

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  
«ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ, АСПИРАЦИЯ И ПНЕВ-  
МОТРАНСПОРТ»**

для специальности:

1-36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств»

Составитель:

Ю.Ю. Сопин – 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.

*пр. № УМК 22/23-92*

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### **Актуальность изучения дисциплины**

Дисциплина «Вентиляционные установки, аспирация и пневмотранспорт» является основой профессиональной подготовки специалистов по специальности 1-36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств».

Целью преподавания дисциплины «Вентиляционные установки, аспирация и пневмотранспорт» является подготовка специалистов, способных осуществлять проектирование, строительство и эксплуатацию систем обеспыливающей вентиляции с учетом аэродинамики оборудования; систем, обеспечивающих нормальные санитарно-гигиенические условия для работы в производстве.

Задачи изучения дисциплины:

- получение знаний о санитарно-гигиенических и технологических основах вентиляции, аспирации и пневмотранспорта;
- 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
- приобретение навыков научных исследований, умения давать технико-экономическую оценку проектных решений, проектировать системы вентиляции, аспирации и пневмотранспорта, развивать способности самостоятельно и творчески принимать оптимальные инженерные решения на основе последних достижений науки и техники.

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 «Вентиляционные установки, аспирация и пневмотранспорт» для специальности 1-36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств». ЭУМК разработан в полном соответствии с утвержденной учебной программой по учебной дисциплине компонента учреждения высшего образования «Вентиляционные установки, аспирация и пневмотранспорт».

### **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 «Вентиляционные установки, аспирация и пневмотранспорт»:

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

**Практический раздел** ЭУМК содержит материалы для проведения лабораторных учебных занятий в виде лабораторного практикума.

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

**Вспомогательный раздел** включает учебную программу учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Вентиляционные установки, аспирация и пневмотранспорт».

#### **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 экзаменам, выполнению и защите курсового проекта студенты могут использовать конспект лекций;

– 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;

– экзамены проводятся в письменной форме, вопросы для 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 Свойства воздуха и процессы изменения его состояния

Тема 3 Основные вредности, поступающие в помещение

Тема 4 Определение воздухообмена в помещении. Организация воздухообмена в помещении

Тема 5 Основные законы аэродинамики

Тема 6 Конструктивное выполнение вентиляционных систем

Тема 7 Нагревание воздуха. Защита от шума. Очистка воздуха

Тема 8 Аэрация помещений промышленных зданий

Тема 9 Вентиляция помещений промышленных предприятий

Тема 10 Системы местной вытяжной вентиляции

Тема 11 Системы местной приточной вентиляции

Тема 12 Системы аспирации и пневмотранспорта

Тема 13 Оборудование и устройства систем вентиляции, аспирации и пневмотранспорта

Тема 14 Испытание и наладка вентиляционных и пневмотранспортных систем

### II ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Лабораторный практикум

### III РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Вопросы к экзамену

### IV ВСПОМАГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

# І ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## ТЕМА 1 ВВЕДЕНИЕ

## ТЕМА 2 СВОЙСТВА ВОЗДУХА И ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО СОСТОЯНИЯ

- 2.1. Основные параметры влажного воздуха
- 2.2. I-d диаграмма влажного воздуха
- 2.3. Понятие вентиляционного процесса
- 2.4. Расчетные параметры наружного воздуха
- 2.5. Расчетные параметры внутреннего воздуха
- 2.6. Расчетные параметры приточного воздуха
- 2.7. Расчетные параметры удаляемого воздуха

## ТЕМА 3 ОСНОВНЫЕ ВРЕДНОСТИ, ПОСТУПАЮЩИЕ В ПОМЕЩЕНИЕ

- 3.1. Понятие вредности
- 3.2. Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в рабочей зоне
- 3.3. Классы опасности вредных веществ
- 3.4. Основные виды вредностей и их влияние на самочувствие человека
- 3.5. Расчет поступления вредностей от людей
- 3.6. Расчет тепlopоступлений в помещения общественных зданий
  - 3.6.1. Тепlopоступления от системы отопления
  - 3.6.2. Тепlopоступления от источников искусственного освещения
  - 3.6.3. Тепlopоступления от солнечной радиации через окна
  - 3.6.4. Тепlopоступления от солнечной радиации через покрытие

## ТЕМА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ. ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ

- 4.1. Определение воздухообмена в помещении
- 4.2. Определение необходимого воздухообмена по нормативной кратности
- 4.3. Способы воздухораспределения
- 4.4. Распределение воздуха в помещении
- 4.5. Закономерности распространения приточных струй
- 4.6. Классификация приточных струй

## ТЕМА 5 ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ АЭРОДИНАМИКИ

- 5.1. Давление воздуха в системах вентиляции
- 5.2. Распределение давлений в системах вентиляции с механическим побуждением

5.3. Свойства вентиляционных сетей

5.4. Аэродинамический расчет механических систем вентиляции

5.5. Аэродинамический расчет систем вентиляции с естественным побуждением воздуха

## ТЕМА 6 КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

6.1. Основные элементы вентиляционных систем

6.2. Конструкция общеобменной приточной вентиляции

6.3. Конструкция общеобменной вытяжной вентиляции

6.4. Каналы

6.5. Воздуховоды

## ТЕМА 7 НАГРЕВАНИЕ ВОЗДУХА. ЗАЩИТА ОТ ШУМА. ОЧИСТКА ВОЗДУХА

7.1. Калориферы

7.2. Воздуонагревательные установки

7.3. Общие сведения о запыленности воздуха и способах его очистки

7.4. Звук

7.5. Физические показатели оценки шума

7.6. Особенности физиологического воздействия звука

7.7. Источник возникновения шума в системах вентиляции

7.8. Нормирование шумов

7.9. Акустический расчет

7.10. Расчет снижения уровня звуковой мощности

7.11. Мероприятия по снижению шума в установках вентиляции и кондиционирования воздуха

## ТЕМА 8 АЭРАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

8.1. Аэрация зданий

8.2. Область действия

8.3. Цель расчета аэрации

8.4. Аэрация с использованием ветрового давления

8.5. Рекомендации по аэрации производственных зданий

8.6. Аэрационные устройства

## ТЕМА 9 ВЕНТИЛЯЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

## ТЕМА 10 СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

10.1. Вытяжная локализирующая вентиляция

- 10.1.1. Вытяжные зонты
- 10.1.2. Бортовые отсосы
- 10.1.3. Вытяжные шкафы
- 10.1.4. Окрасочные камеры
- 10.1.5. Отсосы с мягкими укрытиями

## 10.2. Пылеулавливающие отсосы

## ТЕМА 11 СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

- 11.1. Воздушные души
- 11.2. Воздушные завесы
- 11.3. Расчёт воздушных завес

## ТЕМА 12 СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ И ПНЕВМОТРАНСПОРТА

- 12.1. Движение материала в потоке воздуха
- 12.2. Аспирация
- 12.3. Очистка аспирационного воздуха
- 12.4. Классификация и схемы систем аспирации и пневмотранспорта

## ТЕМА 13 ОБОРУДОВАНИЕ И УСТРОЙСТВА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ, АСПИРАЦИИ И ПНЕВМОТРАНСПОРТА

- 13.1. Воздуховоды
- 13.2. Диафрагмы
- 13.3. Приемники
- 13.4. Вентиляторы и воздуходувки
- 13.5. Циклоны

## ТЕМА 14 ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ И ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

- 14.1. Виды испытаний вентиляционных систем
- 14.2. Используемые приборы

## 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.

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 приточными, 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 канальные 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 1.1 приведено несколько вариантов СВЕ с указанием их описание в соответствии с выше приведенной классификацией.

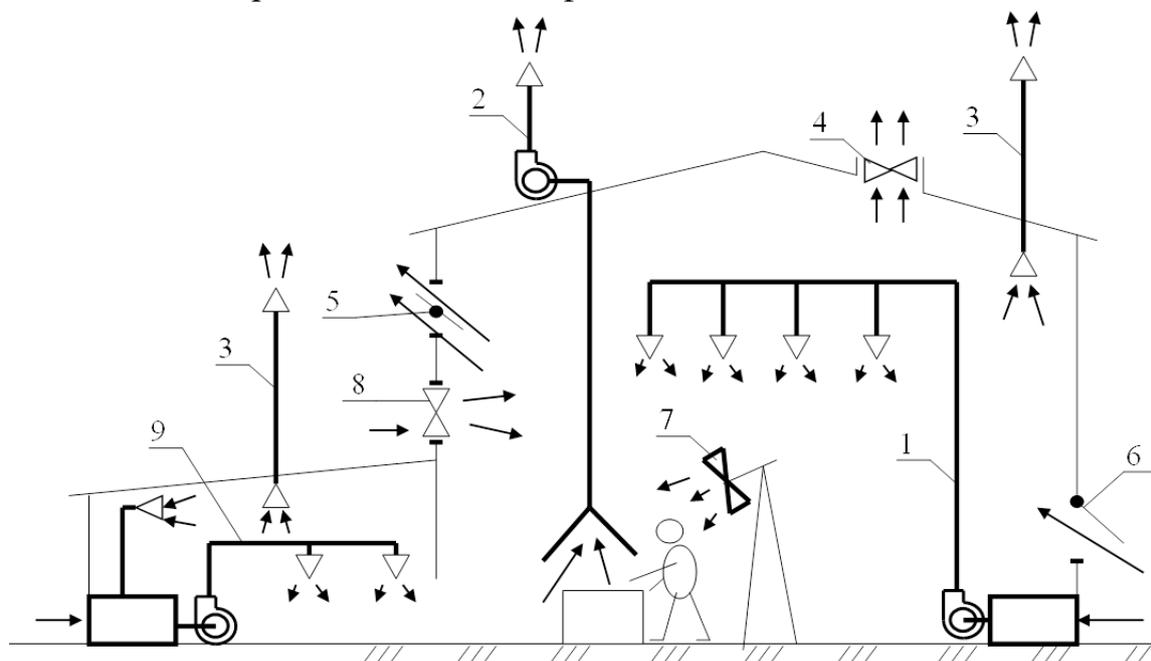


Рисунок 1.1. – Системы вентиляции производственного помещения

1 – Приточная прямооточная 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 прямооточная общеобменная бесканальная система с механическим побуждением движения воздуха;

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

## ТЕМА 2 СВОЙСТВА ВОЗДУХА И ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО СОСТОЯНИЯ

### 2.1. 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  $\text{кг/м}^3$ . 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

$$\rho_t = 353 / (273 + t) \quad (2.1)$$

Плотность ВП может быть определена по формуле

$$\rho_t = 219 / (273 + t) \quad (2.2)$$

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 расчетов 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  $p_{ен}$  во влажном воздухе. Чем больше влаги, тем больше  $p_{ен}$ . Связь между количеством влаги и парциальным давлением водяных паров выражается следующими зависимостями

$$d = 623 / (P_0 - p_{ен}), \quad (2.3)$$

$$p_{ен} = P_0 / (623 + d), \quad (2.4)$$

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  $p_{нт}$ , 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

$$\varphi = 100 \times p_{вн} / p_{нп} \quad (2.5)$$

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  $t$ .

$$I = c_{cb} t + r d / 1000 + c_{en} t d / 1000 \quad (2.6)$$

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.

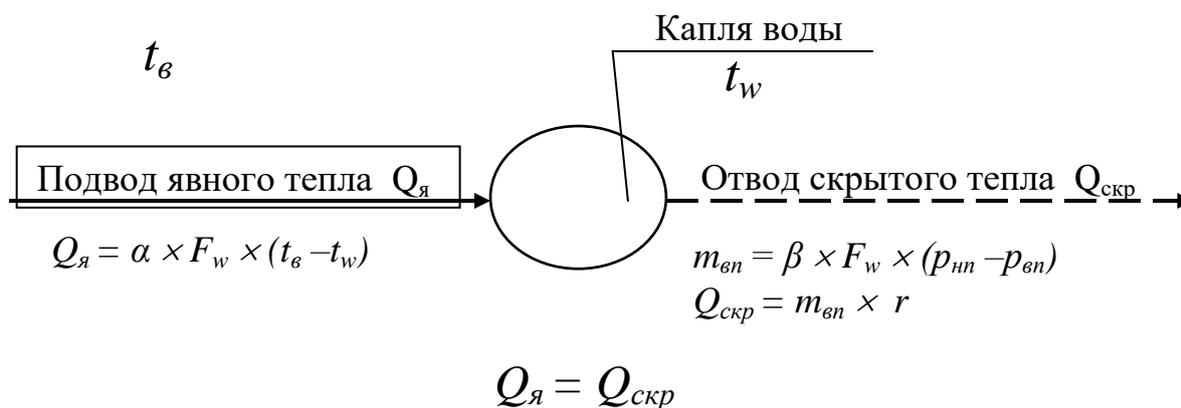


Рисунок 2.1 – К пояснению понятия температуры мокрого термометра.

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

$$\alpha \times F_w \times (t_a - t_w) = \beta \times F_w \times (p_{nn} - p_{en}) \times r \quad (2.7)$$

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.

## 2.2. 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  $135^\circ$  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.

## **2.3. 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 вредных веществ, 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 становится 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.

#### **2.4. 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

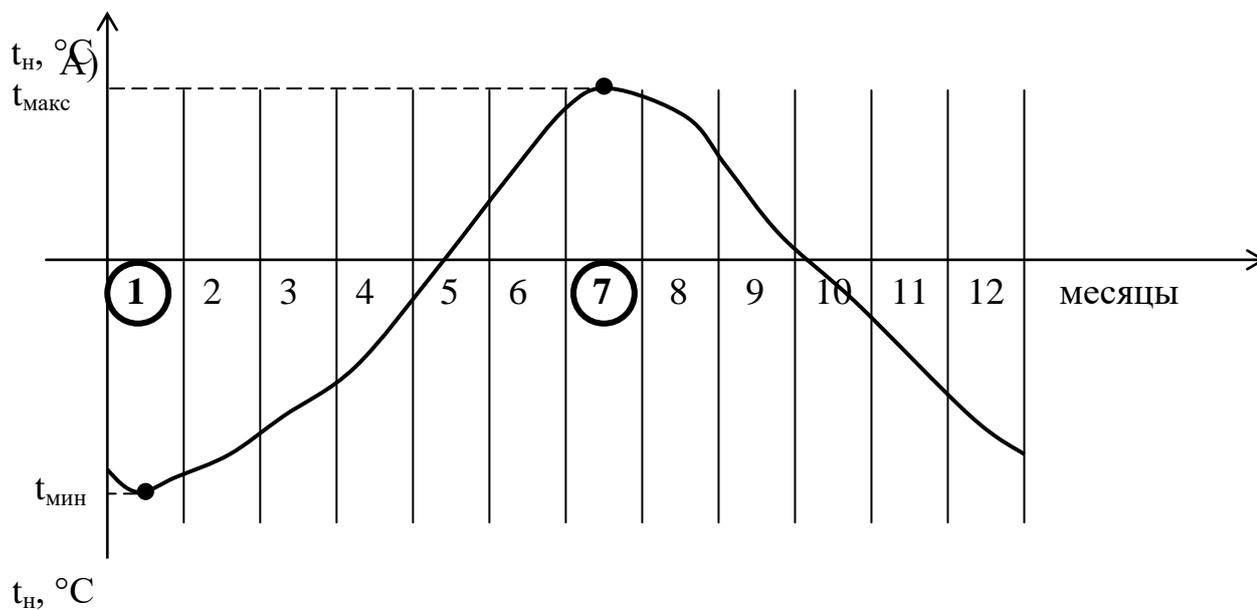
определенных значений параметров воздуха. Поэтому возникает вопрос, а какие именно значения параметров следует принимать в качестве расчетных. Решение этого вопроса зависит в первую очередь от уровня требований, предъявляемых ко всему зданию и к его системам обеспечения микроклимата (СОМК).

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 предыдущего. 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.



б)

а) Годовой график изменения среднесуточной температуры

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

Рисунок 2.3 – К понятию расчетной температуры наружного воздуха

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.

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 соста-

вит 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 ответственных 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 2.2.

Таблица 2.2. 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		
<b>Витебская область</b>									
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	—
<b>Минская область</b>									
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		
<b>Гродненская область</b>									
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	—
<b>Могилевская область</b>									
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	—
<b>Брестская область</b>									
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		
<b>Гомельская область</b>									
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	—

Значение географической широты местности является важным при расчете теплоступлений 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<sub>2</sub> приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.3. Концентрации углекислого газа в наружном воздухе

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

## 2.5. 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 пределах 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 тепловому периоду, как самому невыгодному. В этих условиях с точки зрения экономии теплоты выгоднее принять за расчетное значение внутренней температуры нижнюю границу допустимого 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.

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.

Таблица 2.4. 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%.

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.

$$G = Q_{изб} / [c (t_e - t_n)] \quad (2.8)$$

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, CO<sub>2</sub>) во внутреннем воздухе принимают равной предельно допустимой концентрации (ПДК) в помещении. Значения ПДК для CO<sub>2</sub> приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5. Концентрации углекислого газа во внутреннем воздухе помещений

Место	Концентрация C, л/м <sup>3</sup>
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

## 2.6. 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  $0,5 - 1^\circ$  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.

$$\Delta t_{вент} = P (1 - \eta) / (\eta \rho c) \quad (2.9)$$

При среднем давлении вентилятора 1000 Па, величина нагрева воздуха составит  $0,25^\circ$ .

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  $0,5^\circ$ .

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  $1,5^\circ$  ниже температуры внутреннего воздуха. Поэтому температуру приточного воздуха принимают всего на несколько градусов ниже расчетной температуры внутреннего воздуха в соответствии с рекомендациями таблицы 6.

$$t_{np} = t_e - \Delta t_{np} \quad (2.10)$$

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 2.6.

Таблица 2.6. Рекомендуемый перепад температур на притоке

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

$$t_{np} = t_e + 2 \Delta t_{np} \quad (2.11)$$

Согласно санитарным нормам, максимальное значение температуры приточного воздуха для помещений, в которых находятся люди, составляет  $45^\circ\text{C}$ .

Концентрации углекислого газа в приточном принимают равной концентрации в наружном воздухе с учетом пересчета по плотностям (смотри таблицу 2.3).

## 2.7. 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 воздухораспределитель-

ных 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, если 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

$$t_y = t_{pz} + \text{grad } t (H_{ном} - 2) \quad (2.12)$$

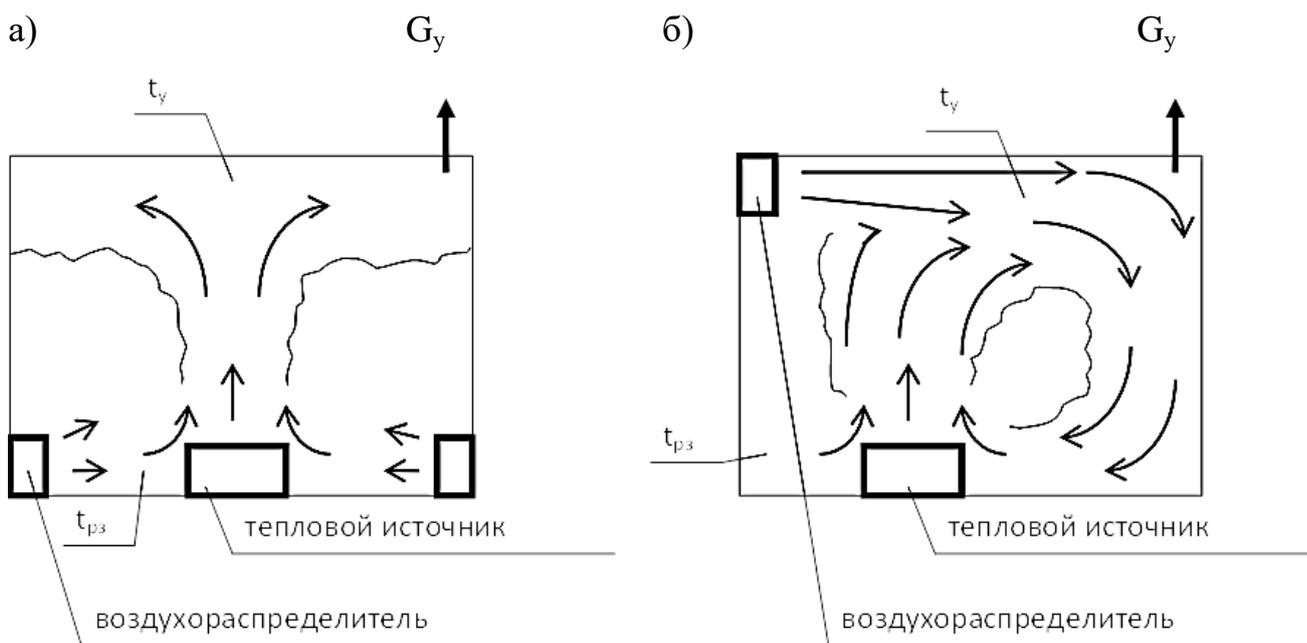
где  $H_{ном}$  – высота помещения, м.

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 посте-

пенно 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 образующуюся вверху 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) при рассредоточенной подаче воздуха в рабочую зону с малыми скоростями;

б) при сосредоточенной подаче воздуха в верхнюю зону мощными приточными струями;

Рисунок 2.4 – 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. Основным источником теплоты – находящиеся в помещениях люди. Они размещены рассредоточено по помещению и имеют низкую температуру (36,6°), 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/м<sup>3</sup>

$$q = Q_{изб.я.} / V_{пом.} \quad (2.13)$$

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

$V_{пом.}$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Рекомендуемые значения градиентов температуры приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7. Рекомендуемые значения градиента температуры в помещениях общественных зданий

Теплонапряженность помещения (удельные избытки явного тепла) $q$ , Вт/м <sup>3</sup>	Градиент температуры $grad t$ , °C/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 2.5.

## ТЕМА 3 ОСНОВНЫЕ ВРЕДНОСТИ, ПОСТУПАЮЩИЕ В ПОМЕЩЕНИЕ

### 3.1. 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  $\text{CO}_2$  наблюдается его негативное воздействие на организм человека. Однако причиной его образования в общественных зданиях является дыхание людей, при котором из воздуха помещения потребляется кислород. Поэтому наличие углекислого газа является свидетельством понижения концентрации

кислорода, что негативно сказывается на самочувствии человека. Именно поэтому углекислый газ относят к вредным выделениям, и для него существуют предельно допустимые концентрации.

**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.

### 3.2. 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/м<sup>3</sup>;
- 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<sub>рз</sub>).

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 может 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<sub>мр</sub>), 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<sub>рз</sub> 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 однонаправленного действия сумма отношений фактических концентраций каждого из них ( $C_1, C_2 \dots C_n$ ) в воздухе к их ПДК (ПДК<sub>1</sub>, ПДК<sub>2</sub> ... ПДК<sub>n</sub>) не должна превышать единицы

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1. \quad (3.1)$$

### 3.3. 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<sub>рз</sub> в следующих диапазонах:

класс I — менее 0,1 мг/м<sup>3</sup>;

класс II — от 0,1 до 1 мг/м<sup>3</sup>;

класс III — от 1 до 10 мг/м<sup>3</sup>;

класс IV — более 10 мг/м<sup>3</sup>.

Кроме собственно значения ПДК<sub>рз</sub> 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).

### 3.4. 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 CO<sub>2</sub> равна 46, то есть этот газ существенно тяжелее воздуха, для которого M=29. Соответственно, плотность CO<sub>2</sub> при 20°C равна 1,9 кг/м<sup>3</sup> против 1,2 кг/м<sup>3</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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/м<sup>3</sup>, а в л/м<sup>3</sup>. В некоторой литературе концентрацию CO<sub>2</sub> указывают в процентах по объему. Учитывая, что 1 м<sup>3</sup> равен 1000 л, 1 л/м<sup>3</sup> равен 0,1% по объему

или 1900 мг/м<sup>3</sup>. Значения ПДК для СО<sub>2</sub> составляют от 0,7 л/м<sup>3</sup> для больниц до 2 л/м<sup>3</sup> для магазинов и приведены в разделе "Расчетные параметры воздуха".

Ниже в таблице 3.1 указано влияние повышенных концентраций СО<sub>2</sub> на человеческий организм.

Таблица 3.1. Влияние концентраций углекислый газ на человеческий организм

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

Выделяющееся в помещении тепло влияет на тепловой комфорт человека. 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 концентра-

ции вредных веществ. Теплоотдача излучением зависит от температуры окружающих поверхностей. Особенно чувствительны к излучению оголенные поверхности кожи человека.

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

### 3.5. 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 3.4), причем отдельно подсчитываются явные и полные тепловыделения от людей.

$$Q_{я} = q_{я} N; \quad (3.2)$$

$$Q_n = q_n N; \quad (3.3)$$

$$M_w = m_w N; \quad (3.4)$$

$$V_{CO_2} = v_{CO_2} N, \quad (3.5)$$

где  $N$  — количество людей в помещении;

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

$Q_{я}, Q_n$  — общие теплопоступления 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 поступления 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 3.2.

Таблица 3.2. 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.

### 3.6. Расчет тепlopоступлений в помещения общественных зданий

Расчет тепlopоступлений 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 вести с учетом принятого значения температуры внутреннего воздуха для холодного периода.

**Тепlopоступления** 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.

#### 3.6.1. Тепlopоступления от системы отопления

Тепlopоступления 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.

$$Q_{co} = Q_{mn} (t_{v,ve} - t_n) / (t_{v,om} - t_n), \quad (3.6)$$

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

$t_{v,ve}$  — расчетные температуры внутреннего воздуха для расчета вентиляции, °С;

$t_{v,om}$  — расчетные температуры внутреннего воздуха для расчета отопления, °С;

$t_n$  — расчетная температура наружного воздуха, °С.

### 3.6.2. Теплопоступления от источников искусственного освещения

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

$$Q_{осв} = E F q_{осв} \eta_{осв}, \quad (3.7)$$

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, м<sup>2</sup>;

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

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

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

### 3.6.3. 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 передано воздуху помещения, так как некоторая его доля будет поглощена внутренними ограждениями помещения — полом, потолком и внутренними стенами. Степень поглощения зависит от количества и площади внутренних ограждений, их материала и периода времени поступления солнечной радиации в помещение.

Таким образом, подробный расчет требует учета большого количества факторов. В инженерной методике расчета за стандартный вариант принято поступление тепла

через одинарное остекление толщиной 3 мм, а учет дополнительных факторов осуществляется путем введения поправочных коэффициентов.

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

$$Q_{cp} = \sum (q_{np} K_{Inp} + q_p K_{Ip}) F K_2 K_{отн} K_{сз} K_{ак} \quad (3.8)$$

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

$K_{Inp}$ ,  $K_{Ip}$  — 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.

#### 3.6.4. Теплоступления от солнечной радиации через покрытие

Теплоступления от солнечной радиации через покрытие, называемые в СН 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 (обду-

вания 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 обрешетке) излучение от потолка может играть существенную роль за счет высокой температуры внутренней поверхности. Часть излученного тепла попадает на внутренние ограждения, например, пол, и частично поглощается ими. Остальная часть передается воздуху помещения.

Расчетная модель теплоступлений через покрытие приведена на рисунке 2.

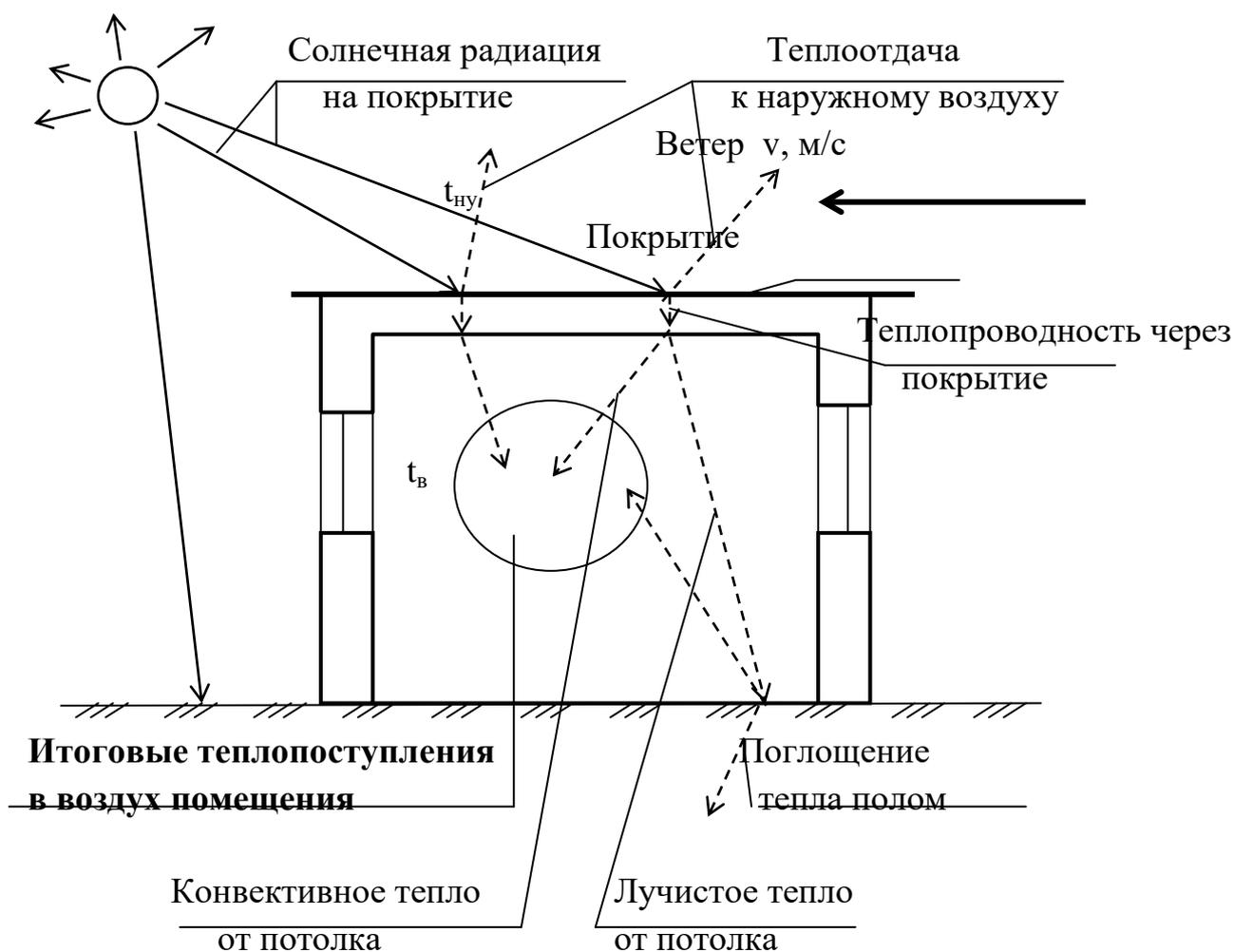


Рисунок 3.2. Схема поступления тепла солнечной радиации через непрозрачное ограждение (покрытие)

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

$$Q_{cp} = (t_{ny} - t_{в}) F_n / R_n, \quad (3.9)$$

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, м<sup>2</sup>;  $R_n$  — сопротивление теплопередачи покрытия (берется по данным теплотехнического расчета), (м<sup>2</sup> °С)/Вт.

Условная наружная температура воздуха над покрытием определяется по формуле

$$t_{ny} = t_n + q_{cp} \rho_n / \alpha_n, \quad (3.10)$$

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/м<sup>2</sup>;  $\rho_n$  — коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью покрытия, принимается по таблице 4;  $\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи к воздуху на наружной поверхности покрытия, Вт/(м<sup>2</sup> °С).

Таблица 3.3. 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

$$\alpha_n = 1,163 (5 + 10 v_n), \quad (3.11)$$

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

Таблица 3.4. 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 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ.

### ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ

#### 4.1. Определение воздухообмена в помещении

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.

$$\sum_{i=1}^{n_1} G_{ni} + \sum_{j=1}^{n_2} G_{nj} - \sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi} - \sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi} = 0, \quad (4.1)$$

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

$$\Delta Q_{я} + 0,28 \cdot \left( \sum_{i=1}^{n_1} G_{ni} \cdot t_{ni} + \sum_{j=1}^{n_2} G_{nj} \cdot t_{nj} - \sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi} \cdot t_{y\varphi} - \sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi} \cdot t_{y\varpi} \right) \cdot c_p = 0; \quad (4.2)$$

по полной (явная и скрытая) теплоте

$$\Delta Q_n + 0,28 \cdot \left( \sum_{i=1}^{n_1} G_{ni} \cdot I_{ni} + \sum_{j=1}^{n_2} G_{nj} \cdot I_{nj} - \sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi} \cdot I_{y\varphi} - \sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi} \cdot I_{y\varpi} \right) = 0; \quad (4.3)$$

по влаговыведениям

$$W_{вл} + 10^{-3} \cdot \left( \sum_{i=1}^{n_1} G_{ni} \cdot d_{ni} + \sum_{j=1}^{n_2} G_{nj} \cdot d_{nj} - \sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi} \cdot d_{y\varphi} - \sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi} \cdot d_{y\varpi} \right) = 0; \quad (4.4)$$

по вредным веществам (газам, парам, пыли)

$$M_{вп} + \sum_{i=1}^{n_1} G_{ni} \cdot c_{ni} \cdot \rho_{ni}^{-1} + \sum_{j=1}^{n_2} G_{nj} \cdot c_{nj} \cdot \rho_{nj}^{-1} - \sum_{\varphi=1}^{n_3} G_{y\varphi} \cdot c_{y\varphi} \cdot \rho_{y\varphi}^{-1} - \sum_{\varpi=1}^{n_4} G_{y\varpi} \cdot c_{y\varpi} \cdot \rho_{y\varpi}^{-1} = 0. \quad (4.5)$$

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;

$t_{ni}, t_{nj}, t_{y\varphi}$  и  $t_{y\varpi}$  – температура воздуха соответственно приточного общеобменного, приточного местного, удаляемого общеобменного и удаляемого местного, °С;

$I_{ni}, I_{nj}, I_{y\varphi}$  и  $I_{y\varpi}$  – энтальпия воздуха соответственно приточного общеобменного, приточного местного, удаляемого общеобменного и удаляемого местного, кДж/кг;

$d_{ni}, d_{nj}, d_{y\varphi}$  и  $d_{y\varpi}$  – влагосодержание воздуха соответственно приточного общеобменного, приточного местного, удаляемого общеобменного и удаляемого местного, г/кг;

$c_{ni}, c_{nj}, c_{y\varphi}$  и  $c_{y\varpi}$  – концентрация вредного вещества в воздухе соответственно приточном общеобменном, приточном местном, удаляемом общеобменном и удаляемом местном, мг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{ni}, \rho_{nj}, \rho_{y\varphi}$  и  $\rho_{y\varpi}$  – плотность воздуха соответственно приточного общеобменного, приточного местного, удаляемого общеобменного и удаляемого местного кг/м<sup>3</sup>;

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

В формулах (4.2) и (4.3) учтено, что 1 Вт = 0,28 кДж/ч.

Физический смысл членов уравнений (4.2, 4.3, 4.4, 4.5) 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 воздушно-го 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.

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 (4.1) с каждым в отдельности из уравнений (4.2), (4.3), (4.4), и (4.5). Для этого из уравнения (4.1) находят суммарную общеобменную вытяжку (кг/ч)

$$\sum_{\varphi=1}^{n3} G_{y\varphi} = \sum_{i=1}^{n1} G_{ni} + \sum_{j=1}^{n2} G_{nj} - \sum_{\varpi=1}^{n4} G_{y\varpi} \quad (4.6)$$

Подставляя это значение общеобменной вытяжки последовательно в каждое из уравнений (4.2), (4.3), (4.4) и (4.5), получают величины суммарного общеобменного притока. Величину суммарной общеобменной вытяжки по каждому виду вредного выделения находят из уравнения (4.6) путем поочередной подстановки в него полу-

ченных 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  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, массовое его значение  $G$ , кг/ч, делят на плотность воздуха  $\rho$ , кг/ м<sup>3</sup>.

Согласно СН 4.02.03-2019 расход приточного воздуха, м<sup>3</sup>/ч, для помещений определяется расчетом с использованием следующих формул:

а) по избыткам явной теплоты

$$L_h = L_{w,z} + \frac{3,6Q - c \cdot L_{w,z} \cdot (t_{w,z} - t_{in})}{c \cdot (t_l - t_{in})}; \quad (4.7)$$

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

$$L_{po} = L_{w,z} + \frac{m_{po} - L_{w,z} \cdot (q_{w,z} - q_{in})}{q_l - q_{in}}; \quad (4.8)$$

в) по избыткам влаги (водяного пара)

$$L_w = L_{w,z} + \frac{W - 1,2L_{w,z} \cdot (d_{w,z} - d_{in})}{1,2(d_l - d_{in})}; \quad (4.9)$$

г) по избыткам полной теплоты

$$L_{h,f} = L_{w,z} + \frac{3,6Q_{h,f} - 1,2L_{w,z} \cdot (I_{w,z} - I_{in})}{1,2(I_l - I_{in})}, \quad (4.10)$$

В формулах (4.7) – (4.10):

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

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

$c$  – теплоемкость воздуха, равная 1,2 кДж/(м<sup>3</sup>·°С);

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

$t_l$ ,  $d_l$ ,  $I_l$  – соответственно температура, влагосодержание, удельная энтальпия воздуха, удаляемого из помещения за пределами рабочей зоны, °С, г/кг, кДж/кг;

$t_{in}$ ,  $d_{in}$ ,  $I_{in}$  – соответственно температура, влагосодержание, удельная энтальпия воздуха, подаваемого в помещение, °С, 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/м<sup>3</sup>;

$q_{in}$  – концентрация вредного вещества в воздухе, подаваемом в помещение, мг/м<sup>3</sup>.

