления, огнезадерживающие клапаны, вентиляторы), назначение, места установки.

ЗАДАЧИ К ЭКЗАМЕНУ

1. Начертите аксонометрическую схему механической приточной (вытяжной) системы вентиляции согласно плану этажа здания.

Разбить схему вентсистемы на расчетные участки, выбрать главное расчетное направление. Указать последовательность увязки ответвлений.

2. Определить сумму потерь давления на участках воздуховодов системы вентиляции.

3. На плане (разрезе) промздания начертить межцеховую схему всасывающе-нагнетательной системы пневмотранспорта и описать основные технические характеристики. Указать особенности оборудования (воздуховоды, вентиляторы, фасонные элементы), применяемого для систем пневмотранспорта.

4. На плане (разрезе) промздания начертить межцеховую схему всасывающе-нагнетательной системы пневмотранспорта с промежуточным отделением материала и описать основные технические характеристики. Указать особенности оборудования (воздуховоды, вентиляторы, фасонные элементы), применяемого для систем пневмотранспорта.

5. На плане (разрезе) промздания начертить межцеховую схему нагнетательной системы пневмотранспорта и описать основные технические характеристики. Указать особенности оборудования (воздуховоды, вентиляторы, фасонные элементы), применяемого для систем пневмотранспорта.

6. На плане (разрезе) промздания начертить межцеховую схему всасывающей системы пневмотранспорта и описать основные технические характеристики. Указать особенности оборудования (воздуховоды, вентиляторы, фасонные элементы), применяемого для систем пневмотранспорта.

7. На плане (разрезе) промздания начертить упрощенную схему с коллектором-сборником внутрицеховых систем пневмотранспорта отходов и материалов, указать принцип действия, преимущества и недостатки. Указать особенности оборудования (воздуховоды, вентиляторы, фасонные элементы), применяемого для систем пневмотранспорта.

8. На плане (разрезе) промздания начертить тупиковую схему внутрицеховых систем пневмотранспорта отходов и материалов, указать принцип действия, преимущества и недостатки. Указать особенности оборудования (воздуховоды, вентиляторы, фасонные элементы), применяемого для систем пневмотранспорта.

На плане (разрезе) промздания начертить кольцевую схему внутрицеховых систем пневмотранспорта отходов и материалов, указать принцип действия, преимущества и недостатки. Указать особенности оборудования (воздуховоды, вентиляторы, фасонные элементы), применяемого для систем пневмотранспорта.

9. На разрезе здания начертить схему противодымной защиты здания повышенной этажности. Обозначить места установки противопожарного вентиляционного оборудования, указать его назначение и технические характеристики.

IV ВСПОМАГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

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

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

_____ А.М.Омельянюк

« » _____ 2020 г.

Регистрационный № УД- _____ /уч.

«ВЕНТИЛЯЦИЯ»

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.

СОСТАВИТЕЛИ:

Сальникова С.Р., старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

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 *подпись* В.Г.Новосельцев

(протокол № _____ от _____ 20____);

Методической комиссией факультета инженерных систем и экологии

Председатель методической комиссии *подпись* О.П.Мешик

(протокол № _____ от _____ 20____);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № _____ от _____ 20____)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Место учебной дисциплины.

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

Цель преподавания учебной дисциплины:

Изучение устройства и принципов функционирования систем вентиляции.

Задачи учебной дисциплины:

Основной задачей изучения дисциплины является приобретение суммы знаний и умений, необходимых для успешной работы в качестве инженера-строителя в любой из отраслей строительного профиля: получение широких знаний, теоретических и технологических основ вентиляции гражданских, общественных и промышленных зданий, включающих: свойства воздуха, процессы и аппараты для его обработки; аэродинамику помещений, воздухопроводов и зданий; санитарно-гигиенические и технологические требования к воздушной среде помещения; конструкции, принципы действия и особенности различных систем вентиляции и пневмотранспорта, применяемых в современной отечественной и зарубежной практике; основные проблемы строительства и реконструкции систем вентиляции; вопросы охраны труда, техники безопасности и охраны окружающей среды; вопросы борьбы с вибрацией и шумом, создаваемых при работе вентиляционных установок; приобретение навыков научных исследований, умения давать технико-экономическую оценку проектных решений, проектировать системы вентиляции и пневмотранспорта, развивать способности самостоятельно и творчески принимать оптимальные инженерные решения в области вентиляции на основе последних достижений науки и техники; получение знаний по методам охраны атмосферного воздуха от промышленных пылегазовых загрязнений и способам сокращения затрат тепловой и электрической энергии при работе систем вентиляции и пневмотранспорта.

