



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра отопления и вентиляции

## КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВОЗДУХОВОДОВ И КАНАЛОВ

Методические указания к выполнению курсовых и дипломных работ  
для студентов бакалавриата очной и очно-заочной формы обучения  
направления подготовки 08.03.01 Строительство,  
профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»

ISBN 978-5-7264-1179-8

© НИУ МГСУ, 2016  
© Оформление.  
ООО «Ай Пи Эр Медиа», 2016

Москва 2016

ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

УДК 628.83  
ББК 38.762  
К65

Р е ц е н з е н т  
доктор технических наук, профессор *В.Г. Гагарин*,  
заведующий кафедрой отопления и вентиляции НИУ МГСУ

С о с т а в и л Е.И. Тертичник

К65 **Конструирование** и расчет вентиляционных воздухопроводов и каналов [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению курсовых и дипломных работ для студентов бакалавриата очной и очно-заочной формы обучения направления подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Теплогасоснабжение и вентиляция» / М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т, каф. отопления и вентиляции ; сост. Е.И. Тертичник. — Электрон. дан. и прогр. (6 Мб). — Москва : НИУ МГСУ, 2016. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>. — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-1179-8 (сетевое)

ISBN 978-5-7264-1178-1 (локальное)

Изложены сведения о принципах проектирования приточных и вытяжных систем вентиляции, особенностях трассировок воздухопроводов и каналов, размещении приточных и вытяжных камер, воздухопроводов в объеме здания, рекомендации по конструированию вентиляционных систем. Приведены данные о рекомендуемых размерах поперечных сечений воздухопроводов и каналов. Рассмотрены способы расчета потерь давления в вентиляционных сетях: как ручным счетом, так и с применением компьютера, приведены рекомендации по расчету потерь давления в системах с гравитационным и механическим побуждением, включая обеспыливающие вентиляционные системы и системы пневмотранспорта.

Для студентов бакалавриата очной и очно-заочной формы обучения направления подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Теплогасоснабжение и вентиляция», изучающих дисциплину «Вентиляция».

*Учебное электронное издание*

© НИУ МГСУ, 2016

© Оформление.

ООО «Ай Пи Эр Медиа», 2016

Редактор *Н.С. Яковлева*  
Технический редактор *А.В. Кузнецова*  
Компьютерная верстка *С.С. Сизумовой*  
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

*Для создания электронного издания использовано:*  
Microsoft Word 2007, приложение pdf2swf из ПО Swftools, ПО IPRbooks Reader,  
разработанное на основе Adobe Air

Подписано к использованию 14.01.2016 г. Уч.-изд. л. 3,96. Объем данных 6 Мб.

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет» (НИУ МГСУ).  
129337, Москва, Ярославское ш., 26.  
Издательство МИСИ — МГСУ.  
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.  
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

ООО «Ай Пи Эр Медиа».  
Тел. 8-800-555-22-35, (8452) 24-77-97, вн. 208,  
E-mail: izdat@iprmedia.ru, mail@iprbookshop.ru  
www.iprbookshop.ru

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	6
<b>1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ</b> .....	7
<b>2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВЫТЯЖНЫХ СИСТЕМ</b> .....	11
<b>3. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПОБУЖДЕНИЕМ</b> .....	15
3.1. Системы вентиляции гражданских зданий.....	15
3.2. Системы вентиляции производственных зданий.....	19
<b>4. ВОЗДУХОВОДЫ И КАНАЛЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ</b> .....	25
<b>5. ТРАССИРОВКА СЕТИ ВОЗДУХОВОДОВ, ВЫЧЕРЧИВАНИЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ</b> .....	38
<b>6. ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ ВОЗДУХОВОДОВ</b> .....	41
6.1. Краткие сведения о способе расчёта по удельной потере на трение и потерям в местных сопротивлениях.....	42
6.2. Краткие сведения о способе расчёта воздуховодов методом динамических давлений.....	51
<b>7. ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЁТА ГРАВИТАЦИОННЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ</b> .....	54
7.1. Вытяжные каналы с индивидуальным выпуском воздуха под зонт...	55
7.2. Вытяжная система с вертикальными каналами (в толще стен или приставными) и горизонтальным сборным коробом.....	56
7.3. Вытяжная система с вертикальным сборным каналом и ответвлениями, отформованными в толще вентиляционной панели...	57
7.4. Вытяжная система с дефлектором.....	58
<b>8. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПОБУЖДЕНИЕМ</b> .....	60
8.1. Вытяжная вентиляционная система с механическим побуждением и неметаллическими приставными или каналами в толще стен и горизонтальным сборным коробом.....	60

8.2. Вытяжная вентиляционная система с механическим побуждением и металлическими воздуховодами круглого или прямоугольного сечения.....	61
8.3. Приточная система с механическим побуждением.....	62
8.4. Система пневмотранспорта и аспирации с центральным сборником отходов.....	63
8.5. Система пневмотранспорта с разветвлённой сетью воздуховодов.....	70
8.6. Аспирационные системы вентиляции.....	73
<b>Библиографический список.....</b>	<b>74</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящие методические указания предназначены для курсового и дипломного проектирования вентиляции гражданских и производственных зданий, составлены в дополнение к учебнику «Вентиляция» для бакалавров, автор проф. Тертичник Е.И. [1].

Современный специалист должен уметь применять компьютер для выполнения вентиляционных расчётов. В пособии представлены три расчётные программы, составленные в вычислительной системе MathCAD. Эти алгоритмы могут быть реализованы и табличным процессором, например, электронными таблицами Excel. Любознательные студенты могут воспользоваться этими алгоритмами для выполнения расчётов для курсового или дипломного проекта. Программы составлены проф. Тертичником Е.И.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проектирование вентиляционных систем состоит из расчётной и графической частей. Выполнять каждый вид работ последовательно не удаётся. На всём этапе проектирования приходится переходить неоднократно от расчётов к графическим работам и наоборот.

Конструктивные решения вентиляционных систем, в значительной степени, определяются технологическим процессом, который выполняется в пределах конкретного помещения. В данном случае термин «технологический процесс» толкуется расширенно. В жилой квартире осуществляется «технологический процесс» жизнедеятельности человека.

Конструирование вентиляционных систем предваряют расчёты количеств воздуха, которые должны быть поданы и удалены из помещения:

- приточного, в зависимости от принятой схемы организации воздухообмена (подаваемого в объём помещения, на конкретные рабочие места, в объём помещения или на конкретные рабочие места одновременно);
- удаляемого из объёма помещения, в зависимости от принятой схемы организации воздухообмена (только из верхней зоны, из верхней зоны и через местные отсосы, только из нижней зоны, из нижней зоны и через местные отсосы одновременно).

Вычисленные расходы воздуха позволяют определить количество, производительность приточных и вытяжных систем, приступить к размещению их в объёме здания.

Рекомендуется размещение вентиляционных установок начинать с вытяжных систем, как более многочисленных, и требующих, поэтому, больше места для размещения в объёме здания.

В гражданских и производственных зданиях применяются преимущественно централизованные вентиляционные системы, каждая из которых обслуживает либо несколько помещений, либо группу местных отсосов. Это позволяет уменьшить количество необходимого вентиляционного оборудования.

При этом, следует учитывать совместимость обслуживаемых данной вентиляционной системой помещений и местных отсосов: по режиму работы, температуре притока и видам удаляемых загрязнений.

Приточная система гражданского здания может обслуживать одновременно помещения:

- 1) с одинаковым временем в пределах суток и одинаковой продолжительностью рабочего дня;
- 2) близкими по величине температурами притока;
- 3) одинаковыми требованиями к чистоте подаваемого воздуха.

В случае проектирования вытяжных систем, в дополнение к указанной выше первой позиции требований, должны учитываться:

- совместимость загрязнений, удаляемых местными отсосами от различных устройств (удаляемые вредные примеси иногда обладают токсичностью и могут вступать в воздуховоде в химические реакции, при этом степень токсичности образующихся соединений не должна превышать токсичность исходных компонентов);
- возможность поступления загрязнений из системы в воздух соседних помещений, что свойственно некоторым видам гравитационных вытяжных систем.

Все, без исключения вентиляционные системы должны соответствовать противопожарным требованиям:

- 1) нормативной степенью огнестойкости воздухопроводов и вентиляционных каналов;
- 2) установкой в необходимых случаях противопожарных клапанов, например, в основании поэтажных разводов воздухопроводов при подаче притока на несколько этажей многоэтажного здания одним стояком и т.д.

Следует стремиться к экономичности проектируемых систем.

1. Не следует применять механическую вытяжку в случаях, когда оказывается достаточной вытяжка, выполняемая гравитационной системой.

2. Размещать приточные и вытяжные установки следует таким образом, чтобы сеть воздухопроводов или вентиляционных каналов имела минимальную протяженность.

В вентиляционных системах воздух перемещается по воздуховодам, выполненным из листовых материалов (сталь, пластмассы и т.д.), каналам, размещённых в толще внутренних стен, вентиляционных панелей, приставным каналам, выполненным из шлакоалебастровых, шлакобетонных, пеноглинитовых плит и т. д.



Каналы, проложенные в толще внутренних кирпичных стен, вентиляционных панелей, выполненные из шлакоалебастровых, шлакобетонных и иных видов плит, менее плотные, нежели металлические или пластмассовые воздуховоды, их применяют при небольшой разности давлений в канале и воздухе обслуживаемого им помещения. Это преимущественно системы вытяжной вентиляции с гравитационным побуждением или обслуживаемые осевыми и канальными вентиляторами.

В прочих случаях предпочтительны круглые стальные воздуховоды, более плотные, имеющие меньший расход металла на единицу длины при равной, в сравнении с прямоугольными и квадратными воздуховодами, площадью поперечного сечения. В гражданских зданиях, где особое внимание уделяется интерьеру, предпочтение следует отдавать скрытой прокладке воздуховодов и каналов, максимально используя каналы в толще внутренних стен и вентиляционных панелей.

Приточные и вытяжные установки гражданских зданий размещают преимущественно в специально выделенных для этой цели помещениях (вентиляционных камерах). Традиционное размещение приточных камер гражданских зданий — в подвале по двум причинам:

- не занимают ценную полезную площадь, для получения которой здание и строится;
- вес приточной камеры, который может быть значительным, передаётся непосредственно на грунт, усиление строительных конструкций здания, в этом случае, не требуется.