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

$$L_h = \frac{3,6Q}{c \cdot (t_l - t_{in})}; \quad (4.11)$$

по массе выделяющихся вредных веществ

$$L_{po} = \frac{m_{po}}{q_l - q_{in}}; \quad (4.12)$$

по избыткам влаги

$$L_w = \frac{W}{1,2(d_l - d_{in})}; \quad (4.13)$$

по избыткам полной теплоты

$$L_{h,f} = \frac{3,6Q_{h,f}}{1,2(I_l - I_{in})}; \quad (4.14)$$

Расход воздуха следует определять отдельно для теплого, холодного и переходного периодов года, принимая большую из величин, полученных по формулам (4.7) – (4.10), при плотности приточного и удаляемого воздуха 1,2 кг/м<sup>3</sup>.

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

$$L_n = V_p \cdot n; \quad (4.15)$$

е) по нормируемому удельному расходу приточного воздуха

$$L_{sp} = A \cdot K; \quad (4.16)$$

$$L_{sp} = N \cdot m, \quad (4.17)$$

где  $V_p$  – объем помещения, м<sup>3</sup>. Для помещений высотой б м и более следует принимать  $V_p = 6A$ ;

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

$n$  – нормируемая кратность воздухообмена, ч<sup>-1</sup>;

$N$  – число людей, рабочих мест, единиц оборудования;

$K$  – нормируемый расход приточного воздуха на 1 м<sup>2</sup> площади пола помещения, м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>);

$m$  – нормируемый удельный расход приточного воздуха на 1 человека, на 1 рабочее место или единицу оборудования, м<sup>3</sup>/ч.

Расход приточного воздуха, определяемый по формулам (4.15) – (4.17), 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:

$$t_l = t_{in} + K_t(t_{w,z} - t_{in}), \quad (4.18)$$

$$t_l = t_{in} + (t_{w,z} - t_{in})/m \quad (4.19)$$

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.

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

$$q_l = q_{in} + K_q(q_{ПДК} - q_{in}), \quad (4.20)$$

где  $K_q$  – коэффициент воздухообмена по концентрации вредности, значения которого в пределах 0,8-1,85;  $q_{ПДК}$  – 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  $0,1q_g$  мг/м<sup>3</sup>, 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 (4.7) и (4.10) следует определять из выражения

$$t_{in} = t_{ext} + 0,001P, \quad (4.21)$$

где  $t_{ext}$  – температура наружного воздуха, °С;

$P$  – 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

$$t_{lcp} = \frac{G_{w,z}t_{w,z} + G_l t_l}{G_{w,z} + G_l}, \quad (4.22)$$

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.

#### 4.2. 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:

$$n = \frac{L}{V} \quad (4.23)$$

где  $n$  — кратность воздухообмена;  $L$  — воздухообмен, м<sup>3</sup>/ч;  $V$  — объем помещения, м<sup>3</sup>.

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 м<sup>3</sup> необходимо подавать наружного воздуха не менее 30 м<sup>3</sup>/ч на каждого работающего, а в помещениях с объемом на одного работающего 20 м<sup>3</sup> и более – не менее 20 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/ч на одного работающего, в общественных и административно-бытовых помещениях также не менее 60 м<sup>3</sup>/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 необходи-

мой 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.).

### 4.3. 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.

Воздухораспределительные устройства (решетки на стенах или потолочные диффузоры) для вентиляции перемешиванием подбираются с высокой степенью эжекции. Эжекция - способность подмешивать в приточную струю прилегающий внутренний воздух (производить перемешивание)

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.

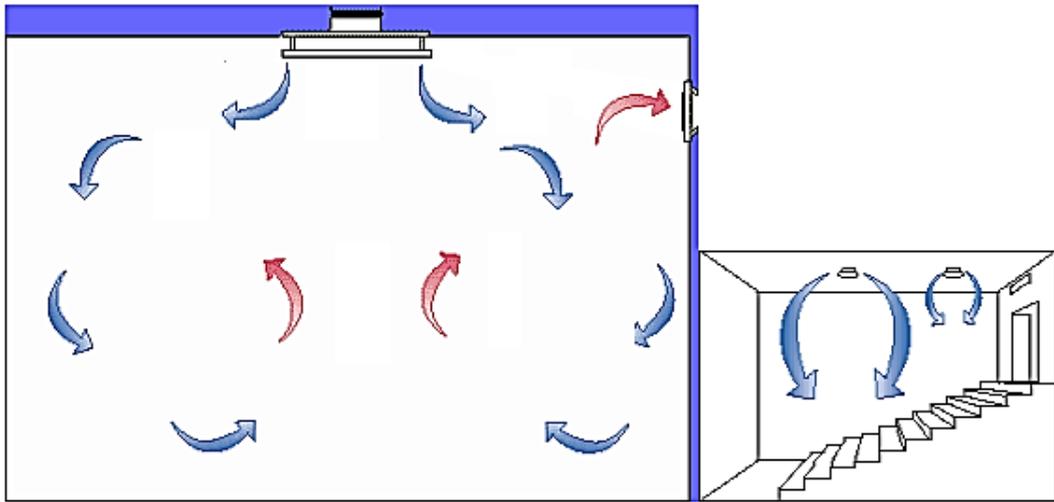


Рисунок 4.1 – Вентиляция перемешиванием

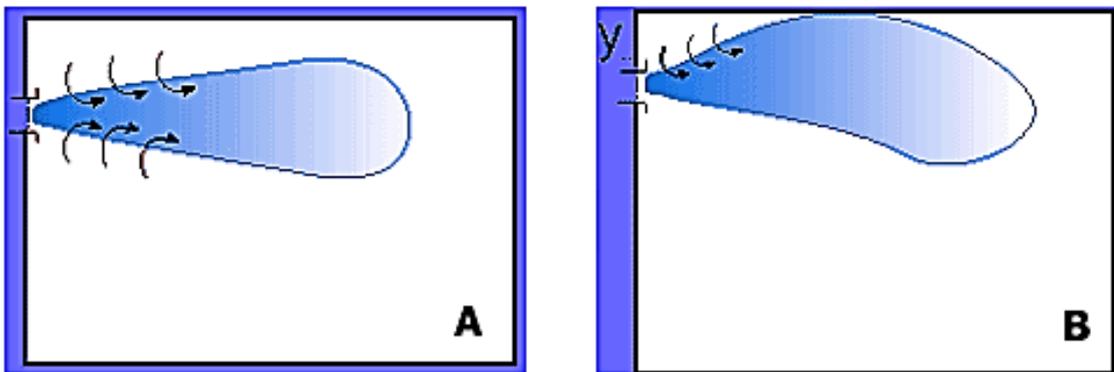


Рисунок 4.2 – Настенные решетки с высокой степенью эжекции

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.4.3 - настиляющий 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.

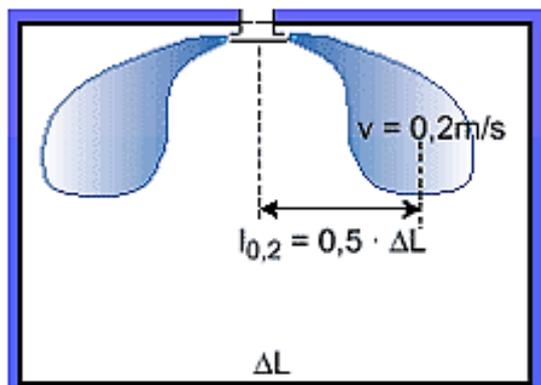


Рисунок 4.3 – Раздача воздуха через потолочные диффузоры

### ***Вентиляция вытеснением.***

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

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 вредностей 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.

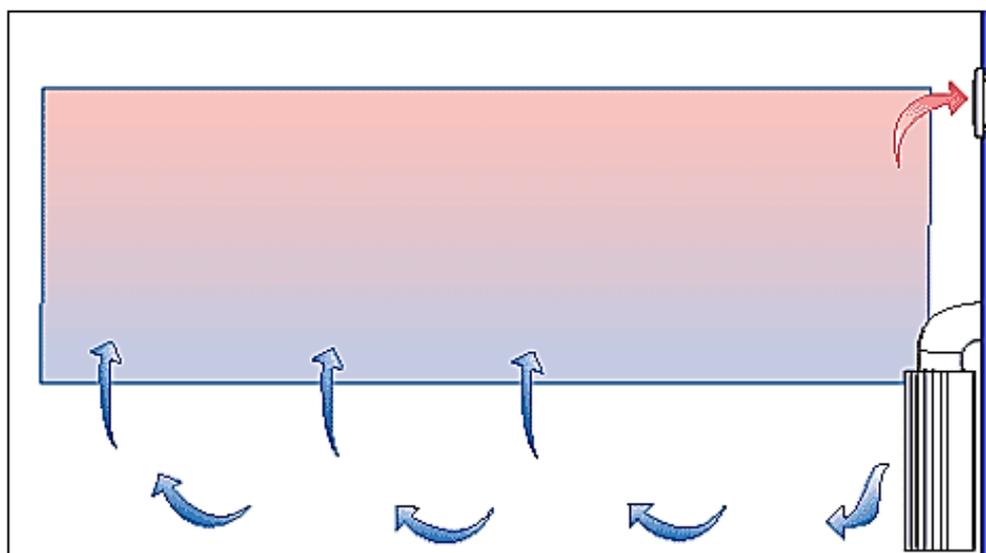


Рисунок 4.4 – Вентиляция вытеснением.

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 связанно с тем, что низкоскоростные воздухораспределители (эжекции нет) достаточно большие и дорогие, зани-

мают 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.

#### 4.4. 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  $t_{п}$  (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.

#### **4.5. Закономерности распространения приточных струй**

Из круглого отверстия диаметром  $d_0$  в неограниченное пространство поступает воздух (рис. 4.5, 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. 4.5, 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:

$$\frac{w_{xy}}{w_x} = \exp\left[-0,5\left(\frac{y}{C \cdot x}\right)^2\right], \quad (4.24)$$

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 ( $Ar$ ):

$$Ar = \beta \cdot g \frac{d_o (t_b - t_{II})}{w_o^2}, \quad (4.25)$$

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

При  $Ar > 0,001$  ось неизотермической струи заметно искривляется; при  $t_{II} > t_b$  струя «всплывает» вверх, при  $t_{II} < t_b$  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:

$$\frac{w_x}{w_o} = m \cdot K_H \cdot \frac{d_o}{x}; \quad (4.26)$$

$$\frac{\Delta t_x}{\Delta t_y} = n \cdot K_H \cdot \frac{d_o}{x}. \quad (4.27)$$

где  $w_x$  и  $\Delta t_x$  – 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 воздухоораспределителя.

Искривленная ось траектории приточной неизотермической струи описывается уравнением:

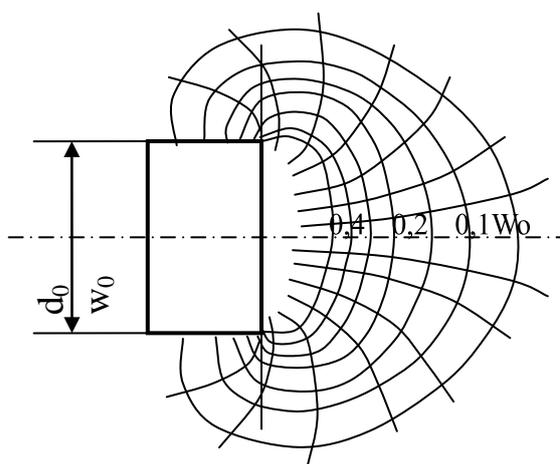
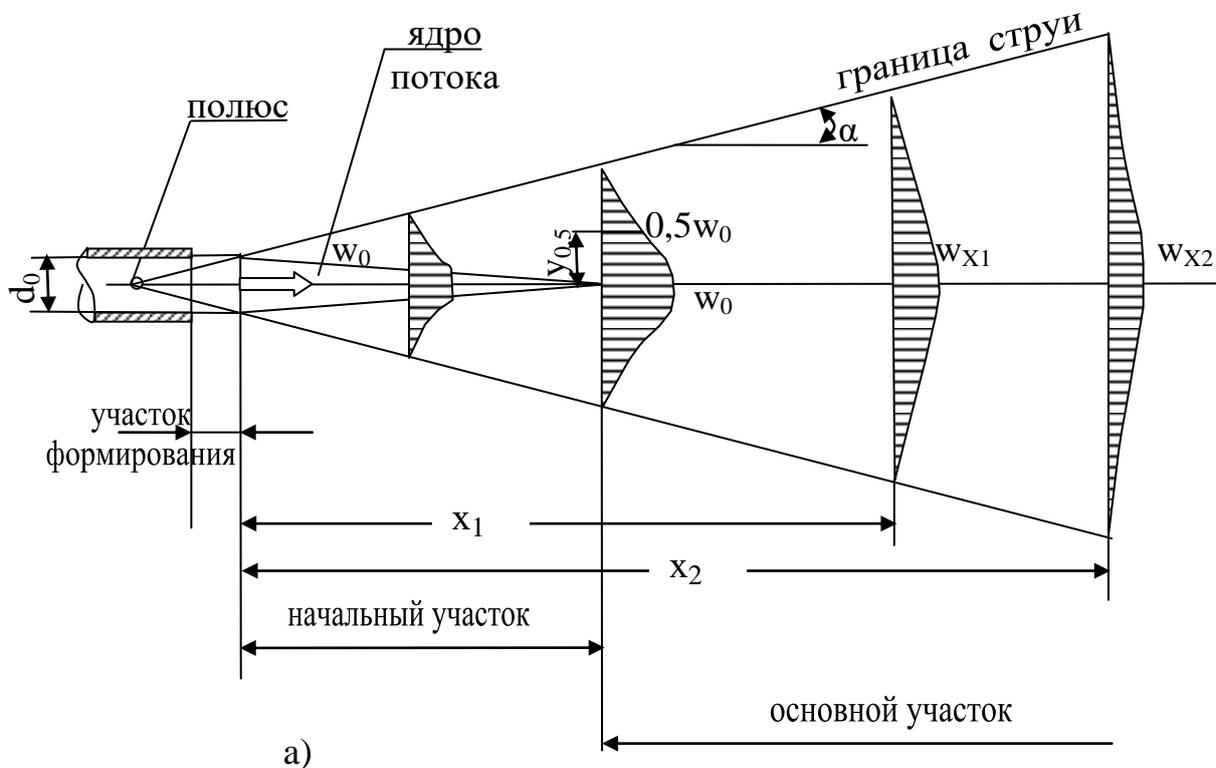
$$\frac{y}{d_o} = \frac{0,5}{m} Ar \left( \frac{x}{d_o} \right). \quad (4.28)$$

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. 4.5, 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.

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.



б)

Рисунок 4.5 - Схемы приточной и вытяжной струи:

а) схема распространения простейшей приточной вентиляционной струи;

б) схема всасывающего факела

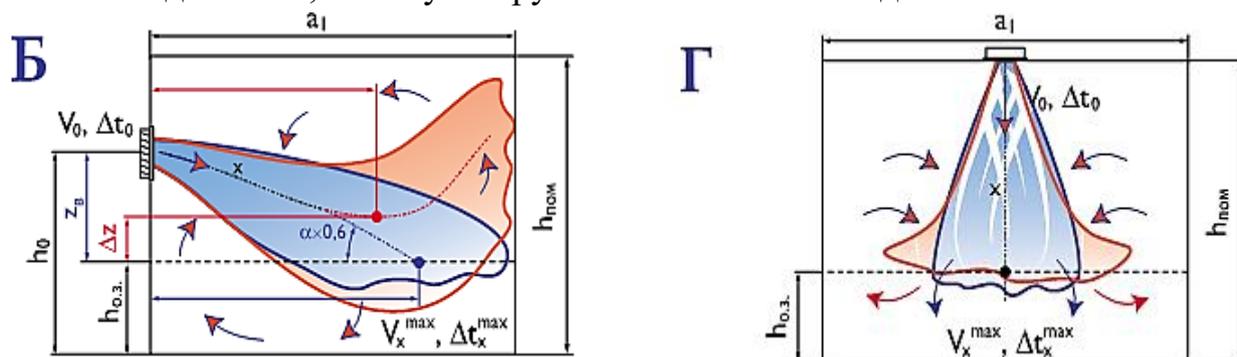
#### 4.6. Классификация приточных струй

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.

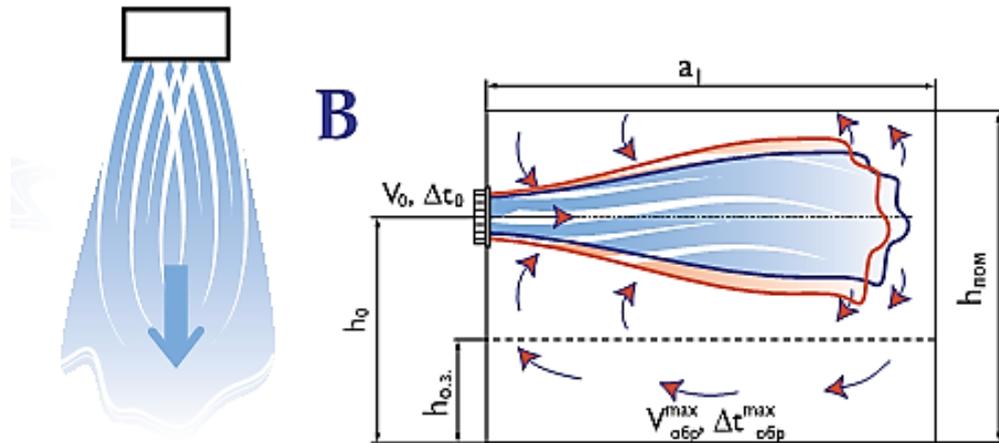
В зависимости от характера развития струи бывают свободными (схема Б и Г) и несвободными (стесненными) (схема А). Струю называют свободной, если она истекает в достаточно большое пространство и не имеет никаких помех для своего свободного развития. Если на развитие струи ограждающие конструкции помещения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



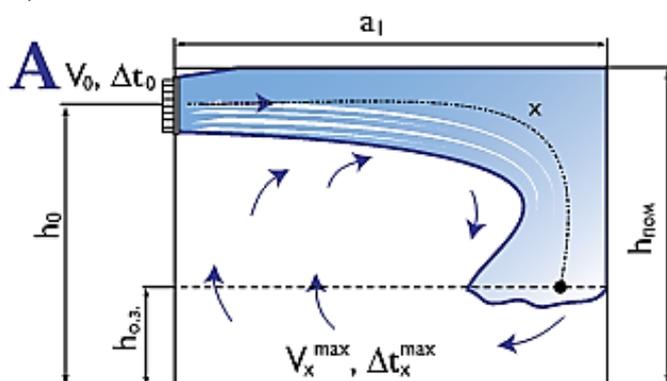
В зависимости от направления скорости истечения приточные струи можно разделить на сосредоточенные и рассеянные. Векторы скорости истечения сосредоточенных струй параллельны, векторы скорости истечения рассеянных струй расходятся.

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

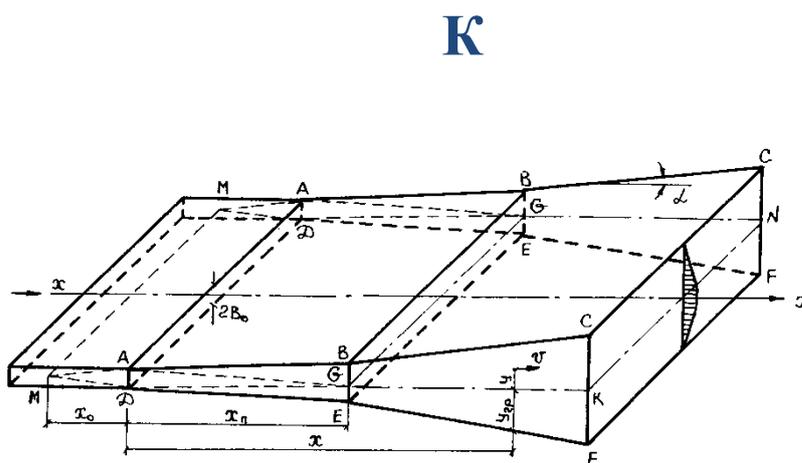
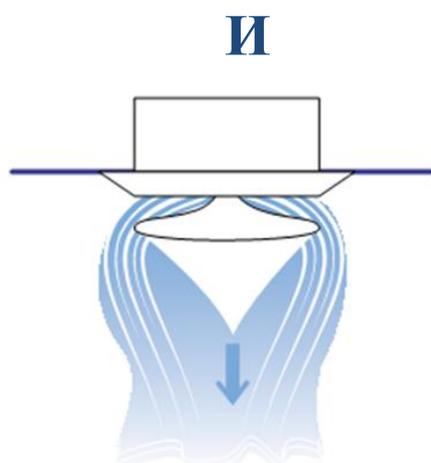
Компактные струи (схема В) образуются при выпуске воздуха из круглых и прямоугольных отверстий, как открытых, так и затененных решетками или различного вида перфорированными устройствами. Форма компактной струи совпадает с геометрической осью струи.



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

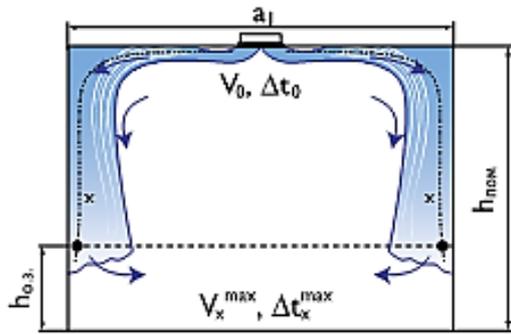


Истечение воздуха из щелевидного отверстия, имеющего соотношение сторон 1:20 и более, формируется плоская струя (схема К), а при истечении из кольцевой щели – кольцевая струя (схема И). Компактные и плоские струи считаются настилающимися, если распространяются вдоль ограждающих поверхностей помещения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

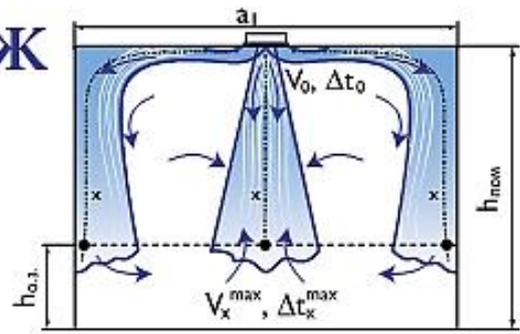


При выпуске воздуха из круглого отверстия с диффузором образуется расширенная коническая струя (схема Г).

Д



Ж



Верные струи образуются при подаче воздуха в помещение через насадки с препятствием, установленным поперек потока. Разновидности верных 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 5 ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ АЭРОДИНАМИКИ

### 5.1. 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)

$$P_d = \frac{v^2}{2} \rho, \quad (5.1)$$

где  $v$  – скорость движения воздуха, м/с;

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

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

$$P_n = P_{cm} + P_d, \quad (5.2)$$

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)

$$\Delta P_{mp} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \rho, \quad (5.3)$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления трения;

$l$  – длина воздуховода, м;

$v$  – скорость движения воздуха, м/с;

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

$d$  – диаметр воздуховода, м.

Коэффициент сопротивления трения находят по формуле А. Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{\text{Re}} + \frac{k}{d} \right)^{0,25}, \quad (5.4)$$

где  $k$  – высота выступов шероховатости, м;

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

$\nu$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с.

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

$$\Delta p_{mp} = R \cdot l, \quad (5.5)$$

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

$$d_{эв} = \frac{2ab}{a+b}, \quad (5.6)$$

формуле

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.

$$R = R_{mб} \cdot \beta_{ш}, \quad (5.7)$$

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

$\beta_{ш}$  – коэффициент учета действительной шероховатости стенок воздуховода (табл. 5.1).

В местном сопротивлении потеря давления составляет

$$\Delta p_{м.с} = \zeta \frac{v^2}{2} \rho, \quad (5.8)$$

где  $\zeta$  – коэффициент местного сопротивления.

Таблица 5.1. 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

$$Z = \sum \zeta \frac{v^2}{2} \rho = \sum \zeta \cdot p_0, \quad (5.9)$$

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

Общая потеря давления на расчетном участке будет

$$\Delta p_{\text{уч}} = R \cdot l + Z, \quad (5.10)$$

где  $l$  – длина участка, м.

## 5.2. Распределение давлений в системах вентиляции с механическим побуждением

На рис. 5.1 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.

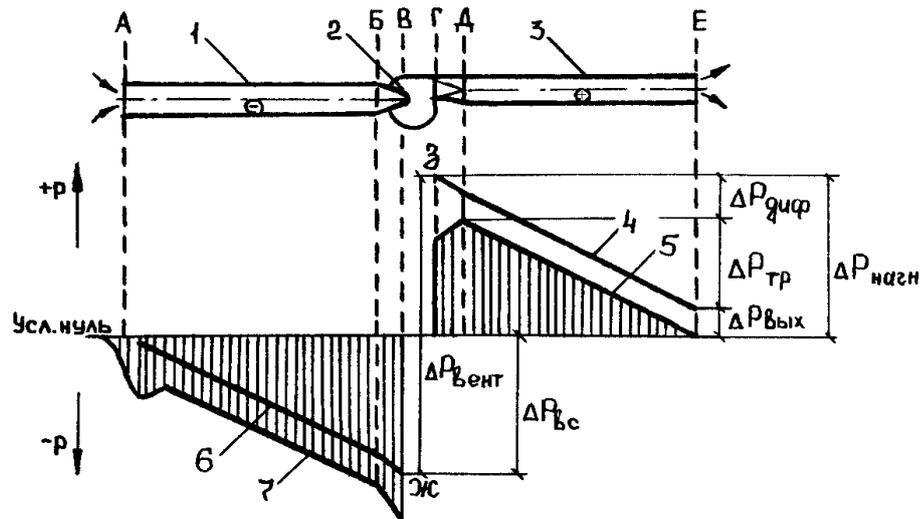


Рисунок 5.1 – Распределение давлений в вентиляционной системе.

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

$$\Delta p_{вс} = (R \cdot l + Z)_{вс} . \quad (5.11)$$

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

$$\Delta p_{нагн} = (R \cdot l + Z)_{нагн} . \quad (5.12)$$

Значения полных давлений, определяемые по формулам (5.11) и (5.12), равны соответственно потерям давления во всасывающем и нагнетательном воздуховодах. Давление, развиваемое вентилятором, расходуется на преодоление сопротивления движению воздуха по этим воздуховодам, оно равно

$$P_{вент} = \Delta p_{вс} + \Delta p_{нагн} . \quad (5.13)$$

### 5.3. Свойства вентиляционных сетей

Любой участок воздуховода и вся вентиляционная сеть в целом обладают сопротивлением движению воздуха. Если в формулу (5.10) подставить приведенные выше значения  $R$  и  $Z$ , то потеря давления на участке сети будет выглядеть так

$$\Delta p_{уч} = \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2} \rho , \quad (5.14)$$

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

$$\Delta p_{уч} = \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\rho}{2f^2} L^2 , \quad (5.15)$$

где  $L$  – объемный расход воздуха, проходящего по воздуховоду, м<sup>3</sup>/с;  
 $f$  – площадь поперечного сечения воздуховода, м<sup>2</sup>.

После введения обозначения

$$B = \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\rho}{2f^2} \quad (5.16)$$

или выражая  $f$  через  $d$

$$B = 0,8 \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\rho}{d^4} \quad (5.17)$$

уравнение (5.15) примет вид

$$\Delta p_{уч} = B \cdot L^2 \quad (5.18)$$

Здесь величина  $B$ , имеющая размерность  $\text{кг}/\text{м}^7$  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 воздуховодов 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

$$L = k \cdot A \cdot v, \quad (5.19)$$

где  $k$  – коэффициент расхода;

$A$  – площадь эквивалентного отверстия,  $\text{м}^2$ ;

$v$  – скорость воздуха,  $\text{м}/\text{с}$ .

Подстановка значения скорости  $v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$  в (5.19) приводит к выражению

$$L = k \cdot A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \quad (5.20)$$

где  $\Delta p$  – перепад давления, Па.

Откуда

$$A = \frac{L}{k \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}}. \quad (5.21)$$

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

$$A = 1,19 \frac{L}{\sqrt{\Delta p}}. \quad (5.22)$$

После подстановки в (5.22) значения  $\Delta p$  из (5.18) имеем

$$A = \frac{1,19}{\sqrt{B}}. \quad (5.23)$$

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. 5.2, *а* 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.

$$\Delta p_{\text{общ}} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \dots + \Delta p_n \quad (5.24)$$

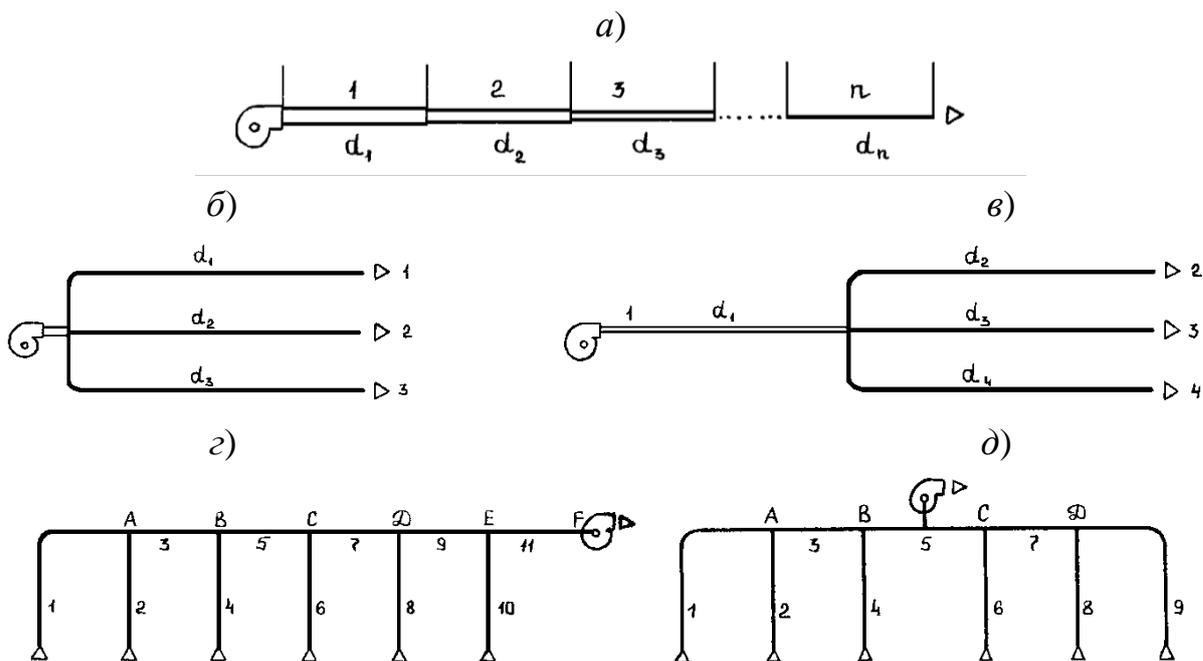


Рисунок 5.2 – Схемы соединения воздуховодов: *а* – последовательная; *б* – параллельная; *в* – последовательно-параллельная; *г* – фланговая; *д* – центральная сложнопараллельная.

Общее аэродинамическое сопротивление последовательного соединения выражается по аналогичной формуле

$$B_{\text{общ}} = B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_n \quad (5.25)$$

Из (5.22) перепад давления равен

$$\Delta p = \frac{1,19^2 L^2}{A^2} \quad (5.26)$$

Подстановка этого значения перепада давления в (5.24) дает

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

или

$$\frac{1}{A_{общ}^2} = \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} + \dots + \frac{1}{A_n^2} . \quad (5.27)$$

Таким образом, общее эквивалентное отверстие последовательного соединения воздухопроводов определяется из уравнения (5.27).

На рис. 5.2, 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.

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3 = \dots = \Delta p_n . \quad (5.28)$$

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

$$A_{общ} = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n . \quad (5.29)$$

Если в уравнение (5.29) подставить значения эквивалентных отверстий из (5.23), то получим выражение для определения общего аэродинамического сопротивления вентиляционной сети, состоящей из параллельных ветвей

$$\frac{1}{\sqrt{B_{общ}}} = \frac{1}{\sqrt{B_1}} + \frac{1}{\sqrt{B_2}} + \frac{1}{\sqrt{B_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{B_n}} . \quad (5.30)$$

Из зависимостей (5.29) и (5.30) 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

$$L_{общ} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n . \quad (5.31)$$

На основании зависимостей (5.18) и (5.28) можно написать

$$B_{общ} L_{общ}^2 = B_1 L_1^2 = B_2 L_2^2 = B_3 L_3^2 = \dots = B_n L_n^2 . \quad (5.32)$$

Из этого равенства получим

$$L_n = L_{общ} \sqrt{\frac{B_{общ}}{B_n}} . \quad (5.33)$$

Из зависимости (5.22) имеем

$$\Delta p = 1,19^2 \frac{L^2}{A^2} . \quad (5.34)$$

Подстановка (5.34) в (5.28) дает

$$\frac{L_{общ}^2}{A_{общ}^2} = \frac{L_1^2}{A_1^2} = \frac{L_2^2}{A_2^2} = \frac{L_3^2}{A_3^2} = \dots = \frac{L_n^2}{A_n^2} . \quad (5.35)$$

Отсюда

$$L_n = L_{общ} \frac{A_n}{A_{общ}} \quad (5.36)$$

По формулам (5.33) и (5.36) определяют количество воздуха, проходящее по любой параллельной ветви воздуховодов.

На рис. 5.2, в изображена **последовательно-параллельная схема соединения воздуховодов**, 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

$$B_{общ} = B_1 + B_{общ}^{пар} \quad (5.37)$$

где  $B_1$  – аэродинамическое сопротивление участка 1, определяемое по формуле (5.16), кг/м<sup>7</sup>;

$B_{общ}^{пар}$  – общее аэродинамическое сопротивление параллельных ветвей 2, 3 и 4, определяемое по формуле (5.30).

В виде эквивалентного отверстия это сопротивление можно найти из уравнения

$$\frac{1}{A_{общ}^2} = \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{(A_2 + A_3 + A_4)^2} \quad (5.38)$$

где  $A_1$  – эквивалентное отверстие участка 1, определяемое по формуле (5.23), м<sup>2</sup>;

$A_2, A_3$  и  $A_4$  – соответственно эквивалентные отверстия параллельных ветвей 2, 3 и 4; определяемые также по формуле (5.23), м<sup>2</sup>;

$A_2 + A_3 + A_4$  – общее эквивалентное отверстие параллельных ветвей, м<sup>2</sup>.

На рис. 5.2, з и д показаны **фланговая и центральная сложнопараллельные схемы соединения воздуховодов**. 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.

#### 5.4. Аэродинамический расчет механических систем вентиляции

После расчета воздухообмена и проектирования сети воздуховодов вычерчивают аксонометрическую схему системы вентиляции. На схеме выделяют фасонные части воздуховодов, 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 соединен-

ных участков от вентилятора и до наиболее удаленного ответвления (например, магистральное направление из участков 1, 2, 3 и 4 на схеме рис. 5.3, а).

Для участков этого направления находят площади поперечных сечений по формуле (м<sup>2</sup>)

$$f_p = \frac{L_p}{v_m}, \quad (5.39)$$

где  $L_p$  – расчетный расход воздуха на участке, м<sup>3</sup>/с;

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

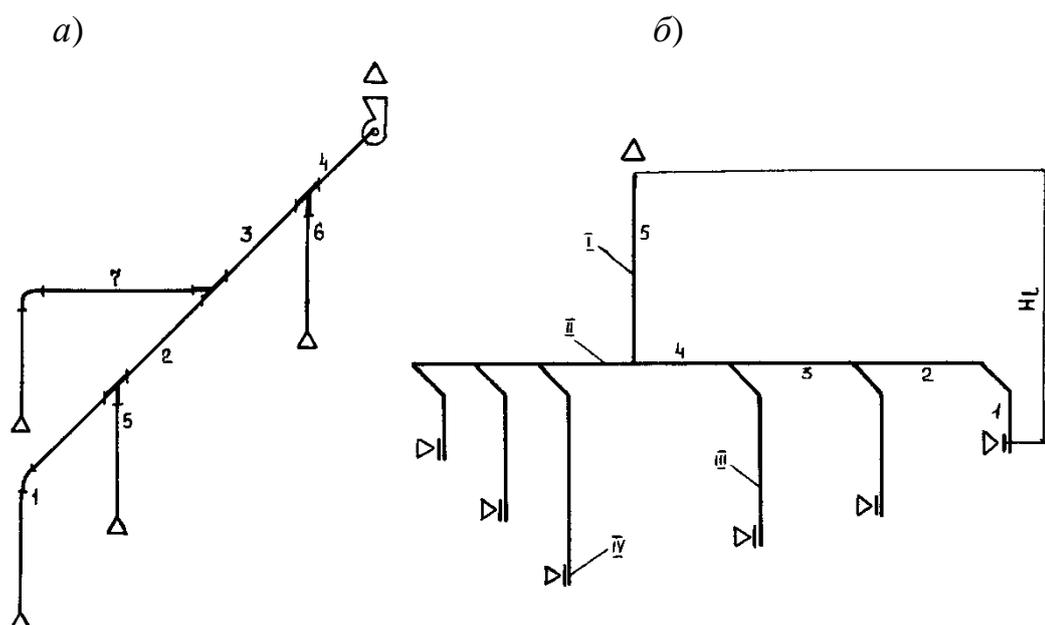


Рисунок 5.3 – Схемы сетей вентиляции с разбивкой на расчетные участки: а – механическая вытяжка; б – естественная вытяжка; I – вытяжная шахта; II – утепленный сборный короб; III – вентиляционный канал; IV – регулируемая решетка.

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 (5.6). По принятым стандартным размерам сечений вычисляют площади поперечного сечения, после чего определяют фактические скорости на расчетных участках по формуле (м/с)

$$v_{\phi} = \frac{L_p}{f_{cm}}, \quad (5.40)$$

где  $f_{cm}$  – площадь сечения воздуховода, подсчитанная по стандартным его размерам, м<sup>2</sup>.