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 теплоснабжения, газоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна.
- ПК-9. Выбирать оптимальный критерий развития систем теплогазоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна и осуществлять их оптимизацию.
- ПК-13. Рассчитывать и анализировать режимы работы систем теплоснабжения, газоснабжения, отопления, вентиляции, 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 теплогазоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха соблюдать требования охраны окружающей среды.
- ПК-32. Осуществлять авторский надзор за монтажом систем теплогазоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна в пределах соответствующей компетенции.
- ПК-35. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективам развития систем теплогазоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна; инновационным технологиям, проектам и решениям.

В результате изучения дисциплины студент должен знать

- свойства влажного воздуха и процессы изменения его состояния;
- теоретические основы расчета турбулентных струй и течений воздуха в каналах;
- основы составления тепловых и воздушных балансов помещений, расчета воздухообмена;
- основные требования при проектировании, испытании, наладке и эксплуатации систем вентиляции.

уметь

- определять расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха;

- определять расчетный воздухообмен в помещениях;
- подбирать оборудование вентиляционных систем;
- выбирать оптимальный вариант систем вентиляции по санитарно-гигиеническому экономическому эффекту.

владеть

- методами расчета и подбора вентиляционного оборудования;
- методами анализа технических характеристик вентиляционного оборудования в зданиях различного назначения;
- методиками испытания и наладки систем вентиляции.

Связи с другими учебными дисциплинами

Для изучения дисциплины «Вентиляция» необходимо изучение дисциплины «Механика жидкости и газа», «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение», «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	3	6	144	3,5	64	32		32			зачет
1-70-04-02	ТГВиОВБ	4	7	164	4	80	32	16	32		60	экзамен
1-70-04-02	ТГВиОВБ	4	8	123	3	64	32		32		60	экзамен

План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления)	Курс	Семестр	учебных часов	число зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					часов на курсовой	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		

	специальности)					Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70-04-02	ТГВиОВБ	4	7	130	4	14	6	2	6			зачет
1-70-04-02	ТГВиОВБ	4	8	170	4	14	6	2	6		60	экзамен
1-70-04-02	ТГВиОВБ	5	9	220	2,5	12	6		6		60	экзамен

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	2	4	141	3,5	14	4		4			зачет
1-70-04-02	ТГВиОВБ	3	5	150	4		4	4	6		60	экзамен
1-70-04-02	ТГВиОВБ	3	6	140	3		2	6	6		60	экзамен

1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1.1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Введение. Понятие вентиляции, ее назначение и основные задачи. История развития вентиляции. Назначение вентиляции. Вентиляция как отрасль строительной техники и элемент инженерного оборудования зданий и сооружений. Краткий исторический обзор и особенности развития вентиляции за последние годы. Вентиляция и охрана труда. Требования, предъявляемые к вентиляции. Гигиенические требования к воздушной среде помещений гражданских и промышленных зданий.

Классификация систем вентиляции. Виды вентиляции. Приточная и вытяжная вентиляция. Общеобменная и местная вентиляция. Вентиляция с механическим побуждением движения воздуха и естественным движением воздуха в системах вентиляции.

Свойства воздуха и процессы изменения его состояния. Свойства влажного воздуха. Химический состав. Основные термодинамические характеристики. Плотность, теплоемкость, энтальпия, влажность и влагосодержание воздуха. I-d диаграмма влажного воздуха, построение диаграммы. Изображение процессов теплообмена на диаграмме. Процессы нагревания и охлаждения. Процессы адиабатического увлажнения. Изотермические процессы увлажнения. Политропические процессы тепло- и влагообмена. Смешение воздуха.