В последнее время получает распространение поэтажное размещение вентиляционных установок. Вызвано это несколькими факторами:

- 1) использованием подвальных помещений под автостоянки;
- 2) загрязнением приземного слоя воздуха в больших городах;
- 3) требованием утилизации теплоты удаляемого из помещений воздуха, для чего применяют совмещённые приточно-вытяжные камеры.

При малых размерах приточных вентиляционных установок возможно их размещение и под подшивным потолком.

Традиционное место для размещения вытяжных установок — чердак. Вентиляционные агрегаты обязательно устанавливаются на виброоснование в виде рамы, опирающейся на виброизоляторы. Рекомендуемое место размещения вентиляционных установок — над помещениями с пониженными требованиями к уровню звукового давления в них (туалеты, комнаты для хранения инвентаря и т.д.).

В производственных зданиях размещать вентиляционные установки на полу допускается только в специально выделенных для этой цели местах или на вентиляционных площадках. Размещать вентиляционное оборудование на полу производственного помещения — запрещено. При проектировании вентиляции приходится учитывать взрывопожароопасную категоричность производственных помещений, а также особенности пожаро- и взрывоопасной обстановки в непосредственной близости от технологических установок. Эти особенности учитываются «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ).

## 2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВЫТЯЖНЫХ СИСТЕМ

Многоэтажные жилые здания обычно оснащают гравитационными вытяжными системами с неорганизованным притоком через неплотности оконных блоков. Чтобы в максимальной степени ограничить перетекание воздуха в пределах объёма здания, нормами предусматривается повышенное сопротивление фильтрации дверей квартир. Расчётная воздухопроницаемость квартирных дверей составляет  $1,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  против  $6 \dots 8 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  — для окон. Как показывают расчёты, нормативная норма воздухопроницаемости окон не обеспечивает должного поступления наружного воздуха в помещения для цели их вентиляции. Эти системы предусматривают часто и во вспомогательных зданиях промышленных предприятий. Гравитационные системы не потребляют электрической энергии, практически не требуют ухода. Недостатки гравитационных систем существенны:

- фактический объём удаляемого воздуха изменяется с изменением температуры наружного воздуха;
- гравитационные вытяжные системы практически не работают в тёплый период года, когда температуры наружного и воздуха в помещении близки по величине, или ниже температуры наружного воздуха (кондиционируемые помещения);
- в системах, каналы которых объединены горизонтальным сборным коробом или вертикальным сборным каналом наличествует перетекание загрязнённого воздуха из помещений этажей нижележащих в помещения верхних этажей;
- возможные объёмы удаляемого воздуха при приемлемых размерах поперечных сечений вытяжных каналов ограничены по причине небольшой величины гравитационного давления.

В гражданских зданиях удалять воздух из помещений рекомендуется вертикальными каналами, устраиваемыми во внутренних стенах или в вентиляционных панелях с вертикальным сборным каналом, проходящим транзитом через все этажи (рис. 1).

Толщина внутренних стен составляет 1,5 кирпича, обычно в них устраиваются каналы  $140 \times 140$  и  $140 \times 270$  мм. Толщина вентиляционных панелей должна быть равной толщине перегородки, в которую она мон-

тируется. Поэтому диаметр каналов в панели, обслуживающих помещения — 80...100 мм, размеры вертикального сборного канала (80...100)х500...(80...100)х700 мм.

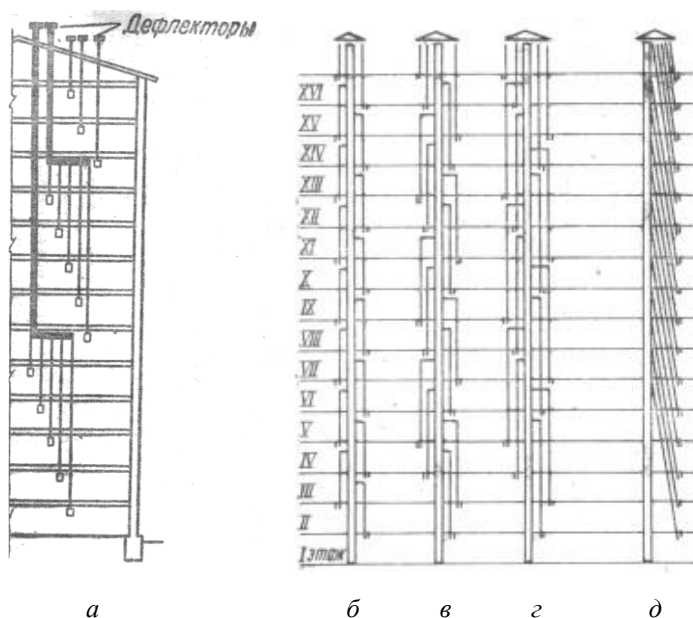


Рис. 1. Виды трассировок каналов вытяжных гравитационных систем:  
*а* — каналы проложены в толще внутренних кирпичных стен (здание по высоте разбито на зоны в 5—6 этажей, в пределах зоны вертикальные каналы объединены горизонтальным сборным коробом с индивидуальной вытяжной шахтой);  
*б, в, г, д* — система выполнена из вентиляционных панелей с перепуском воздуха, соответственно через один, два, три и пять этажей

Явление перетекания исключено, если вытяжка из помещений производится индивидуальными каналами с самостоятельным выпуском загрязнённого воздуха в атмосферу каждым каналом. Необходимость объединения вертикальных каналов вызвана недостаточностью места во внутренних стенах для размещения необходимого количества индивидуальных каналов в зданиях выше 2—3 этажей.

На рис. 1 представлены трассировки каналов вытяжных гравитационных систем многоэтажного здания с каналами во внутренних стенах и вентиляционных панелях.

Системы вытяжной вентиляции многоэтажных кирпичных зданий, представленные на рис. 1, *а* в настоящее время практически не применяются, так как современные многоэтажные здания выполняются каркасными с монолитными междуэтажными перекрытиями. Внутренние несущие стены в них отсутствуют. Полностью из кирпича выполняются, как правило, коттеджи высотой 2—3 этажа. В подобных зданиях помещения рекомендуется вентилировать индивидуальными каналами с самостоятельным выводом загрязнённого воздуха в атмосферу.

В многоэтажных зданиях (10 этажей и выше) старой постройки помещения последних трёх этажей вентилируются индивидуальными каналами. По высоте здание разбивается на зоны высотой 5—6 этажей, в пределах которых выполняется объединение вертикальных каналов горизонтальным сборным коробом. Каждый из сборных коробов вентилируется «собственной» вытяжной шахтой. Площадь поперечного сечения сборного короба или вытяжной шахты не должно быть меньше суммы площадей поперечного сечения объединённых вертикальных каналов. Горизонтальные сборные короба на чердаке монтируют из пеноглинитных, шлакоалебастровых плит. Выполнять из них короб с изменяющимся поперечным сечением достаточно сложно. Желательны сборные короба постоянного поперечного сечения на всём протяжении: от наиболее удаленного вертикального канала до вытяжной шахты.

На рис. 1, *б, в, г* и *д* представлены трассировки каналов вытяжных систем, выполненных из вентиляционных панелей. В зависимости от конструкции вентиляционной панели присоединение ответвлений к вертикальному сборному каналу может производиться через 1, 2, 3, 4 и 5 этажи.

С целью уменьшения явления перетекания воздуха рекомендуются следующие соотношения площадей сечений каналов-спутников и сборных вертикальных коробов, снижающие нежелательное перетекание загрязнённого воздуха:

- в системе с перепусками через один этаж (рис. 1, *б*), сумма площадей поперечных сечений каналов ответвлений, присоединённых к вертикальному сборному коробу, не должна превышать площадь поперечного сечения вертикального сборного канала более, чем в 1,2 раза;
- в системе с перепусками каналов через 2 этажа (рис. 1, *в*), это отношение не может превышать величину — 1,4;
- в системе с перепусками через пять этажей (рис. 1, *д*) это соотношение не должно быть более, чем 1,7.

Примеры нанесения вытяжных каналов и вентиляционных решёток на поэтажный план здания представлены на рис. 2.

Вытяжная шахта, в зависимости от её высоты, может удалять воздух из вертикальных каналов, расположенных в радиусе до 6-ти метров от оси вытяжной шахты. Каналы в вентиляционных панелях имеют постоянное поперечное сечение по всей высоте, изменение их поперечного сечения выполняется заменой типоразмера вентиляционной панели, что бывает затруднительно, поэтому аэродинамическая увязка производится преимущественно подбором аэродинамических потерь в жалюзийных решётках, подбирая соответствующим образом площадь «живого сечения» решётки.

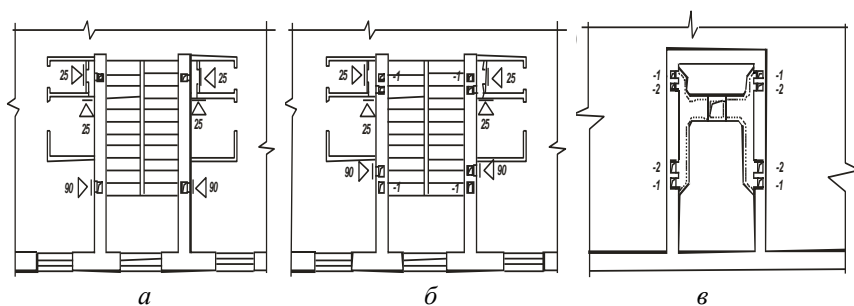


Рис. 2. Образец нанесения на поэтажные планы здания каналов, сборных коробов и вытяжной шахты вытяжной системы с гравитационным побуждением:

*а* — выкопировка из плана первого этажа; *б* — то же, второго этажа;  
*в* — то же, чердака

### **3. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПОБУЖДЕНИЕМ**

#### **3.1. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ**

Вентиляционные системы с механическим побуждением проектируются по различным для гражданских и производственных зданий правилам. Размещение в объёме здания, особенности трассировок воздухопроводов определяются особенностями объёмно-планировочного решения здания, размещения вентиляционных установок, технологического процесса, выполняемого в помещениях здания. Особенности технологического процесса и назначение здания определяют размещение приточных устройств и местных отсосов, способы и места размещения вентиляционных каналов и воздухопроводов.