Таблица 5.2. 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  $v_{\phi}$  вычисляют динамическое давление на участке по формуле (5.1). Далее с помощью номограмм или таблиц находят удельную потерю давления  $R$  и по формуле (5.5) подсчитывают потерю давления на трение на расчетном участке. Кроме того, определяют потерю давления в местных сопротивлениях на участках по формуле (5.9). Значения коэффициентов местных сопротивлений берут из таблиц. Затем находят общую потерю давления на участках по формуле (5.10). Тогда потеря давления во всей вентиляционной системе будет равна сумме потерь давления в последовательно расположенных участках магистрального направления и вентиляционном оборудовании, т.е. (Па)

$$\Delta p_{полн} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \dots + \Delta p_n + \sum \Delta p_{об}, \quad (5.41)$$

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. 5.3, 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.

$$\Delta p_5 = \Delta p_1; \quad \Delta p_6 = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3; \quad \Delta p_7 = \Delta p_1 + \Delta p_2. \quad (5.42)$$

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

Для соблюдения равенств (5.42) подбирают требующиеся стандартные размеры поперечного сечения участков ответвлений 6, 5 и 7. Невязка в потерях давления в ответвлении и параллельных ветвях магистрали

$$\delta = \frac{\Delta p_{отв} - \Delta p_{пар.маг}}{\Delta p_{пар.маг}} \cdot 100 \quad \% \quad (5.43)$$

не должна превышать  $\pm 15$  %.

### 5.5. 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)

$$p_{расч} = H_i \cdot (\rho_n - \rho_v) \cdot g, \quad (5.44)$$

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

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха при температуре его  $t_n = +5$  °С, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_v$  – плотность внутреннего воздуха при температуре  $t_v$ , кг/м<sup>3</sup>.

На схеме рис. 5.3, 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

$$\zeta = \frac{\Delta p}{P_d}, \quad (5.45)$$

где  $\Delta p = \Delta p_{маг} - \Delta p_{отв}$  – 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 6 КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

## 6.1. 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 6.1.

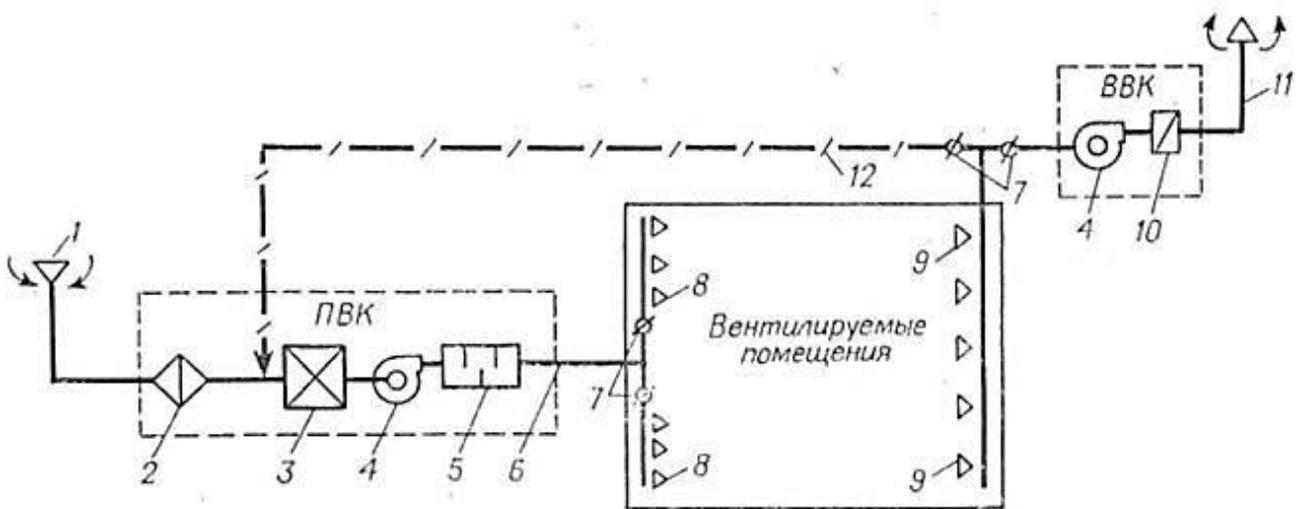


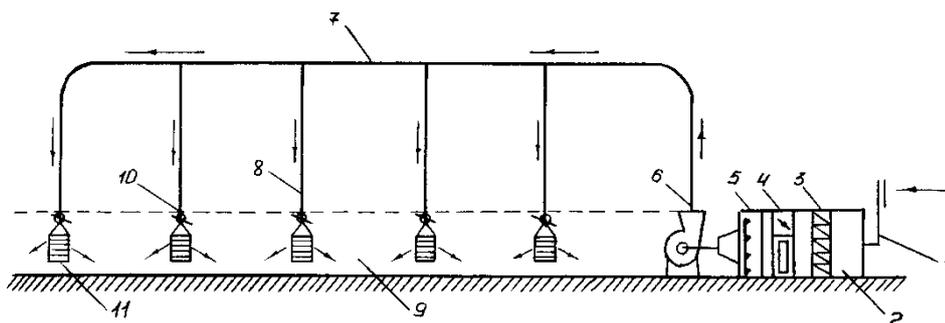
Рисунок 6.1 – Принципиальная схема общеобменной механической вентиляции  
1 — воздухоприемные устройства; 2 — фильтр противопыльный; 3 — оборудование для тепловлажностной обработки приточного воздуха (калориферы, кондиционеры, воздухоохладители и т. п.); 4 — вентиляторы; 5 — шумоглушители; 6 — воздухоотводы; 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.

## 6.2. Конструкция общеобменной приточной вентиляции

Общеобменная приточная механическая каналная система вентиляции производственного помещения состоит из следующих элементов (рис. 6.2, а): воздухоприемного 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)

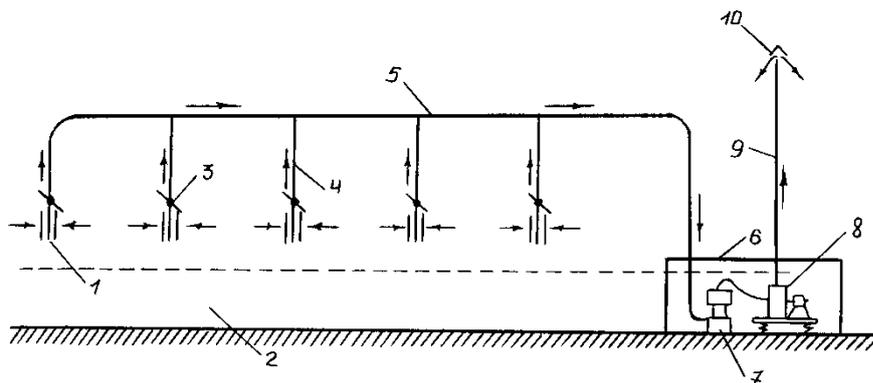


Рисунок 6.2 – Схемы общеобменных систем вентиляции: а – приточной; б – вытяжной.

**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. 6.3, *а*); сооружаемые непосредственно у наружной стены здания 5 или в самой стене (рис. 6.3, *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.

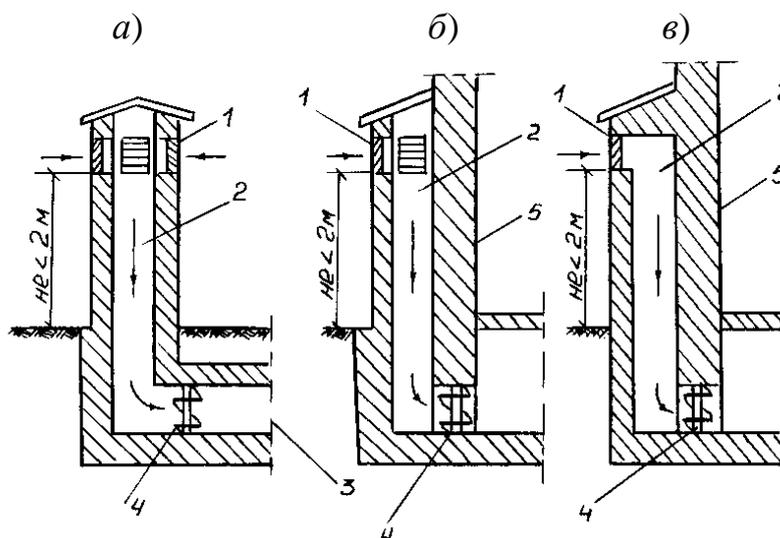


Рисунок 6.3 – Воздухоприемные устройства.

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. 6.4): приемной 1, калориферной 2, орошения 3 и соединительной 4, к которой присоединен вентиляторный агрегат 5.

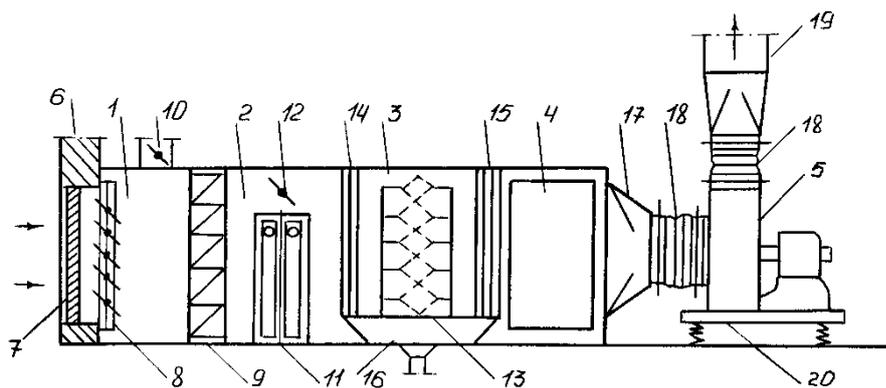


Рисунок 6.4 – Секционная приточная камера.

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 ячейковый 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 конфузур 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. 6.5, а изображена приточная камера, расположенная на площадке. Такая камера не занимает полезную пло-

щадь 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 вредных веществ.

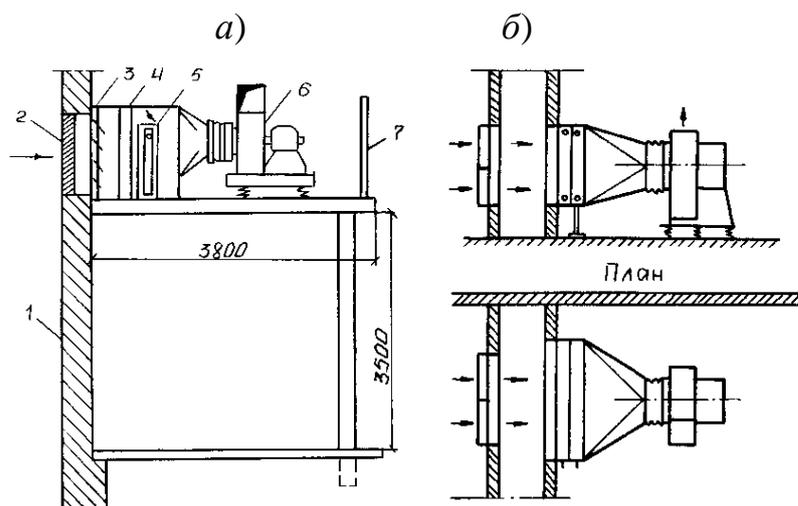


Рисунок 6.5 – Приточные установки: а – на площадке; б – унифицированная.

### 6.3. Конструкция общеобменной вытяжной вентиляции

Общеобменная вытяжная механическая канальная система вентиляции производственного помещения состоит из следующих элементов (рис. 6.2, 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 вредных веществ 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. 6.2, 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. 6.8, а).

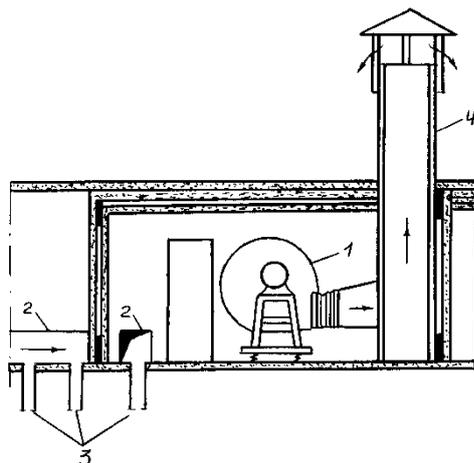


Рисунок 6.6 – Вытяжная камера на чердаке или техническом этаже.

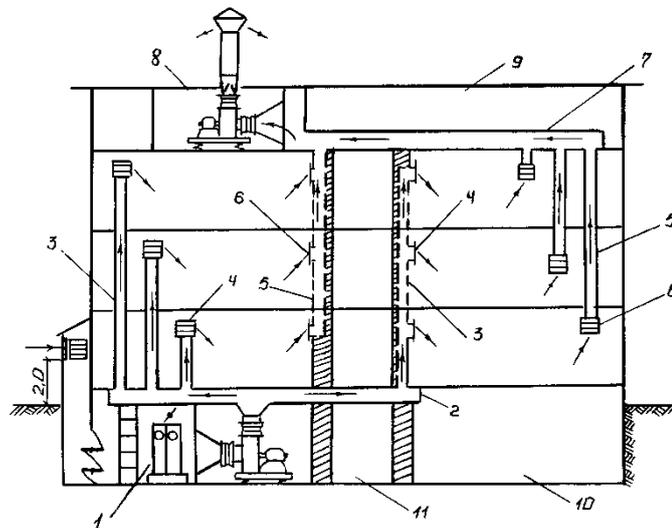


Рисунок 6.7 – Канальная механическая приточно-вытяжная вентиляция.

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.

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.

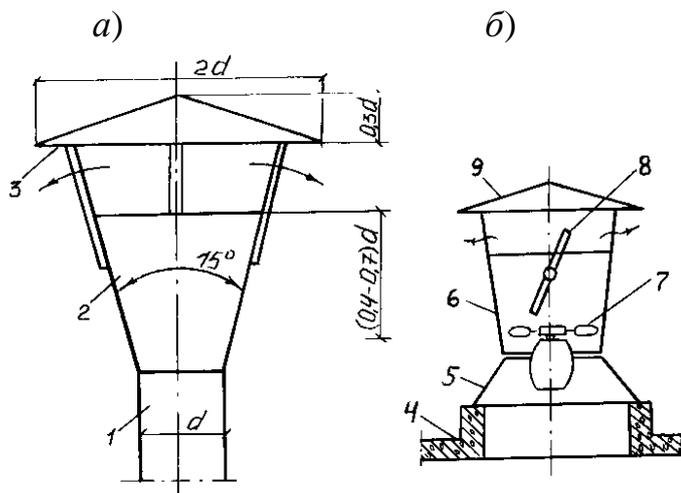


Рисунок 6.8 – Вытяжные устройства:

*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.

В случае установки крышных вентиляторов необходимость в устройстве вытяжных камер и шахт отпадает, в результате стоимость вентиляции уменьшается (рис. 6.8, 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.

#### 6.4. Каналы

В толще внутренних кирпичных стен располагаются вентиляционные каналы или борозды, заделываемые плитами (рис. 6.9, а). Размеры сечения каналов являются кратными размерам кирпича  $250 \times 120$  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  $140 \times 140$  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.

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. 6.9, б и в) и горизонтальные подвесные каналы (рис. 6.9, 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. 6.9, б).

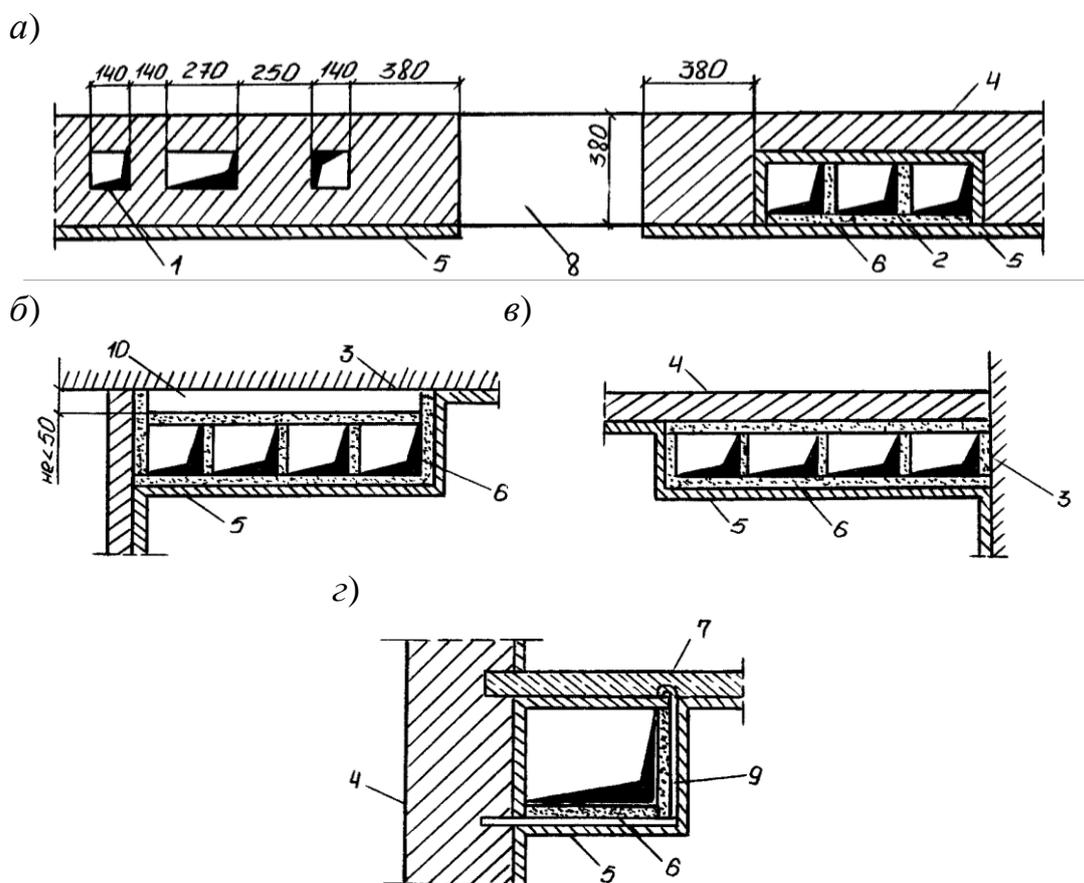


Рисунок 6.9. Устройство вентиляционных каналов:

*а* – 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.

В качестве вентиляционных каналов получили применение подшивные короба, образуемые у потолка коридоров путем устройства сплошной подшивки (рис. 6.10). 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. 6.9, 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. 6.9, 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. 6.12, а показана регулируемая решетка с подвижными 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.

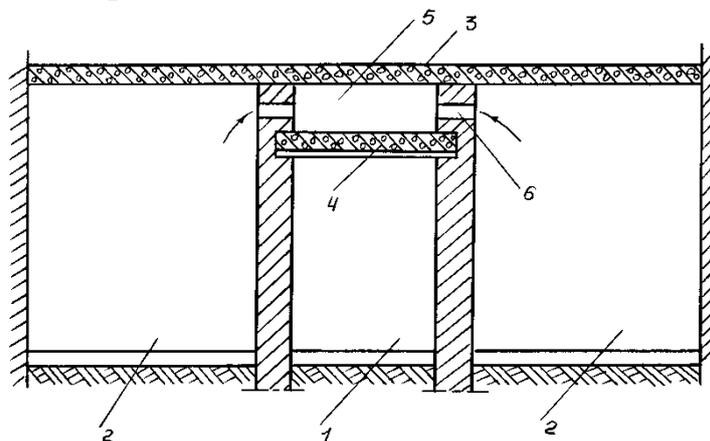


Рисунок 6.10 – Устройство подшивного короба в коридоре: 1 – коридор; 2 – вентилируемые помещения; 3 – перекрытие; 4 – подшивной потолок коридора; 5 – подшивной короб; 6 – вентиляционный канал.

а)

б)

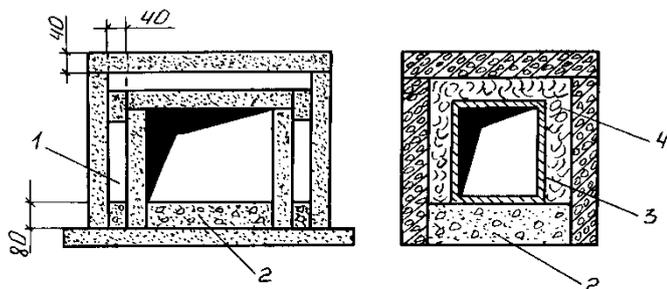


Рисунок 6.11 – Устройство вентиляционных сборных коробов на чердаке: *а* – из шлакогипсовых плит; *б* – из бетонных плит; 1 – воздушная прослойка; 2 – шлаковая заливка; 3 – металлический воздуховод; 4 – утеплитель.

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

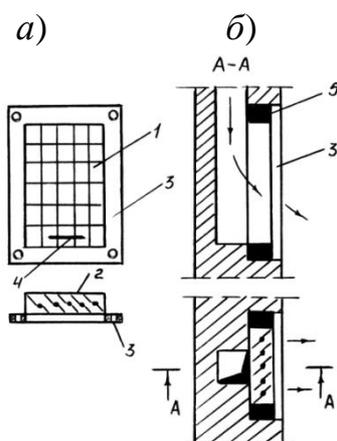


Рисунок 6.12 – Регулируемая жалюзийная решетка: *а* – общий вид; *б* – установка в отверстии раздачи воздуха.

К отверстию решетка присоединяется при помощи деревянной или пластмассовой рамки, вставленной в отверстие, и шурупов или закрепляется вяжущими растворами (рис. 6.12, *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 6.1.

Таблица 6.1 - 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 кана-

лах, приходится соответственно увеличивать площадь выходного отверстия (см. рис. 6.12, 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.

## 6.5. 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 100x150 до 4000x3150 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.

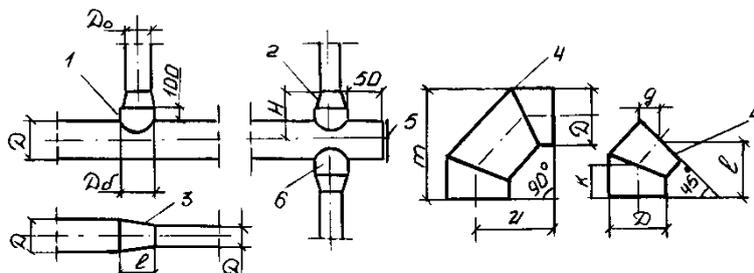
На рис. 6.13 представлены унифицированные нормали на фасонные части воздуховодов круглого и прямоугольного сечения. Обозначенные на рисунке буквами размеры фасонных частей принимаются в определенном соотношении между собой, эти размеры приводятся в справочной литературе. Соединение отдельных звеньев возду-

ходовов 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.

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.

а)



б)

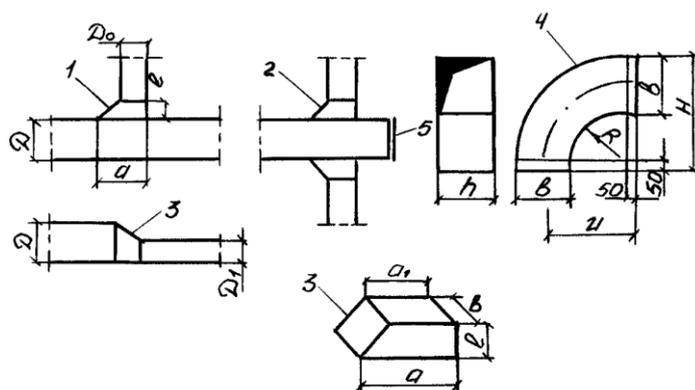


Рисунок 6.13 – Унифицированные фасонные части воздуховодов: а – круглого сечения; б – прямоугольного сечения; 1 – прямой тройник; 2 – штанообразный тройник (без заглушки крестовина); 3 – переход; 4 – отводы под углом 90° и 45°; 5 – заглушка; 6 – базовая врезка.

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 пропускания 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 станет постоянно собирать-

ся 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.

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

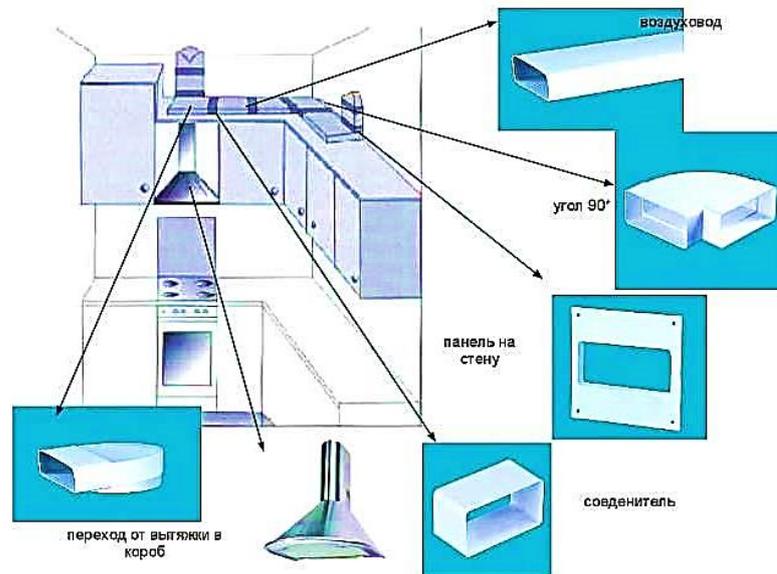


Рисунок 6.14 – Пластиковые воздуховоды для бытовых систем вентиляции.

**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  $-10^{\circ}\text{C}$  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 воздухораспределением;
- 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.

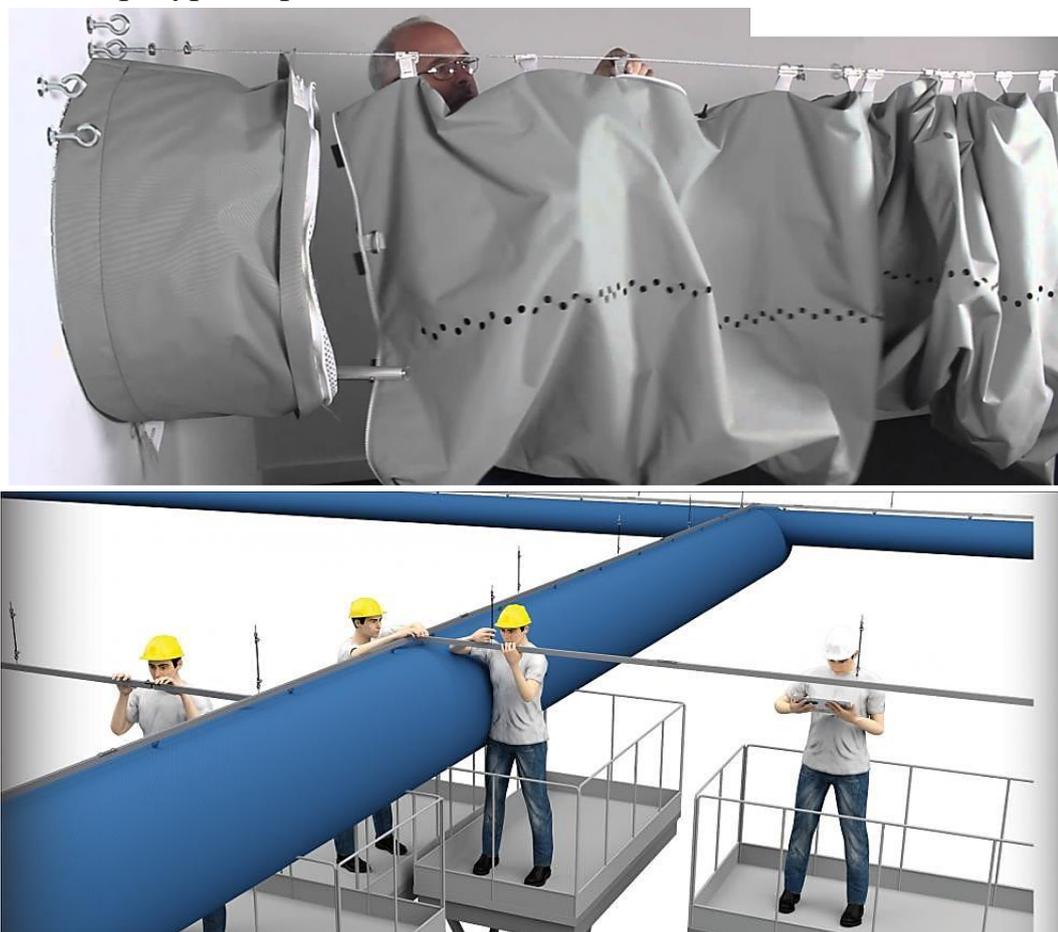


Рисунок 6.15 – Текстильные воздуховоды.

**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 теплоизоляционно-го 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:

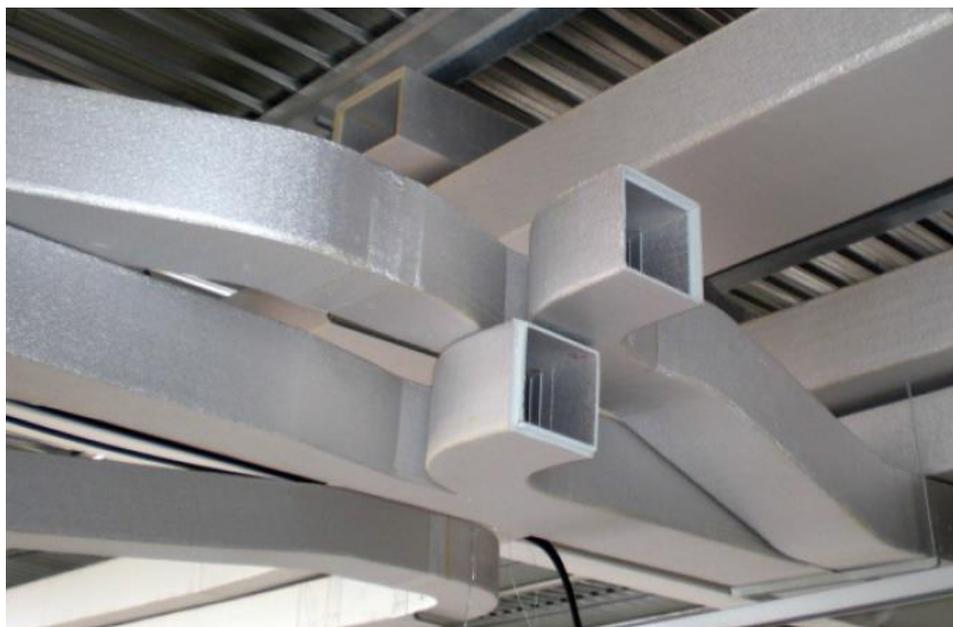


Рисунок 6.16 – Воздуховоды из PIR-панелей

- 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 7 НАГРЕВАНИЕ ВОЗДУХА. ЗАЩИТА ОТ ШУМА. ОЧИСТКА ВОЗДУХА

## 7.1. Калориферы

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

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*.

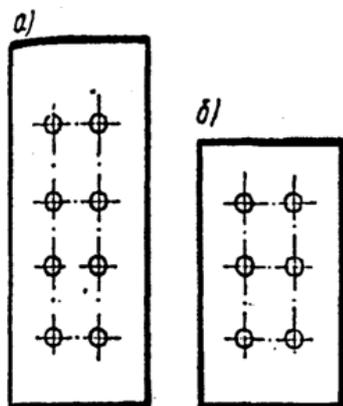
Нагрев воздуха происходит при его контакте с горячими поверхностями трубок калорифера, по которым проходят горячая вода или пар или специальных электронагревателей – ТЭНов. Для увеличения поверхности нагрева на трубки напрессовываются стальные пластины или накатываются алюминиевые ребра.

### 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)

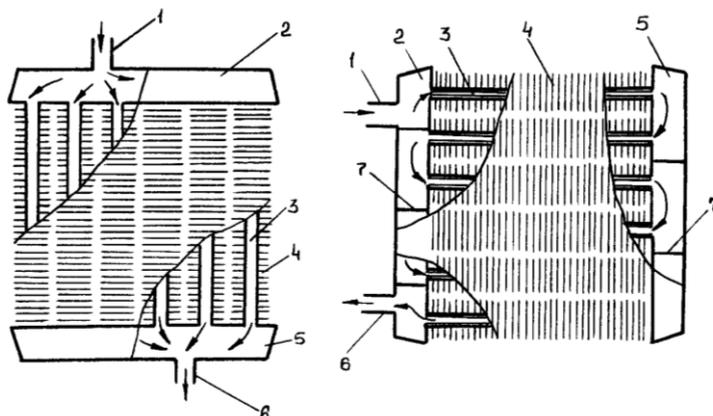


Рисунок 7.1 – Конструкции калориферов: а и б – модели большая (Б) и средняя (С); в – одноходовые для воды и пара; г – многоходовые для воды.

Калориферы водяные и паровые имеют штуцеры 1 и 6 (рис. 7.1), коллекторы 2 и 5 греющей и обратной воды, трубки 3 и пластины 4 на них. Водяные калориферы конструктивно делятся на одно (рис. 7.1, в) и многоходовые (рис. 7.1, 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  $F$ , м<sup>2</sup>, площади живого сечения прохода воздуха  $f_{ж}$ , м<sup>2</sup>, и теплоносителя  $f_{тп}$ , м<sup>2</sup>, коэффициент теплопередачи  $K$ , кДж/(ч·м<sup>2</sup>·°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.

## 7.2. Воздухонагревательные 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. 7.2, 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. 7.2, 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. 7.2, 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.

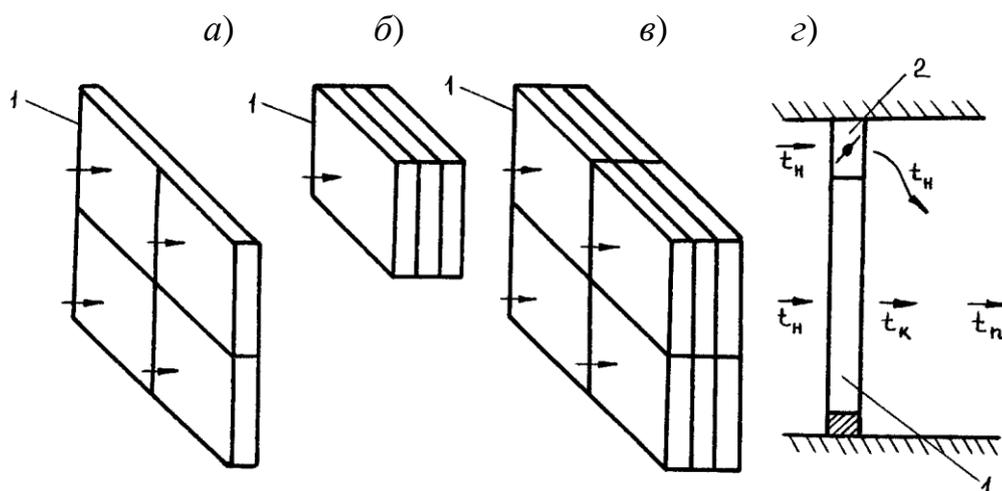


Рисунок 7.2. Соединение калориферов по воздуху в нагревательных установках: а – однорядное (параллельное); б – многорядное (последовательное); в – комбинированное; г – схема регулирования температуры нагреваемого воздуха; 1 – калорифер; 2 – обводной клапан.

По теплоносителю воде калориферы соединяются параллельно и последовательно, причём имеются определенные отличия в обвязке между одноходовыми (рис. 7.3, а, б, д, е) и многоходовыми (рис. 7.3, 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.

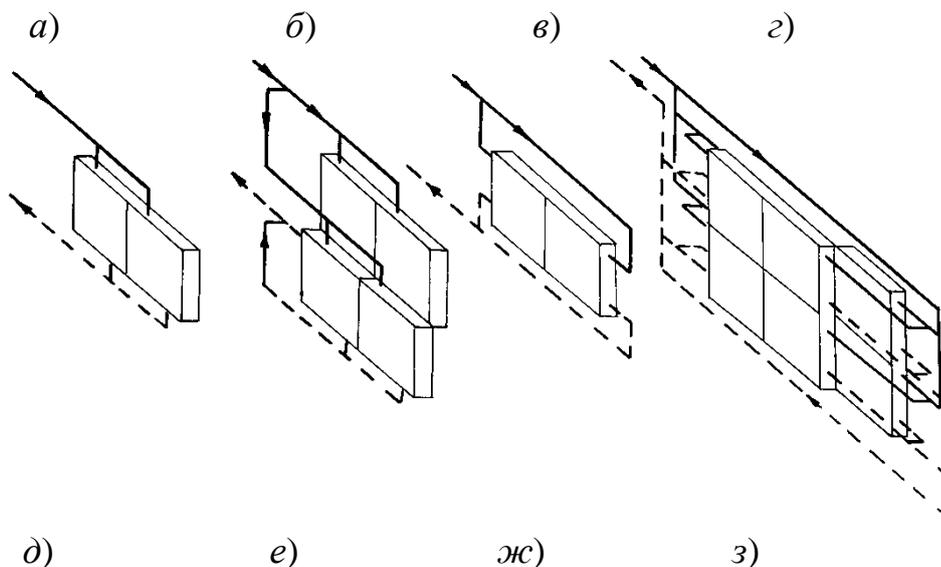
Регулирование температуры приточного воздуха в нагревательных установках осуществляется путем изменения расхода воздуха, проходящего через калорифер с

помощью обводных клапанов (рис. 7.2, з) при теплоносителях паре и воде или температурой теплоносителя (при воде).

Таблица 7.1 – Параметры нагревательных установок с несколькими калориферами

Параметр установки	Соединение калориферов		
	однорядное (параллельное)	многорядное (последовательное)	комбинированное
Общий объём нагреваемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	$L_{общ} = n_k L_k$	$L_{общ} = L_k$	$L_{общ} = n_k L_k$
Общее живое сечение проходу воздуха, м <sup>2</sup>	$f_{общ} = n_k f_{ж.д}$	$f_{общ} = f_k$	$f_{общ} = n_k f_{ж.д}$
Общая площадь нагрева, м <sup>2</sup>	$F_{общ} = n_k F_k$	$F_{общ} = n_p F_k$	$F_{общ} = n_k n_p F_k$
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.