Тепловой, влажностный и газовый режимы помещений. Основные вредности, поступающие в помещение. Поступление теплоты в помещения от людей, искусственного освещения, электродвигателей, нагретого оборудования, от остывающего

материала и продукции, через заполнение световых проемов, через массивные ограждения. Избыточная теплота. Поступление влаги в помещения. Поступление вредных газов, паров и пыли в воздух помещений.

Определение воздухообмена в помещении. Уравнения теплового и воздушного баланса помещения. Расчет расхода приточного воздуха общеобменной вентиляции.

Учет рециркуляции и перетекания воздуха между помещениями. Параметры наружного, приточного, внутреннего и уходящего из помещения воздуха в расчетные периоды. Расчетная величина воздухообмена. Расчет воздухообмена по нормативной величине кратности.

Организация воздухообмена в помещении. Струйные течения. Общие положения. Классификация струйных течений в помещении. Теоретические основы расчета турбулентных струй. Свободные изотермические струи. Свободные неизотермические струи. Динамическая и тепловая граница струи. Распределение скоростей и температур по сечению и вдоль струи. Стесненные струи. Струи, вытекающие через перфорированные решетки. Струи, настилающиеся на плоскость. Взаимодействие струйных течений. Конвективные струи. Основные схемы подачи приточного воздуха в помещение. Порядок расчета воздухообмена в помещении.

Неорганизованный воздухообмен в помещении. Теоретические предпосылки расчета воздушного режима здания. Определение расходов воздуха через отдельные элементы и конструкции здания. Неорганизованный воздухообмен в промышленных зданиях, в многоэтажных гражданских зданиях. Схемы движения воздуха в здании. Способы расчета неорганизованного воздухообмена в многоэтажном здании.

Аэрация помещений общественных и промышленных зданий. Область применения аэрации. Варианты расчета аэрации. Общая картина воздухообмена и циркуляции воздуха в помещении при аэрации. Способы расчета аэрации помещений. Аэрация многопролетных и многоэтажных зданий. Конструктивное выполнение аэрационных устройств. Приточные и вытяжные проемы. Аэрационные фонари. Вытяжные шахты. Дефлекторы.

Конструктивное выполнение вентиляционных систем. Схемы вентиляционных систем, их отдельные элементы. Выбор мест расположения приточных и вытяжных вентиляционных установок. Конструктивное выполнение отдельных устройств и элементов приточной и вытяжной вентиляции. Устройства для забора воздуха. Вентиляционные камеры.

Вентиляционные каналы и воздуховоды. Вентиляционные каналы и воздуховоды. Приточные и вытяжные отверстия и насадки. Основные принципы конструирования и расчета воздуховодов.

Аэродинамика систем вентиляции. Полное, статическое и динамическое давления. Потери давления на трение. Потери давления в местных сопротивлениях. Распределение давления в системах вентиляции. Измерение статического, динамического и полного давления в нагнетательных и всасывающих воздуховодах систем вентиляции. Рекомендуемые скорости движения воздуха в системах вентиляции. Аэродинамический расчет систем вентиляции с механическим побуждением. Определение величины давления для подбора вентилятора и для аэродинамической увязки ответвлений сети. Аэродинамический расчет систем вентиляции с естественным и механическим побуждением.

Требования при проектировании и эксплуатации систем вентиляции. Основные технико-экономические показатели системы вентиляции. Оценка и выбор оптимальных вариантов систем. Нормы и правила эксплуатации систем вентиляции. Противопожарные мероприятия и требования, предъявляемые к системам вентиляции.

Очистка воздуха. Общие сведения о запыленности воздуха и способах его очистка. Очистка от пыли приточного и рециркуляционного воздуха. Характеристика воздушных фильтров. Классификация воздушных фильтров. Классификация и технические характеристики пылеуловителей. Расчет и подбор фильтров.