Если здание принадлежит одному юридическому или физическому лицу, а планировка этажа может изменяться в зависимости от потребностей арендаторов (так называемая «скользящая планировка»), возможно устройство централизованной приточно-вытяжной вентиляции с устройством притока и вытяжки по модульному принципу. В каркасных зданиях обычно применяется шаг колонн 6х6 м. В качестве модуля принимается ячейка 6х6 или 6х3 м. Сдаваемая в аренду площадь должна состоять из объединяемых модулей. Предусматривается самостоятельная вентиляция каждого модуля, при этом воздухообмен заранее рассчитывается на какую-то осреднённую нагрузку от пребывания людей, солнечной радиации и вредных выделений от оргтехники.

Традиционное размещение приточных камер и кондиционеров при централизованной вентиляции — подвал здания. Принято размещать все приточные камеры и кондиционеры в одном помещении (вентиляционном центре), расположенном «в центре нагрузок», то есть равноудалённо от приточных устройств, установленных в помещениях здания. Преимущества такого размещения:

- возможно устройство одного воздухозабора для всех приточных камер и кондиционеров, как правило, с выносной приточной шахтой;
- позволяет получить разветвлённые вентиляционные сети с ветвями примерно одинаковой длины, что облегчает аэродинамическую увязку ответвлений.

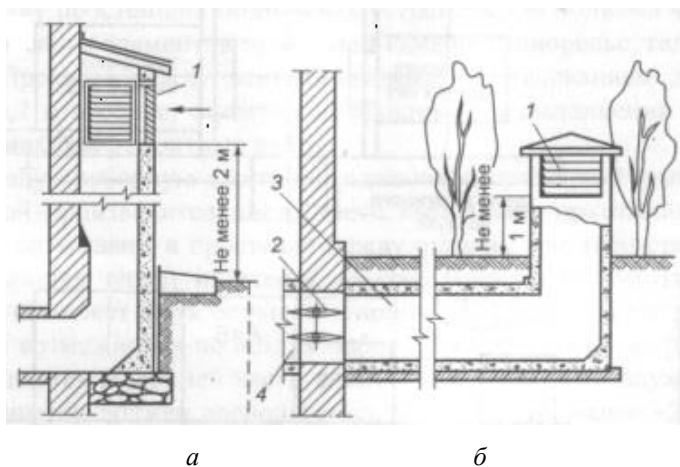


Рис. 3. Принципиальные схемы приставной и выносной шахт:  
*а* — приставная воздухозаборная шахта; *б* — выносная приточная шахта;  
 1 — воздухоприточные решётки; 2 — утеплённый клапан; 3 — тоннель для подачи воздуха к коридору наружного воздуха; 4 — коридор наружного воздуха

Если здание компактное, в подвале устраивается единый вентиляционный центр, в котором размещают приточные камеры и центральные кондиционеры, шумоглушители, холодильные машины для охлаждения воды (так называемые «чилеры») и прочие помещения. Ширина значительного числа зданий часто не превышает 10...12 м, что может вызвать сложности при организации вентиляционного центра. По согласованию со строителями в подвале можно предусмотреть единое помещение на всю ширину здания, передав нагрузку от внутренней несущей стены на колонны внутри вентиляционного центра. Если здание протяжённое, не исключается устройство нескольких вентиляционных центров.

Наружный воздух для целей вентиляции забирают из атмосферы с помощью приточных шахт. Шахты могут быть приставными и выносными (рис. 3). Приставные шахты примыкают к стене здания в простенке. Производительность приставной шахты по воздуху невелика, так как размеры шахты в плане определяются шириной простенка и скоростью воздуха в жалюзийных решётках, исключая генерацию в них акустического шума. Одна такая шахта обеспечивает воздухом, обычно, одну приточную камеру. Для присоединения приточной камеры к шахте



устраивают оголовок с проёмом и герметичной дверью. Проём имеет специальную раму, к которой крепится утеплённый клапан приточной камеры или кондиционера. В верхней части приточной шахты размещают воздухоприёмные решётки, нижняя кромка которых должна размещаться на отметке не менее 2-х метров от уровня земли.

В случае нескольких приточных камер и кондиционеров предусматривают одну выносную приточную шахту на все приточные камеры и кондиционеры. Воздух к подвалу подводится подземным каналом, поперечное сечение которого должно позволять производить осмотр и необходимый ремонт конструкций. В подвале воздух поступает в коридор наружного воздуха, в стенках которого имеются проёмы для присоединения приточных камер и кондиционеров, и герметичную дверь, позволяющую осматривать коридор и проводить периодически осмотр и очистку коридора от пыли и грязи. С целью экономии площади вентиляционного центра утеплённые клапаны иногда устанавливают в пределах коридора наружного воздуха (рис. 4 и 5).

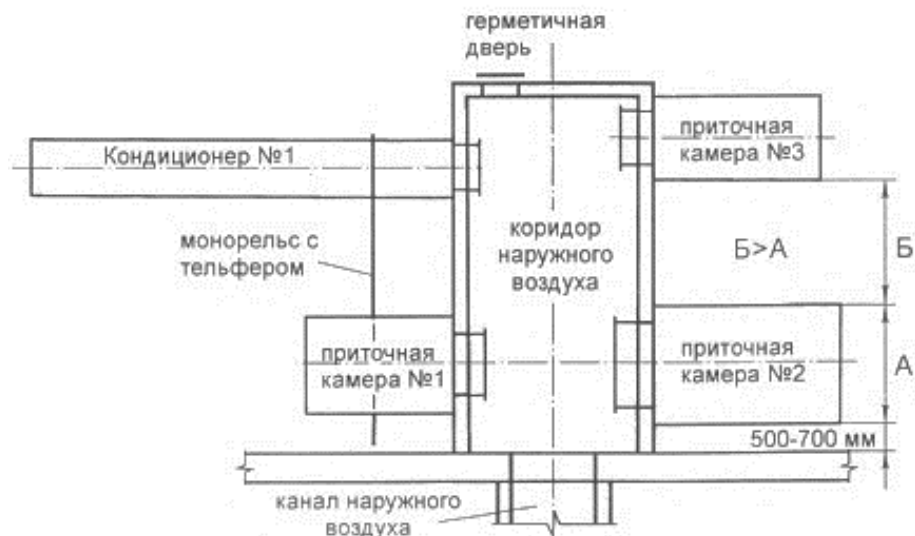


Рис. 4. Принципиальная схема присоединения приточных камер и кондиционера к коридору наружного воздуха.

Ось коридора параллельна фасаду

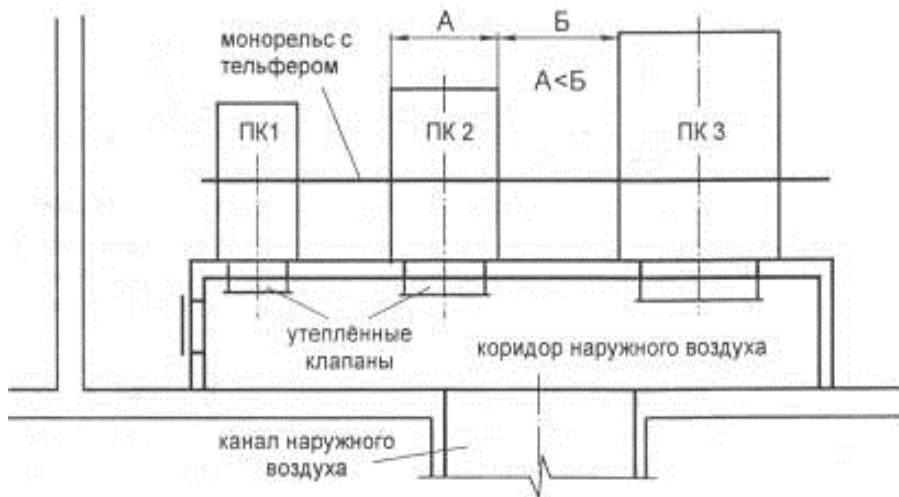


Рис. 5. Принципиальная схема присоединения приточных камер и кондиционера к коридору наружного воздуха. Ось коридора перпендикулярна фасаду

К коридору наружного воздуха параллельно присоединяются приточные камеры и кондиционеры. Чтобы ослабить возможное влияние включения-выключения камер на работу друг друга, размеры поперечного сечения коридора выбирают из условия обеспечения скорости в сечении коридора с наибольшим расходом воздуха не более 3 м/с. Если в здании предусмотрена централизованная система утилизации теплоты, теплоотдающие калориферы системы размещают в коридоре наружного воздуха.

Защита от проникновения шума вентиляционных установок по сети воздуховоды в вентилируемые помещения предусматривает установку шумоглушителей. Современные приточные камеры и кондиционеры часто имеют встроенные шумоглушители, шумозащитные свойства которых, как правило, бывает недостаточным. Необходимо выполнить акустический расчёт системы и рассчитать требуемую длину шумоглушителя. Пластинчатые шумоглушители подвешивают под потолком, ячейковые — размещают на полу, трубчатые являются элементами сети воздуховодов и специального места для размещения не требуют.

Высота подвалов обычно бывает небольшой, что может вызвать осложнения в размещении вентиляторов больших размеров и присоединения к ним воздуховодов. Предпочтительным в этих случаях является

применение вентиляторов с кожухом, оси которого направлены под углом  $30^{\circ}$ ... $45^{\circ}$  к горизонту. Выпускаемые панельно-каркасные приточные камеры комплектуются специальным вентиляторным блоком, в вертикальной стенке или горизонтальной крышке которого имеется выхлопное отверстие с фланцем, к которому и присоединяется приточный воздуховод.

В крупных торговых центрах или офисных зданиях отдельные торговые или офисные помещения могут принадлежать или сдаваться на длительные сроки аренды различным юридическим или физическим лицам с условием самостоятельного устройства и эксплуатации вентиляционных систем принадлежащих или арендуемых ими помещений. Поэтому офисные здания и торговые предприятия могут иметь как централизованные, так и децентрализованные системы вентиляции. При децентрализованной системе вентиляционные установки стремятся разместить на одном этаже с обслуживаемым помещением.

Децентрализованные системы применяют для вентиляции офисных помещений небольшой площади. Индивидуальные приточные камеры размещают в пространстве под подшивным потолком, а вытяжка производится канальными вентиляторами. Существует три конструктивные схемы канальных вентиляторов: с размещением электродвигателя в объёме рабочего колеса, вне рабочего колеса, но в объёме воздуховода, и вне воздуховода. В случае удаления воздуха с повышенной влажностью или содержащего примеси, вызывающие коррозию металла рабочего колеса вентиля, предпочтение следует отдавать канальным вентиляторам с вынесенным из объёма рабочего колеса электродвигателем.