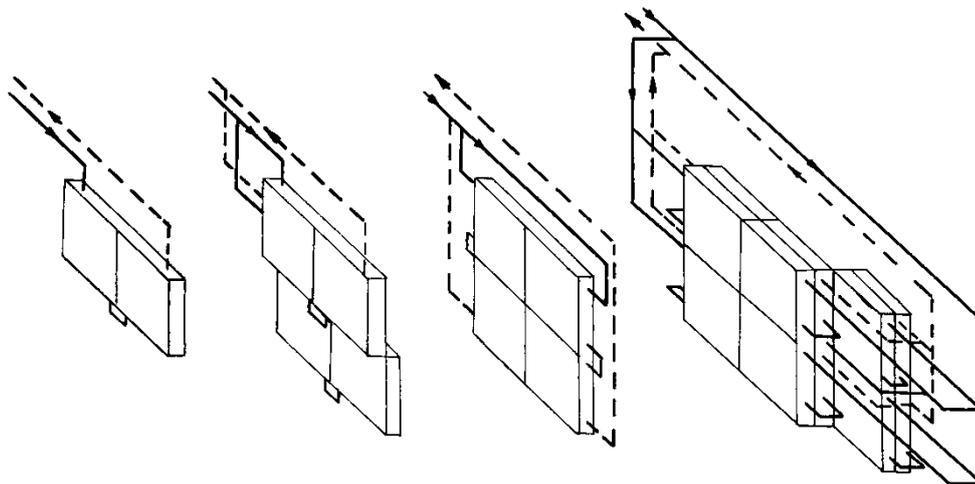


Рисунок 7.3 – Соединение калориферов в нагревательной установке по теплоносителю воде: а, б, в, г – параллельное; д, е, ж, з – последовательное.

### 7.3. Общие сведения о запыленности воздуха и способах его очистки

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/м<sup>3</sup>) 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. м<sup>3</sup>/ч

$$c = 100k; \quad (7.1)$$

- при объеме выбрасываемого воздуха до 15 тыс. м<sup>3</sup>/ч

$$c = (160 - 4V), \quad (7.2)$$

где  $c$  — допустимая концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup>;  $V$  — объем удаляемого воздуха, тыс. м<sup>3</sup>/ч;  $k$  — коэффициент, зависящий от ПДК пыли:

Таблица 7.2 – Предельно-допустимая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны помещения, мг/м<sup>3</sup>

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 воздухопроводы.

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, пылеемкость, аэродинамическое сопротивление, расход энергии.

Достижимый конечный результат по очистке воздуха определяется коэффициентом очистки  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = (G_n - G_k) / G_n; \quad (7.3)$$

где  $G_n$  и  $G_k$  — концентрация пыли в воздухе соответственно до и после очистки, мг/м<sup>3</sup>.

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

$$E = ((G_n - G_k) / G_n) * 100 \quad (7.4)$$

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

$$\varepsilon = 1 - (1 - \varepsilon_1) * (1 - \varepsilon_2) * (1 - \varepsilon_3) \dots (1 - \varepsilon_n). \quad (7.5)$$

Пропускная способность обеспыливающего устройства характеризуется допустимой удельной воздушной нагрузкой, выражающейся количеством воздуха, которое можно при очистке пропускать через 1 м<sup>2</sup> его рабочей поверхности или сечения.

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

$$F\phi = V / V\phi, \quad (7.6)$$

где  $V$  — количество воздуха, подлежащее очистке, м<sup>3</sup>/ч;  $V\phi$  — допустимая удельная воздушная нагрузка на обеспыливающее устройство, м<sup>3</sup>/(ч\*м<sup>2</sup>).

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.

#### 7.4. 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  $0^{\circ}\text{C}$  и  $P_{\text{норм}}$ . Звук распространяется со скоростью 332 м/с, в морской воде 332 м/с, а в твердых телах 5000 м/с.

## **7.5. 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.

$$f = 1/T \quad (2.7)$$

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:

$$\lambda = c \times T = c / f \quad (2.8)$$

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:

$$\begin{aligned} \lambda &= c \times T = c / f \\ \lambda_1 &= 340 / 16 = 21,3 \text{ м} \\ \lambda_2 &= 340 / 16000 = 0,0213 \text{ м} \end{aligned} \quad (2.9)$$

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.

## 7.6. 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.

### Уровень громкости и громкость

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  $10 \text{ Вт/м}^2$ .

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.

### 7.7. 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:

$$Z_{N.общ} = \bar{Z} + 20 \times \lg P + 10 \times \lg Q + \delta \quad (7.10)$$

$Z_{N.общ}$  - 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 м<sup>3</sup>/с;

$\delta$  - поправка на режим работы.

## 7.8. 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:

$$63 \quad L_p^o = 66 \text{ Дб};$$

$$125 \quad L_p^o = 56 \text{ Дб};$$

$$250 \quad L_p^o = 49 \text{ Дб};$$

$$500 \quad L_p^o = 44 \text{ Дб};$$

$$1000 \quad L_p^o = 40 \text{ Дб};$$

## 7.9. 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.

### 7.9.1. Общий уровень звуковой мощности шума

Общий уровень звуковой мощности шума вентилятора  $L_{N.общ}$ :

$$L_{N.общ} = \bar{L} + 20 \lg P + 10 \times \lg Q + \delta \quad (7.11)$$

$L$  - критерий шумности вентилятора в Дб.

$P$  - полное давление создаваемое вентилятором в Па;

$Q$  - производительность вентилятора в м<sup>3</sup>/с;

$\delta$  - 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.

### 7.9.2. Октавные уровни звуковой мощности

Октавные уровни звуковой мощности шума вентилятора на входе и выходе определяют по формуле:

$$L_{N.окт} = L_{N.общ} - \Delta L_1 + \Delta L_2; \quad (7.12)$$

$\Delta L_1$  - поправка на распределение звуковой мощности вентилятора по октавным полосам, Дб (зависит от типа вентилятора).

$\Delta L_2$  - поправка, учитывающая влияние присоединения вентилятора к воздуховодам. При отсутствии воздуховодов следует принимать  $\Delta L_2 = 0$ .

## 7.10. 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:

$$L = L_{N.окт} - \Delta L_{N.сету} + 10 \times \lg \left( \sum \Phi_i \times \chi / (S_i \times n)^{4 \times \psi / B} \right); \quad (7.13)$$

$n$  - общее число В.Р.

$\Delta L_{N.сету}$  - суммарное снижение октавного уровня звуковой мощности в Дб в элементах сети по пути распространения шума до выхода в помещение;

$\Phi_i$  - 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;  $S = \left( \pi \times r^2 \right) / 2$  - в углу из 3-х поверхностей.

$B$  - постоянная помещения, равная  $B = B_{1000} \times \mu$

$\mu$  - частотный множитель;

$\chi$  - 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.

$\psi$  ( $0 < \psi < 1$ ) - 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:

$$L = L_N - \Delta L_{N.cemu} - 10 \times \lg B + 10 \times \lg \psi + 6; \quad (7.14)$$

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:

$$\Delta L_{N.cemu} = \sum_{i=1}^n \Delta L_{N.i} \quad (7.15)$$

$\Delta L_{N.i}$  - снижение октавных уровней звуковой мощности в отдельных элементах воздуховодов. Снижение октавных уровней звуковой мощности  $\Delta L_N$  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.

### **7.11. 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. 7.4).

**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 м<sup>2</sup>.

а)

б)

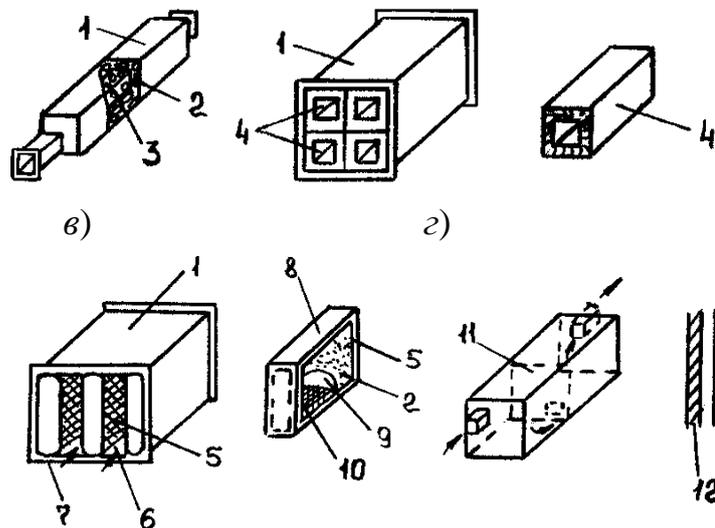


Рисунок 7.4. Конструкции шумоглушителей: *а* – трубчатого; *б* – сотового; *в* – пластинчатого; *г* – камерного; 1 – кожух; 2 – звукопоглощающий материал; 3 – перфорированный воздуховод; 4 – звукопоглощающая ячейка; 5 – звукопоглощающие пластины; 6 – каналы для воздуха; 7 – обтекатели; 8 – каркас пластины; 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 противобразивную 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 8 АЭРАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ 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,  $\text{кг/м}^3$ ;  $h$  – 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 фрамуг 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;  $\Delta T$  – 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 фрамуг 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 фрамуг 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. 8.1).

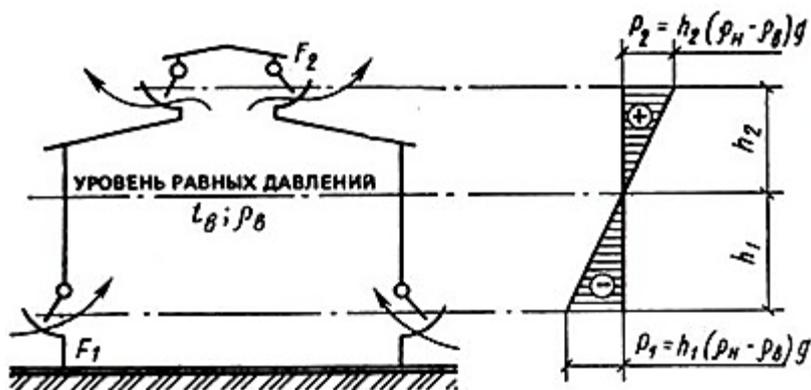


Рисунок 8.1 – Схема аэрации здания

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;  $\mu$  — коэффициент расхода, зависящий от условий истечения;  $\rho$  — плотность воздуха в исходном состоянии, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta p$  — разность давлений внутри и снаружи помещения в данном отверстии, Па.

Ориентировочное количество воздуха  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, выходящего из цеха через 1 м<sup>2</sup> 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;  $\Delta t$  — разность температур средней (по высоте) в помещении и наружной температурой, град.

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

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

#### 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:

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

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  $k = -0,6$ .

### 8.5. Рекомендации 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.

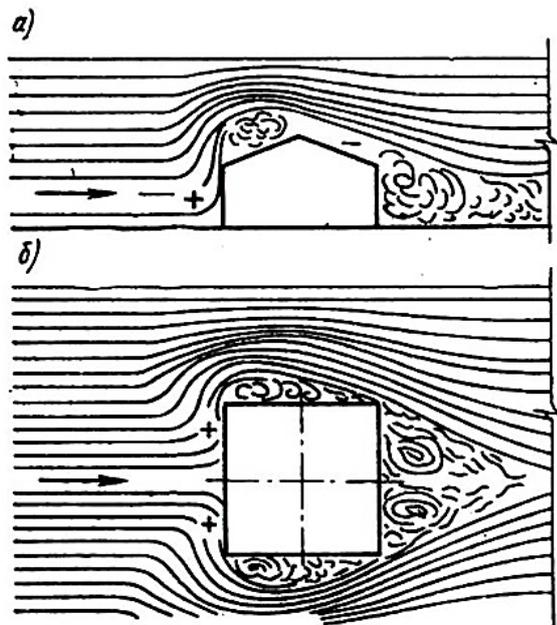


Рисунок 8.2 – Движение воздушных масс у здания, вертикальная (а) и горизонтальная (б) проекции

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.

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.

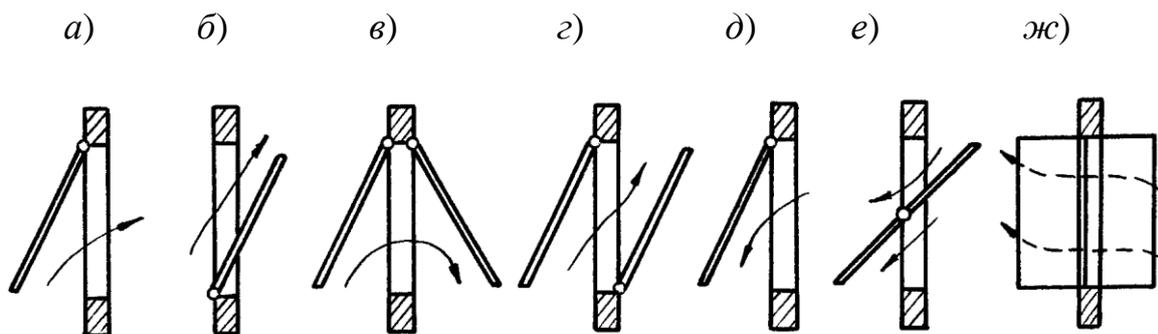


Рисунок 8.3 – Конструкции створок: *а, б, в, г* – одинарные и двойные створки приточных отверстий; *д, е, ж* – одинарные створки вытяжных отверстий в аэрационных фонарях

Опрокидыванию аэрации в таких фонарях препятствуют ветроотбойные щиты.

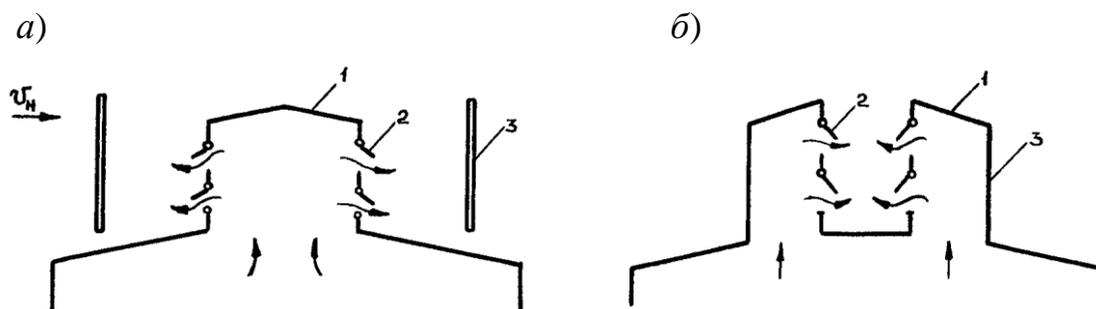


Рисунок 8.4 – Незадуваемые аэрационные фонари:

*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)

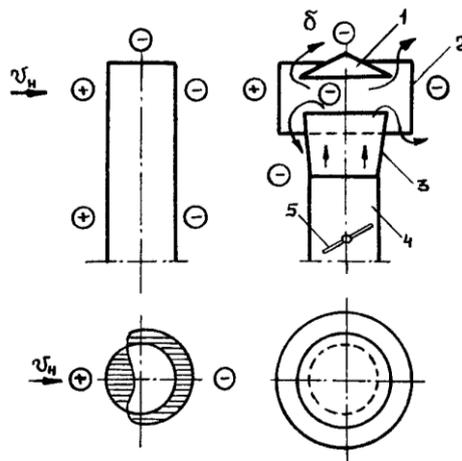


Рисунок 8.5 – Принцип работы дефлектора: а) вытяжная труба; б) дефлектор;  
 1 – зонт; 2 – внешний цилиндр дефлектора; 3 – диффузор; 4 – патрубок, соединяемый с шахтой; 5 – дроссель-клапан

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. 8.5, 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 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.

### **Общие правила вентиляции цехов и промышленной вентиляции**

Существует два типа промышленной вентиляции – **общеобменная** и **местная** (местные отсосы и т.п.). Общеобменная вентиляция 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 м<sup>3</sup>/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:

$$L=3600 \cdot F \cdot v, \quad (9.1)$$

где  $L$  – расход воздуха через зонт (то, что мы хотим Определить),  $3600$  - перевод расхода в м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/ч на удаление 1 кг влаги в час, а при местном отсосе можно добиться того же результата с помощью 50 м<sup>3</sup>/ч, а в случае кожуха – 20 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>. 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):

***Типы пыли***

***Скорость в горизонтальном воздуховоде м/сек***

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 м<sup>3</sup>/ч.

Если кожух установить невозможно, то расход воздуха через бортовые, верхнебоковые и др. отсосы составляет 6000-9000 м<sup>3</sup>/ч с 1 кв.м. От каждого устройства может быть несколько воронок и отсосов. Аспирационная система одного укрытия на конвейере может составить 10 000 м<sup>3</sup>/ч, а система для дробилки – 30 000 м<sup>3</sup>/ч и более.

Аспирационные системы вытягивают очень существенное количество пыли.

Литейные производства – до 2.5 кг на 1 м<sup>3</sup> 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 устанавливают у всех мест возможной неплотности аппаратуры. При этом, один отсос вытягивает примерно 200-1000 м<sup>3</sup>/ч. На химических производствах, где существует опасность выделения токсических веществ, устанавливают 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

## ТЕМА 10 СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### 10.1. 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:

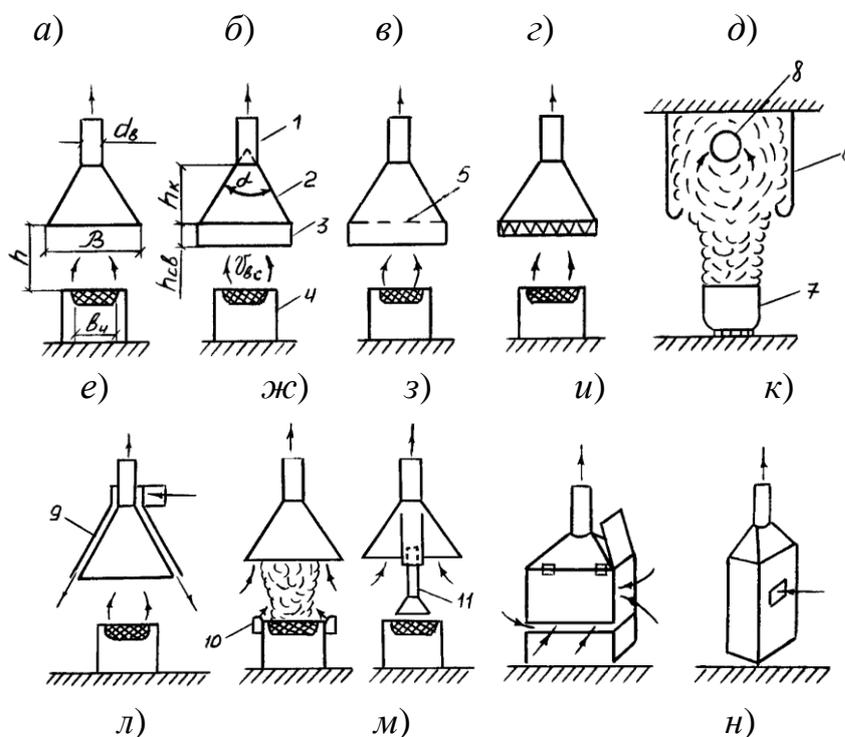
- место выделения вредностей должно быть возможно полнее изолировано от окружающего воздуха с оставлением отверстий минимально допустимых размеров;
- вытяжка должна осуществляться в направлении движения вредных выделений – лёгкие и горячие газы и пары вверх, тяжёлые холодные газы и пыль вниз;

- 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.

### 10.1.1. 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. 10.1.



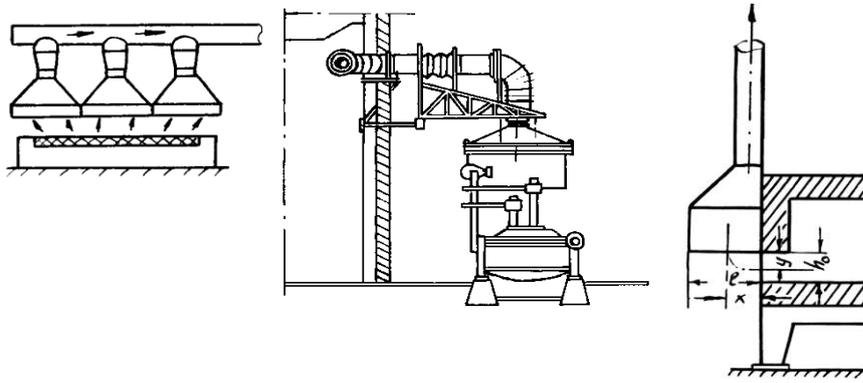


Рисунок 10.1 – Различные типы зонтов.

Обычный зонт (рис. 10.1, 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

$$B = b_u + 0,8h, \quad (10.1)$$

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

$$h_k = 0,5(B - d_v) \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (10.2)$$

где  $d_v$  – диаметр отсасывающего воздуховода зонта, м;

$\alpha$  – 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  $h_{cv} \approx 0,2B$ .

Количество воздуха, м<sup>3</sup>/ч, отсасываемого через зонт, определяется по следующим формулам.

При источниках со слабым выделением теплоты и горячих газов

$$L_3 = 3600F \cdot v_{вс}, \quad (10.3)$$

где  $F$  – площадь всасывающего сечения зонта, м<sup>2</sup>;

$v_{вс}$  – минимально допустимая средняя скорость воздуха во всасывающем сечении, м/с (табл. 10.1).

Для нетоксичных вредностей (теплота, влага) принимают  $v_{вс} = 0,15 - 0,25$  м/с.

Таблица 10.1 – 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

$$L_3 = L_k \frac{F_3}{F_u} \quad (10.4)$$

или

$$L_3 = 64 \cdot \sqrt[3]{Q_k \cdot h \cdot F_u^2} \cdot \frac{F_3}{F_u}, \quad (10.5)$$

где  $L_k$  – расход воздуха, подтекающего к зонту с конвективной струёй, м<sup>3</sup>/ч;

$F_3$  и  $F_u$  – площадь соответственно зонта и источника выделения теплоты, м<sup>2</sup>;

$Q_k = 1,5 \cdot \sqrt[3]{t_u - t_в}$  – количество выделяемой конвективной теплоты, Вт;

$h = 0,8d_э$  – расстояние от поверхности источника до зонта, м;

$t_u$  и  $t_в$  – 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. 10.1, в). Иногда с этой целью в сечение зонта вставляют специальную жалюзийную панель конструкции С. А. Чернобережского (рис. 10.1, з).

При неравномерном выделении вредных веществ во времени используют зонт-ширму (рис. 10.1, д). Ширма представляет собой ёмкий короб 6, сооружаемый сверху помещения над источниками выделения вредных веществ 7. Снизу короб открыт и служит для временного аккумуляирования пиковых выделений вредных веществ. Последние отсасываются воздуховодом 8, находящимся внутри короба. Такой зонт-ширма позволяет рассчитывать вентиляционную установку не на пиковое, а на среднее количество выделяющихся вредных веществ, что снижает энергозатраты.

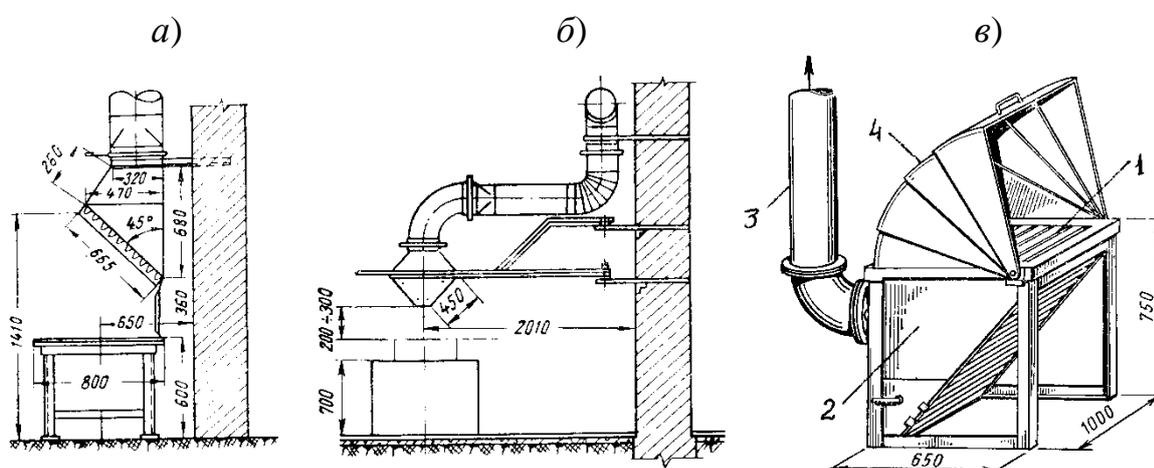
В целях создания более устойчивой вытяжки в условиях наличия подвижности внутреннего воздуха применяют активный зонт со щелями по периметру 9 (рис. 10.1, е), зонт с поддувом 10 (рис. 10.1, ж) или зонт с внутренней выдвижной трубой 11 (рис. 10.1, з), которая может опускаться почти вплотную к поверхности источника вредных веществ.

Иногда для ослабления влияния подвижности воздуха в помещении зонт ограждают боковыми стенками с двух, трёх или четырёх сторон, оставляя внизу щели и рабочее отверстие для подсасывания воздуха (рис. 10.1, 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. 10.1, л).

Когда зонт мешает выполнению периодических производственных операций, его монтируют на поворотном устройстве (рис. 10.1, 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. 10.2, а), а для сварки крупногабаритных деталей применяют двусторонние панели на поворотном устройстве (рис. 10.2, б). Панели эффективно работают при отсасывании воздуха в количестве  $3200 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  их площади.



## Рисунок 10.2 – Отсосы при сварочных работах.

Удобным является стол для сварщика с местным отсосом конструкции московского института “Проектпромвентиляция” (рис. 10.2, 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).

### 10.1.2. 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, пары 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. 10.3, а, б). По своей форме бортовые отсосы бывают простые и опрокинутые. Простые (рис. 10.3, а, б) используются при высоком стоянии уровня раствора в ванне, когда  $H_p \leq 80 - 150$  мм, опрокинутые (рис. 10.3, 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  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, удаляемого бортовыми отсосами, определяется по формуле

$$L = 1400 \cdot \left( 0,53 \frac{B_p \cdot l}{B_p + l} + H_p \right)^{1/3} \cdot B_p \cdot l \cdot K_{\Delta t} \cdot K_m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (10.6)$$

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.

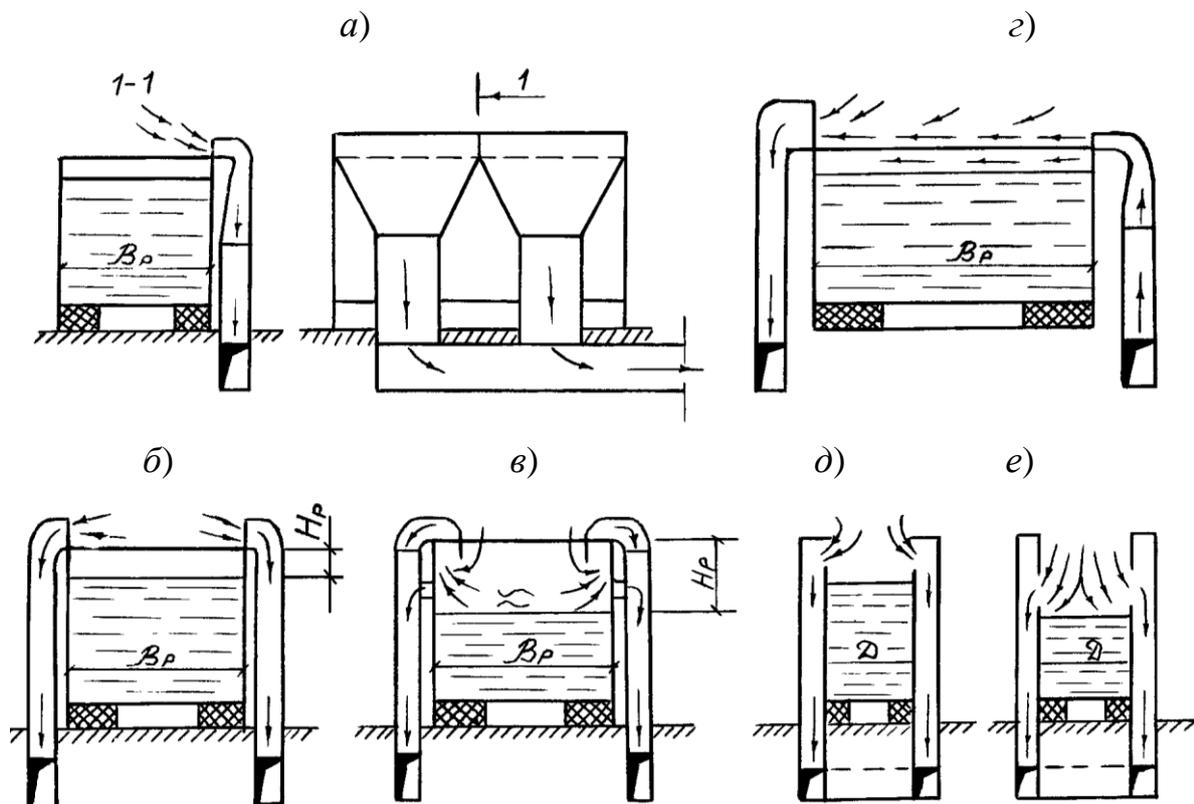


Рисунок 10.3 – Различные типы бортовых отсосов: *а* – простой однобортовой; *б* – простой двухбортовой; *в* – опрокинутый двухбортовой; *г* – бортовой отсос с передувкой; *д* – кольцевой отсос со щелью у верхней кромки ванны; *е* – кольцевой отсос со щелью, опущенной в ванну.

Значения коэффициента  $K_{\Delta t}$ :

- для отсосов без сдува

$$K_{\Delta t} = 1 + 0,0157 \cdot \Delta t ; \quad (10.7)$$

- для отсосов со сдувом

$$K_{\Delta t} = 1 + 0,003 \cdot \Delta t . \quad (10.8)$$

Значения коэффициентов  $K_1, K_2, K_3$  и  $K_4$  приведены в табл. 10.2, коэффициента  $K_m$  в табл. 10.3.

Таблица 10.2 – 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 10.3. Значение коэффициента  $K_m$

Выделение определяющего вредного вещества	Удельное выделение вредного вещества $z_{\text{вд}}$ , мг/(с·м <sup>2</sup> )	$K_m$
Хромовый ангидрид	10	2
То же	2	1,6
То же	1	1,25
Щёлочь: при $t > 100$ °С	55	1,25
при $t < 100$ °С	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. 10.3, 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 дальность.

Для удаления вредностей использование передувки более эффективно и сокращает необходимый объём отсасываемого воздуха.

Для простого бортового отсоса с передувкой требуется количество воздуха, м<sup>3</sup>/ч:

- для отсоса

$$L_{отс} = 1200B_p^{3/2} \cdot l \cdot K_{\Delta t} \cdot K_m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (10.9)$$

где всегда  $K_m = 1$ ;

- для передувки

$$L_{cd} = 60B_p \cdot l \cdot K_{\Delta t}, \quad (10.10)$$

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. 10.3, д) и со щелью, опущенной в ванну (рис. 10.3, е).

При работе кольцевых отсосов образуется центральный, подтекающий сверху вниз, поток воздуха, который препятствует выбросу вредностей в помещение.

### 10.1.3. Вытяжные шкафы

Относятся к полукрытым 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. 10.4, *а*).

В случае выделения тяжёлых газов или пыли используют шкаф с нижним отсосом (рис. 10.4, *б*). Если одновременно выделяются теплота, пыль и тяжёлые газы, то применяют шкаф с комбинированным верхним и нижним отсосами (рис. 10.4, *в*). Соответствующим переключением перекидного клапана такой шкаф может служить также для верхнего или нижнего отсосов в отдельности.

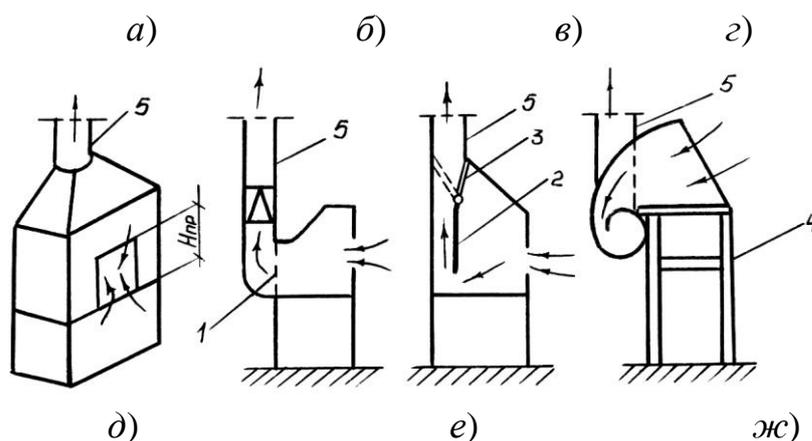
Расход отсасываемого воздуха из шкафа при отсутствии в нём тепловыделений  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле

$$L = 3600F \cdot v, \quad (10.11)$$

где  $F$  – площадь открытого проёма, м<sup>2</sup>;

$v$  – средняя скорость всасывания в сечении открытого проема, м/с, принимается с учётом токсичности выделяющихся веществ и не выбивания их из шкафа (табл. 10.4).

Шкафы-укрытия с отсосом-улиткой (рис. 10.4, *г*) 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.



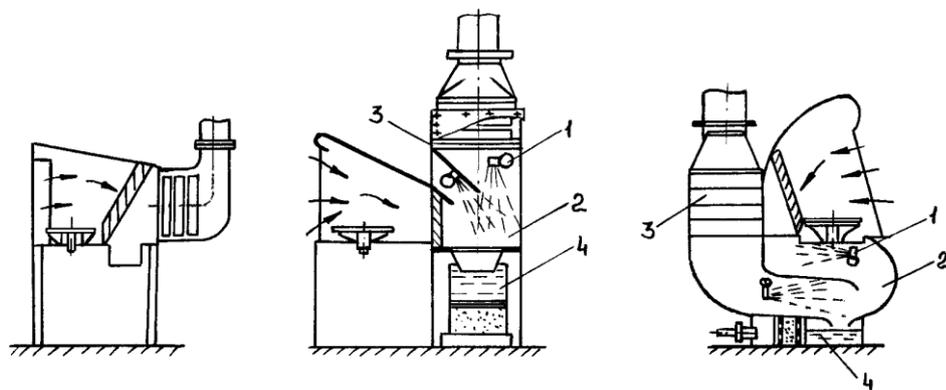


Рисунок 10.4 – Различные типы вытяжных шкафов и камер: *а* – шкаф с верхним отсосом; *б* – шкаф с нижним отсосом; *в* – комбинированный шкаф; *г* – шкаф улитка; 1 – решётка; 2 – перегородка; 3 – перекидной клапан; 4 – рабочий стол; 5 – вытяжной воздуховод; *д, е, з* – камеры для пульверизационной окраски мелких деталей.

Таблица 10.4. 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

#### 10.1.4. 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. 10.4, *д-ж*. Из рисунка видно, что камеры оборудуются только отсасывающей вентиляцией. Вредности удаляются при помо-

щи верхнего или нижнего отсосов, и перед выбросом загрязнённого воздуха в атмосферу он очищается сухим способом или при помощи гидрофилтра (рис. 10.4, 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 (10.11), причём скорость воздуха в рабочем проёме должна быть: при кистевой и безвоздушной окраске или окунаемом 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 м<sup>3</sup> 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 располагается 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 гидрофилтр.

Объём отсасываемого воздуха при окраске пневматическим распыливанием принимается равным 1800-2200 м<sup>3</sup>/ч, на 1 м<sup>2</sup> 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.

### **10.1.5. 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 отстаёт 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. 10.5, а.

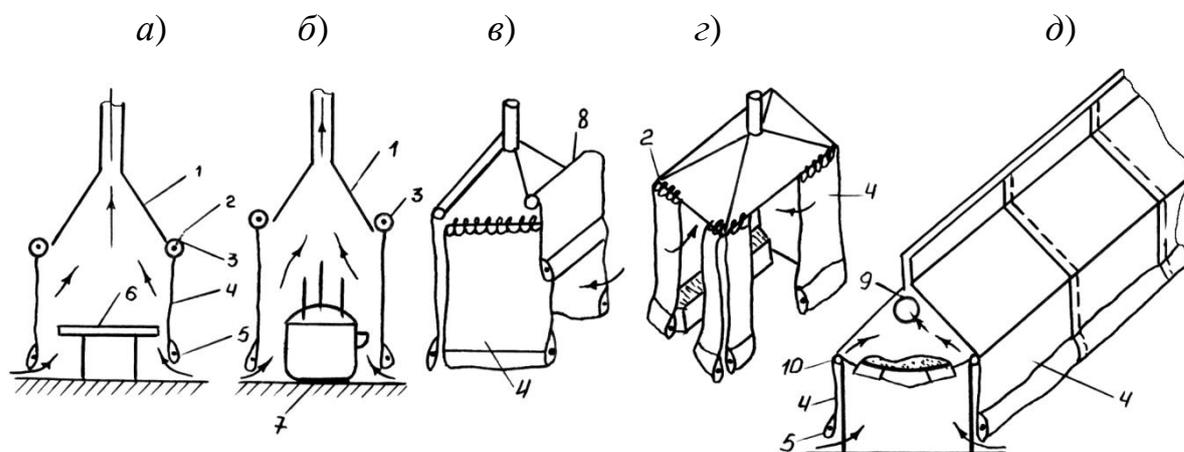


Рисунок 10.5 – Отсосы с мягкими укрытиями: а – рабочих столов; б и в – электросталеплавильных печей; г – окрасочных камер; д – ленточных конвейеров.