Нагревание воздуха. Классификация и конструкции калориферов. Расчет калориферов. Коэффициент теплопередачи калориферной установки. Способы регулирования температуры подогреваемого воздуха. Мероприятия, предотвращающие замерзание воды в калориферах. Использование приточной вентиляции для воздушного отопления помещений. Отопительно-вентиляционные агрегаты, конструкция и область применения.

Защита от шума. Звук, его природа и особенности. Источники возникновения и пути распространения звука, создаваемого вентиляционными установками. Акустический расчет вентиляционных систем. Мероприятия по снижению уровня звукового давления. Конструкция и расчет шумоглушителей.

Особенности вентиляции зданий различного назначения. Особенности расчета и проектирования систем вентиляции общественных зданий. Типичные ошибки в проектировании вентиляции общественных зданий и их последствия.

Системы вентиляции жилых зданий. Основные принципы организации воздухообмена в жилых зданиях. Конструктивные решения вентиляционных каналов жилых зданий различных типовых серий. Факторы, влияющие на воздушный режим жилых зданий: объемно-планировочные решения здания и квартир; метеорологические условия; конструктивные схемы систем вентиляции. Недостатки и преимущества работы систем вентиляции с естественным побуждением.

Системы вентиляции общественных зданий. Вентиляция общественных зданий: Детские ясли-сады. Больницы и поликлиники. Кинотеатры и клубы. Магазины. Супермаркеты. Предприятия общественного питания. Бани и прачечные. Расчетные воздухообмены, схемы организации воздухообмена и вентиляционное оборудование.

Вентиляция административных зданий и сооружений. Общеобразовательные школы, школы-интернаты и профессионально-технические училища. Учреждения образования. Лаборатории. Основные принципы расчета и организации воздухообмена в административных зданиях.

Испытание и наладка вентиляционных систем. Испытание и наладка вентиляционных систем. Технические и санитарно-гигиенические испытания вентиляционных систем; Приборы для технического контроля за работой вентиляционных систем. Испытание вентиляционных установок.

Системы местной вытяжной вентиляции. Местная механическая вытяжная вентиляция. Местные отсосы. Движение воздуха около вытяжных отверстий. Назначение и основные требования к местным отсосам. Санитарно-гигиеническое значение местных отсосов. Типы местных отсосов, применяемых для борьбы с влагой, вредными газами, парами и пылью. Местные отсосы открытого типа. Вытяжные зонты. Зонты-козырьки. Конструкции, область применения и особенности работы вытяжных зонтов. Определение расхода удаляемого воздуха. Боковые отсосы. Отсасывающие пане-

ли. Конструкции, область применения, расход удаляемого воздуха. Бортовые отсосы. Область применения бортовых отсосов. Простые и опрокинутые, односторонние, двухсторонние. Определение расхода удаляемого воздуха. Кольцевые отсосы. Нижние отсосы.

Вытяжные шкафы. Вытяжные шкафы с естественной и механической вытяжкой и их расчет. Конструкции вытяжных шкафов. Укрытия в виде камер или кабин. Определение количества воздуха, удаляемого из камер или кабин. Активированные местные отсосы, область применения, конструкция и расчет. Кожухи - воздухоприемники. Местные отсосы для улавливания пыли. Конструкция, место установки отсоса для улавливания пыли. Некоторые типы укрытий для оборудования, выделяющего пыль. Рекомендуемые объемы удаляемого воздуха.

Системы местной приточной вентиляции. Местная механическая приточная вентиляция. Местные души. Типы воздушных душей. Температура и скорость движения воздуха при душировании. Расчет воздушных душей. Стационарные и передвижные установки для душирования рабочих мест. Конструкции душирующих патрубков.

Воздушные завесы. Классификация воздушных завес. Принцип действия. Связь с воздушным режимом помещения. Требования к воздушным завесам. Конструкции воздушных завес. Основные закономерности струй воздушных завес. Расчет воздушных завес периодического действия. Расчет воздушных завес постоянного действия.

Системы аспирации и пневмотранспорта. Класс систем аспирации транспорта. Виды систем. Материалы и отходы, перемещаемые пневмотранспортом. Оборудование и фасонные части систем аспирации. Внутрицеховые и межцеховые установки пневмотранспорта. Основное оборудование и воздуховоды для систем пневмотранспорта. Расчет систем пневмотранспорта.