### **3.2. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

Вентиляционное оборудование приточно-вытяжных систем производственных зданий размещается, как правило, в пределах объёма здания. Однако имеют место случаи, когда по требованиям технологического процесса его приходится размещать в отдельно стоящем здании. Решение это применяется в случаях, если требует отделить обслуживание вентиляционных установок от технологических процессов в производственном корпусе или требуется обеспечить полное отсутствие вибраций и колебаний в производственном корпусе от работы вентиляторов. Обычно в таком техническом корпусе совмещают несколько инже-

нерных систем: компрессорную, тепловой узел, насосы систем питьевого, технического и противопожарного водоснабжения и т.д. Вариант размещения вентиляционного оборудования в отдельно стоящем здании дорогой, но удобный для его эксплуатации и ремонта.

Схема приточно-вытяжной вентиляции с размещением приточных установок в подвале является слишком дорогостоящей для одноэтажного производственного здания, на полу которого обычно устанавливается тяжёлое производственное оборудование. Подвал в производственных зданиях устраивается в случаях, когда это требуется условиями проведения технологического процесса, например, в цехах металлопокрытий. Если подвал предусмотрен проектом, использовать его для размещения приточных камер и иного вентиляционного оборудования возможно лишь при согласии технологов, подтверждённом документально. Обычно для размещения вентиляционного оборудования предусматривают специальные помещения на отметке пола 1-го этажа, называемые вентиляционными камерами. Вентиляционные камеры занимают полезную площадь помещения, их количество бывает небольшим, а площадь часто недостаточна для размещения всего вентиляционного оборудования. Вытяжные вентиляционные установки, как правило, монтируют на специальных вентиляционных площадках (рис. 6).

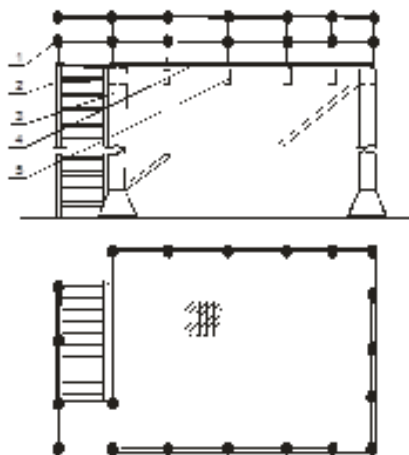


Рис. 6. Схема вентиляционной площадки фасаду:  
1, 3 — ограждение; 2 — трап; 4 — покрытие из рифлёной листовой стали;  
5 — несущие элементы из стального проката

Другой причиной использования вентиляционных площадок является необходимость в максимально возможном разобщении мест воздухозабора и выброса загрязнённого воздуха в атмосферу с тем, чтобы в месте расположения воздухозаборных решёток содержание вредных примесей в воздухе не превышало 30 % от ПДК. Требуемое расстояние между местами воздухозабора и вентиляционными выбросами следует определять расчётом, но нормы требуют, чтобы расстояние от воздухоприёмных устройств до мест выброса загрязнённого воздуха было не менее 10 м по горизонтали. Если это требование выполнить не удастся, то расстояние по вертикали меж ними должно быть не менее 6 м. Кроме того, выбросы из систем местных отсосов вредных веществ следует размещать на высоте не менее 2 м над кровлей более высокой части здания, если расстояние до ее выступа менее 10 м.

Вентиляционные площадки размещают вблизи оборудования с местными отсосами или, как принято говорить, «в центре нагрузок». Это позволяет уменьшить протяжённость воздухопроводов. Если в объёме цеха имеются выделенные стенами помещения, вентиляционные площадки монтируют над ними на отметке (+2,8÷3,0) и более метров, что снижает впечатление загромождённости помещений вентиляционным оборудованием. Площадки выполняются из металлического проката или железобетона, их проектированием и монтажом занимаются строители по заданию инженеров, проектирующих вентиляцию. Отдельно стоящая площадка должна иметь ограждение, нескользкое покрытие пола и лестницу — трап. Пол металлических вентиляционных площадок часто изготавливают из листов рифлёной стали. Ступеньки трапа — из такого же нескользящего материала или стальных прутков арматурной стали.

На вентиляционных площадках устанавливают несколько вентиляторов, их расположение в плане может быть произвольным, но ширина проходов между вентиляторами не должна быть менее 0,7 м с учётом площадей, необходимых для проведения ремонтных работ. Вентиляторы устанавливают также на стены и колонны с помощью кронштейнов, при этом размер радиального вентилятора не должен превышать № 8.

Над вентиляционной площадкой с несколькими вытяжными вентиляторами предусматривается вентиляционная шахта с сотовым заполнением и зонтом для защиты от атмосферных осадков. Выхлопные воздухопроводы подводятся к каждой из ячеек. Размещение вытяжных вентиляторов на наружных стенах в последующей проводкой выхлопных воздухопроводов вдоль наружных стен не может быть рекомендовано в связи с сложностью проведения необходимых профилактических и ремонтных

работ, а также по причине воздействия атмосферных осадков на вентиляционный агрегат и воздухопроводы. Вентилятор и электродвигатель, в этом случае, требуют специального исполнения в соответствии с ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды».

Если вентиляционные выбросы очищаются от вредных примесей, очистное оборудование, как правило, устанавливают на площадке внутри помещения. Очистные устройства с сухим процессом очистки (циклоны) можно устанавливать снаружи здания.

Приточные камеры большой производительности в одноэтажных производственных зданиях монтируют обычно в предусмотренных проектом специальных вентиляционных камерах на уровне пола 1-го этажа. Такое размещение наиболее удобно для производства монтажных профилактических и ремонтных работ. С целью экономии места возможна установка приточных камер в несколько ярусов. Приточные камеры устанавливаются также на вентиляционных площадках, примыкающих к наружным стенам в местах размещения проёма. В условиях реконструкции производства при необходимости размещения дополнительных приточных камер приходится использовать оконные проёмы для воздухозабора, закладывая излишнюю часть проёма кирпичной кладкой. В производственных помещениях приточные камеры часто используются для целей воздушного отопления, в таких случаях на каждую приточную камеру устанавливают два вентилятора: основной и резервный, включаемый при неисправности основного вентилятора.

В многоэтажных производственных зданиях предусматривают устройство технических этажей. Их количество определяется насыщенностью производства технологическим оборудованием местными отсосами, общей величиной воздухообмена и прочими факторами. Высота технических этажей, как правило, значительно меньше высоты этажей с производственными помещениями, она определяется высотой аппаратов для очистки вентиляционных выбросов и прочего вентиляционного оборудования. Вентиляционные выбросы вертикальными каналами или воздухопроводами транспортируются на кровлю здания и далее в атмосферу. Наличие технических этажей позволяет разносить места выбросов и воздухозабора по вертикали на достаточно большое расстояние.

Более подробно вопросы проектирования вентиляции тех или иных производств рассматриваются в нормативных документах, справочных

и методических материалах. Правила оформления проектной документации регулируются ГОСТ 21602-2003 «Правила выполнения рабочей документации отопления, вентиляции, кондиционирования».

Избытки теплоты из производственных помещений принято удалять аэрацией. Однако в некоторых ответственных случаях общеобменный воздухообмен в тёплый период года организуется крышными вентиляторами, устанавливаемыми в специальных проёмах бесчердачного покрытия, и удаляющих воздух из верхней зоны помещения. Приток осуществляется через открытые нижние фрамуги в окнах. Если вентилируемое таким способом помещение является выделенной частью производственного здания, вентиляторы устанавливаются вблизи стены, отгораживающей это помещение от прочего объёма здания.

Местная вытяжная вентиляция осуществляется через местные отсосы, которыми оборудуются многие виды технологического оборудования:

1) различные виды промышленных печей — установкой зонта (зонт-козырёк) над загрузочным отверстием;

2) гальванические ванны — обычными или опрокинутыми бортовыми отсосами;

3) ванны для закалки в масле — вытяжными шкафами, зонтами большого объёма, бортовыми отсосами: выделение дымовых газов в процессе закалки происходит крайне неравномерно во времени. Наибольшее количество дыма выделяется при касании и погружении закаливаемой детали в масло. После погружения изделия в течение нескольких секунд происходит «барботаж» небольшого количества дымовых газов из объёма масла ванны. Имеет место так называемый «залповый выброс» дымовых газов, который должен быть полностью воспринят объёмом местного отсоса и затем за период между двумя операциями закалки вредность должна быть удалена вентиляционной установкой. Если деталь в ванну погружается тельфером, иным транспортно-подъёмным средством (например, тельфером), приходится устанавливать бортовые отсосы, которые при данном характере выделения дыма работают неэффективно: имеет место «проскок» некоторого количества дымовых газов в воздух помещения в момент касания деталью масла;

4) заточные, обдирочные и шлифовальные станки — вентилируемыми кожухами-укрытиями;

5) соляные и селитровые электрованны — полным шкафным укрытием;

6) печи для отпуска, цементации, азотирования, выполненные в виде круглых шахтных колодцев — кольцевыми отсосами;

7) сварочные посты — панелями равномерного всасывания;

8) места окраски пневматическими распылителями — окрасочными камерами с нижним отсосом;

9) деревообрабатывающие станки — встроенными отсосами для стружки и опилок;

10) электродуговые печи и вагранки — вытяжными зонтами;

11) заливочные конвейеры — панелями равномерного всасывания;

12) дробилки, транспортёры, места пересыпки — укрытиями;

13) плоскошлифовальные станки — всасывающими воронками;

14) станки для обработки графитовых изделий;

15) станочное металлорежущее оборудование — пылеотсосами;

16) моечные машины тупикового типа — зонтом-козырьком над загрузочно-выгрузным проёмом, моечные машины проходного типа — двумя зонтами-козырьками над загрузочным и выгрузным отверстием.

Этот далеко не полный перечень видов технологического оборудования и рекомендуемых для их укрытия местных отсосов указывает на многообразие проектных решений для местной вытяжной вентиляции. Более подробные рекомендации по проектированию приточно-вытяжной вентиляции различных видов производств изложены в соответствующих нормативно-технических документах.