По периметру типового зонта 1 (или крыши с воздуховодом) 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 вредностей 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 (по-

жаробезопасности, электростатичности, долговечности, прозрачности и т.п.). Замена и постанова 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. 10.5, з).

Типовое решение вопросов газопылеулавливания при работе дуговых электросталеплавильных печей 2 (рис. 10.5, 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. м<sup>3</sup>/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 вредностей 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 металлоромом, откатку 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. 10.5, 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 внахлестку, 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.

## 10.2. 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.

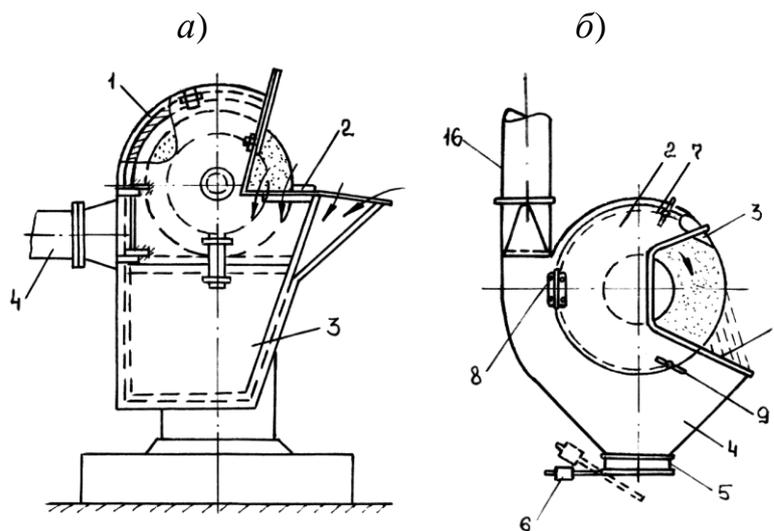


Рисунок 10.6 – Кожухи-пылеприёмники: *а* – для заточного станка; *б* – для шлифовального или полировального кругов.

На рис. 10.6, *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. 10.6, *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,  $\text{м}^3/\text{ч}$

$$L = 3600F_o \cdot v_{ок}, \quad (10.12)$$

где  $F_o$  – площадь рабочего отверстия кожуха, м<sup>2</sup>;

$v_{ок} = (0,25 - 0,4) \cdot v_k$  – скорость воздуха в рабочем отверстии, м/с;

$v_k$  – окружная скорость вращения круга, м/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. 10.7 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.

а)

б)

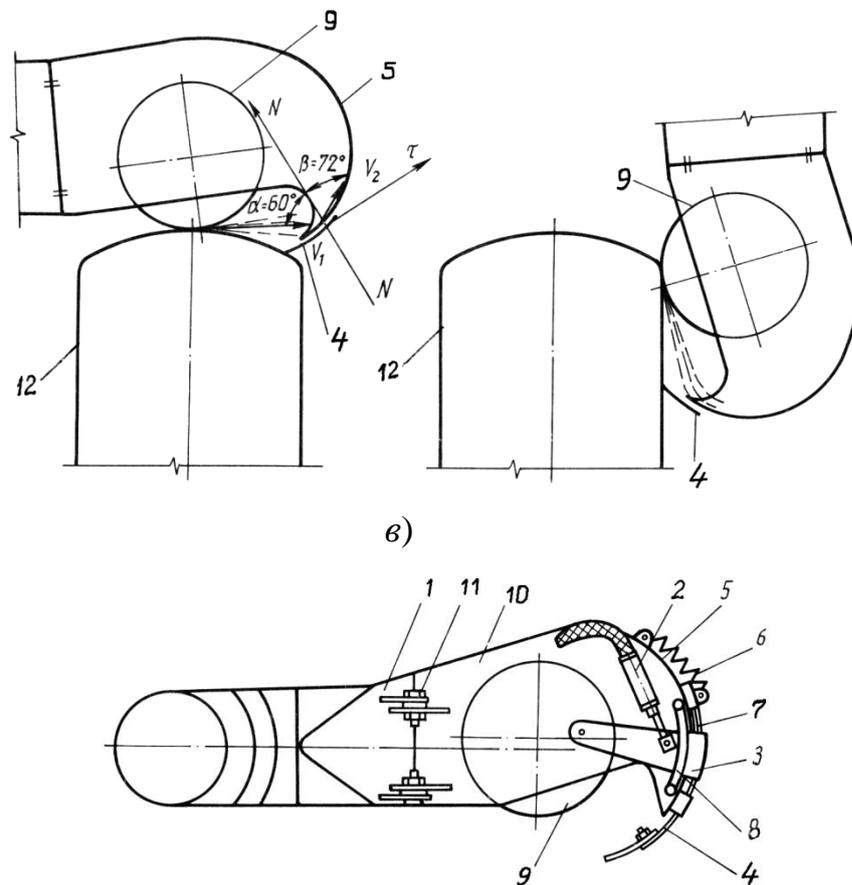


Рисунок 10.7 – Устройство отсоса пылеприёмника шероховального станка: *а* – обработка верхней части шины; *б* – обработка боковой части шины; *в* – устройство пылеприёмника.

В силу специфики работы шероховальных 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 шероховальной головки, угол падения частиц резины при ударе о переднюю стенку приёмника должен быть  $\alpha = 60^\circ$ , а угол отражения  $\beta = 72^\circ$  (рис. 10.7, 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 шероховального станка необходимо отсасывать воздуха не менее  $2100 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Малые шаровые мельницы укываются кожухом (рис. 10.8, а), из которого отсасывается воздуха  $800\text{-}1200 \text{ м}^3/\text{ч}$  при скорости всасывания в рабочем отверстии  $2 \text{ м/с}$ .

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 м<sup>3</sup>/ч.

При работе вращающегося барабана 4 для очистки литья отсос пыли осуществляется непосредственно из самого барабана через полуось 3 (рис. 10.8, б).

Для подъёма сыпучих материалов служат элеваторы. Они укрываются кожухом по всей их длине. Воздух отсасывается при подъёме материалов с температурой более 50 °С от верхней головки элеватора, а при подъёме холодных материалов – внизу от места их загрузки. Расход воздуха составляет 600-1700 м<sup>3</sup>/ч.

На рис. 10.8, 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. 10.8, 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 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. 10.3, 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.

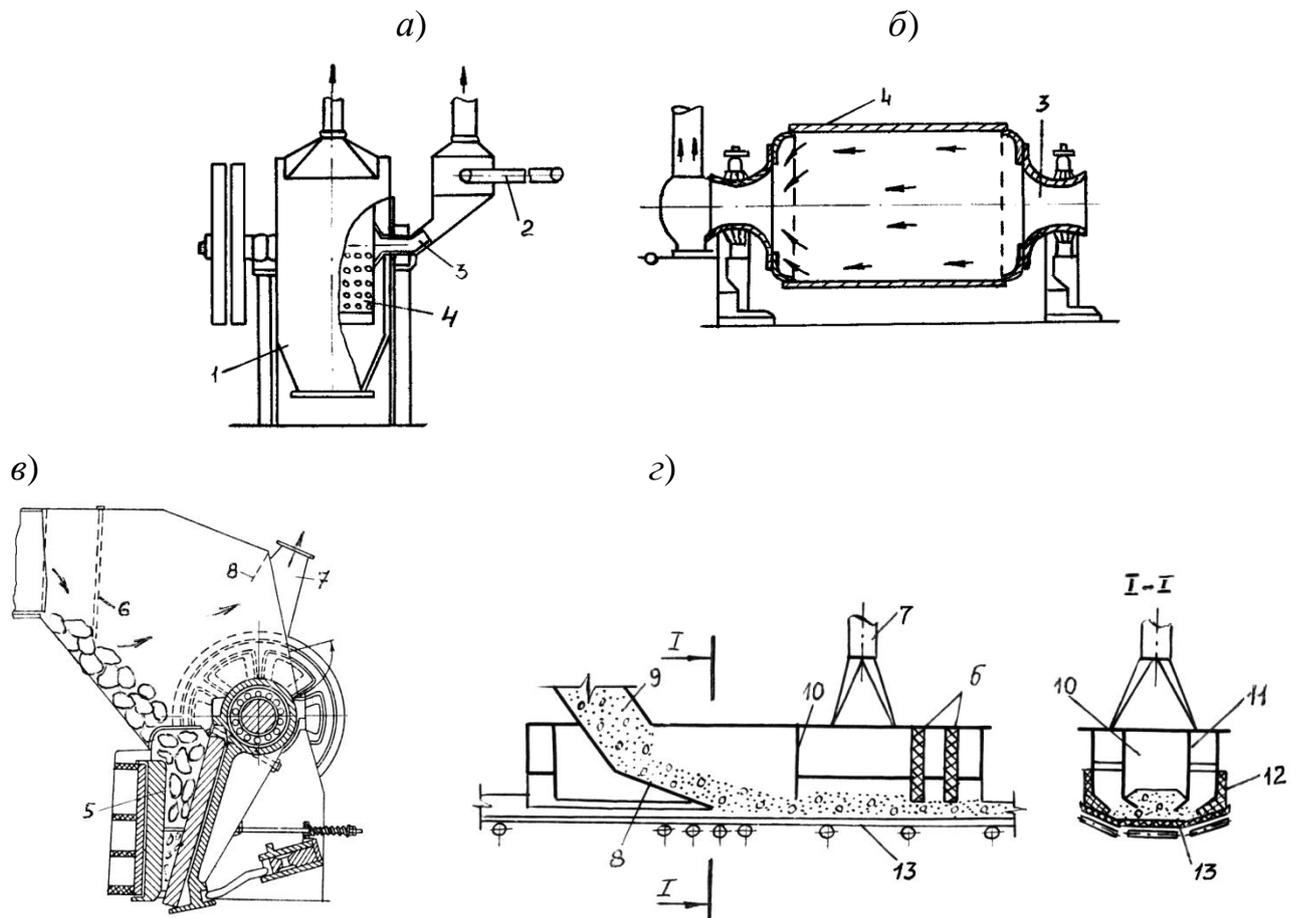


Рисунок 10.8 – Укрытия и аспирация: *a* – малой шаровой мельницы; *б* – вращающегося барабана для очистки литья; *в* – щековой дробилки; *г* – узла погрузки конвейера; 1 – укрытие; 2 – питатель; 3 – полая ось; 4 – барабан; 5 – дробилка; 6 – резиновый фартук; 7 – отсос; 8 – щиток; 9 – течка; 10 – перегородка; 11 – внутренние стенки; 12 – уплотнители из ленты; 13 – лента.

## ТЕМА 11 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

### 11.1. 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 душ необходимо в следующих случаях: при воздействии на работающего теплового облучения интенсивностью  $350 \text{ Вт/м}^2$  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 душ особенно целесообразно при тепловом облучении работающих у промышленных печей, расплавленного металла, нагретых слитков и заготовок. Интенсивность теплового облучения рабочего места,  $\text{Вт/м}^2$ , в этих случаях определяют по формуле

$$q_{p.m} = 5,67 \varphi_{p.m} \cdot \varphi_o \left( \frac{273 + t_n}{100} \right)^4, \quad (11.1)$$

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. 11.1, а);

$\varphi_o$  – коэффициент облучённости при излучении из отверстия;

$t_n$  – температура источника облучения,  $^{\circ}\text{С}$ .

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.

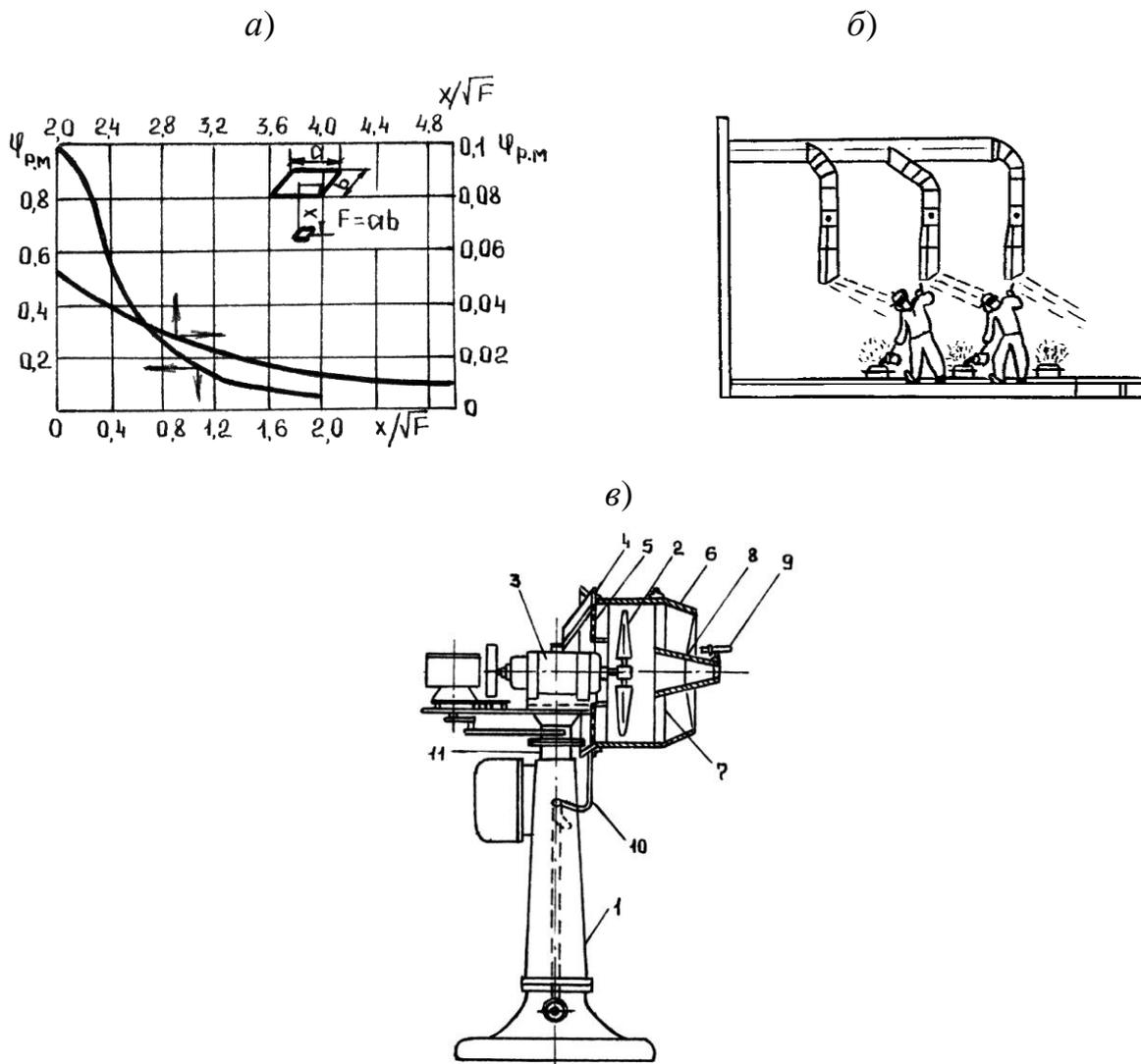


Рисунок 11.1 – Воздушные души: а – график для определения коэффициента  $\varphi_{p.m.}$ ; б – стационарный воздушный душ при разливке расплавленного металла; в – передвижной душирующий верный агрегат.

Направление воздушного потока может быть горизонтальное или сверху вниз под углом  $45^\circ$ . 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. 11.1, б) и передвижные (рис. 11.1, 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. 11.2, 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. 11.2, 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°.

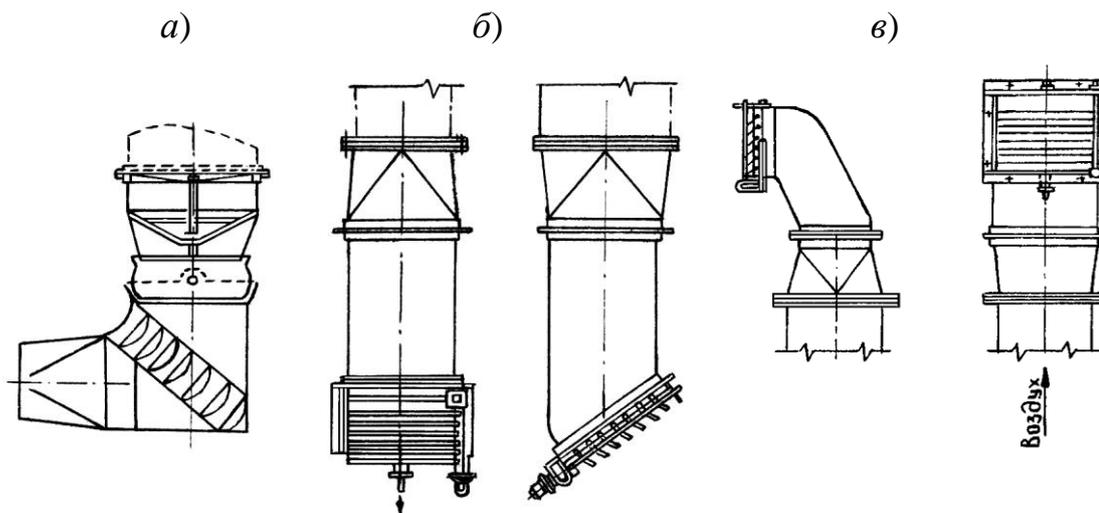


Рисунок 11.2 – Конструкции душирующих патрубков.

При душировании целых площадок с постоянным пребыванием на них рабочих внутренним охлаждённым или наружным воздухом применяют патрубки с верхним подводом воздуха ПДв (рис. 11.2, б) или патрубки с нижним подводом воздуха ПДн (рис. 11.2, 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. 11.1, 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. м<sup>3</sup>/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

$$P_T = \frac{t_{p.з} - t_p}{t_{p.з} - t_0}, \quad (11.2)$$

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  $F_0$  (м<sup>2</sup>) и скорости выхода воздуха из него  $v_0$  (м/с) ведут для одного из трёх случаев по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
\text{при } P_T < 0,6 \quad F_0 &= \left( \frac{P_T \cdot x}{0,6n} \right)^2; \quad v_0 = \frac{v_p \cdot x}{0,7m\sqrt{F_0}}; \\
\text{при } P_T = 0,6 - 1 \quad F_0 &= \left( \frac{x + 5,3P_T - 3,2}{0,75n} \right)^2; \quad v_0 = \frac{v_p}{0,7 + 0,1 \cdot (0,8m\sqrt{F_0} - x)}; \\
\text{при } P_T > 1 \quad F_0 &= \left( \frac{x}{0,8m} \right)^2; \quad v_0 = \frac{v_p}{0,7},
\end{aligned} \tag{11.3}$$

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

$$P_K = \frac{c_{p.з} - c_p}{c_{p.з} - c_0}, \tag{11.4}$$

где  $c_{p.з}$  – концентрация газов в воздухе рабочей зоны, мг/м<sup>3</sup>;

$c_p$  – предельно допустимая концентрация газов в воздухе на рабочем месте, мг/м<sup>3</sup>;

$c_0$  – концентрация газов в воздухе, подаваемом из душирующего патрубка, мг/м<sup>3</sup>.

В зависимости от величины  $P_K$  находят искомые величины для одного из двух случаев

$$\begin{aligned}
\text{при } P_K < 0,4 \quad F_0 &= \left( \frac{P_K \cdot x}{0,4n} \right)^2; \quad v_0 = \frac{v_p \cdot x}{0,5m\sqrt{F_0}}; \\
\text{при } P_K = 0,4 - 1 \quad F_0 &= \left( \frac{x + 3,7P_K - 1,5}{0,75n} \right)^2; \quad v_0 = \frac{v_p}{0,55 + 0,14 \cdot (0,8m\sqrt{F_0} - x)}.
\end{aligned} \tag{11.5}$$

Когда в цехе необходимо иметь несколько душей, вблизи расположенных один от другого, то их объединяют в одну местную приточную систему.

## 11.2. Воздушные завесы

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. 11.3) или воздушные завесы (рис. 11.4). 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.

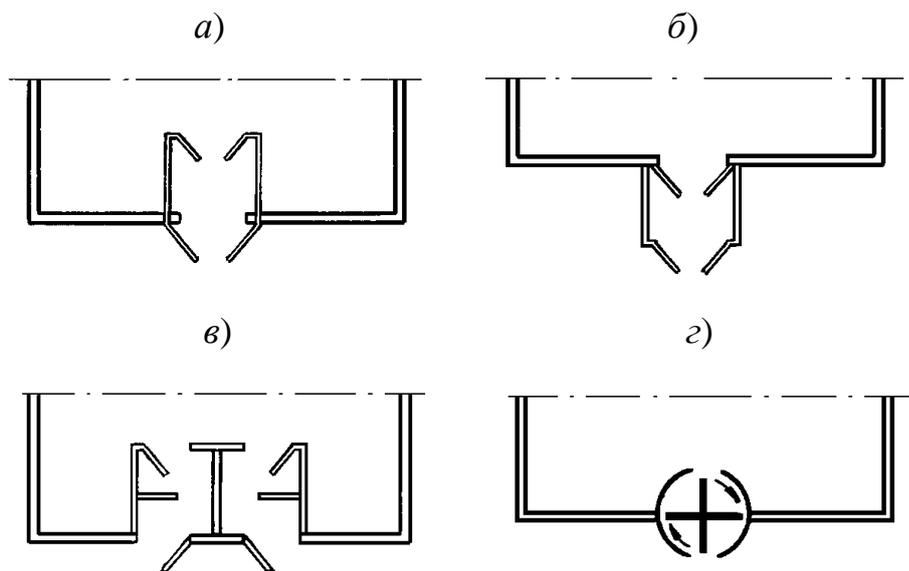


Рисунок 11.3 – Устройства, предотвращающие врывание холодного воздуха в помещение: *а* – внутренний тамбур; *б* – наружный тамбур; *в* – шлюз; *з* – вращающиеся двери.

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.

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. 11.4. Как видно, завесы могут быть с одним или двумя вентиляторными агрегатами, которые устанавливают на полу цеха или на площадке у верха ворот. Для образования в проёме плоских шиберующих струй служат воздухопроводы равномерной раздачи, имеющие щелевые насадки с направляющими пластинками. В воздушно-тепловых завесах у вентиляторов устанавливают калориферы. Для завес применяют центробежные или осевые вентиляторы.

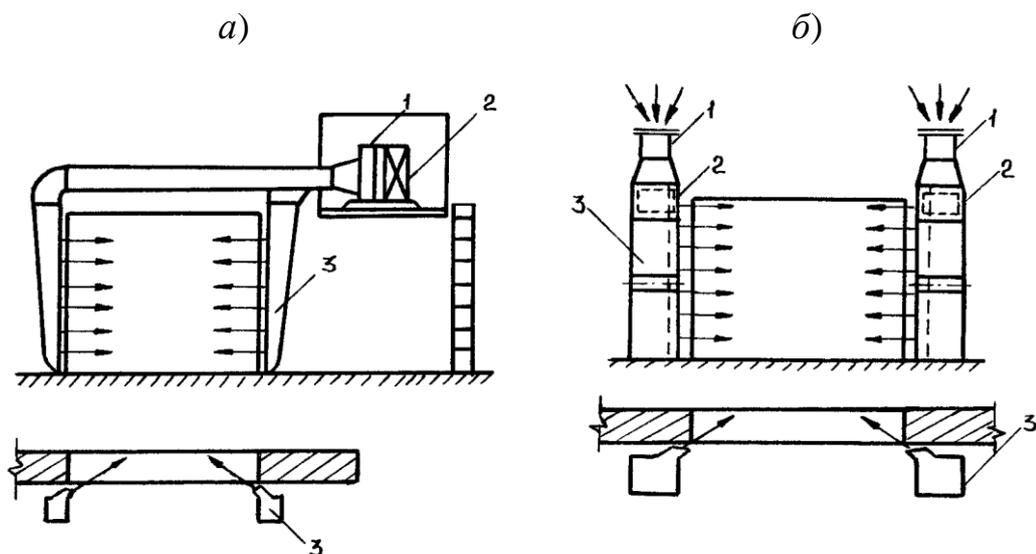
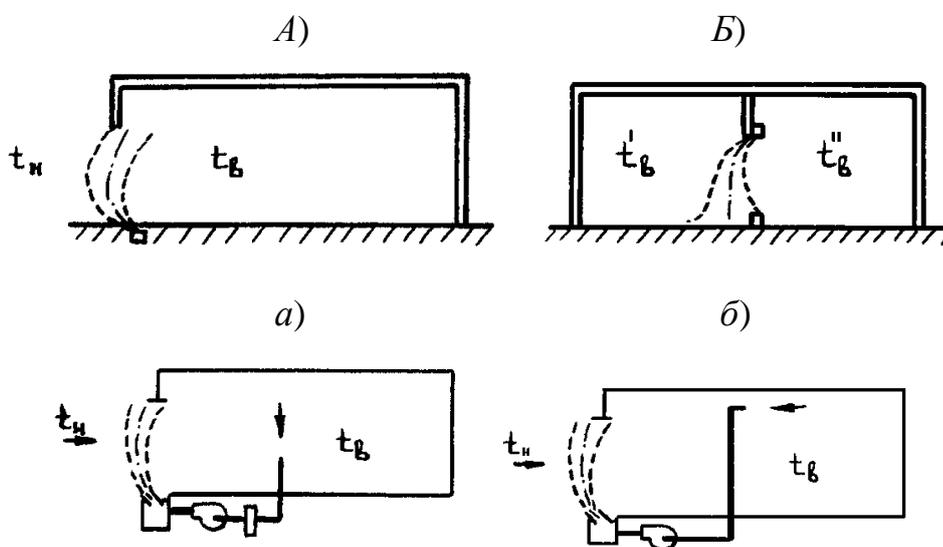


Рисунок 11.4 – Двусторонние боковые завесы шиберующего типа с горизонтальной подачей воздуха: *а* – установка с одним осевым вентилятором на площадке у верха ворот; *б* – установка осевых вентиляторов на раздаточных коробах; 1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – раздаточный короб.



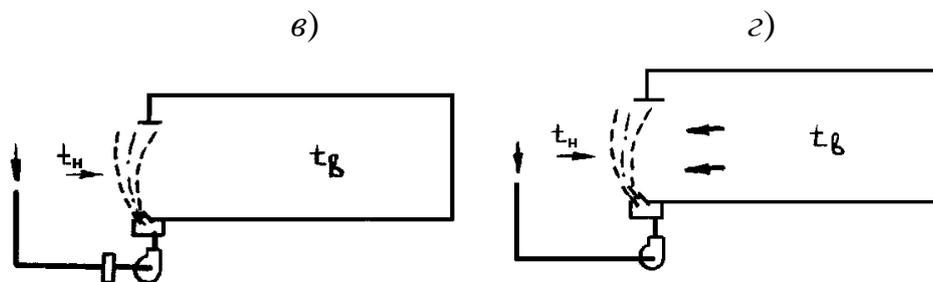


Рисунок 11.5 – Воздушные завесы: *A, B* – с различным направлением струи; *a-г* – с различными местами воздухозабора.

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. 11.5, *a*), боковые – с горизонтальной подачей струи (рис. 11.4) и верхние – с подачей струи сверху вниз (рис. 11.5, *б*).

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 воздухоподаточная 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  $t_{в}$  и подогревом его перед подачей до  $t_{з}$  – устраивают в проёмах у наружных ограждений, когда вблизи них расположены постоянные рабочие места или когда к воздушной среде помещения предъявляются повышенные требования (рис. 11.5, *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. 11.5, 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. 11.5, 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. 11.5, 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. 11.4, 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.

### 11.3. Расчёт воздушных завес

Завесы рассчитывают обычно без учёта ветрового давления. При уравновешенном воздушном балансе помещения количество воздуха, подаваемого завесой, находят по формуле (кг/ч)

$$G_z = 1,6 \cdot 10^4 \cdot \bar{q} \cdot \mu_{np} \cdot F_{np} \sqrt{h \cdot (\rho_n - \rho_v) \cdot \rho_{см}}, \quad (11.6)$$

где  $\bar{q}$  – отношение количества воздуха, подаваемого завесой, к количеству смеси воздуха, проходящего через проём  $G_{np}$ ;

$\mu_{np}$  – коэффициент расхода воздуха, движущегося через проём при работе завесы (табл. 11.1);

$F_{np}$  – площадь проёма, м<sup>2</sup>;

$h = 0,5H_{np}$  – вертикальное расстояние от середины проёма до нейтральной зоны для помещений без аэрационных отверстий, м;

$H$  – высота проёма, м;

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха при температуре по расчётным параметрам Б для холодного периода года, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_v$  – плотность внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{см}$  – плотность смеси воздуха, проходящего через проём, при нормируемой температуре в районе ворот, кг/м<sup>3</sup>.

При наличии в помещении дисбаланса механической вентиляции расход воздуха завесой подсчитывают по формулам:

- при заборе воздуха завесой из помещения

$$G_3 = \Delta G \cdot \frac{\bar{q}}{1 - \bar{q}} \cdot \frac{F_{np} \cdot \mu_{np}}{\sum(F_n \cdot \mu_n) + \sum(F_{np} \cdot \mu_{np})}, \quad (11.7)$$

- при заборе воздуха завесой снаружи

$$G_3 = \Delta G \cdot \bar{q} \cdot \frac{F_{np} \cdot \mu_{np}}{\sum(F_n \cdot \mu_n) + \sum(F_{np} \cdot \mu_{np})}, \quad (11.8)$$

где  $\Delta G$  – 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, м<sup>2</sup>;

$\sum(F_n \cdot \mu_n)$  – сумма произведений площадей открытых приточных проёмов на соответствующие им коэффициенты расхода, м<sup>2</sup>.

Подаваемое завесой количество воздуха, полученное по формулам (11.7) и (11.8), не должно превышать 4000 кг/ч на 1 м<sup>2</sup> площади проёма. Если превышает, то необходимо увеличить производительность приточной механической вентиляции или предусмотреть дополнительные приточные проёмы.

Результаты расчёта  $G_3$  по формулам (11.7) и (11.8) должны быть проверены по формуле (11.6) и за расчётный расход воздуха завесы следует принимать большее значение из полученных по формулам (11.7) и (11.6) или (11.8) и (11.6).

Таблица 11.1. Значения коэффициента  $\mu_{np}$  для боковых завес

Завеса	Относительная площадь $\bar{E} = F_{np} / F_{ц}$	Значения $\mu_{np}$ 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 0,30	0,32 0,27	0,30 0,26	0,29 0,25	0,29 0,25	0,29 0,25
	30	0,31 0,27	0,29 0,25	0,29 0,25	0,29 0,25	0,29 0,25	0,29 0,25
	40	0,29 0,25	0,29 0,25	0,29 0,25	0,29 0,25	0,29 0,25	0,29 0,25
нижняя	10	0,50 0,42	0,45 0,38	0,40 0,36	0,37 0,32	0,34 0,30	0,31 0,27
	20	0,40 0,34	0,35 0,30	0,30 0,28	0,28 0,25	0,25 0,23	0,23 0,21
	30	0,35 0,31	0,30 0,26	0,27 0,24	0,24 0,21	0,22 0,20	0,20 0,18
	40	0,31 0,27	0,27 0,24	0,24 0,21	0,21 0,19	0,20 0,17	0,18 0,15

Температура воздуха, подаваемого завесой (°С)

$$t_3 = t_n + \frac{t_{см} - t_n}{q \cdot (1 - \bar{Q})}, \quad (11.9)$$

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. 11.6).

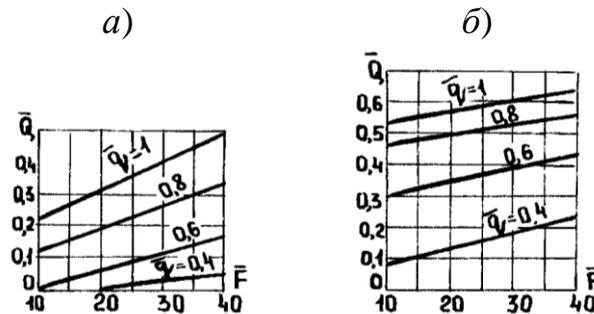


Рисунок 11.6 – Графики к определению  $\bar{Q}$ : а – для боковой завесы; б – для нижней завесы.

Тепловая мощность калориферов воздушно-тепловой завесы (Вт)

$$Q_3 = 0,28 \cdot G_3 \cdot c_p \cdot (t_3 - t_{заб}), \quad (11.10)$$

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)

$$Q_{np} = 0,28 \cdot \frac{G_3}{q} \cdot c_p \cdot (t_6 - t_{cm}) \frac{n}{60}, \quad (11.11)$$

где  $n$  – время открывания проёма за 1 ч, мин.

Ширина щели завесы (м)

$$b_{щ} = \frac{F_{np}}{F \cdot l_{щ}}, \quad (11.12)$$

$$\bar{F} = \frac{F_{np}}{F_{щ}}$$

где  $\bar{F}$  – относительная площадь;

$F_{щ}$  – суммарная площадь воздуховыпускных щелей завесы, м<sup>2</sup>;

$l_{щ}$  – суммарная длина щелей завесы, м.

Скорость воздуха на выходе из щели (м/с)

$$v_{щ} = \frac{G_3}{3600 \cdot b_{щ} \cdot l_{щ} \cdot \rho_3}, \quad (11.13)$$

где  $\rho_3$  – плотность воздуха, подаваемого завесой (при  $t_3$ ), кг/м<sup>3</sup>.

Если скорость  $v_{щ}$ , подсчитанная по формуле (11.13), окажется выше допустимой, то следует увеличить ширину щели.

Потеря давления в раздаточном коробе (Па)

$$\Delta p_{кор} = \zeta_{кор} \frac{v_{щ}^2}{2} \rho, \quad (11.14)$$

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  $Q_{дон}$ , Вт, то она должна подавать смесь воздуха со следующей температурой (°С):

$$t_{cm} = \frac{Q_{дон} \cdot \bar{q} + 0,28 \cdot G_3 \cdot c_p \cdot t_6}{0,28 \cdot G_3 \cdot c_p}. \quad (11.15)$$

## ТЕМА 12 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.

### 12.1. 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 уравновешиваются, 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

$$v_s = \sqrt{\frac{m \cdot g}{k}}, \quad (12.1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$m$  – масса частицы, кг;

$k$  – коэффициент пропорциональности.

Сила сопротивления воздуха движущемуся в нём телу представляется зависимостью

$$R = c \cdot F \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \frac{v_s^2}{2}, \quad (12.2)$$

где  $c$  – коэффициент сопротивления, зависящий от критерия Рейнольдса;

$F$  – площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную вектору скорости, м<sup>2</sup>;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Из формулы (12.2) следует, что коэффициент  $k$  будет равен

$$k = \frac{1}{2} \cdot c \cdot F \cdot \rho_v,$$

а скорость витания

$$v_s = \sqrt{\frac{2m \cdot g}{c \cdot F \cdot \rho_v}}, \quad (12.3)$$

Учитывая, что  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ,  $\rho_v = 1,2 \text{ кг/м}^3$ , для частиц, имеющих форму шара,

$$m = V \rho_m = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \rho_m \quad \text{и} \quad F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \text{получим, что выражение (12.3) примет вид}$$

$$v_s = 3,6 \sqrt{\frac{d \cdot \rho_m}{c \cdot \rho_v}}, \quad (12.4)$$

где  $d$  – диаметр частицы, м;

$\rho_m$  – плотность материала,  $\text{кг/м}^3$ .

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

$$c = \frac{13}{\sqrt{Re}}. \quad (12.5)$$

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

$$v_s = 0,14 \sqrt{\frac{\rho_m}{\left(0,02 + \frac{a}{h}\right) \cdot \rho_v}}, \quad (12.6)$$

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

$$v_{mp} = 1,3 \cdot \sqrt[3]{\rho_m} \quad (12.7)$$

В воздуховоде частица всегда перемещается со скоростью меньшей, чем скорость воздуха. Отношение скорости движения частицы к скорости движения воздуха называют относительной скоростью, т.е.

$$A = \frac{v_m}{v_v} \quad (12.8)$$

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

$$v_{zop} = c \cdot \left( 4\mu_p \frac{v_v}{v_m} + 0,01\rho_m + b \right) \quad (12.9)$$

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  $60^\circ$ ) 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.

$$v_{верт} = v_{гор} + v_s \quad (12.10)$$

## 12.2. 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, пересыпке 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.

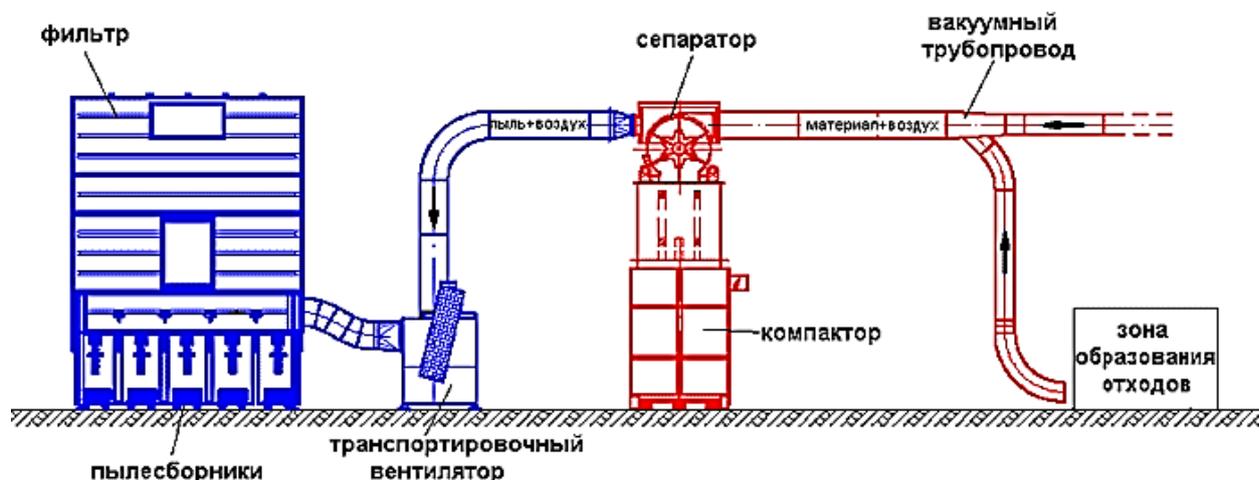


Рисунок 12.1 – Схема системы аспирации.