Аварийная вентиляция. Системы противодымной защиты. Основные принципы организации противодымной защиты многоэтажных жилых зданий. Схема системы противодымной вентиляции. Основные принципы расчета системы дымоудаления и подбор оборудования (дымовые клапаны, вентиляторы)

Вентиляция помещений промышленных предприятий. Вентиляция цехов со значительными избытками теплоты. Выделяющиеся вредные вещества в помещениях промпредприятий. Общеобменная вентиляция цехов. Основные схемы подачи приточного воздуха и воздухораспределители. Предотвращение перетекания вредных веществ в «чистые» помещения.

Вентиляция сельскохозяйственных зданий и сооружений. Основные вредности. Расчетные параметры. Рекомендуемые системы вентиляции для помещений животноводческих зданий. Схемы систем вентиляции птицеводческих зданий. Организация вентиляции в помещениях для хранения сельхозпродукции.

1.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

- Определение параметров наружного и внутреннего воздуха для теплого, холодного периодов года и переходных условий.
- Расчет поступления вредностей в помещения общественных и

промышленных зданий.

- Расчет теплотерь и теплопритоков, составление тепловых и воздушных балансов зданий.
- Определение воздухообмена в помещениях по вредностям для теплого, холодного периодов года и переходных условий и по кратностям.
- Расчет воздухообмена цехов промышленных зданий.
- Расчет и подбор сечения каналов приточных и вытяжных систем.
- Расчет воздухораспределения, подбор воздухораспределителей и вытяжных устройств.
- Расчет производительности местных отсосов различных типов
- Аэродинамический расчет систем вентиляции с механическим побуждением.
- Аэродинамический расчет систем вентиляции с естественным побуждением.
- Подбор оборудования (фильтра, калорифера, вентилятора) вентиляционной установки. Конструирование приточных и вытяжных камер.
- Акустический расчет приточной установки и подбор шумоглушителя.
- Конструирование приточно-вытяжных систем вентиляции общественных и промышленных зданий.

1.3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

- Исследование работы естественной вытяжной системы вентиляции. Ознакомление с принципом работы канальной вытяжной вентиляционной системы и ее исследование в заданных режимах тепловыделения и открытия приточного отверстия
- Исследование всасывающего факела, образующегося в торце всасывающего воздуховода.

- Исследование аэродинамического сопротивления матерчатых фильтров (из различных материалов) и построение графической его зависимости от удельных нагрузок.
- Определение удельной потери давления на трение в воздуховодах. Экспериментальное определение величины потерь давления на трение при движении воздуха в воздуховодах с поперечным сечением круглой и квадратной формы и сравнение полученной величины с теоретически рассчитанными.
- Изучение работы приточной вентиляционной камеры АКЭ-3-3 .
- Ознакомление с принципом работы агрегата вентиляционного теплоутилизационного АВТУ-300, определение аэродинамических и теплотехнических характеристик агрегата.
- Испытание и наладка вентиляционных систем и составление паспортов вентиляционных установок.
- Изучение и испытание установки местной вентиляции. Ознакомление с устройством, принципом действия и методикой испытаний приточной и вытяжной установок местной вентиляции.

2.ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

В рамках изучения дисциплины программой предусмотрено выполнение курсового проекта на тему «Вентиляция общественного здания». Количество часов по учебному плану – 60 (1,5 з.е.)

Курсовой проект состоит из пояснительной записки (35 – 45 стр.) и графического материала (2 листа формата А1). В состав пояснительной записки входят следующие разделы: выбор расчетных параметров наружного и внутреннего воздуха для трех периодов года; определение количества вредных веществ; определение воздухообмена и выбор расчетного воздухообмена; расчет воздухообмена по кратности; определение количества и площадей сечения каналов; подбор воздухораспределителей; определение производительности приточных и вытяжных установок; расчет раздачи приточного воздуха; аэродинамический расчет вентустановок; подбор вентиляционного оборудования.