Имеются определённые принципы проектирования приточных и вытяжных систем:

- местные вытяжные системы не должны быть большой протяжённости (рациональным следует считать объединение 2—4-х местных отсосов однотипного оборудования в одну систему при условии, что выделяющиеся вредности однородны, а режим работы станков одинаков);

- максимальный радиус действия местных вытяжных систем по горизонтали не должен превышать 20...25 м;

- примеси, поступающие от различных источников не должны закупоривать воздухопроводы (например, не следует объединять источники с выделениями пыли и паров масла);

- ванны гальванических отделений, загрязнённый воздух которых требует обязательной очистки (ванны меднения, никелирования, кадмирования и т.д.), вентилируются отдельной системой;

- вытяжные шахты местных систем вентиляции должны быть оборудованы устройствами для факельного выброса воздуха;

- отметка устья выхлопных шахт должна быть не менее, чем на 1 метр выше покрытия аэрационного фонаря.



#### 4. ВОЗДУХОВОДЫ И КАНАЛЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Вентиляционные каналы, как правило, не обладают должной плотностью, поэтому для приточных и вытяжных систем с механическим побуждением применяют металлические воздуховоды. Нормами предусматривается применение воздуховодов класса П (плотные) — для транзитных участков систем общеобменной вентиляции и воздушного отопления при статическом давлении у вентилятора более 1400 Па и независимо от давления для транзитных участков систем местных отсосов и кондиционирования, а также систем, обслуживающих помещения категорий А и Б. В прочих случаях принимаются воздуховоды класса Н (нормальные).

Кроме стальных воздуховодов, отечественные фирмы производят воздуховоды из пенопласта, с двух сторон оклеенного фольгой. Соединение таких воздуховодов — на клею, герметичное. Стенка воздуховодов из пенопласта обладает повышенным термическим сопротивлением и большей способностью гасить шум от вентилятора, что позволяет, в ряде случаев, обойтись без установки шумоглушителей и устройства тепловой изоляции. Существуют воздуховоды из фанеры, ткани, пластмассовой пленки, применяемые для вентиляции теплиц и т.д. В качестве вентиляционных каналов иногда используют пустоты в строительных конструкциях.

Вертикальные стальные воздуховоды в многоэтажных зданиях, обслуживающие или пересекающие несколько этажей, прокладывают в предусматриваемых для этой цели шахтах. Шахты в пределах этажа должны иметь съёмные панели, обеспечивающие доступ к воздуховодам для монтажа и ремонта. Вентилирование помещений в пределах одного этажа производится горизонтальными воздуховодами, прокладываемыми в коридоре, в пространстве под подшивным потолком. В производственных помещениях воздуховоды прокладывают вдоль стен и колонн на кронштейнах. При необходимости прокладки вдали от указанных опор воздуховоды крепятся к потолку подвесками из листовой

стали. Чтобы исключить «раскачивание» сети, к каждой точке крепления подводят две подвески, места крепления которых к потолку должны быть разнесены.

Подачу приточного воздуха от приточных камер, расположенных в подвале, осуществляют индивидуальными для каждого этажа вертикальными воздуховодами. Это решение позволяет отказаться от установки противопожарных клапанов. Если один стояк обслуживает несколько этажей, на ответвлениях каждого этажа устанавливают противопожарные клапаны. В зависимости от принятой схемы подача притока в пределах этажа производится либо по отдельным помещениям, либо ограничиваются подачей притока в коридор, холл или соседнее помещение. Возможна также подача воздуха в отдельные помещения с помощью вертикальных каналов, прокладываемых в толще стен или формируемых с помощью вентиляционных панелей, при этом каждый из вертикальных каналов должен обслуживать одно помещение на каком-либо из этажей.

Передачу вибрации строительным конструкциям и воздуховодам предотвращают разобщением вентиляторов и воздухопроводов с помощью гибких вставок. Исключение составляют вентиляторы систем дымоудаления, присоединение воздухопроводов к которым допускается без гибких вставок и которые включаются только в случае пожара.

### **Конструкции воздухопроводов и каналов**

Сети воздухопроводов и вентиляционных каналов служат для транспортирования по ним воздуха как приточного, чистого, так и загрязнённого вредными газами и парами, а также содержащего примеси в виде мелких и крупных частиц.

Воздуховодами принято называть трубы круглые, прямоугольные и квадратные, как правило, тонкостенные, изготовленные из металла, и применяемые для перемещения по ним воздуха. Системы пневмотранспорта, предназначенные для транспортирования воздушным потоком дисперсных материалов с повышенными абразивными свойствами (песок, металлические опилки, «горелая земля» от выбивных решёток) применяют в качестве воздухопроводов электросварные трубы ГОСТ 10704-91.

Наличие вредных примесей и влажность перемещаемого воздуха определяют материал, из которого должны изготавливаться воздухопроводы и каналы. Чистый, сухой, содержащий неагрессивные пары и газы с температурой до 80 °С воздух перемещают по стальным воздуховодам.

Специальных требований к материалу стенок, в этом случае, нет. Предпочтение обычно отдаётся воздуховодам круглого сечения, требующим, для изготовления, меньшего количества листовой стали при равной площади поперечного сечения с воздуховодами любой другой формы. Длина секции воздуховода, выполненного из стального тонкого листа, ограничивается длиной стандартного листа и составляет 2000 мм. Длина секции воздуховода, изготовленного из тонколистовой стальной полосы, выбирается произвольной из условия удобства монтажа конкретной вентиляционной сети. Эти воздухопроводы обычно имеют большую длину швов, которые могут быть причиной их меньшей плотности по сравнению с воздуховодами, выполненными из стального листа. Если воздух влажный (вытяжка из бань, прачечных и прочих помещений с влажными технологическими процессами) воздухопроводы изготавливают из оцинкованной стали. Из оцинкованной стали часто изготавливают воздухопроводы для перемещения сухого воздуха. Они дороже воздухопроводов из «чёрной», не оцинкованной стали, но не требуют периодической окраски снаружи и внутри и более долговечны.

Воздух, удаляемый от бортовых и иных отсосов гальванических ванн, содержит агрессивные примеси, разрушающие стенки воздуховода. Какого-либо материала, способного противостоять всем видам агрессивных воздействий, не существует. Воздухопроводы для транспортировки агрессивных сред изготавливают, в зависимости от состава примесей в удаляемом воздухе: из нержавеющей стали, титановых сплавов с содержанием титана не менее 50 %, ламинированной пластмассой ПВХ листовой стали.

Примеси из мелких (пыль, аспирационные системы) и крупных частиц (системы пневмотранспорта) обладают абразивным свойством и могут «протирать до дыр» стенки отводов и тройников. Воздухопроводы аспирационных и систем пневмотранспорта выполняют из более толстой листовой стали, нежели для обычных вентиляционных систем. Толщина выбирается в зависимости от вида примеси и диаметра воздуховода. Нормы [10, 11] предлагают обязательные к применению диаметры воздухопроводов, представленные в табл. 1. Диаметр 112 мм является дополнительным, рекомендован к применению в системах аспирации и пневмотранспорта.

Размеры прямоугольных и квадратных воздухопроводов приведены в табл. 2. Соотношение размеров сторон прямоугольного воздуховода не должно превышать 2...3, хотя действующие нормы предельное соотно-

шение определяют равным 6,3. Воздуховоды с большим, нежели 3 соотношением сторон приближаются к щелям, движение воздуха в которых может не подчиняться закону Дарси вследствие расслоения воздуха в поперечном сечении воздуховода на отдельные потоки.

Таблица 1

**Нормативные диаметры и толщины стенок листового металла, круглых стальных материалов**

Диаметры воздуховодов, мм							Толщина стенки воздуховода, мм
100	(112)	125	140	160	180	200	0,5
224	250	280	315	355	400	450	0,6
500	560	630	710	800	—	—	0,7
900	1000	1120	1250	—	—	—	1,0
1400	1600	—	—	—	—	—	1,2
1800	2000	—	—	—	—	—	1,4

Отдельные участки сети воздуховодов соединяются друг с другом фасонными частями, к которым относятся тройники, односторонние и двух сторонние, отводы и полу отводы, конфузоры и диффузоры, а иногда и внезапные расширения (термин) и внезапные сужения. Эти элементы имеют название «унифицированные узлы ответвлений». Недостаток сетей круглых воздуховодов с прямой врезкой – повышенное аэродинамическое сопротивление тройников, по сравнению с косой врезкой.

Таблица 2

**Нормативные размеры стальных прямоугольных (квадратных) воздуховодов и толщина стенки**

Размеры поперечного сечения стальных прямоугольных и квадратных воздуховодов, мм						Толщина стенки, мм
100x150	150x150	100x250	250x250	—	—	0,5
250x300	250x400	250x500	400x400	400x500	400x600	0,7
400x800	500x500	500x600	500x800	500x1000	600x600	
600x800	600x1000	800x800	800x1000	1000x1000	—	
600x1250	800x1250	1000x1250	1000x1600	1000x2000	1250x1250	0,9
1250x1600	1250x2000	1600x1600	1600x2000	—	—	

Несколько десятилетий тому назад чистый воздух перемещался исключительно по сетям с косой врезкой. В настоящее время сети воздухопроводов с косой врезкой применяют только в системах аспирации и пневмотранспорта.

Сеть воздухопроводов состоит из магистрали, к которой присоединяются ответвления. Присоединение может производиться под углом  $\alpha = 90^\circ$  («прямая» врезка) и углами  $\alpha < 90^\circ$  (так называемая «косая» врезка). Прямая врезка круглых воздухопроводов по компактности практически не уступает прямоугольным воздуховодам, которые применялись и применяются, благодаря этому качеству, в гражданских зданиях. В настоящее время круглые воздухопроводы с прямой врезкой широко применяются и в гражданских зданиях.