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. Правилom "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 вредных веществ 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 вредных веществ.** 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 со-

гласовано 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 м<sup>3</sup> воздуха.

Дробильные производства - до 8 кг.

Размольные производства - до 20 кг.!

Пескоструйные производства - до 8 кг.

### 12.3. Очистка аспирационного воздуха

Грубая очистка от пыли - это предварительная очистка воздуха при запыленности более 1г/м<sup>3</sup>. При начальной запыленности более 10г/м<sup>3</sup> 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 / м<sup>3</sup> 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.

### 12.4. 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 всасывают и выпускают из системы вместе с перемещаемым материалом.

Внутрицеховые всасывающие системы аспирации древесных отходов выполняют по следующим схемам (рис. 12.2).

**Универсальная система с магистральным коллектором** показана на рис. 12.2, а. К коллектору 1 под прямым углом подключают воздуховоды 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. Холодная 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.

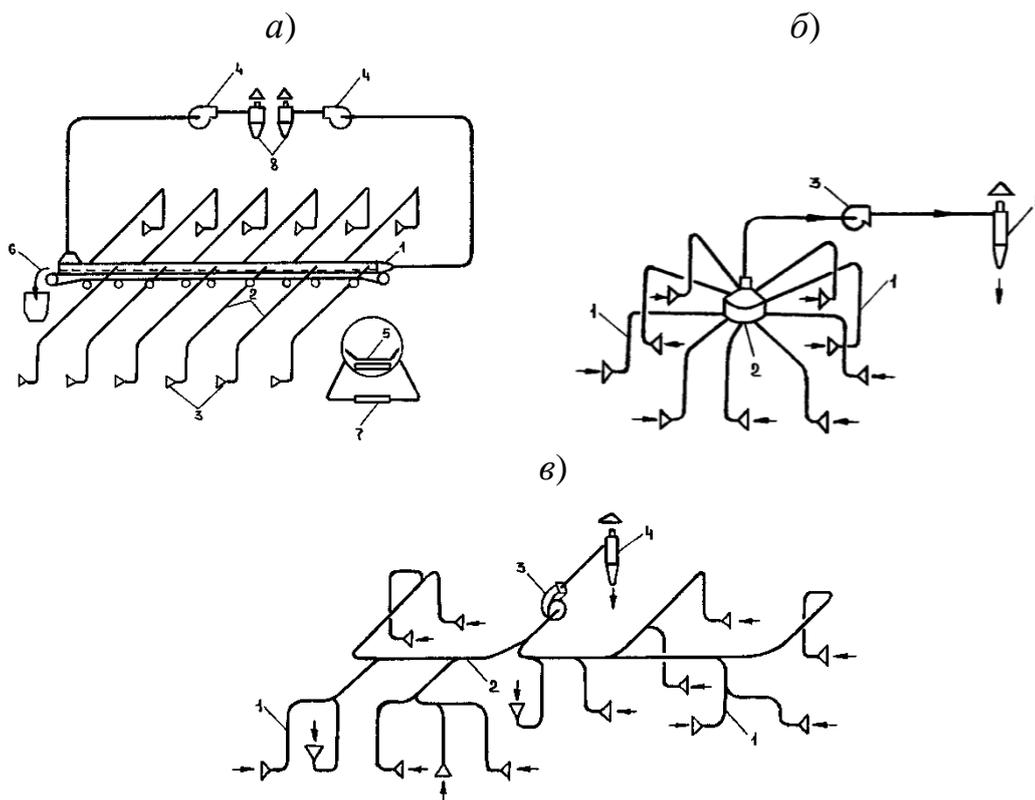


Рисунок 12.2 – Схемы систем аспирации: *а* – универсальная с магистральным коллектором; *б* – упрощённая универсальная с коллектором-сборником; *в* – с разветвлённой сетью воздухопроводов

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. 12.2, 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 си-

стемы 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. 12.2, 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 полужакрытые 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. 12.3, а показана схема кольцевой полужакрытой 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 6. 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.

Полужакрытые системы пневмотранспорта особенно целесообразно применять: при транспортировании ценных материалов; материалов, незначительная концентра-

ция которых в воздухе помещения опасна для людей; при необходимости перемещать материалы не воздухом, а каким-либо инертным газом без значительных его потерь.

Межцеховые системы пневмотранспорта осуществляют по следующим схемам.

На рис. 12.3, б представлена **всасывающе-нагнетательная система**. Материал подают в загрузочную воронку 1, затем он движется вместе с воздухом по всасывающему воздухопроводу 2, проходит через вентилятор 3 и подаётся по нагнетательному воздухопроводу 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.

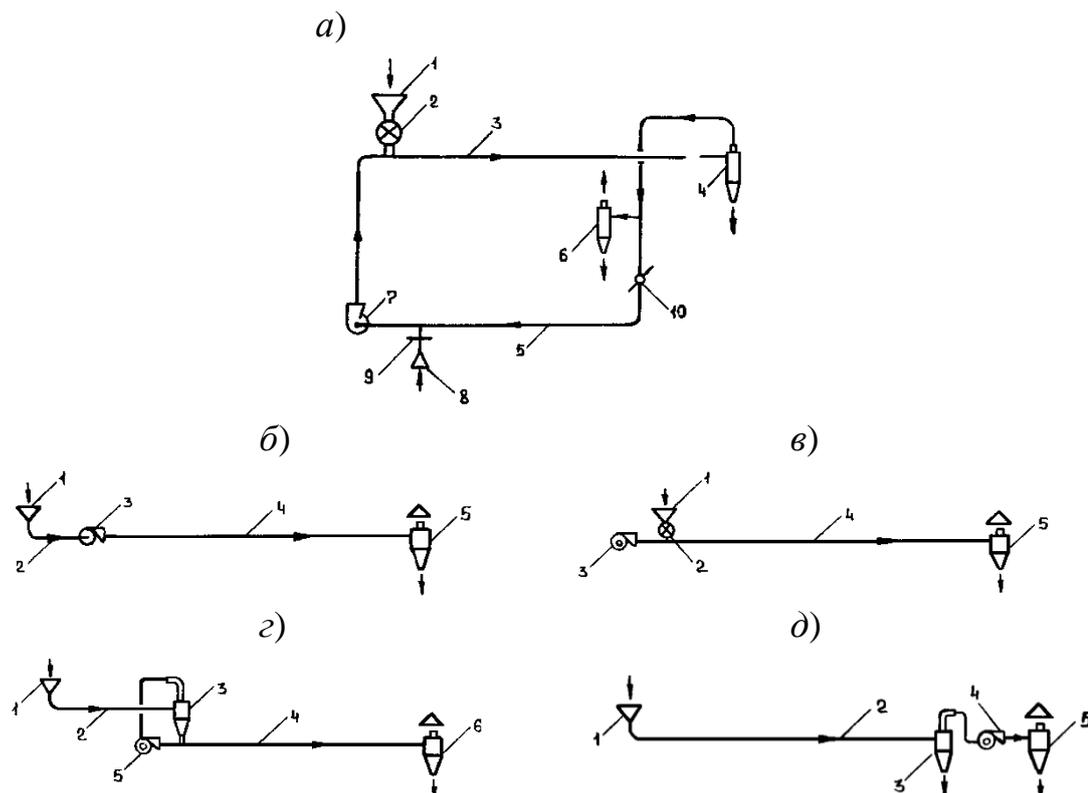


Рисунок 12.3 – Схемы систем пневмотранспорта: а – внутрицеховая кольцевая полузакрытая; б, в, г, д – межцеховые

При **нагнетательной системе** (рис. 12.3, в) материал вводят в сеть через загрузочную воронку 1 и шлюзовый затвор 2, затем вентилятором 3 материал перемещается по нагнетательному воздухопроводу 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. 12.3, г) 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 ра-

боты вентилятора 5. В циклоне 6 транспортируемый материал вторично и окончательно отделяется от воздуха и выгружается в месте своего назначения.

Во *всасывающей системе пневмотранспорта* (рис. 12.3, д) материал после загрузочной воронки 1 попадает во всасывающий воздуховод 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 воздуховоду 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.

## ТЕМА 13 ОБОРУДОВАНИЕ И УСТРОЙСТВА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ, АСПИРАЦИИ И ПНЕВМОТРАНСПОРТА

### 13.1. 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 воздуховодов соединяют между собой с помощью сварки или фланцев с уплотняющими прокладками. Причём сварку стыков осуществляют с применением центровочных хомутов. Очень важно, чтобы стыковочные соединения воздуховодов 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 воздуховодов через каждые 10-15 м предусматривают устройство лючков для осмотра и при необходимости для очистки системы аспирации и пневмотранспорта от осевшего материала. В сети воздуховодов не устанавливают обычные регулирующие устройства (шиберы или дроссель-клапаны, диафрагмы). Допускают применение только косых шиберов, перекрывающих поперечное сечение воздуховода под углом не более 30-40°.

Воздуховоды выполняются в виде труб круглого или прямоугольного сечения. Наибольшее распространение получили металлические воздуховоды 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 воздуховодов**

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. 13.1).

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.

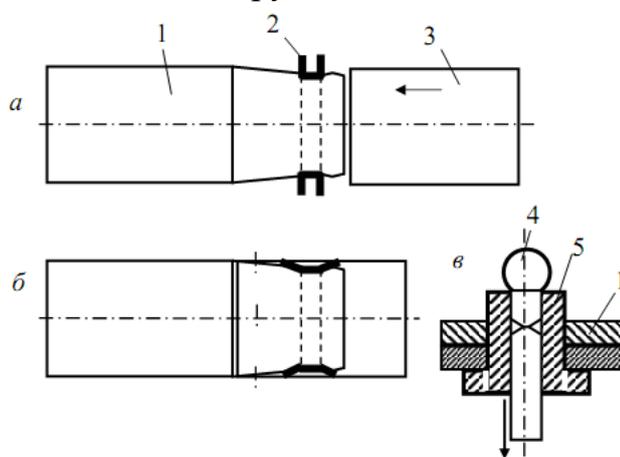


Рисунок 13.1 – Способ соединения труб по длине: а – подготовка труб для сборки; б – труба после сборки; в – способ установки заклепок

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  $\mu$  до 0,2 кг на 1 кг воздуха, применяют воздуховоды из тонколистовой стали. Толщина стали  $\delta$  приведена ниже.

	$\delta$ , 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  $\delta$  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. 13.2). 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.

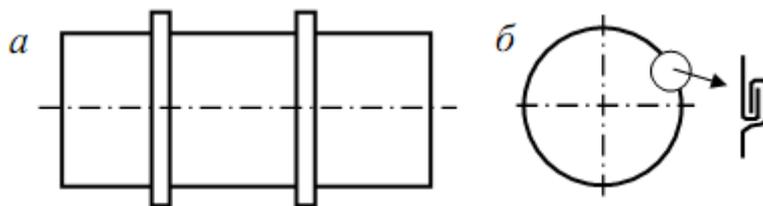


Рисунок 13.2 – Способы повышения жесткости труб: а – установкой колец; б – навивкой труб с фальцевым соединением

В аспирационных системах применяются рукава металлические, резиновые и спирально-навивные из винилискожи. Резиновые рукава имеют преимущества перед

металлорукавами: они герметичны, создают меньший уровень шума, а их гидравлическое сопротивление такое же, что и у стальных воздуховодов.

**4. Фасонные и узловые элементы воздуховодов.** Фасонные элементы воздуховодов применяются либо при необходимости изменения направления движения воздушного потока, либо при его сужении или расширении. Узловые элементы воздуховодов обеспечивают слияние или разделение двух и более воздушных потоков. Основной формой изгиба воздуховода является отвод (колени).

Отводы для систем аспирации (рис. 13.3, 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.

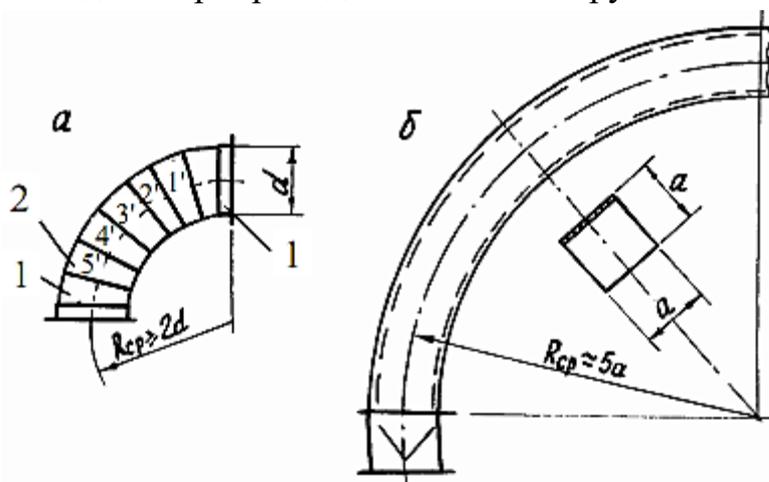


Рисунок 13.3 Отводы: а - для систем аспирации; б - для транспортной пневмосистемы

Отводы для транспортных пневмосистем (рис. 13.2,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. 13.4), называют тройниками.

Тройники с симметричным расположением ответвлений (рис. 13.4, б) называют штанообразными. Геометрически каждый тройник характеризуется углом  $\alpha$  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 воздухопроводов, обеспечивающие слияние более двух воздушных потоков в один, называются коллекторами.

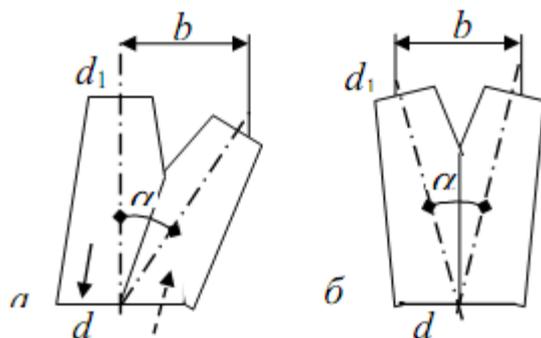


Рисунок 13.4 – Тройники: а – несимметричный; б – штанообразный

Наибольшее распространение получили коллекторы конструкции Гипродрев (рис. 13.5). Горизонтальные коллекторы, например типа КГ, удобны для применения в случае одностороннего расположения обслуживаемого оборудования.

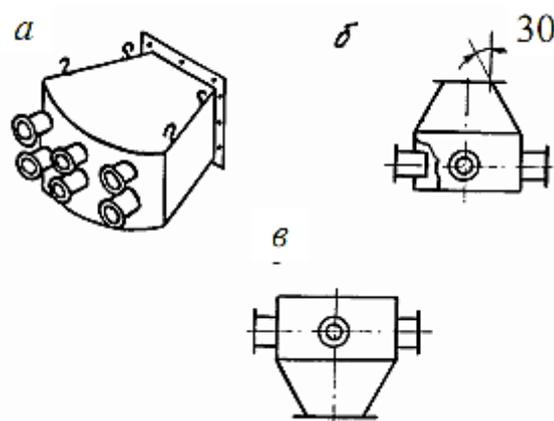


Рисунок 13.5 – Коллекторы: а - горизонтальный типа КГ; б - вертикальный типа КВВ; в - вертикальный типа КВН

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  $\zeta_{вх}$ .

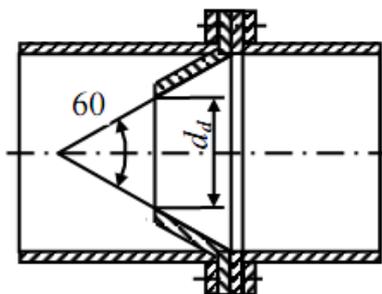


Рисунок 13.6 – Установка диафрагмы

### 13.2. Диафрагмы

Диафрагмы (рис. 13.6) устанавливают в воздуховодах на прямых участках для выравнивания сопротивлений ответвлений, подсоединенных к одному коллектору. Диаметр диафрагмы  $d_d$  определяется расчетом.

### 13.3. 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 воздухопровод 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.

### 13.4. 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/м<sup>3</sup>. Общий вид вентилятора показан на рис. 13.7.



Рисунок 13.7. 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.

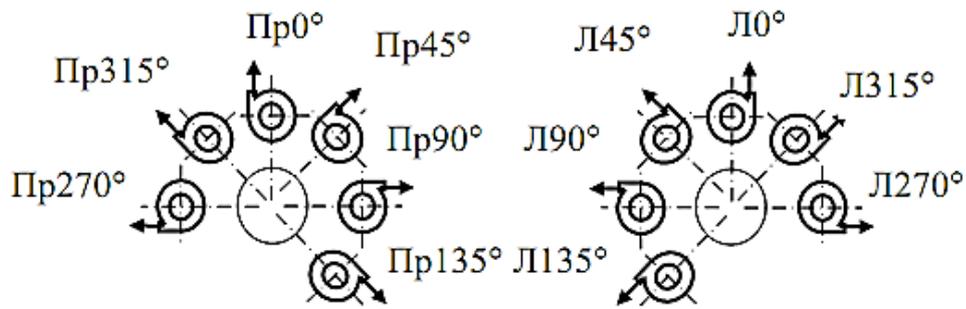


Рисунок 13.8. Схема положений корпуса вентиляторов

**Выбор вентилятора.** Вентилятор выбирают с использованием аэродинамических характеристик по заданным значениям производительности вентилятора по воздуху,  $L$ , м<sup>3</sup>/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.

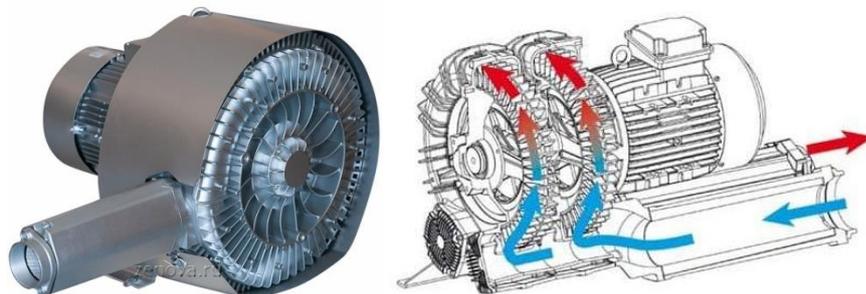


Рисунок 13.9. Общий вид и схема воздуходувки.

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.

### 13.5. 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.

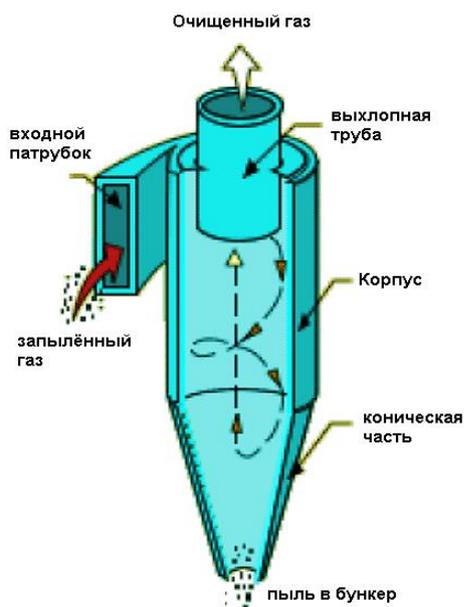


Рисунок 13.10 – Схема циклона типа ЦН.

## ТЕМА 14 ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ И ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

### 14.1. 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 увлажнительных 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 вредностей.

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 осуществляются 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 вредных веществ, отклонения от нормальных технологических процессов, нарушения в работе вентиляции и другие факторы, влияющие на изменение содержания вредных веществ 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.

## 14.2. 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.

## 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

Лабораторная работа № 9

Лабораторная работа № 10

Лабораторная работа № 11

# 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 контактными и бесконтактными 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  $-130^{\circ}\text{C}$ , толуол до  $-90^{\circ}\text{C}$ , петролейный эфир до  $-30^{\circ}\text{C}$  и пентан до  $-190^{\circ}\text{C}$ .



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 из-

мерения 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  $\pm 1,5 - 2^{\circ}\text{C}$ .

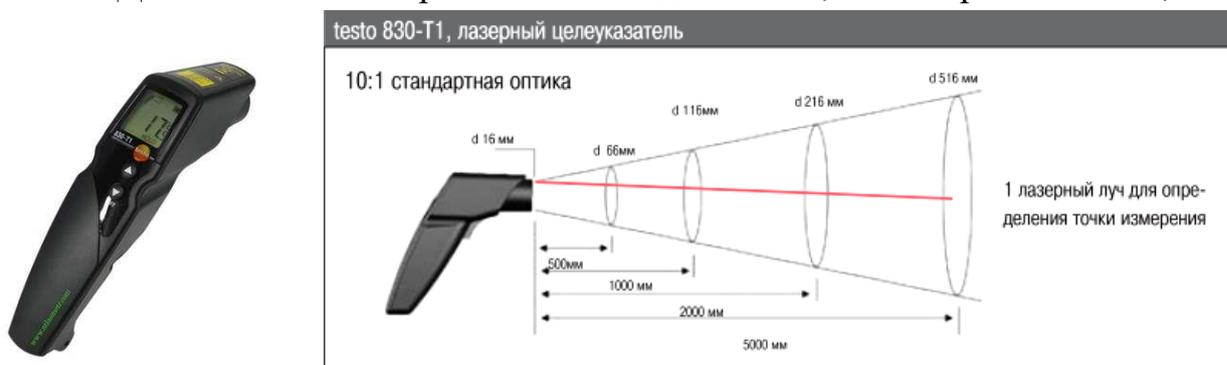


Рис. 1.2. Инфракрасный термометр testo 830-T1.

### 3. 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  $40^{\circ}\text{C}$  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 уравнивается 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.

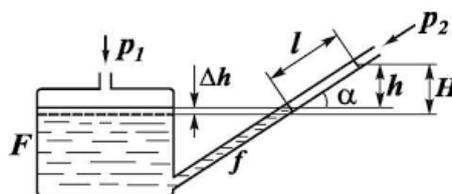


Рис. 1.4. Микроманометр многодиапазонный с наклонной трубкой ММН-2400 (5)-1,0

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.

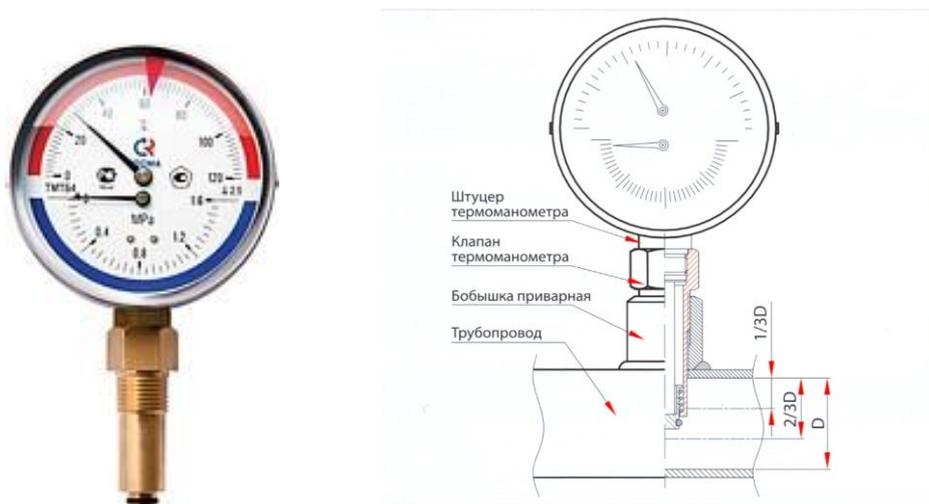


Рис. 1.6. Термоманометр ТМТБ-31Р.1

#### **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.

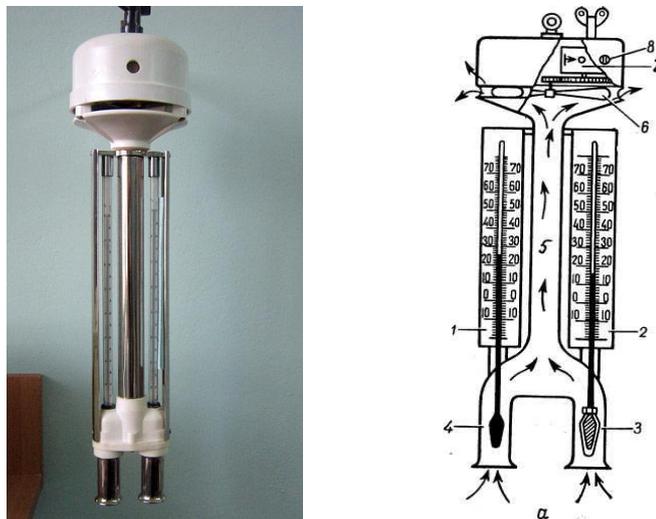


Рис. 1.10. Психрометр аспирационный МВ – 4М.

## 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 равновесии с окружающей средой. Затем по показаниям «сухого» термометра и разности показаний «сухого» и «увлажненного» термометров определяют относительную влажность воздуха по психрометрической таблице.

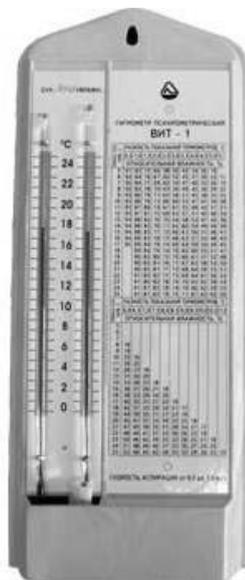


Рис. 1.11. Психрометрический гигрометр типа ВИТ-1

## **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 смотанном 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 кратковременного (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 измере-

ний. 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.

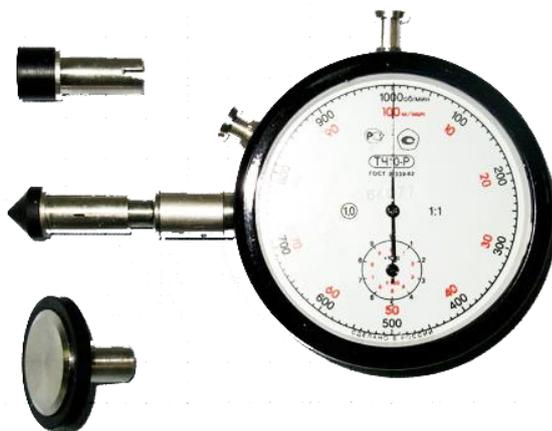


Рис. 1.13. Тахометр часовой ТЧ10-Р

### **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 воздуха, °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 помещении, °С
8	Психрометрический гигрометр <i>ВИТ-1</i>	Относительная влажность, %	Температура воздуха в помещении, °С
9	Термогигрометр <i>ТГЦ-МГ4</i>	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 вентилято-	

**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.).

4. Отсчет по барометру должен быть исправлен введением в его показания поправок, указанных в таблице:

5.

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.

б) От этой точки проводится горизонтальная линия до пересечения с прямой графика.

с) Из полученной точки пересечения опускается вертикальная линия до пересечения с горизонтальной осью.

д) 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 $T_c - T_v$ по таблице, °С	Относительная влажность, %
«Сухой»	$T_c =$		
«Увлажненный»	$T_v =$		

## 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  $\phi$  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  $\phi$  по I – d диаграмме производится графическим путем. Для этого проводим изотерму, соответствующую температуре «мокрого» термометра  $t = \text{const}$  до пересечения с кривой полного насыщения  $\phi = 100\%$  (точка A). 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 A линию  $I = \text{const}$  до пересечения с изотермой, соответствующей температуре «сухого» термометра, получим точку Б, которая соответствует значению относительной влажности воздуха.

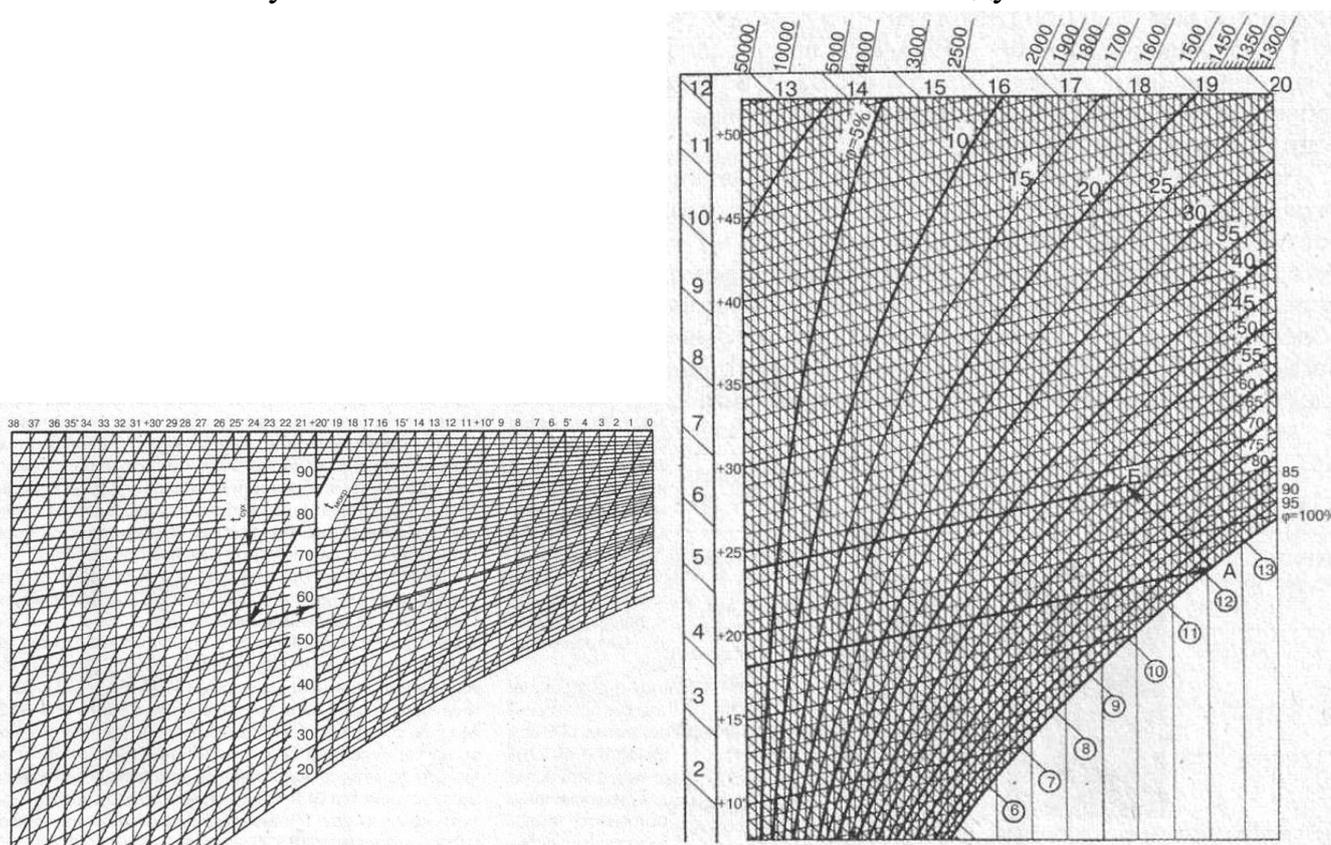


Рис. 1.14. Определение относительной влажности воздуха

### 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, пылеемкость, 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 вентиляционного оборудования).

Ячейковые карманные фильтры 1-ой ступени (тип F5), воздушные сетчатые фильтры 1-ой ступени (тип G4).

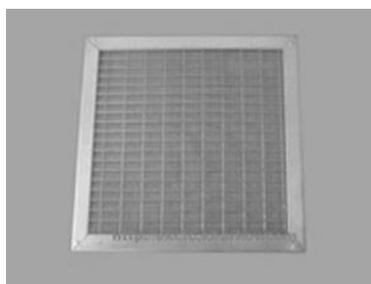
### Функция и применение:

- 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 –  $\Delta P=150\text{Па}$ , F5 –  $\Delta P=250\text{Па}$ .

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  $\eta$  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 м<sup>2</sup> поверхности фильтра, при удвоенном его аэродинамическом сопротивлении  $P_{ср}$ , Па.

Аэродинамическое сопротивление фильтра  $P_{ф}$  зависит от воздушной нагрузки  $L_{ф}$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч).

Производительность (нагрузка на 1 м<sup>2</sup>) 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

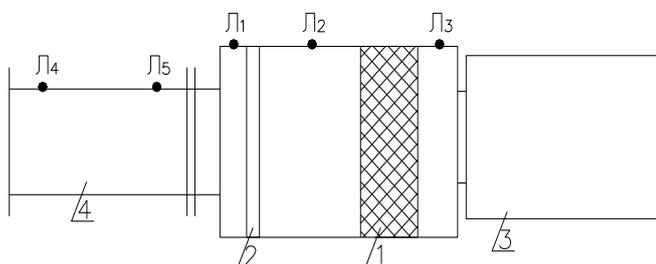


Рисунок 2.2. Стенд для испытания фильтров воздушных СИФВ-6/6. 1-карманный фильтр; 2-касетный фильтр; 3-вентилятор осевой; 4-воздуховод прямоугольный  $l=1,25$ м 550x550мм; Л1-Л5-лючки для замеров.

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, м<sup>3</sup>/ч;  $F=0,43$  – площадь входного сечения фильтров, м<sup>2</sup>;  $v$  – 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  $\Delta P$  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.

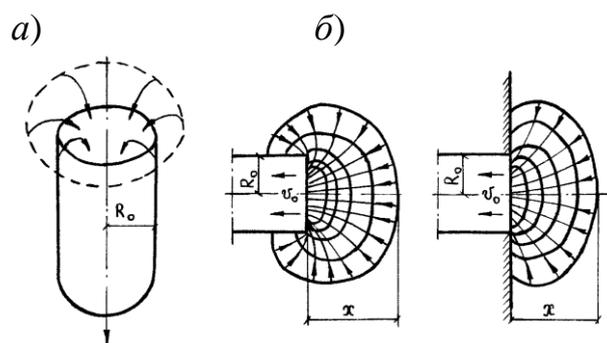


Рис. 3.1. Спектры всасывания круглого отверстия: *а* – с острыми кромками; *б* – заделанного в стенку.

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), м<sup>2</sup>;

$k$  – 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  $F$ , м<sup>2</sup>.

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

№ Изменения	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 истечению, 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  $100 \text{ мг/м}^3$ .

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,  $\text{м/ч}$ .

- 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 ( $\text{кг/ч}$ );

$\rho$  – 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 м<sup>3</sup>/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-HR97-07; 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.

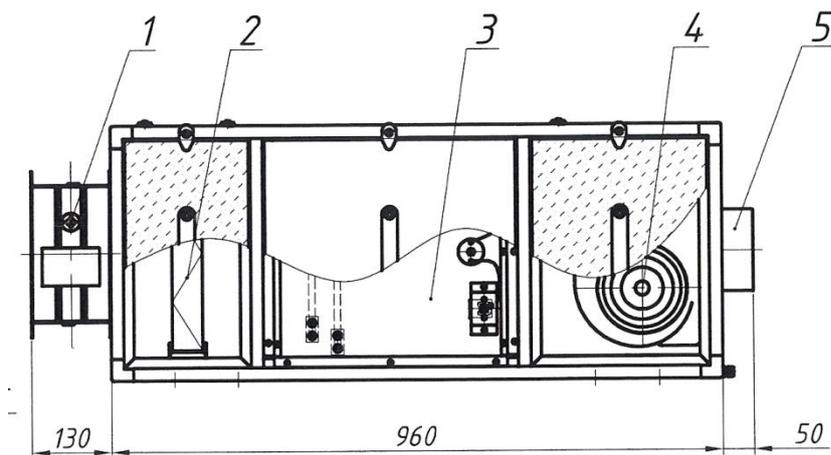


Рис. 4.1. Агрегат канальный электрический АКЭ-3-3.

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.

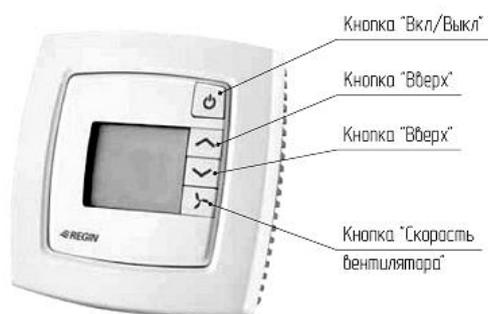


Рис. 4.2. Выносной пульт Regio RC RC.



Рис.3. Дисплей выносного пульта Regio с дисплеем.

### 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  $\Delta P$  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
$V, \text{м}^3/\text{ч}$					
$L, \text{м}^3/\text{ч}$					
$Q, \text{кДж}$					
$G, \text{кг}/\text{ч}$					

$t_{\text{ВХ}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$					
$t_{\text{ВЫХ}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$					
$\rho, \text{кг/м}^3$					
$P_{\text{п1}}, \text{ Па}$					
$P_{\text{п2}}, \text{ Па}$					
$\Delta P_{\text{п}}, \text{ Па}$					
$P_{\text{с1}}, \text{ Па}$					
$P_{\text{с2}}, \text{ Па}$					
$\Delta P_{\text{с}}, \text{ Па}$					

### ***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  $v_{\text{ait}}$  – скорость анемометра – число делений в секунду;

$m, n$  – соответственно конечное и начальное показания анемометра;

$\tau$  – 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)

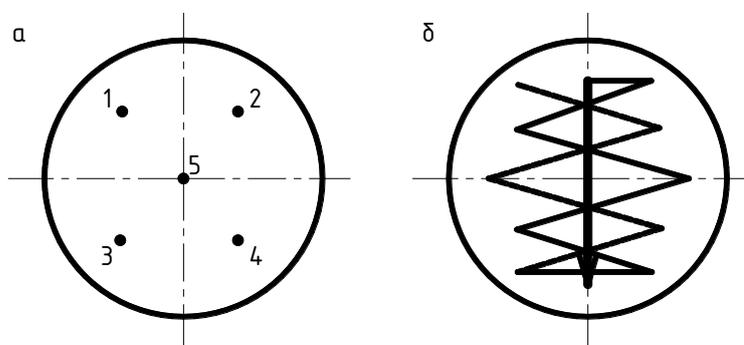


Рис. 5.1 – Схема положения анемометра при измерении средней скорости: а - измерение «по точкам»; б – обводом сечения.