Графический материал включает: планы и разрез здания с нанесением оборудования и воздуховодов запроектированной системы вентиляции; аксонометрические схемы систем вентиляции с нанесением оборудования; план и разрез приточной камеры; детали; спецификация оборудования вентиляционной камеры; условные обозначения.

В рамках изучения дисциплины программой предусмотрено выполнение курсового проекта на тему «Вентиляция промышленного здания». Количество часов по учебному плану – 60 (1,5 з.е.)

Курсовой проект состоит из пояснительной записки (35 – 45 стр.) и графического материала (2 листа формата А1). В состав пояснительной записки входят следующие разделы: описание технологического процесса и характеристика выделяющихся вредностей; выбор расчетных параметров наружного и внутреннего воздуха для трех периодов года; определение выделяющихся вредностей; определение типа и производительности местных отсосов от технологического оборудования; определение воздухообмена по вредностям; расчет раздачи приточного воздуха; аэродинамический расчет приточной и вытяжной системы; подбор вентиляционного оборудования; расчет воздушно-тепловой завесы.

Графический материал включает: планы и разрез здания с нанесением технологического оборудования и систем вентиляции; аксонометрические схемы рассчитанных систем; схема раздачи воздуха воздушно-тепловой завесой; план и разрез приточной камеры с нанесением оборудования, спецификация.

3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для дневной формы получения образования

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Введение. Понятие вентиляции, ее назначение и основные задачи. История развития вентиляции.	2				2	Зачет
2	Классификация систем вентиляции	4	2			8	Зачет
3	Свойства воздуха и процессы изменения его состояния	6	4			8	Зачет
4	Тепловой, влажностный и газовый режимы помещений	6	8		2	12	Зачет
5	Определение воздухообмена в помещении.	4	10			12	Зачет Курсовой проект
6	Организация воздухообмена в помещении. Струйные течения.	4	4		2	6	Зачет Курсовой проект
7	Неорганизованный воздухообмен в помещении.	2				4	Зачет
8	Аэрация помещений общественных и промышленных зданий.	2	2		2	16	Зачет

9	Конструктивное выполнение вентиляционных систем.	2	2			6	Зачет Курсовой проект
10	Вентиляционные каналы и воздуховоды.	4	6			10	Экзамен Курсовой проект
11	Аэродинамика систем вентиляции.	4	6		2	12	Экзамен Курсовой проект
12	Требования при проектировании и эксплуатации систем вентиляции.	2				6	Экзамен
13	Очистка воздуха.	2	2		2	6	Экзамен Курсовой проект
14	Нагревание воздуха.	4	2			8	Экзамен Курсовой проект
15	Защита от шума.	2	2			6	Экзамен Курсовой проект
16	Особенности вентиляции зданий различного назначения.	2	2			5	Экзамен
17	Системы вентиляции жилых зданий.	2	2			8	Экзамен
18	Системы вентиляции общественных зданий.	4	4			10	Экзамен Курсовой проект
19	Вентиляция административных зданий и сооружений.	4	4			10	Экзамен Курсовой проект
20	Испытание и наладка вентиляционных систем.	2	2		2	4	Экзамен
21	Системы местной вытяжной вентиляции.	8	8		1	12	Экзамен Курсовой проект
22	Системы местной приточной вентиляции.	4	6		1	10	Экзамен Курсовой проект
23	Системы аспирации и пневмотранспорта.	8	6			10	Экзамен Курсовой проект
24	Аварийная вентиляция. Системы противодымной защиты.	4	4			10	Экзамен
25	Вентиляция помещений промышленных предприятий.	4	4			12	Экзамен Курсовой проект
26	Вентиляция сельскохозяйственных зданий и сооружений.	4	4			10	Экзамен

	Всего	96	96		16	223	
--	--------------	-----------	-----------	--	-----------	------------	--