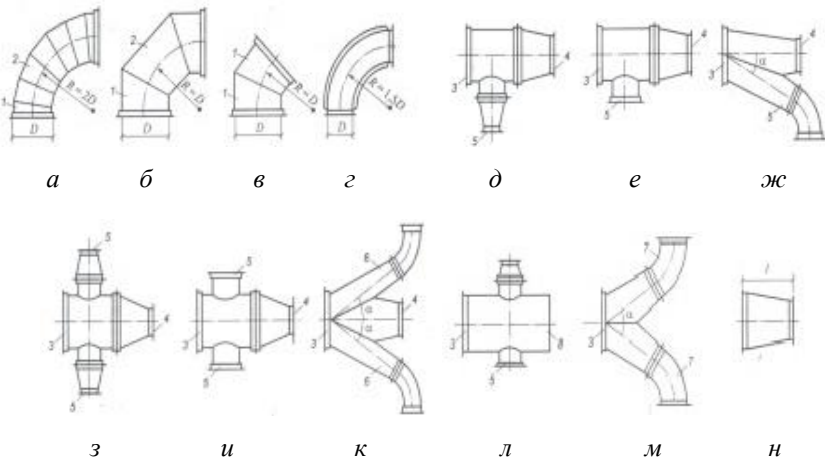


Рис. 7. Фасонные элементы круглых стальных воздухопроводов с прямой и косой врезкой ответвлений в магистраль:

- a* — отвод, составленный из стаканов, применяется в системах аспирации и пневмотранспорта;
- б, в* — отвод и полуотвод для систем, перемещающих чистый воздух или воздух с примесями газов и паров;
- г* — штампованный отвод;
- д, е* — односторонние унифицированные тройники для обычных приточных и вытяжных систем вентиляции;
- ж* — односторонний тройник с косой врезкой;
- з, и* — двухсторонние унифицированные тройники для обычных приточных и вытяжных систем вентиляции;
- к* — двухсторонний тройник с косой врезкой;
- л* — концевой тройник с прямой врезкой;
- м* — штанообразный тройник с косой врезкой;
- н* — конфузор или диффузор, в зависимости от направления движения воздуха;
- 1, 2* — звенья отводов;
- 3, 4, 5* — фланцы;
- б* — ответвления;
- 7* — полуотводы;
- 8* — заглушенный торец

Стандартные тройники с косой врезкой, в зависимости от диаметра, подводят воздух к магистрали под углом 30 или 45°. Увеличение угла врезки вызвано необходимостью уменьшить размеры тройника при диаметре «ствола» более 300 мм.

Представленные на рис. 7 и 8 тройники испытывались с целью определения коэффициентов местного сопротивления «на ответвление» и «на проход». Данные по этим коэффициентам представлены в [7]. Вместе с тем, отдельные фирмы выпускают тройники по собственным чертежам (рис. 9). Коэффициенты местного сопротивления подобного вида фасонных частей следует принимать по результатам исследований, выполненных фирмой-изготовителем этого изделия. Подобного рода сведения обычно бывают представлены в каталогах вентиляционного оборудования фирм-изготовителей.

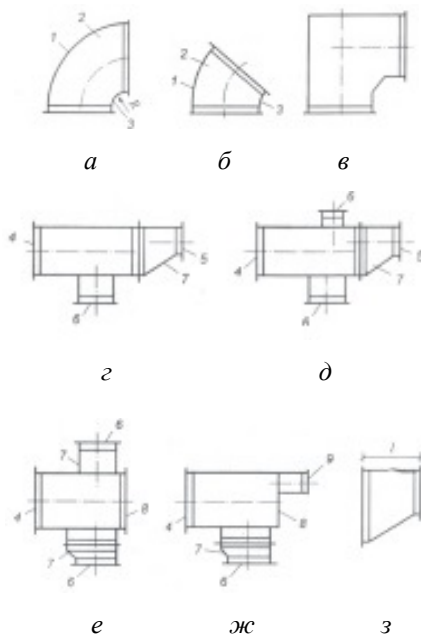


Рис. 8. Фасонные части воздуховодов прямоугольного сечения с прямой врезкой:

- a, б* — отвод и полуотвод; *в* — колено; *г* — односторонний тройник; *д* — двухсторонний тройник; *е, ж* — штанообразный тройник; *з* — диффузор (конфузор); *1, 3* — изогнутые боковые стенки; *2* — отвод; *4, 5, 6, 9* — фланцы; *7* — конфузор; *8* — глухая стенка

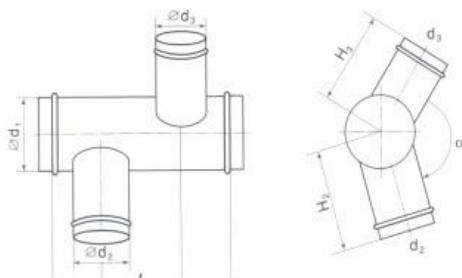


Рис. 9. Крестовина объёмная, выпускаемая одной из российских фирм:  $H_2, H_3$  — длины ответвлений;  $d_2, d_3$  — диаметры ответвлений;  $d_1$  — диаметр магистрали;  $\alpha$  — угол между направлениями ответвлений при прямой их врезке в магистраль

Важнейшим качеством вентиляционных сетей является их воздухо-непроницаемость. Если воздухопроницаемость сети воздуховодов и каналов недостаточна, то в сетях приточных систем возникают утечки, а вытяжных — присосы воздуха. В первом случае в помещения не поступит расчётное количество воздуха, во втором — вытяжные решётки или местные отсосы не будут удалять из помещения или местного отсоса загрязнённый воздух в нужном количестве. Воздухонепроницаемость сетей достигается применением воздуховодов и соединений, обладающих необходимой плотностью.

Одними из самых распространённых являются фланцевые соединения (рис. 10).



Рис. 10. Фланец секции воздуховода круглого сечения

Сначала фланцы круглых и прямоугольных воздуховодов выполнялись из конструкционного уголка, изготавливаемого на прокатных станах. Затем, с целью удешевления соединения, фланцы стали изготавли-

вать из уголка гнутого из стальной полосы, в холодном состоянии. Соединялись фланцы с помощью болтов М6. Уплотнение фланцевого соединения производилось пористой (губчатой) резиновой лентой. В настоящее время для соединения секций прямоугольных воздухопроводов применяется конструкция, состоящая из угольников, планок и струбцин или сжимов (рис. 11).

Соединение участков воздухопроводов с фасонными частями и друг с другом осуществляется несколькими способами: фланцами, с помощью ниппелей и бандажей, на планках и т.д. Не все из них, например соединение на планках, обладают должной плотностью.

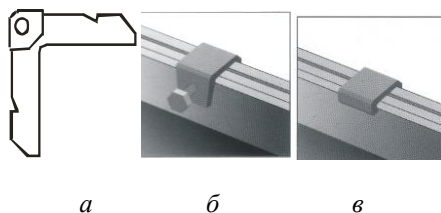


Рис. 11. Современная конструкция фланцевого соединения:  
*a* — уголок соединения; *б* — сжим с болтом соединения; *в* — сжим соединения, применяется при монтаже воздухопроводов в стесненных условиях

Другим видом соединений является ниппельное (рис. 12 и 13), уплотняющим материалом в этом виде соединения является специальный вид герметика в виде пасты.

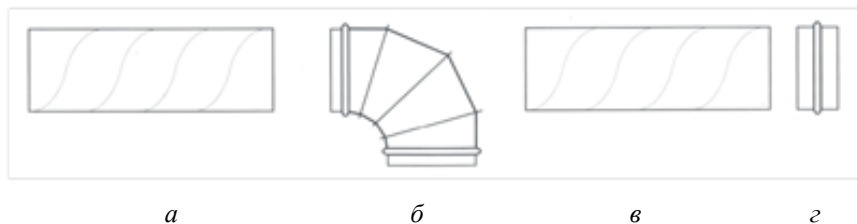


Рис. 12. Конструкция ниппельного соединения отдельных прямолинейных участков сети и фасонных частей:

*a, б* — ниппельное соединение секции прямолинейного воздуховода и отвода  $90^\circ$  в состоянии до сборки соединения, кромки отвода (*б*) отформованы в виде ниппелей; *в, г* — соединение двух секций стального круглого воздуховода внутренним ниппелем в состоянии до сборки соединения (вторая (справа) секция воздуховода не показана)



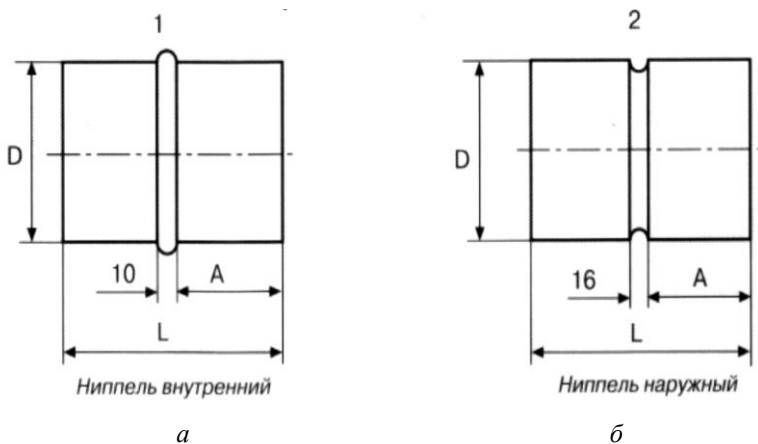


Рис. 13. Схемы внутреннего ниппеля (а) и внешнего ниппеля (муфты) (б)

При бандажном соединении края соединяемых воздуховодов отгибают наружу, образуется подобие фланца. После стыковки соединяемых участков и промазки герметиком, на стык накладываются два полукольца из листовой стали с выштампованным желобком, которые стягиваются: либо защёлкой, либо винтовым зажимом. Плотность соединения зависит от качества промазки герметиком. Бандажные соединения недостаточно прочны в случае воздействия на соединение поперечных сил.

Воздуховоды систем аспирации и пневмотранспорта имеют толщину стенок большую 0,5...0,7 мм в связи с повышенным их абразивным износом (см. табл. 3). Кроме того, ограничивается минимальный их диаметр применяемых воздуховодов в связи с возможностью закупорки их частицами перемещаемого материала (см. табл. 4)

Таблица 3

**Рекомендуемые толщины стенок, круглых воздуховодов систем пневмотранспорта  $\mu \leq 0,2$  кг/кг**

Диаметр воздуховода $d \leq 200$ мм в помещении		Диаметр воздуховода $d > 200$ мм	
		скорость воздуха $v \leq 23$ м/с	скорость воздуха $v > 23$ м/с
в помещении	1,4	1,4	2,0
на улице	2,0	2,0	3,0

Соединения сетей воздуховодов систем пневмотранспорта — фланцевые или сварные.

Таблица 4

**Минимальный диаметр воздуховода для транспортирования различных материалов, мм**

Вид транспортируемого материала	Минимальный диаметр воздуховода
Мелкая пыль	80
Частицы опилок и мелкая стружка	100
Смесь, содержащая кусочки материала	130

Воздуховоды вытяжных систем от гальванических ванн иногда выполняются из пластмассы, как круглого, так и прямоугольного сечения (см. табл. 5 и 6).