Расход воздуха в данном сечении в м<sup>3</sup>/ч определяется по формуле

$$L = 3600 \cdot F \cdot v_{\text{cp}}, \quad (5.2)$$

где  $F$  - площадь данного сечения, м<sup>2</sup>;

$v_{\text{cp}}$  - 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  $U_{\text{ан}}$ , 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, $\tau$ , сек	Скорость анемометра, $U_{\text{ан}}$	Величина тока измерения, I, мА	Скорость воздуха, $U$ , м/с	Средняя скорость воздуха, $U_{\text{ср}}$ , м/с	Площадь сечения, F, м <sup>2</sup>	Расход воздуха, L, м <sup>3</sup> /ч
		до измерения, n	после измерения, m								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Чашечный											
Крыльчатый											
Термоанемометр											

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.
  - д) Нажмите кнопку «**Mode**» несколько раз, пока не отобразятся индикаторы **Hold** и **Avg**;
  - е) 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?

**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;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $l$  – длина воздуховода, м;  $d$  – диаметр воздуховода, м;  $\lambda$  – 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;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м<sup>2</sup>/с.

Значения коэффициента кинематической вязкости воздуха приведены в таблице 1.

Таблица 1

Температура воздуха в t, °C	Коэффициент кинематической вязкости $\nu$ , м <sup>2</sup> /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  $\lambda$  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 стенки 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  $\lambda$  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  $\lambda$  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 диффманометра 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  $\Delta P_{тр1-2} = P_{C1} - P_{C2}$ .

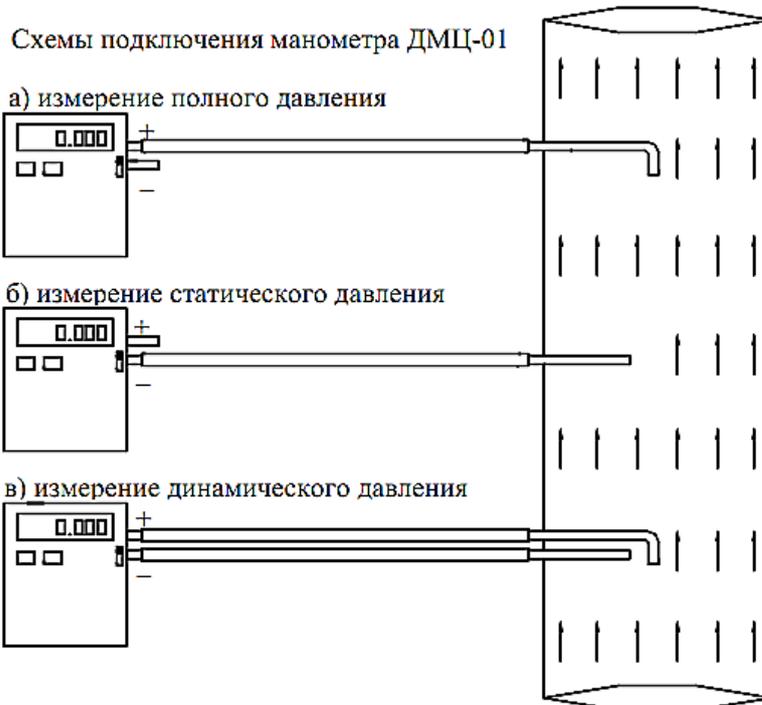


Рис. 6.1. Измерение полного, динамического и статического давления

3. Рассчитывается значение экспериментального коэффициента трения  $\lambda_{\text{э}}$ , выраженного из формулы (6.1)

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{\Delta P_{\text{тр}1-2} \cdot d}{l (\rho v_{1-2}^2 / 2)} = \frac{\Delta P_{\text{тр}1-2} \cdot d}{l \cdot P_{\text{Д}1-2}} \quad (6.9)$$

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			
$\Delta P$ , 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  $\lambda$  и  $\zeta$ ?

## 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 воздуха вытяжному воздуху. Эффективность процесса теплообмена регулируется изменением скорости вращения ротора с помощью частотного преобразователя.

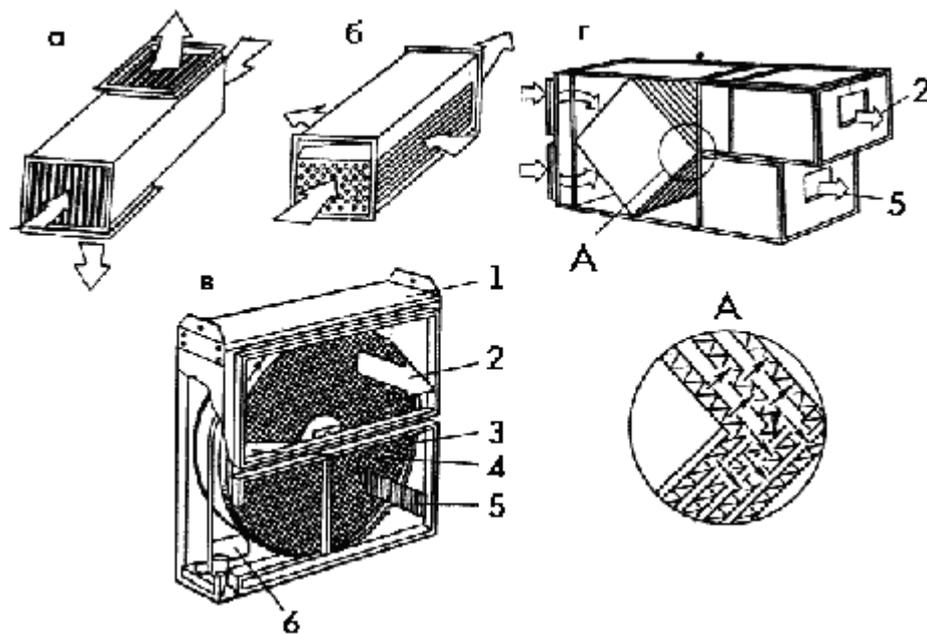


Рис. 7.1. Теплообменники: а – пластинчатый утилизатор; б – утилизатор ТКТ; в – вращающийся (1 – корпус, 2 – приточный воздух, 3 – ротор, 4 – сектор продувной, 5 – вытяжной воздух, 6 – привод); г – рекуперативный.

*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.

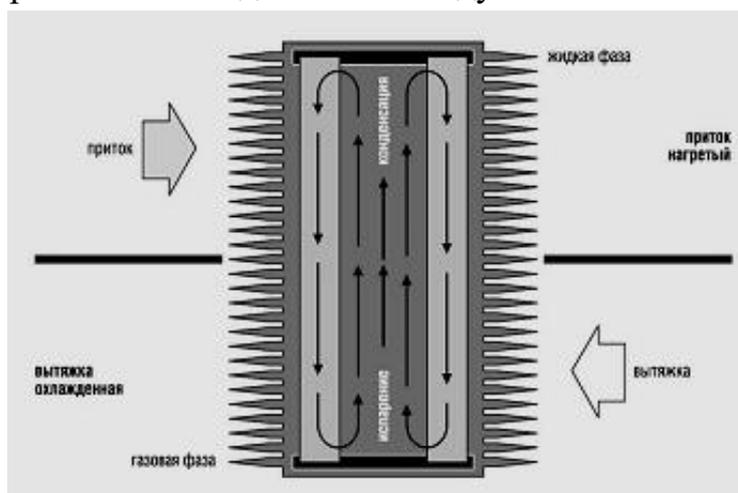
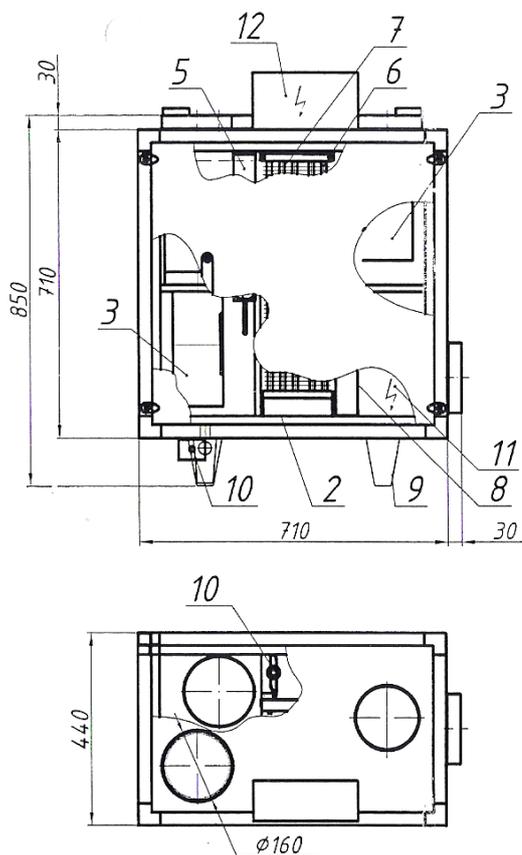


Рис. 7.2. Типовая схема теплоутилизатора на базе тепловых трубок.

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, обеспе-



чивая 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 –  $1170 \text{ мин}^{-1}$ ; установочная мощность двигателя – 0,11 кВт; максимальный ток – 0,5А; 4 ступени регулирования.

- Вентилятор вытяжной D2E 160-FI01-01: частота вращения –  $1170 \text{ мин}^{-1}$ ; установочная мощность двигателя – 0,11 кВт; максимальный ток – 0,5А; 4 ступени регулирования.

- Воздуонагреватель электрический сблокированный 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 пред-

ставляет 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.

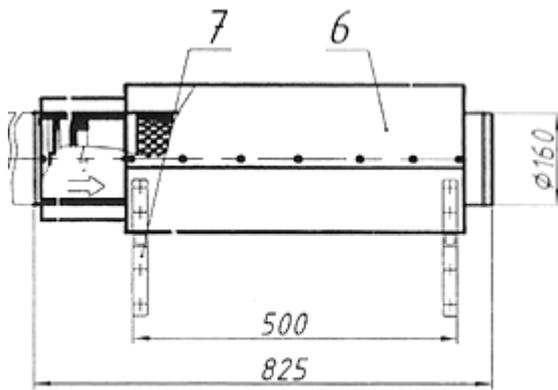


Рис. 7.4. Шумоглушитель со встроенным электрическим воздушонагревателем.

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.

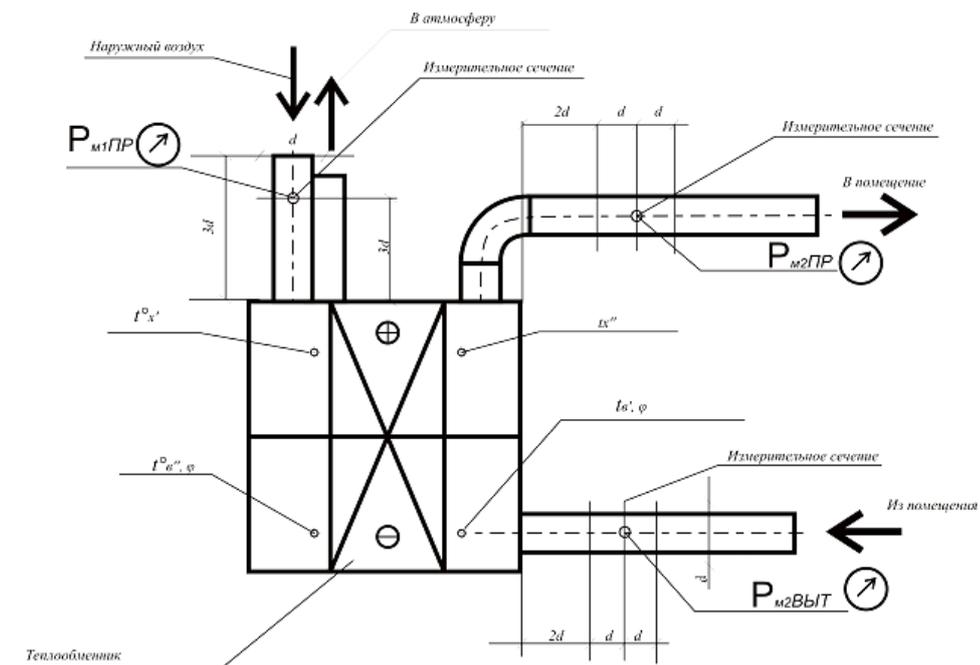


Рис. 7.5. Схема теплоутилизационной установки.

### 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  $P_6$ , 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  $t_{\text{пр}}^{\text{H}}, t_{\text{пр}}^{\text{K}}$ , °С;
- температуру вытяжного воздуха, соответственно, до и после теплообменника  $t_{\text{выт}}^{\text{H}}, t_{\text{выт}}^{\text{K}}$ , °С;
- относительную влажность вытяжного воздуха, соответственно, до и после теплообменника  $\varphi_{\text{выт}}^{\text{H}}, \varphi_{\text{выт}}^{\text{K}}$ ;
- относительная влажность приточного воздуха, до и после теплообменника  $\varphi_{\text{пр}}^{\text{H}}, \varphi_{\text{пр}}^{\text{K}}$ .

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, (м<sup>3</sup>/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<sup>2</sup>);

Вычислить затраты электроэнергии на дополнительный подогрев уличного воздуха, (кДж):

$$Q_{\text{догрева}} = L_{\text{пр}} \cdot c \cdot \rho_{\text{пр}}^{\text{K}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}), \quad (7.3)$$

$c = 1,005$  – теплоемкость воздуха, кДж/кг·°С;

$\rho_{\text{пр}}^{\text{K}}$  – плотность приточного воздуха до утилизатора, кг/м<sup>3</sup>;

$t_{\text{нар}}$  – наружная температура воздуха, °С;

$t_{\text{вн}}$  – температура в помещении, °С.

По результатам измерений вычислить производительность агрегата  $Q_{\text{пр}}, Q_{\text{выт}}$  (Вт) по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = 0,28 \cdot L_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{пр}}^{\text{K}} \cdot c \cdot (t_{\text{пр}}^{\text{K}} - t_{\text{пр}}^{\text{H}}) \quad (7.5)$$

$$Q_{\text{выт}} = 0,28 \cdot L_{\text{выт}} \cdot \rho_{\text{выт}}^{\text{H}} \cdot c \cdot (t_{\text{выт}}^{\text{H}} - t_{\text{выт}}^{\text{K}}) \quad (7.6)$$

где  $\rho_{\text{выт}}^{\text{H}}$  – плотность вытяжного воздуха до утилизатора, кг/м<sup>3</sup>;

$t_{\text{пр}}^{\text{H}}, t_{\text{пр}}^{\text{K}}$  – температура приточного воздуха соответственно до и после утилизатора, °С;

$t_{\text{выт}}^{\text{H}}, t_{\text{выт}}^{\text{K}}$  – температура вытяжного воздуха соответственно до и после утилизатора, °С.

Коэффициент полезного действия утилизационной установки рассчитывается по формуле:

$$\eta = (t_{\text{пр}}^{\text{K}} - t_{\text{пр}}^{\text{H}}) / (t_{\text{выт}}^{\text{H}} - t_{\text{пр}}^{\text{H}}) \quad (7.7)$$

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 данном 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:

$$\begin{aligned} \zeta^{\text{рек}} &= G_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{пр}}^{\text{H}} - t_{\text{пр}}^{\text{K}}) / G_{\text{выт}} \cdot (t_{\text{пр}}^{\text{H}} - t_{\text{выт}}^{\text{H}}) = \\ &= G_{\text{выт}} \cdot (t_{\text{выт}}^{\text{K}} - t_{\text{выт}}^{\text{H}}) / G_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{пр}}^{\text{H}} - t_{\text{выт}}^{\text{H}}) \end{aligned} \quad (7.11)$$

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  $\eta$  – эффективность рекуператора;

$L_{\text{пр}}$  – объем приточного воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$c = 1,2$  – теплоемкость воздуха, Вт/кг · °С;

$\rho_{\text{пр}}^{\text{K}}$  – плотность приточного воздуха после утилизатора, кг/м<sup>3</sup>;

$t_{\text{нар}} = 0,2$  – 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
$\rho_{\text{вн}}, \text{кг/м}^3$		$Q_{\text{пр}}, \text{Вт}$	
$\rho_{\text{нар}}, \text{кг/м}^3$		$Q_{\text{выт}}, \text{Вт}$	
$\rho_{\text{пр}}^{\text{н}}, \text{кг/м}^3$		$\zeta$	
$\rho_{\text{пр}}^{\text{к}}, \text{кг/м}^3$		$\eta$	
$\rho_{\text{выт}}^{\text{н}}, \text{кг/м}^3$		$G_{\text{пр}}$	
$\rho_{\text{выт}}^{\text{к}}, \text{кг/м}^3$		$G_{\text{выт}}$	
$Q_{\text{догрева}}, \text{кДж}$		$E, \text{кВт/ч}$	
$L_{\text{пр}}, \text{м}^3/\text{ч}$		$\zeta^{\text{рек}}$	
$L_{\text{выт}}, \text{м}^3/\text{ч}$			

### ***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?

### 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 завершённость;
- 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 подшиваются 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  $t_{II}$ , °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  $P_{II}$ , 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  $L$ , м<sup>3</sup>/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, м<sup>2</sup>

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  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

3.2. Объемный расход  $L^{об}$ , м<sup>3</sup>/с, определяют по формуле

$$L^{об} = F \cdot v_{cp}, \quad (8.4)$$

3.3. Плотность перемещаемого воздуха определяют по формуле

$$\rho = \frac{P_A + P_C}{R \cdot K_\phi (t + 273)}, \quad (8.5)$$

где  $R = 27,3$  Дж/кг·К – универсальная газовая постоянная;

$K_\phi$  – коэффициент, зависящий от температуры и влажности перемещаемого воздуха, определяется по таблице 8.1.

Таблица 8.1. Зависимость коэффициента  $K_\phi$  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
$K_\phi$	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.

### **Контрольные вопросы**

1. Как определить по замерам потери давления между двумя последовательными сечениями?
2. Из чего складываются потери давления между двумя сечениями воздуховода?
3. Какие работы проводят при испытании и наладке систем вентиляции?
4. Что такое паспортизация вентсистемы? Когда оформляется паспортизация?
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?

(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 <sup>3</sup> /ч	Полное давление, Па	Диаметр шкива, мм	Частота вращения, с <sup>-1</sup>
По проекту							
Фактически							

Примечание \_\_\_\_\_

2. Электродвигатель

Данные	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, с <sup>-1</sup>	Диаметр шкива, мм	Вид передачи

Примечание \_\_\_\_\_

3. Воздуонагреватели, воздухоохладители, в том числе зональные

Данные	Тип или модель	Число	Схема		Вид и параметры теплохладоносителя	Опробование* теплообменников на рабочее давление (выполнено, не выполнено)
			Обязки по теплохладоносителю	Расположения по воздуху		

\*Выполняется монтажной организацией с участием заказчика (наладочной организации).

Примечание \_\_\_\_\_

4. Пылесоудерживающее устройство

Данные	Наименование	№	Число	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	% подноса (выбив)	Сопротивление, Па
По проекту						
Фактически						

Примечание \_\_\_\_\_

5. Увлажнитель воздуха

Данные	Насос				Электродвигатель			Характеристика увлажнения
	тип	подача, м <sup>3</sup> /ч	давление перед форсунками, кПа	частота вращения, с <sup>-1</sup>	тип	мощность, кВт	частота вращения, с <sup>-1</sup>	
По проекту								
Фактически								

Примечание \_\_\_\_\_

*В. Расходы воздуха по помещениям (по сети)*

Номер мерного сечения	Наименование помещений	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /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 проектной организацией или устранение. \_\_\_\_\_

Представитель заказчика \_\_\_\_\_

Представитель проектной организации \_\_\_\_\_

Представитель монтажной организации \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа № 9

### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАДИАЛЬНЫХ И ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

**Цель работы:** ознакомиться с компоновкой оборудования и конструкцией вентиляторов: радиального, осевого фланцевого ВО-Ф-1,5, канального ВК 30-15, канального ВКК 100, осевого крышного ВКО-3,15В, радиального крышного ВКР-190.

#### 9.1. Общие сведения о вентиляторах

Вентиляторы – лопаточные машины, предназначенные для перемещения воздуха или других газопаровоздушных смесей. Основное назначение вентилятора заключается в перемещении требуемого количества воздуха, для чего вентилятор должен создавать определенное давление, необходимое для преодоления сопротивления воздушного тракта и выпуска потока с определенной скоростью.

Вентиляторы подразделяются:

- по конструктивному решению – на радиальные (центробежные) одностороннего и двустороннего всасывания, осевые, диаметральные;

- по развиваемому давлению – низкого (до 1 кПа), среднего (до 3 кПа) и высокого (до 12 кПа) давления;

- по условиям эксплуатации – на вентиляторы общего назначения из углеродистой стали, оцинкованной стали, пластмассы для перемещения чистого или мало запыленного воздуха и неагрессивных газопаровоздушных смесей с температурой до 80°С и специальные (из разнородных материалов, сплавов) – для перемещения газопаровоздушных, взрывоопасных смесей с агрессивными примесями;

- по схеме соединения с электродвигателем – непосредственно с электродвигателем на одной оси, с помощью эластичной муфты и клиноременной передачи;

- по вращению – правого и левого (со стороны всасывания);

- по назначению, расположению в сети воздуховодов – на бытовые, канальные, крышные.

Наиболее важными характеристиками вентиляторов являются:

- аэродинамические характеристики;
- акустические характеристики;
- габаритно-массовые показатели;
- эргонометрические показатели.

*Аэродинамические характеристики* – это давление, развиваемое вентилятором, производительность, которую он имеет и потребляемая при этом мощность.

*Акустические (шумовые) характеристики* – это волны сжатия, распространяющиеся в воздухе. В связи с расширением области применения вентиляторов существенно повышаются требования к их шуму и вибрациям. Измерение шума производят при помощи шумомера. При измерениях шума, в том числе шума вентиляторов, используют, в основном, две физические величины: звуковое давление  $P$  (Па), либо  $P$  (дБ, дБА) и звуковую мощность  $W$  (Вт), либо  $W$  (дБ, дБА).

*Габаритно-массовые параметры* зависят от аэродинамической характеристики вентилятора, выбираемых акустических параметров, типа аэродинамической схем, потребляемой мощности.

*Эргономические параметры* (внешний вид вентилятора) характеризуют отношение производителя к выпускаемой продукции. Это относится к внешнему виду и качеству лакокрасочного покрытия, удобству монтажа и обслуживания.

## 9.2. Устройство радиальных вентиляторов

Радиальный (центробежный) вентилятор (рис.9.1) состоит из трех основных элементов: лопаточного радиального колеса 1 с лопатками 2, закрепленного на валу 3 электродвигателя, входного или всасывающего патрубка 4, нагнетательного патрубка 5 и кожуха вентилятора 6. Лопаточное рабочее колесо расположено в спиральном корпусе. При вращении колеса воздух, поступающий через входное отверстие, попадает в каналы между лопатками колеса, под действием возникающей центробежной силы перемещается по этим каналам, собирается спиральным корпусом и направляется в его выпускное отверстие.

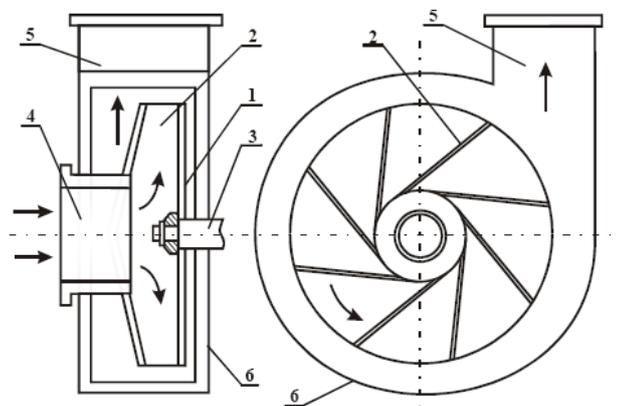


Рис. 9.1. Схема центробежного вентилятора

Радиальные колеса состоят из лопаток, переднего диска, заднего диска и ступицы. Литые или точеные ступицы, предназначенные для насаживания колес на валы, крепят на заклепках, прикрепляют болтами или приваривают к задним дискам. К дискам, в свою очередь, прикрепляют лопатки с помощью заклепок или сварки.

Конструктивное исполнение радиальных вентиляторов регламентирует ГОСТ 5976-90 «Вентиляторы радиальные общего назначения. Общие технические условия».

### 9.3. Устройство осевых вентиляторов

Простейший осевой вентилятор (рис.9.2) представляет собой расположенное в цилиндрическом корпусе 1 лопаточное рабочее колесо пропеллерного типа 2. При вращении колеса воздух, поступающий через входное отверстие, под воздействием лопаток перемещается между ними в осевом направлении, причем давление увеличивается. Далее воздух поступает в впускное отверстие.

Осевые колеса состоят из втулок и прикрепленных к ним лопаток. В зависимости от профиля лопаток колеса называют нереверсивными или реверсивными.

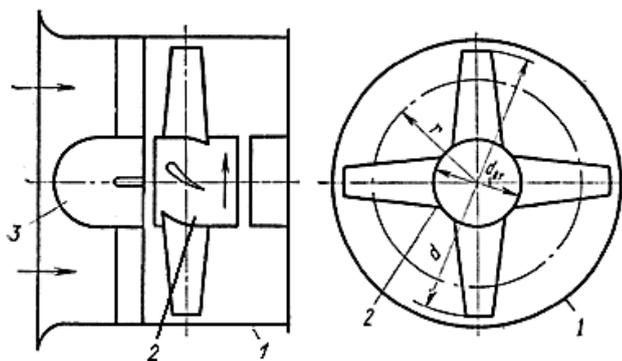


Рис. 9.2. Схема осевого вентилятора

Лопатки выполняют из металла или пластмасс, листовые и объемные, причем последние могут быть монолитными (литыми) или пустотелыми. Втулки осевых вентиляторов изготавливают сварными, литыми и штампованными. Штамную одновременно лопатки и втулки, т.е. все колесо полностью. В центре втулок располагают ступицы для посадки колеса на вал привода. Лопатки к втулкам крепят на стержнях или приваривают.

В значительной степени на работу осевого вентилятора влияет зазор между концами лопаток и внутренней поверхностью цилиндрического корпуса — он не должен превышать 1,5% от длины лопатки.

Обычные осевые вентиляторы используют при давлениях от 30 до 300 Па. Их производительность при больших диаметрах колес может достигать нескольких миллионов кубических метров в час.

Проточные размеры и другие параметры осевых вентиляторов регламентированы ГОСТом 11442-90 «Вентиляторы осевые общего назначения. Общие технические условия».

### 9.4. Устройство диаметральных (тангенциальных) вентиляторов

Диаметральный вентилятор состоит из рабочего колеса барабанного типа с загнутыми вперед лопатками и корпуса, имеющего патрубок на входе и диффузор на выходе.

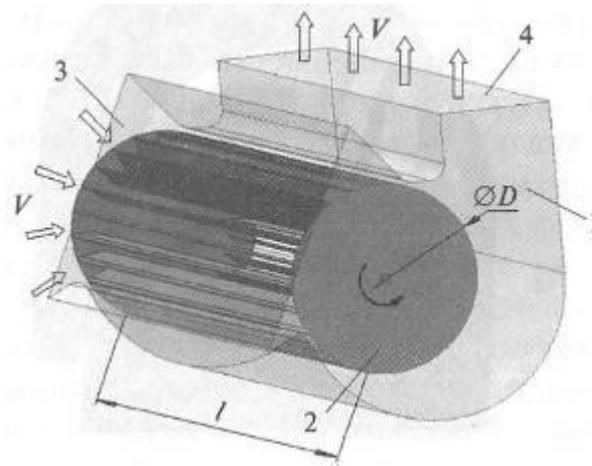


Рис. 9.3. Устройство диаметального вентилятора: 1 – корпус вентилятора; 2 – рабочее колесо; 3 – прямоугольное входное отверстие; 4 – прямоугольное выходное отверстие

Рабочее колесо тангенциального вентилятора представляет собой колесо барабанного типа с загнутыми вперед лопатками в корпусе. Корпус таких вентиляторов имеет патрубок на входе воздуха и диффузор на выходе. Воздух проходит рабочее колесо тангенциального вентилятора в поперечном направлении. Действие диаметальных вентиляторов основано на двукратном поперечном прохождении потока воздуха через рабочее колесо. Применяются такие вентиляторы обычно в агрегатах вентиляции и кондиционирования.

Диаметральные вентиляторы характеризуются более высокими аэродинамическими параметрами, по сравнению с другими типами вентиляторов, в частности, они создают плоский равномерный поток воздуха большой ширины; удобством компоновки, позволяющей осуществлять поворот потока в широких пределах; компактностью установки, позволяющей существенно сократить объем, занимаемый вентиляционной установкой.



Рис. 9.4. Рабочее колесо диаметального вентилятора

Благодаря этим качествам диаметральные вентиляторы нашли самое широкое применение в различных агрегатированных установках вентиляции и кондиционирования воздуха: фанкойлах, внутренних блоках сплит-систем, воздушных завесах.

Преимущества тангенциальных вентиляторов:

- создают равномерный плоский поток воздуха;
- удобная компоновка позволяет легко изменять направление потока;

- большой КПД (достигает 0,65 – 07);
- компактные размеры.

### 9.5. Устройство осевого вентилятора фланцевого ВО-Ф-1,5

Осевой вентилятор ВО-Ф предназначен для использования в системах общеобменной и технологической вентиляции ресторанов, магазинов, мастерских, складов и других помещений.

Вентилятор рекомендуется для подачи воздуха с малым содержанием пыли, а также низкоагрессивных газов и паров при малых аэродинамических сопротивлениях. Запыленность воздуха не должна превышать  $10 \text{ мг/м}^3$ . В воздухе недопустимы включения, агрессивные к сталям обыкновенного качества, а также липкие, абразивные и волокнистые материалы.

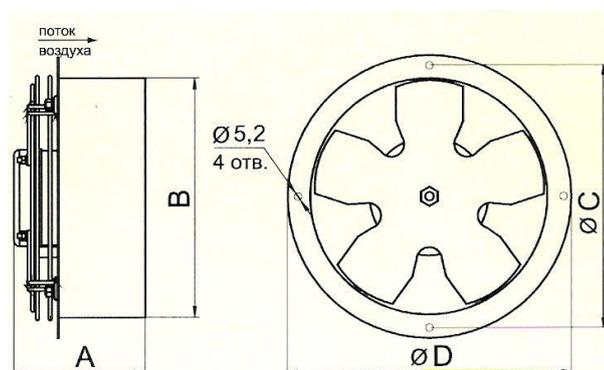


Рис.9.5. Устройство осевого вентилятора ВО-Ф-1,5

Корпус вентилятора со специальным фланцем для крепления к стене выполнен из стали с защитным покрытием порошковой краской. Рабочее колесо вентилятора изготовлено из алюминия. Вентилятор оборудован двигателем с управлением скоростью вращения, класс защиты электродвигателя вентилятора - IP 42. Термоконтакты, установленные внутри, предохраняют двигатель от перегрева.

### 9.6. Устройство канальных вентиляторов

Конструктивное отличие канальных вентиляторов (рис. 9.6) от всех прочих типов заключается в наличии спрямляющего аппарата или спирального корпуса, т.е. устройства, снижающего закрутку потока на выходе из радиального колеса. По этому признаку вентиляторы подразделяют на две большие группы: канальные вентиляторы со спрямляющим аппаратом (прямоточные) и канальные вентиляторы со спиральным корпусом.

К первой группе относятся вентиляторы с круглыми, квадратными или прямоугольными корпусами. Отличительной чертой этих вентиляторов является то, что ось вращения колеса расположена параллельно направлению потока во входном/выходном воздуховоде. Эти агрегаты всегда имеют спрямляющий аппарат. У вен-

тиляторов с круглым корпусом функцию такого аппарата выполняют специальные стойки крепления электродвигателя, у вентиляторов с прямоугольным (квадратным) корпусом эту роль играют углы корпуса и стойки крепления электродвигателя.

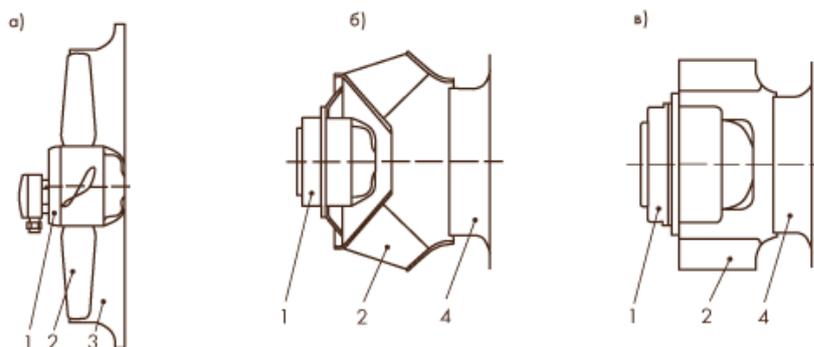


Рис. 9.6 – Схемы канальных вентиляторов (а – с осевым, б – с диагональным, в – с радиальным колесами). 1 – двигатель, 2 – рабочее колесо, 3 – обечайка, 4 – коллектор

Вентиляторы второй группы, т.е. канальные вентиляторы со спиральным корпусом, отличительной чертой которых является то, что ось вращения колеса расположена перпендикулярно направлению потока во входном/выходном воздуховоде. В эту группу входят вентиляторы с прямоугольными корпусами, т.н. «положенные на бок колеса» и вентиляторы со спиральными корпусами, установленные в боксы или ящики. Вентиляторы этой группы всегда имеют спиральный корпус или его упрощенный элемент для организации выхода потока.

### 9.7. Устройство радиального канального вентилятора ВК 30-15

Прямоугольный канальный вентилятор применяется в приточно-вытяжных системах вентиляции с воздуховодами прямоугольного сечения административных, общественных и промышленных помещениях.

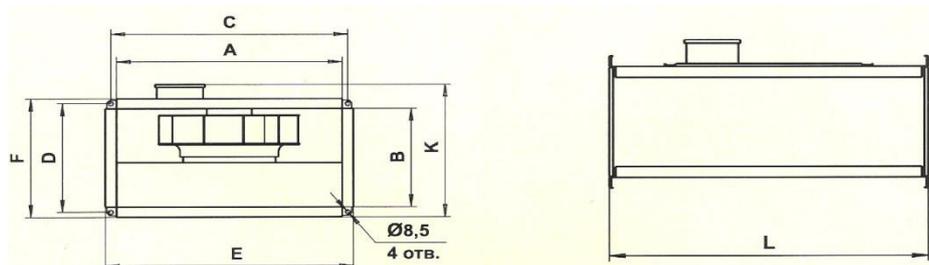


Рис. 9.7. Устройство канального вентилятора ВК 30-15

Корпус вентилятора изготовлен из стального или оцинкованного листа. Для защиты от перегрева вентиляторы оснащены встроенными термоконтактами. Прямоугольные канальные вентиляторы могут устанавливаться в любом положении. Вентилятор электрически подключается к клеммной коробке, установленной на корпусе.

### 9.8. Устройство радиального канального вентилятора ВКК 100

Круглый канальный вентилятор применяется в системах общей вентиляции. Вентилятор оснащен двигателем с внешним ротором и крыльчатками с загнутыми назад лопатками.

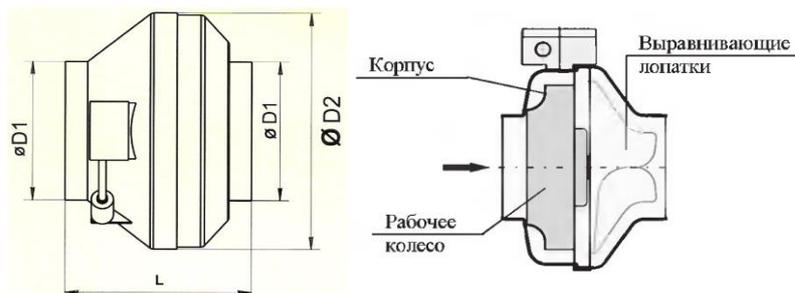


Рис.9.8. Устройство канального вентилятора ВКК 100

Корпус изготовлен из высокопрочной термостойкой пластмассы. Для защиты от перегрева двигателя вентилятор оборудован встроенными термодатчиками. Степень защиты IP 44. Канальный вентилятор может устанавливаться в любом положении. Вентилятор электрически подключается к клеммной коробке, установленной на корпусе.

### 9.9. Устройство крышных вентиляторов

Крышные вентиляторы предназначены для удаления воздуха из помещений непосредственно через крышу или через воздуховоды. Крышные вентиляторы устанавливаются на специальные пьедесталы (строительные стаканы или конструкции, подобные им) для защиты от снежного покрова.

Вентиляторный агрегат (рис.9) состоит из рабочего колеса 1, основания 2, колпака 3, электродвигателя 4, виброизоляционных прокладок, ограждения 5 и шумоглушителей, заключенных в одном корпусе.

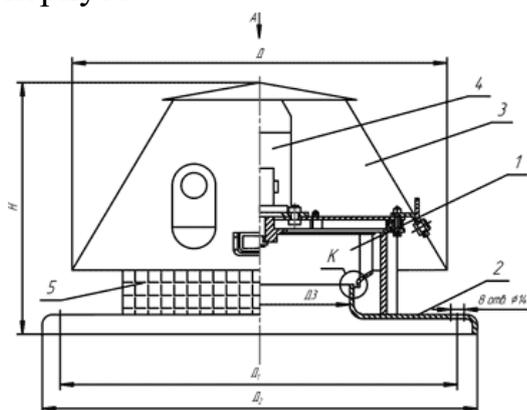


Рис. 9.9 – Устройство крышного вентилятора

Крышные вентиляторы предназначены для организации свободного выхода потока. В качестве вентиляторов в составе этих агрегатов обычно применяют осевые или радиальные вентиляторы с прямоугольными, квадратными или круглыми корпусами. Радиальные вентиляторы со спиральным корпусом и особенно с загнутыми вперед ло-

патками рабочего колеса в качестве крышные вентиляторы подразделяют на два типа: вентиляторы с радиальным (веерным) выбросом и вентиляторы с факельным выбросом. В изготовлении обоих этих типов вентиляторов применены рабочие колеса вентилятора с загнутыми назад лопатками.