3.2 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения образования

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Понятие вентиляции, ее назначение и основные задачи. Классификация систем вентиляции. Свойства воздуха и процессы изменения его состояния. Тепловой, влажностный и газовый режимы помещений	2				30	Зачет Курсовой проект
2	Определение и организация воздухообмена в помещении. Струйные течения.	2	2			50	Зачет Курсовой проект
3	Конструктивное выполнение вентиляционных систем.	2	2			40	Зачет Курсовой проект
4	Вентиляционные каналы и воздуховоды. Аэродинамика систем вентиляции.	2	4		2	60	Экзамен Курсовой проект
5	Очистка воздуха. Нагревание воздуха. Защита от шума.	2	2		2	30	Экзамен Курсовой проект
6	Особенности вентиляции зданий различного назначения. Системы вентиляции жилых, общественных, административных зданий и сооружений.	2				70	Экзамен Курсовой проект
7	Системы местной вытяжной и приточной вентиляции. Системы аспирации и пневмотранспорта.	2	4			80	Экзамен Курсовой проект
8	Аварийная вентиляция. Системы противодымной защиты.	2	2			50	Экзамен
9	Вентиляция помещений промышленных предприятий. Вентиляция сельскохозяйственных зданий и сооружений.	2	2			70	Экзамен Курсовой проект
	Всего	18	18		4	480	

3.3 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

для заочной формы получения образования, интегрированного со средним специальным образованием

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Понятие вентиляции, ее назначение и основные задачи. Классификация систем вентиляции. Свойства воздуха и процессы изменения его состояния. Тепловой, влажностный и газовый режимы помещений	1	2			30	Зачет
2	Определение и организация воздухообмена в помещении. Струйные течения.	1	2		2	36	Зачет Курсовой проект
3	Конструктивное выполнение вентиляционных систем.	1	2			40	Экзамен Курсовой проект
4	Вентиляционные каналы и воздуховоды. Аэродинамика систем вентиляции.	2	2		2	60	Экзамен Курсовой проект
5	Очистка воздуха. Нагревание воздуха. Защита от шума.		2		4	40	Экзамен Курсовой проект
6	Особенности вентиляции зданий различного назначения. Системы вентиляции жилых, общественных, административных зданий и сооружений.	2	2			50	Экзамен Курсовой проект
7	Системы местной вытяжной и приточной вентиляции. Системы аспирации и пневмотранспорта.	1	2		2	60	Экзамен Курсовой проект
8	Вентиляция помещений промышленных предприятий. Аварийная вентиляция. Системы противодымной защиты.	2	2			80	Экзамен Курсовой проект
Всего		10	16		10	396	

4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1. Перечень литературы (учебной, учебно-методической, научной, нормативной, др.)

Основная

1. СН 4.02.03-2019. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск, 2020.
2. ТКП 45-2.04-43-2006 Строительная теплотехника. – Мн., 2007. – 36с.
3. Богословский В.Н. и др. Отопление и вентиляция. Часть 2. Вентиляция.
4. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое проектирование./ Под редакцией Б.М. Хрусталева. – М.: Изд-во АСВ, 2007.
5. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Вентиляция и кондиционирование воздуха (Внутренние санитарно-технические устройства). Часть 2. Под редакцией И.Г. Староверова.
6. Торговников Б.М. и др. Проектирование промышленной вентиляции. Справочник. – «Будівельник», 1983.
7. Ю. Сибикин. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Academia. 2006.
8. Л. Балужева, В. Ананьев, В. Мурашко. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. Новая редакция. / Библиотека Климатехника./ Евроклимат. 2008.

Дополнительная

1. Стомахина Г.И., Бобровицкий И.И., Малявина Е.Г., Плотникова Л.В. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Жилые здания со встроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей. Коттеджи: Справочное пособие. – М.: Пантори. 2003.
2. Краснов Ю.С., Борисоглебская А.П., Антипов А.В. Системы вентиляции и кондиционирования / Рекомендации по проектированию, испытанию и наладке. – Москва. Термокул. 2004.
3. Ананьев В.А., Балужев Л.Н., Гальперин А.Д., Городов А.К., Еремин М.Ю., Звягинцев С.М., Мурашко В.П., Седых И.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. 2001. Третье издание.

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	Природообустройства		
2. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение	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