Таблица 5

**Размеры круглых воздуховодов из винипласта, мм**

Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>
160	0,0201	400	0,126
200	0,0314	500	0,196
250	0,0491	630	0,312
315	0,078	800	0,503

Таблица 6

**Размеры прямоугольных воздуховодов из винипласта**

Размеры поперечного сечения канала, мм		Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	Размеры поперечного сечения канала, мм		Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>
А	Б		А	Б	
100	160	0,016	250	500	0,125
100	200	0,02	400	500	0,2
160	200	0,032	400	800	0,32
200	250	0,05	500	800	0,4
200	400	0,08	500	1000	0,5
250	400	0,1	—	—	—

Каналы из неметаллических материалов, кроме пластмасс и синтетических плёнок, не обладают плотностью металлических воздухопроводов, поэтому их следует применять в гравитационных системах или системах с механическим побуждением с небольшими потерями давления в сети, что обеспечит неизбежные присосы и утечки в необходимых пределах. Ниже приводятся рекомендуемые размеры каналов, выполненных из различных материалов (табл. 7).

Таблица 7

**Размеры каналов, выполненных из стандартного кирпича**

Размер, мм		Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	Размер, мм		Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>
в кирпичах	мм		в кирпичах	мм	
$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$	140x140	0,02	$1\frac{1}{2} \times 3$	400x790	0,32
$\frac{1}{2} \times 1$	140x270	0,38	$2 \times 2$	530x530	0,28
$1 \times 1$	270x270	0,073	$2 \times 2\frac{1}{2}$	530x650	0,35
$1 \times 1\frac{1}{2}$	270x400	0,111	$2 \times 3$	530x790	0,42
$1 \times 2$	270x530	0,143	$2 \times 4$	530x1060	0,56
$1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$	400x400	0,16	$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$	650x650	0,43
$1\frac{1}{2} \times 2$	400x530	0,21	$2\frac{1}{2} \times 3$	650x790	0,52
$1\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$	400x650	0,26	$3 \times 3$	790x790	0,624

Приточные шахты, коридоры свежего воздуха выполняются из кирпича, размеры которых должны быть кратны кирпичу.

Внутренние кирпичные стены зданий имеют толщину в  $1\frac{1}{2}$  кирпича, обычно в них устраивают каналы 140x140 мм и 270x140 мм (рис. 14).

Эти размеры не совпадают с стандартными размерами кирпича вследствие наличия швов, заполненных раствором.

Приставные каналы, как вертикальные, так и горизонтальные, выполняются из шлакогипсовых или шлакобетонных плит. Соотношение их размеров не должно превышать 3,0 (табл. 8).

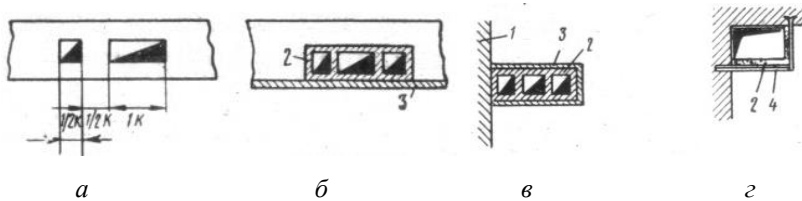


Рис. 14. Схемы вертикальных каналов приставных, в толще внутренней стены и горизонтального приставного канала:

*а* — каналы 140x140 мм и 140x270 мм во внутренней кирпичной стене толщиной 380 мм; *б* — встроенные в нишу оштукатуренной (3) стены толщиной менее 380 мм, каналы из шлакоалебастровых плит (2); *в* — вертикальные приставные каналы из шлакоалебастровых плит (2), пристроенные к внутренней стене (1), оштукатуренные снаружи (3); *г* — приставной горизонтальный канал из шлакоалебастровых плит (2), удерживаемый у потолка полосовой сталью (4)

Таблица 8

**Размеры и площади поперечных сечений приставных каналов из шлакогипсовых или шлакобетонных плит**

Размеры канала, мм		Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	Размеры канала, мм		Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	Размеры канала, мм		Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>
высота	ширина		высота	ширина		высота	ширина	
220	150	0,033	320	150	0,048	420	250	0,105
220	250	0,055	320	250	0,08	420	350	0,147
220	350	0,077	320	350	0,112	420	450	0,189
220	450	0,099	320	450	0,144	420	550	0,231
—	—	—	320	550	0,176	420	650	0,273
—	—	—	320	650	0,208	420	750	0,315
—	—	—	—	—	—	420	850	0,357
520	250	0,13	620	350	0,217	720	350	0,252
520	350	0,182	620	450	0,279	720	450	0,324
520	450	0,234	620	550	0,341	720	550	0,396
520	550	0,286	620	650	0,403	720	650	0,468
520	650	0,338	620	750	0,465	720	750	0,54
520	750	0,39	620	850	0,527	720	850	0,612
520	850	0,442	—	—	—	—	—	—
620	350	0,217	720	350	0,252	820	450	0,369
620	450	0,279	720	450	0,324	820	550	0,451
620	550	0,341	720	550	0,396	820	650	0,533
620	650	0,403	720	650	0,468	820	750	0,615

Размеры канала, мм		Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	Размеры канала, мм		Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	Размеры канала, мм		Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>
620	750	0,465	720	750	0,54	820	850	0,697
620	850	0,527	720	850	0,612	—	—	—
920	450	0,414	—	—	—	—	—	—
920	550	0,506	—	—	—	—	—	—
920	650	0,598	—	—	—	—	—	—
920	750	0,69	—	—	—	—	—	—
920	850	0,782	—	—	—	—	—	—

В малоэтажных зданиях до настоящего времени применяют вытяжные гравитационные системы со сборными горизонтальными коробами, расположенными на чердаке. В настоящее время их изготавливают из пеноглинистых или пеностеклянных плит. Эти плиты обладают должными теплозащитными свойствами, поэтому стенки выполняют одинарными (табл. 9).

Таблица 9

**Размеры горизонтальных сборных коробов из пеноглинистых или пеностеклянных плит**

Размер плит, мм	Сечение канала, мм	Площадь поперечного сечения канала, м <sup>2</sup>	Размер плит, мм	Сечение канала, мм	Площадь поперечного сечения канала, м <sup>2</sup>
600х600х62	200х310	0,062	800х800х62	300х610	0,183
	300х310	0,093		400х310	0,124
	300х410	0,123		400х410	0,164
	300х610	0,183		400х510	0,204
	400х310	0,124	800х800х62	400х610	0,244
	400х410	0,164		400х810	0,324
	400х610	0,244		600х310	0,186
	400х810	0,324		600х410	0,246
—	—	—	—	600х510	0,306
	—	—		600х610	0,366
	—	—		600х810	0,486
	—	—		—	—

Вытяжные шахты имеют различную конструкцию, в курсовых проектах размеры их поперечных сечений могут быть приняты кратными 50 мм.

## 5. ТРАССИРОВКА СЕТИ ВОЗДУХОВОДОВ, ВЫЧЕРЧИВАНИЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Из перечисленных выше разновидностей воздуховодов, каналов и фасонных частей конструируется сеть, по которой воздух либо подаётся в помещение через воздухораспределители, либо удаляется из него через вытяжные решётки или местные отсосы. Сети подлежат аэродинамическому расчёту, цель которого — определение размеров поперечного сечения воздуховодов и каналов, потерь давления в них. При этом необходимо соблюдать правила аэродинамической увязки с тем, чтобы максимально уменьшить потребность в регулировке самой сети после монтажа. Предпочтительный способ аэродинамической увязки — соответствующим подбором размеров поперечных сечений участков воздуховодов и аэродинамических сопротивлений вытяжных и приточных устройств.

Возможность должной степени аэродинамической увязки зависит от «трассировки» воздуховодов и каналов. Под трассировкой принято понимать размещение воздуховодов и каналов в объёме помещения и последовательность соединения друг с другом отдельных участков сети. Основной принцип трассировки состоит в обеспечении примерно одинаковой протяжённости участков воздуховодов, соединяемых параллельно.

Аэродинамический расчёт выполняется в соответствии с аксонометрической схемой, по которой определяются виды местных сопротивлений в сети.

Предварительно на планы наносятся технологическое оборудование, обслуживаемое местными отсосами, размещаются вытяжные вентиляторы и приточные камеры, воздуховоды, каналы. Прочее «невентилируемое» технологическое оборудование на сантехнические чертежи не наносится для повышения их читабельности. Затем вычерчивается аксонометрическая схема воздуховодов в соответствии с ГОСТ 21.602-2003. Пример подобной аксонометрической схемы представлены на рис. 15.

Согласно ГОСТ аксонометрическая схема вычерчивается под углом в  $45^\circ$ , при этом, в отличие от классической аксонометрии, изучаемой в курсе начертательной геометрии, все размеры вычерчиваются в масштабе 1:1. Причина отступления от канонических правил состоит в том, что по аксонометрии делается так называемая «выборка»: определяется

общая длина воздухопроводов одинакового диаметра или труб одинакового диаметра в системах отопления, которая закладывается в стоимость выполняемых работ.

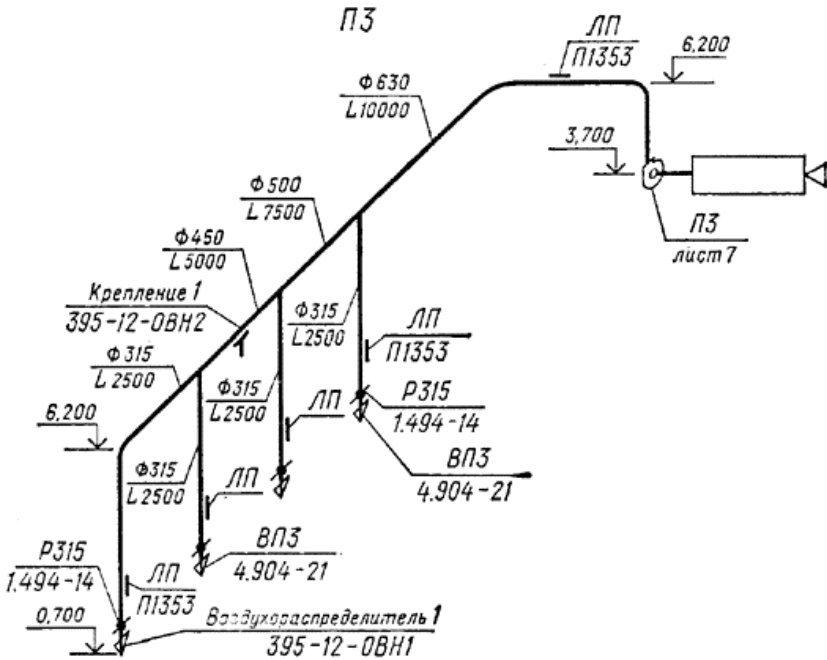


Рис. 15. Пример оформления аксонометрической схемы приточной вентиляционной системы

Если бы аксонометрия вычерчивалась по каноническим правилам, измеренную линейкой длину участков, вычерченных под углом в  $45^\circ$ , пришлось бы умножать на 2, что усложнило бы работу и привело бы к ошибкам.