Вентилятор с радиальным (веерным) выбросом – это вентилятор со свободно вращающимся радиальным колесом, у которого поток на выходе распределяется в радиальных направлениях. У такого типа вентиляторов радиальная скорость потока на выходе затухает очень быстро, поэтому поток не выбрасывается далеко от колеса.

Вентилятор с факельным выбросом очень похож на каналный прямоточный вентилятор, в котором поток на выходе выбрасывается вверх в осевом направлении.

### 9.10. Устройство радиального крышного вентилятора ВКР-190

Радиальный крышный вентилятор предназначен для вытяжной вентиляции помещений. Вентилятор предназначен для вентиляции промышленных, сельскохозяйственных и общественных зданий.

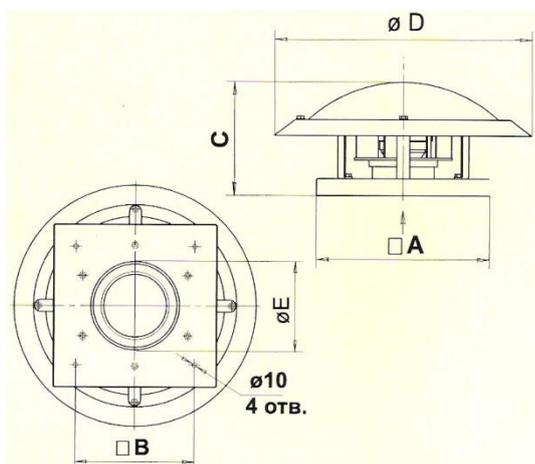


Рис. 9.10. Устройство крышного вентилятора ВКР-190

Вентилятор оснащен двигателем с внешним ротором и рабочим колесом с загнутыми назад лопатками. Корпус крышного вентилятора изготовлен из стали с полимерным порошковым покрытием. Для защиты от перегрева двигатель оснащен встроенными термоконтактами.

Преимущества вентилятора ВКР:

- простое управление подачей воздуха с помощью регуляторов скорости;
- низкий уровень шума;
- простота монтажа и эксплуатации.

### 9.11. Устройство осевого крышного вентилятора ВКО-3,15В

Осевой крышный вентилятор ВКО предназначен для использования в системах приточной и вытяжной вентиляции производственных, сельскохозяйственных и административных помещений. Крышный вентилятор может устанавливаться на плоских, односкатных, двухскатных или арочных крышах.

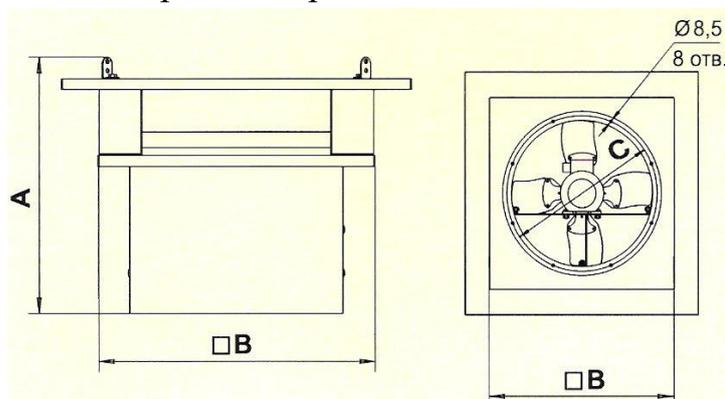


Рис. 9.11 – Устройство крышного вентилятора ВКО-3,15В

Корпус крышного вентилятора выполнен из оцинкованной стали или стали с полимерным порошковым покрытием. Для предотвращения утечки теплого воздуха из помещения и попадания атмосферных осадков крышный вентилятор снабжен обратным воздушным клапаном. Крышный вентилятор оборудован трехфазным асинхронным двигателем, класс защиты электродвигателя вентилятора – IP 54 или IP 55.

Вентиляторы ВКО являются отличным решением вентиляции через крышу. При помощи переходной монтажной плиты вентилятор может устанавливаться на ранее установленную шахту круглой или прямоугольной формы. Скорость вращения электродвигателя может изменяться при помощи частотного регулятора.

### 9.12. Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с конструкцией и компоновкой радиального, осевого, канального, крышного вентиляторов;
2. Измерить габариты.

### 9.13. Порядок оформления отчета

- записать марку вентилятора и его технические характеристики (приложение 1);
- дать описание устройства вентиляторов;
- составить эскизный чертеж вентилятора с указанием его основных геометрических параметров;
- результаты измерения заносятся в таблицу 1.

Таблица 1

Название вентилятора	A	B	C	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	E	F	K	L
ВО-Ф-1,5										
ВК 30-15										
ВКК 100										
ВКР-190										
ВКО-3,15В										

#### 9.14. Контрольные вопросы

1. Назовите типы вентиляторов.
2. Каковы основные характеристики вентиляторов?
3. По каким признакам классифицируются вентиляторы?
4. В чем отличие осевых вентиляторов от радиальных?
5. Где применяются канальные вентиляторы?
6. Для чего предназначены крышные вентиляторы?
7. Устройство и принцип действия диаметрального вентилятора?

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Технические характеристики вентиляторов

Наименование показателя	ВО-Ф-1,5	ВК 30-15	ВКК 100	ВКР-190	ВКО-3,15В
Подача воздуха, м <sup>3</sup> /ч	175	570	247	470	2000
Мощность электродвигателя, Вт	5	58	58	58	120
Частота вращения, об/мин	1500	2500	2500	2500	1500
Питание	220В	220В	220В	220В	380В
Уровень шума, дБ(А)	48	55	49	62	68
Степень защиты	IP 42	IP 44	IP 44		IP 54
Масса, кг	2,8	7,0	2,2	4,8	16

Полное давление, Па		310	295	320	
------------------------	--	-----	-----	-----	--

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЕВОГО ВЕНТИЛЯТОРА

**Цель работы.** Определение по результатам испытания аэродинамических характеристик осевого вентилятора ВОК – 1,5 и сравнение их с данными технического паспорта.

### **10.1. Краткие сведения из теории.**

В соответствии с требованиями ГОСТ 10616-90 **аэродинамические параметры** вентиляторов должны быть представлены производительностью  $V_v$  (относится к условиям входа), давлением (полным  $P$ , динамическим  $P_d$  и статическим  $P_{ст}$ ), мощностью  $N_v$ , коэффициентом полезного действия  $\eta$  (полным и статическим), быстроходностью и габаритностью, а также безразмерными параметрами. Аэродинамические характеристики вентиляторов устанавливаются путем экспериментальных исследований. В технической литературе они представлены в виде графических зависимостей  $P$ ,  $N_v$ ,  $\eta = f(V_v)$  для практически реализуемых чисел оборотов  $n$ , а при поворотных лопатках (колеса или направляющего (спрямляющего) аппарата) – в зависимости от угла их установки  $q$ . У вентиляторов общего назначения при работе с присоединяемой сетью за рабочий участок характеристики принимается та ее часть, на которой значение полного КПД удовлетворяет условию  $\eta = 0,9\eta_{max}$ . Здесь  $\eta_{max}$  – максимальный КПД.

**Аэродинамические свойства** вентилятора определяются его **количественными** и **качественными** характеристиками. Последние используют при оценке качества воздушного потока на выходе из вентилятора.

Количественные характеристики могут быть **размерными** и **безразмерными**.

Количество воздуха, подаваемого вентилятором в сеть, называется **производительностью вентилятора** или его **расходом воздуха**. С изменением сопротивления сети производительность вентилятора, работающего с постоянным числом оборотов будет меняться.

Графики зависимости статического давления  $P_{ст}$ , потребности мощности  $N_v$  на привод вентилятора и его коэффициента полезного действия  $\eta$  от количества подаваемого воздуха  $V_v$  представляют собой размерную характеристику вентилятора.

В отличие от размерной характеристики, выражающей зависимость размерных величин от расхода воздуха, безразмерная характеристика является зависимостью безразмерных коэффициентов или величин от коэффициента режима работы

$$K = \sqrt{P^2/P}, \quad (10.1)$$

который служит характеристикой сопротивления сети.

*Размерные характеристики* получают в результате лабораторных испытаний вентилятора, а *безразмерные* - на основании расчетов по предыдущим характеристикам.

Имея размерные характеристики ряда вентиляторов, можно подобрать вентилятор, удовлетворяющий поставленным условиям в отношении величин:  $P$ ,  $P_{ст}$ ,  $P_{д}$ ,  $N_{в}$ ,  $\eta$ ,  $V_{в}$ .

*Безразмерная характеристика* действительна для определенной группы вентиляторов, геометрически подобранных испытывавшемуся. Располагая безразмерной характеристикой и аэродинамической схемой вентилятора-модели, можно определить расчетами по подобию основные размеры и число оборотов лопастного колеса нового вентилятора, который будет иметь заданные производительность и давление.

### **10.2. Описание лабораторного стенда для испытания вентилятора.**

Снятие характеристик вентилятора выполняют с помощью приборов для измерения давления воздушного потока (пневмометрической трубки и дифференциального манометра ДМЦ-01М). Частоту вращения вала вентилятора замеряют тахометром часовым ТЧ 10-Р. В качестве измерительного инструмента используются штангенциркуль, линейка.

На лабораторной установке испытывается осевой вентилятор серии ВОК – 1,5. Данные технического паспорта вентилятора:

- потребляемая электродвигателем мощность составляет  $N_{в} = 5$  Вт;
- производительность  $V_{в}$  (подача воздуха) вентилятора составляет при  $P_{ст} = 0 - 170$  м<sup>3</sup>/ч;
- скорость вращения рабочего колеса, тах, составляет 1500 об/мин.

Основными элементами лабораторной установки являются: объект исследования – осевой вентилятор, дросселирующая заслонка, диффманометр, пневмометрическая трубка, воздушный канал, тахометр, симисторный регулятор скорости вращения двигателя СР 2А.

### **10.3. Порядок выполнения работы.**

10.3.1. Для приточных и вытяжных вентиляторов со свободным подсосом воздуха расход воздуха измеряют с помощью входной насадки с полностью закругленными краями на входе в него, который устанавливается перед вентилятором.

Скорость определяют различными контрольно-измерительными приборами – анемометрами и диффманометром.

При полностью открытом дросселирующем клапане можно считать  $P_{ст} = 0$ ,  $P_d = \max$ ,  $V_B = \max$  и  $K = 1$ , а при полностью закрытом –  $P_d = 0$ ,  $V_B = 0$ ,  $K = 0$ .

Скорость воздуха  $w$  при этом определяют по формуле:

$$w = \sqrt{(2 \cdot \Delta P_{ст} / \rho)}, \quad (10.2)$$

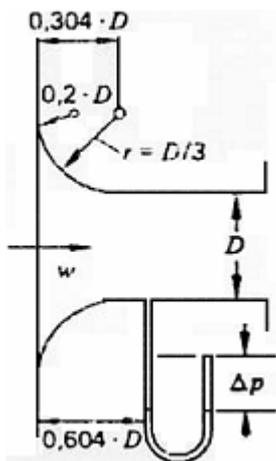
где  $\Delta P_{ст}$  - статическое падение давления, Па;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Производительность вентилятора можно рассчитать по измеренным данным по формуле:

$$V_B = \sqrt{\frac{2P_d}{\rho}}, \quad (10.3)$$

Динамическое давление рассчитывают по формуле:

$$P_d = P - P_{ст} = 0,5 \rho w^2 \quad (10.4)$$



### 10.3.2. Экспериментальная часть.

На лабораторной установке определить значение показателей  $F$ ,  $P_{ст}$ ,  $P_d$ ,  $P$ ,  $n$ . Здесь  $n$  - частота вращения вентилятора, об/мин;  $F$  – площадь сечения выходного патрубка вентилятора, м<sup>2</sup>.

Для этого необходимо:

- проверить наличие заземления лабораторной установки, надежность крепления всех узлов, наличие защитных ограждений;
- подключить питающий кабель к сетевой розетке, т.е. подать напряжение на регулятор скорости;
- пуск вентилятора осуществляется кнопками (по указанию преподавателя);
- после установившегося режима работы вентилятора произвести необходимые измерения;
- отключение лабораторной установки выполняют в обратной последовательности.

Изменение режима работы вентилятора достигается созданием сопротивления выходу воздуха из трубопровода за счет установки заслонок с различным проходным сечением, а также изменением скорости регулятором СР 2А.

Показания микроманометра, частоты вращения записать в таблицу 1.

Таблица 10.1 Расчет характеристик вентилятора

Размерные параметры	№ опыта			
Средняя частота вращения, об/мин, $n$				
Среднее полное давление $P$ , Па				
Среднее динамическое давление $P_d$ , Па				
Среднее статистическое давление $P_{ст}$ , Па				
Средняя скорость воздушного потока $w$ , м/с				
Объемный расход воздуха, м <sup>3</sup> /с $V = F V_B$				
Мощность потока, кВт $N_{пот} = V P$				
Потребляемая мощность вентилятора $N_B$ , Вт				
КПД вентилятора $\eta_B = N_{пот} / N_B$				
Угловая частота вращения, с <sup>-1</sup> $\omega = 3,14 n / 30$				
<b>Безразмерные параметры</b>				
Приведенный расход воздуха, м <sup>3</sup> /с $V' = V / n$				
Приведенное полное давление, Па $P' = 10^6 P / n^2$				
Приведенное динамическое давление, Па $P'_d = 10^6 P_d / n^2$				
Приведенное статистическое давление, Па $P'_{ст} = 10^6 P_{ст} / n^2$				
Приведенная потребляемая мощность, Вт $N'_{пот} = 10^9 N_{пот} / n^3$				
Коэффициент режима работы вентилятора $K = \sqrt{P'_d / P'}$				

#### 10.4. Контрольные вопросы.

1. Как определить качественные характеристики вентилятора?
2. Как определить количественные характеристики вентилятора?
3. Как изменяются характеристики вентилятора при полностью открытом и полностью закрытом выходном канале?

4. Какие давления можно измерить при помощи микроманометра и пневмометрической трубки и как?
5. Какие основные параметры характеризуют работу вентилятора в сети?
6. В каких системах вентиляции используются осевые вентиляторы?

## ПРИЛОЖЕНИЕ

График зависимости плотности воздуха  $\rho$  от температуры  $t$



### ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННО-КОММУТИРУЕМОГО ВЕНТИЛЯТОРА Ebm-papst SO ВСТРОЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКОЙ

**Цель работы:** Изучить устройство, принцип действия, работу и преимущества вентилятора с электронно-коммутируемым двигателем.

#### 11.1. Общие сведения, описание лабораторной установки

Для исследования используется специальный лабораторный стенд, произведенный фирмой Ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG (Германия) с использованием ЕС вентилятора R3G450-AG33-11. Электронно-коммутируемые (ЕС) двигатели это инновация фирмы ebm-papst, которая заключается в том, что электроника встраивается непосредственно в двигатель. По данным производителя, за счет этого достигается высокая эффективность работы и снижение уровня рабочего шума. Потребление электроэнергии уменьшается до 50%, а эксплуатационные затраты — на 30%. Встроенная электроника обеспечивает плавную и точную регулировку, широкие возможности программирования, а также компьютерное управление вентиляционной системой. К примеру, поддержание постоянного расхода через вентилятор независимо от сопротивления сети. В обычных же двигателях для этого необходимо использовать дополнительное оборудование.

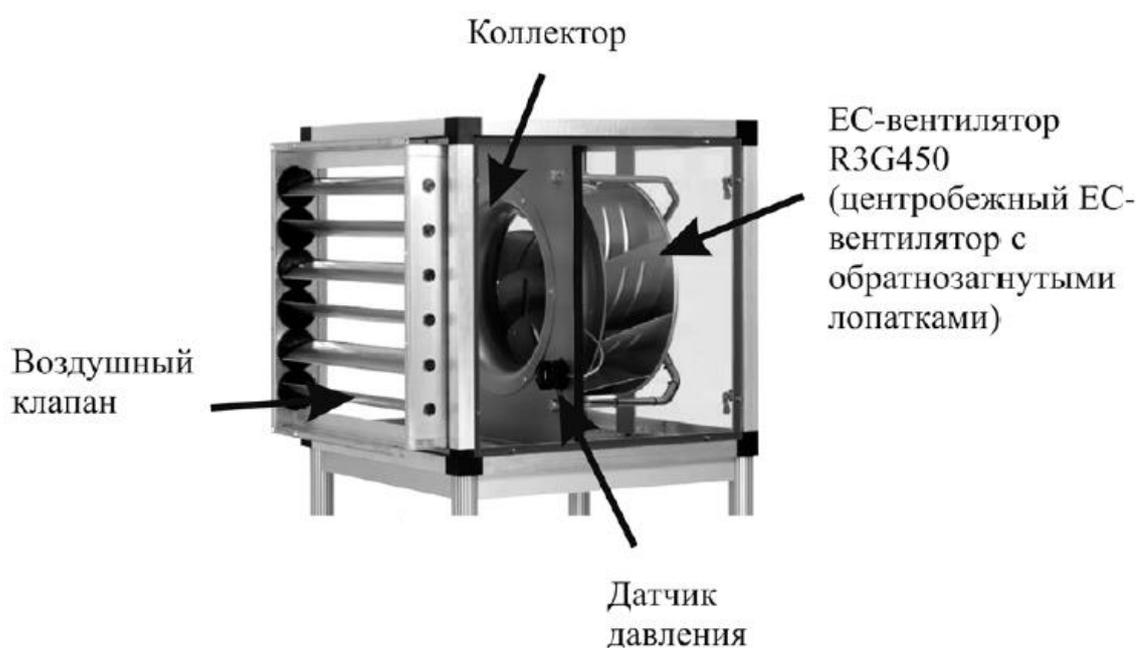


Рис. 11.1. Схема лабораторной установки

Преимущества вентиляторов с электронно-коммутируемым двигателем:

1. Высокий КПД (93%), экономия электроэнергии обеспечивает снижение эксплуатационных расходов минимум на 30%;
2. Компактные размеры и низкий уровень шума при сравнительно высокой мощности;
3. Управляющая электроника встроена в двигатель вентилятора;
4. Возможность плавной и точной регулировки производительности вентилятора в зависимости от уровня температуры, давления, степени задымленности;
5. Защита двигателя от механических воздействий и электрических перегрузок;
6. Быстрое и простое подключение;
7. Не требует сервисного обслуживания. Имеет длительный срок службы (более 60 000 часов, т.е. 6,8 лет непрерывной работы).

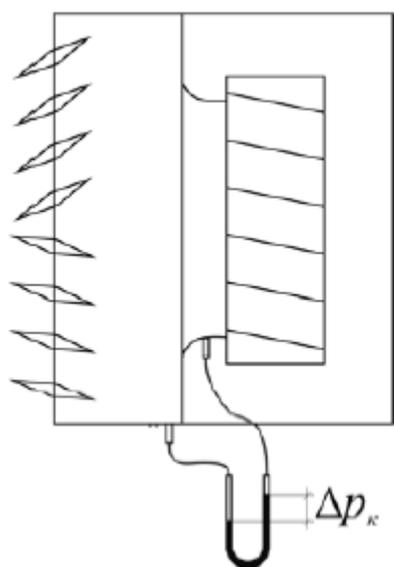


Рис. 11.2. Порядок проведения опыта.

Это, так называемое, «активное» давление, равное динамическому давлению в коллекторе установки, и позволяющее определить расход воздуха проходящего через вентилятор, по формуле:

$$L = 217 \cdot \sqrt{\Delta P_k}, \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (11.1)$$

### 11.2. Порядок выполнения работы и оформления отчета

Во вкладке вентилятор программы LISA5, в поле «Установить значение», установить заданное значение «активного» давления  $\Delta P_k = 20$  Па. Нажать кнопку «Установить» и дождаться пока в поле «Актуальное значение» установится значение близкое к заданному ( $\pm 1-2\%$ ). Записать значение скорости вращения рабочего колеса вентилятора и давления  $\Delta P_k$

В закладке «Информация» записать значение потребляемой мощности (N,Вт). Измерения необходимо провести при 5 значениях  $\Delta P_k$ . По значениям  $\Delta P_k$  рассчитать расход воздуха проходящий через вентилятор  $L, м^3 / ч$ .

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 11.1:

№ опыта	Заданное значение давления $\Delta P$ , Па	Актуальное значение давления $\Delta P_k$ , Па	Расход воздуха $L, м^3 / ч$	Скорость вращения рабочего колеса вентилятора, об/мин	Потребляемая мощность N,Вт
1	2	3	4	5	6

На основании данных таблицы 11.1 построить график зависимости потребляемой мощности от изменения скорости вращения рабочего колеса вентилятора.

### III РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

#### ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Понятие вентиляции, ее назначение и основные задачи.
2. Классификация систем вентиляции (по назначению, по обслуживаемой зоне, по способу побуждения движения воздуха, по наличию воздухопроводов).
3. Системы вентиляции: с естественным и механическим побуждением воздуха. Принцип работы.
4. Системы вентиляции производственного помещения.
5. Оборудование и основные элементы систем вентиляции.
6. Основные вредности, выделяемые в цехах пищевой промышленности. Действие этих вредностей на организм человека.
7. Избыточная теплота (полная, явная, скрытая). Источники поступления теплоты в помещение.
8. Основные вредности, поступающие в помещение (пары и газы).
9. Общие сведения о запыленности воздуха (аэрозоли, пыль, дымы, туманы).
10. Основные вредности, поступающие в воздух цехов пищевой промышленности.
11. Вентиляторы. Назначение. Основные характеристики.
12. Классификация вентиляторов (по условиям работы; по развиваемому давлению; по конструктивному решению; по способу соединения с электродвигателем; по вращению).
13. Вентиляторы специального назначения, конструктивные особенности, область применения.
14. Устройство осевых вентиляторов. Сферы применения.
15. Устройство диагональных вентиляторов. Сферы применения.
16. Устройство диаметральных вентиляторов. Сферы применения.
17. Коррозионностойкие вентиляторы. Материалы, используемые при изготовлении.
18. Вентиляторы взрывобезопасного исполнения. Факторы влияния на взрывобезопасность.
19. Принцип работы пылевого вентилятора. Сферы применения.
20. Контрольно-измерительные приборы, применяемые в вентиляции.
21. Воздуховоды систем вентиляции, требования, предъявляемые к ним.
22. Местные приточные системы вентиляции. Типы, назначение.
23. Местные вытяжные системы вентиляции. Классификация.
24. Местные отсосы открытого типа. Зонты, зонты-козырьки.
25. Местные отсосы открытого типа. Бортовые отсосы.
26. Местные отсосы открытого типа. Панели равномерного всасывания.

27. Воздушное душирование, назначение, область применения. Требования предъявляемые к системам душирования.
28. Организация систем вентиляции во вспомогательных помещениях предприятий пищевой промышленности.
29. Местная механическая приточная вентиляция.
30. Воздушное душирование. Типы воздушных душей. Условия применения.
31. Воздушные и воздушно-тепловые завесы. Назначение, места установки, конструктивные особенности.
32. Классификация воздушных завес: по направлению струи, в зависимости от места воздухозабора.
33. Системы аспирации и пневмотранспорта. Назначение. Материалы и отходы, перемещаемые системами аспирации и пневмотранспорта.
34. Классификация систем аспирации и пневмотранспорта (по месту установки и назначению, по принципу создания тяги, по величине потерь давления, по величине массовой концентрации двухфазного потока, по компоновке системы).
35. Универсальная система с магистральным коллектором постоянного сечения
36. Упрощенная система пневмотранспорта с коллектором-сборником.
37. Тупиковая система или система с разветвленной сетью воздухопроводов
38. Кольцевая полузакрытая система пневмотранспорта.
39. Всасывающая и нагнетательная системы пневмотранспорта.
40. Схема всасывающе-нагнетательной системы пневмотранспорта.
41. Схема всасывающе-нагнетательной системы пневмотранспорта с промежуточным отделением материала.
42. Оборудование и воздухопроводы для систем пневмотранспорта.
43. Вентиляторы, применяемые в системах аспирации и пневмотранспорта.
44. Воздуховоды, применяемые в системах аспирации и пневмотранспорта.
45. Фасонные части воздухопроводов, применяемы, в системах аспирации и пневмотранспорта.
46. Очистное оборудование, применяемые, в системах аспирации и пневмотранспорта.
47. Достоинства и недостатки систем аспирации и пневмотранспорта.
48. Вентиляционные установки. Назначение вентиляционных установок (приточные, вытяжные, приточно-вытяжные).
49. Устройство секционной приточной камеры.
50. Системы вентиляции на хлебопекарных предприятиях. Основные вредности и борьба с ними.
51. Вентиляция на мясоперерабатывающих предприятиях (мясокомбинатах и птицефабриках). Основные вредности и борьба с ними.

52. Системы вентиляции на молочных предприятиях. Основные вредности и борьба с ними.

53. Системы вентиляции в производственных помещениях ликеро-водочных заводов. Основные вредности и борьба с ними.

54. Вентиляция на пивных заводах. Основные вредности и борьба с ними.

55. Вентиляция на производствах безалкогольных напитков. Основные вредности и борьба с ними.

56. Вентиляция рыбоперерабатывающих предприятий. Основные вредности и борьба с ними.

57. Установление предельно допустимых концентраций (ПДК) и предельно допустимых выбросов (ПДВ) от технологического оборудования предприятий пищевой промышленности.

## IV ВСПОМАГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования

«Брестский государственный технический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**

Ректор БрГТУ

\_\_\_\_\_ А.В. Драган

«    » \_\_\_\_\_ 2019г.

Регистрационный № УД- \_\_\_\_\_ /уч.

### **Вентиляционные установки, аспирация и пневмотранспорт**

Учебная программа для специальности:

1-36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств»

2019 г.

Учебная программа составлена на основе

Типовой учебной программы для

(название образовательного стандарта)

учреждений высшего образования рег. №М-54-13/уч. утвержденной 22.04.2013

СОСТАВИТЕЛЬ:

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

Сопин Юрий Юрьевич

(И.О.Фамилия, должность, степень, звание)

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой

ТГВ

(название кафедры-разработчика программы)

(протокол

№ \_\_\_ от \_\_\_\_\_);

Методической ко-  
миссией

факультета инженерных систем и экологии

(название факультета)

(протокол

№ \_\_\_ от \_\_\_\_\_);

Председатель \_\_\_\_\_ Н.Н.Водчиц

(ФИО,подпись)

Советом Брестского государственного технического университета

(протокол № \_\_\_ от \_\_\_\_\_).

## І. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

«Вентиляционные установки, аспирация и пневмотранспорт» – инженерная дисциплина, в которой изучаются основы проектирования, расчетов и рациональной эксплуатации систем пневмотранспорта, которые обеспечивают непрерывный технологический процесс. Кроме того, изучаются системы обеспыливающей вентиляции с учетом аэродинамики оборудования; системы, обеспечивающие нормальные санитарно-гигиенические условия для работы в производстве.

Дисциплина «Вентиляционные установки, аспирация и пневмотранспорт» является одной из ведущих специальных дисциплин, завершающих подготовку инженеров по специальности 1-36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств».

В результате изучения дисциплины студент должен:

- изучить санитарно-гигиенические и технологические основы вентиляции, аспирации и пневмотранспорта;
- изучить конструкции, принципы действия и особенности различных систем вентиляции и пневмотранспорта, применяемых в современной отечественной и зарубежной практике;
- изучить 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, аспирации и пневмотранспорта, развивать способности самостоятельно и творчески принимать оптимальные инженерные решения 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.

Перечень дисциплин, необходимых для изучения курса «Вентиляционные установки, аспирация и пневмотранспорт»: высшая математика, информатика, физика, теплотехника, начертательная геометрия, инженерная и машинная графика, основы экологии, процессы и аппараты пищевых производств, гидравлика и пневматика.

Для закрепления теоретического материала, овладения методикой проектирования и расчета предусмотрено проведение лабораторных занятий по всем ключевым темам.

В соответствии с учебными планами на изучение учебной дисциплины «Вентиляционные установки, аспирация и пневмотранспорт» отводится:

Курс	Се- местр	Общее коли- чество часов по плану (з.е.)	Аудиторных часов			Самостоя- тельная работа	Форма те- кущей атте- стации
			Лекции	Практи- ческие занятия	Лабо- раторные занятия		
<i>Дневная форма получения образования</i>							
4	7	112 (3 з.е.)	32		32	48	Экзамен

## 2. Содержание учебного материала

### 2.1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

**Введение. Понятие вентиляции, ее назначение и основные задачи. История развития вентиляции. Классификация систем вентиляции.**

Назначение вентиляции. Требования, предъявляемые к вентиляции. Гигиенические требования к воздушной среде помещений гражданских и промышленных зданий. Виды вентиляции. Приточная и вытяжная вентиляция. Общеобменная и местная вентиляция. Вентиляция с механическим побуждением движения воздуха и естественным движением воздуха.

**Свойства воздуха и процессы изменения его состояния. Тепловой, влажностный и газовый режимы помещений.**

Свойства влажного воздуха. Химический состав. Основные термодинамические характеристики. Плотность, теплоемкость, энтальпия, влажность и влагосодержание воздуха. Процессы нагревания и охлаждения. Процессы увлажнения. Смешение воздуха. Параметры наружного, приточного, внутреннего и уходящего из помещения воздуха в расчетные периоды.

**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. Организация воздухообмена в помещении.**

Параметры воздушной среды в характерных точках вентиляционного процесса. Расчетная величина воздухообмена. Расчет воздухообмена по нормативной величине кратности. Расчет расхода приточного воздуха общеобменной вентиляции.

**Основные законы аэродинамики, применяемые при расчете вентиляционных систем. Давление: полное, статическое, динамическое. Потери давления на трение и местные сопротивления. Виды местных сопротивлений.**

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.

**Конструктивное выполнение вентиляционных систем. Вентиляционные каналы и воздуховоды.**

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. Приточные и вытяжные отверстия и насадки. Основные принципы конструирования и расчета воздуховодов. Методика расчета сложной разветвленной сети воздуховодов.

Воздуховоды равномерной раздачи и всасывания.

**Нагревание воздуха. Защита от шума. Очистка воздуха.**

Классификация и конструкции калориферов. Способы регулирования температуры подогреваемого воздуха. Расчет калориферов.

Источники возникновения и пути распространения звука, создаваемого вентиляционными установками. Мероприятия по снижению уровня звукового давления. Конструкция и расчет шумоглушителей.

Общие сведения о запыленности воздуха и способах его очистки. Очистка воздуха от пыли: мокрая, сухая. Характеристика воздушных фильтров. Классификация воздушных фильтров. Классификация и технические характеристики пылеуловителей. Расчет и подбор фильтров. Пылеосаочные камеры.

**Аэрация помещений промышленных зданий.**

Область применения аэрации. Общая картина воздухообмена и циркуляции воздуха в помещении при аэрации. Аэрация многопролетных и многоэтажных промышленных зданий. Конструктивное выполнение аэрационных устройств. Приточные и вытяжные проемы. Аэрационные фонари. Вытяжные шахты. Дефлекторы.

**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.

### **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 панели. 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. Назначение и область применения. Принцип действия. Требования к воздушным завесам. Конструкции воздушных завес. Расчет воздушных завес периодического действия. Расчет воздушных завес постоянного действия.

### **Системы аспирации и пневмотранспорта. Классификация систем. Внутрицеховые и межцеховые установки пневмотранспорта.**

Материалы и отходы, перемещаемые системами аспирации и пневмотранспортом. Транспортирование материалов воздушным потоком в вертикальных и горизонтальных воздуховодах. Скорость витания, скорость трогания частицы. Концентрация смеси.

Классификация и схемы систем аспирации и пневмотранспорта. Внутрицеховые и межцеховые установки пневмотранспорта. Виды пневмотранспортных установок:

всасывающие, нагнетательные и смешанные. Проектирование магистральных, коллекторных, магистрально-коллекторных систем. Расчет систем пневмотранспорта.

**Оборудование и устройства систем вентиляции, аспирации и пневмотранспорта.**

Вентиляторы общего и специального назначения. Виды конструктивные особенности вентиляторов. Аэродинамическая характеристика вентиляторов, ее построение. Расчет и подбор вентиляторов. Совместная работа двух вентиляторов.

Воздуховоды, герметичность круглых воздуховодов. Фасонные и узловыe элементы воздуховодов: отводы, тройники, горизонтальные и вертикальные коллекторы, диафрагмы.

Приемники отходов и пыли. Пылеотделители. Циклоны. Скрубберы. Классификация, устройство, принцип действия, методика расчета.

**Испытание и наладка вентиляционных и пневмотранспортных систем.**

Правила наладки и эксплуатация вентиляционных установок. Испытание и наладка вентиляционных, аспирационных и пневмотранспортных систем и установок. Технические и санитарно-гигиенические испытания вентиляционных и пневмотранспортных систем. Работы, выполняемые при испытании вентиляционных установок: наружный осмотр; устранение дефектов, обнаруженных при осмотре; измерение давлений; определение расхода воздуха; устранение недостатков, обнаруженных в результате измерений; наладка, регулировка, составление паспорта. Приборы, применяемые для испытания вентиляционных установок. Анализ результатов измерений.

## **2.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ**

- Контрольно-измерительные приборы, используемые для проведения санитарно-гигиенических испытаний и обследований вентиляционных систем.
- Исследование метеорологических параметров в помещении.
- Изучение с компоновкой оборудования и конструкцией вентиляторов: радиального, осевого, канального, крышного, диаметрального.
- Исследование работы естественной вытяжной системы вентиляции (аэрации).
- Определение аэродинамических характеристик осевого вентилятора.
- 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.
- Ознакомление с принципом работы центрального кондиционера, 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.

### 2.3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение. Понятие вентиляции, ее назначение и основные задачи. История развития вентиляции. Классификация систем вентиляции.	2					2	Экзамен
2	Свойства воздуха и процессы изменения его состояния. Тепловой, влажностный и газо-	2			2		4	Экзамен

	вый режимы помещений.							
3	Основные вредности вентилируемых производственных помещений: пыль, избыточное тепло, влага, вредные газы.	2					4	Экзамен
4	Определение и организация воздухообмена в помещении.	2					2	Экзамен
5	Основные законы аэродинамики, применяемые при расчете вентиляционных систем. Давление: полное, статическое, динамическое. Потери давления на трение и местные сопротивления. Виды местных сопротивлений.	2			2		4	Экзамен
6	Конструктивное выполнение вентиляционных систем. Вентиляционные каналы и воздухопроводы.	2			4		4	Экзамен
7	Нагревание воздуха. Защита от шума. Очистка воздуха.	2			4		4	Экзамен
8	Аэрация помещений промышленных зданий	2			2		2	Экзамен
9	Вентиляция помещений промышленных предприятий	2					4	Экзамен
10	Системы местной вытяжной вентиляции.	4			2		4	Экзамен
11	Системы местной приточной вентиляции.	2			2		2	Экзамен
12	Системы аспирации и пневмотранспорта. Классификация систем. Внутрицеховые и межцеховые установки пневмотранспорта.	4					6	Экзамен
13	Оборудование и устройства систем вентиляции, аспирации и пневмотранспорта (воздуховоды, вентиляторы, очистные сооружения).	2			10		4	Экзамен
14	Испытание и наладка вентиляционных и пневмотранспортных систем.	2			4		2	Экзамен
	<b>Итого</b>	<b>32</b>			<b>32</b>		<b>48</b>	

### 3. Информационно-методическая часть

### **3.1. Основная литература**

- 3.1.1 СНБ 4.02.01-03. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Мн., 2004.
- 3.1.2 СНБ 2.04.02-2000. Строительная климатология. – Мн., 2001. – 40с.
- 3.1.3 ТКП 45-2.04-43-2006. Строительная теплотехника. – Мн., 2007. – 36с
- 3.1.4 СТО НП АВОК 1.05-2006. Условные графические обозначения в проектах отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплохолодоснабжения. – М., 2006. – 57с.
- 3.1.5 ГОСТ 12.3.018-79. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний. – М., 1987. – 11с.
- 3.1.6 Малова Н.Д. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию для предприятий пищевой промышленности. – М.: Термокул. 2005. – 304с.
- 3.1.7 Штокман Е.А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности. – М. АСВ, 2001.
- 3.1.8 Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое проектирование./ Под редакцией Б.М. Хрусталева. – М.: Изд-во АСВ, 2007.
- 3.1.9 Торговников Б.М. и др. Проектирование промышленной вентиляции. Справочник. – «Будівельник», 1983.
- 3.1.10 Ю. Сибикин. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Academia. 2006.
- 3.1.11 Л. Балужева, В. Ананьев, В. Мурашко. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. Новая редакция. / Библиотека Климатехника./ Евроклимат. 2008.
- 3.1.12 Вентиляторы: методические рекомендации по дисциплине «Насосы и вентиляторы» для студентов специальности ТГВ дневной и заочной форм обучения/ Сальникова С.Р., Черников И.А.; БрГТУ. – Брест, 2013. – 43с.

### **3.2 Дополнительная литература**

- 3.2.1 Краснов Ю.С., Борисоглебская А.П., Антипов А.В. Системы вентиляции и кондиционирования / Рекомендации по проектированию, испытанию и наладке. – Москва. Термокул. 2004.

3.2.2 Наладка и регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Справочное пособие. Под ред. Б.А. Журавлева. – М.: Стройиздат, 1980.

3.2.3 Ананьев В.А., Балувев 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. Третье издание. – Москва. Библиотека Климатехника./ Евроклимат 2001.