Планы, разрезы и аксонометрические схемы следует вычерчивать с точностью до 0,1 мм.

Учебный проект отличается от производственного необходимостью проверки преподавателем правильность разбивки на участки, определения расчётных расходов на участках и т.д. По той же причине на схеме должны быть указаны номера участков. Для вентиляторов приточных и вытяжных камер следует указывать также марку и номер вентилятора,

расход, развиваемое давление, частоту вращения и КПД. В случае реального проекта характеристики работы вентилятора облегчат проведение наладочных работ.

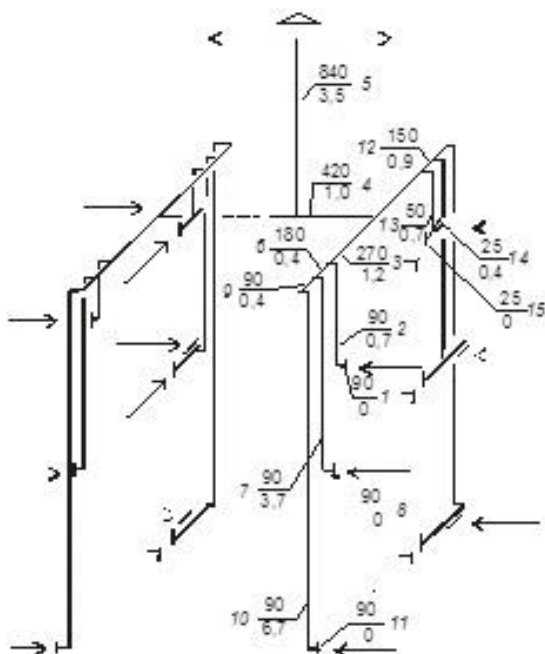


Рис. 16. Вариант оформления аксонометрической схемы вентиляционных каналов, вытяжной гравитационной системы

На рис. 16 представлен вариант оформления аксонометрической схемы вытяжной гравитационной системы. Система симметричная, поэтому расчёту подлежит лишь половина системы.



## 6. ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ ВОЗДУХОВОДОВ

В процессе обучения студенту приходится выполнять два курсовых проекта: «Вентиляция гражданского здания» и «Вентиляция и отопление производственного здания». В состав расчётов этих курсовых проектов входят аэродинамические расчёты:

- вытяжной канальной системы с гравитационным побуждением;
- вытяжной и приточной систем с механическим побуждением;
- аспирационной системы или системы пневмотранспорта.

Первые две системы рассчитываются по удельной потере на трение и потерям в местных сопротивлениях. Системы аспирации и пневмотранспорта рассчитываются способом динамических давлений, так как алгоритм расчёта предполагает решение прямой и обратной задач вентиляции. Кроме того, в расчётах этих систем есть некоторые принципиальные различия:

1) в системах с механическим побуждением диаметры и размеры поперечных сечений прямоугольных воздуховодов определяются по рекомендуемым скоростям, от которых в процессе увязки ответвлений можно и несколько отступить;

2) в случае расчёта гравитационных систем приходится сопротивление сети подбирать на изначально известную величину гравитационного давления (приведенные в пособии скорости в каналах и решётках имеют рекомендательное значение);

3) в системах аспирации и пневмотранспорта скорость на участках не может быть меньше некоторого определённого значения во избежание выпадения переносимой воздушным потоком примеси на дно воздуховода; это несколько изменяет последовательность расчёта относительно обычных вентиляционных систем с механическим побуждением. В системах пневмотранспорта приходится учитывать дополнительные потери давления на перенос дисперсной массы по уравнению И. Гастерштадта.

## 6.1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СПОСОБЕ РАСЧЁТА ПО УДЕЛЬНОЙ ПОТЕРЕ НА ТРЕНИЕ И ПОТЕРЯМ В МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЯХ

### Потери давления по длине прямолинейных участков

Основа расчётов потерь давления по длине на прямолинейном участке воздуховода с поперечным сечением произвольной формы — формула Вейсбаха:

$$\Delta p = \lambda \frac{\Pi}{4f} l \frac{v^2}{2} \rho, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — коэффициент трения;  $\Pi$  — периметр внутренней части поперечного сечения, м;  $f$  — площадь поперечного сечения воздуховода или канала, м<sup>2</sup>;  $l$  — длина прямолинейного участка, м;  $v$  — осреднённая по площади поперечного сечения воздуховода скорость, м/с;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Формула справедлива в случае, если по воздуховоду перемещается некоторый единый поток с неразрывным скоростным полем. Это условие не всегда соблюдается в щелевидном воздуховоде. Не рекомендуется применять к воздуховодам, соотношение сторон которых превышает 3.

Для круглых воздуховодов отношение:

$$\frac{\Pi}{4f} = \frac{\pi d \cdot 4}{4\pi d^2} = \frac{1}{d}.$$

Отсюда потери по длине круглого воздуховода равны:

$$\Delta p = \lambda \frac{1}{d} l \frac{v^2}{2} \rho. \quad (2)$$

Выражение получило название формулы Дарси.

Для прямоугольного воздуховода:

$$\frac{\Pi}{4f} = \frac{2(a+b)}{4ab} = \frac{a+b}{2ab}.$$

Для получения единообразия с формулой Дарси, выражение  $\frac{2ab}{a+b}$  приравнивали к некоторому условному диаметру. В вентиляционной технике оно известно как эквивалентный диаметр по скорости  $d_v$ :

$$d_v = \frac{2ab}{a+b},$$

тогда:

$$\Delta p = \lambda \frac{1}{d_v} \frac{v^2}{2} \rho. \quad (3)$$

Удельную потерю на трение получают несложным преобразованием формулы Дарси:

- в случае круглого воздуховода:

$$\Delta p = \left( \frac{\lambda}{d} \frac{v^2}{2} \rho \right) l = R_{\text{кругл}} l; \quad (4)$$

- в случае прямоугольного воздуховода:

$$\Delta p = \left( \frac{\lambda}{d_v} \frac{v^2}{2} \rho \right) l = R_{\text{прямоуг}} l. \quad (5)$$

Выражение в скобках формулы (4), равное удельной потере на трение  $R$  для круглых воздуховодов, Па/м. Применяется для составления расчётных таблиц.

РПотоки перемещающегося по воздуховодам воздуха турбулентны. Случаи переходного ламинарного течения практически не встречаются. Коэффициент трения в аэродинамических расчётах вентиляции принято вычислять по формуле А.Д. Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_s}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} \quad (6)$$

где  $k_s$  — эквивалентная шероховатость внутренней поверхности воздуховода, мм;  $d$  — диаметр воздуховода, мм;  $\text{Re}$  — число Рейнольдса.

$$\text{Re} = \frac{v d \rho}{\mu}, \quad (7)$$

где  $v$  — осреднённая по площади поперечного сечения воздуховода скорость воздушного потока, м/с;  $\mu$  — коэффициент динамической вязкости, Па·с;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Отношение  $\frac{\mu}{\rho}$  называется коэффициентом кинематической вязкости.

Величина коэффициента динамической вязкости, Па·с, может быть вычислена по преобразованной формуле Сутерланда:

$$\mu = \frac{395}{273} \cdot \frac{273+t}{395+t} \cdot \sqrt{\frac{273+t}{273}} \cdot 1,753 \cdot 10^{-5}. \quad (8)$$

### Потери в местных сопротивлениях

К местным сопротивлениям относятся фасонные элементы вентиляционных сетей, потери давления в которых практически не зависят от их размеров. Классическим примером местного сопротивления является диафрагма. Имея толщину (длину) менее миллиметра, она может создавать практически любые по величине потери давления. Причиной возникновения дополнительных к потерям на трение потерь давления в местных сопротивлениях являются процессы изменения структуры воздушных потоков вследствие слияния или разделения потоков (тройники, крестовины), изменения направления движения (отводы), дробление единого воздушного потока на мелкие по размеру струи (приточные решётки) и т.д. Местное сопротивление измеряется в долях от динамического давления на каком-либо прилежащем к местному сопротивлению участку воздуховода. Поэтому в справочных пособиях оговаривается к какому участку, следовательно, к какой скорости относится данное местное сопротивление, а коэффициент местного сопротивления является безразмерной величиной.

Потери в местных сопротивлениях, Па, вычисляются как:

$$Z = \zeta \frac{v^2}{2} \rho, \quad (9)$$

где  $\zeta$  — коэффициент местного сопротивления

Коэффициенты местного сопротивления определяются исключительно экспериментально, при этом измеряется полная потеря давления, включающая в себя и потери давления на трение в пределах фасонной части, являющейся источником местного сопротивления.

Общая потеря давления на участке сети, имеющем местные сопротивления:

$$\Delta p = Rl + Z. \quad (10)$$

В условиях ручного счёта в распоряжении проектировщика имеются только упомянутые выше таблицы, составленные для круглых стальных воздухопроводов с расчётной эквивалентной шероховатостью 0,1 мм. Необходимо уметь рассчитывать по ним все встречающиеся в практике случаи.

**Таблицы удельных потерь давления на преодоление сил трения R.  
Применение стандартных расчётных таблиц для условий,  
отличающихся от стандартных. Вычисление R  
с помощью компьютера**

Аэродинамический расчёт сетей вентиляционных воздухопроводов начали выполнять задолго до появления компьютеров. Для этой цели были составлены расчётные таблицы на условия:

- 1) барометрическое давление воздуха — 101325 Па (760 мм рт. ст.);
- 2) эквивалентная шероховатость стенки воздуховода (канала), мм — 0,1;
- 3) температура перемещаемого воздуха, °С — 20;
- 4) поперечное сечение воздуховода (канала) — круглое.

В практике вентиляции имеется значительное количество случаев отступления от стандартных для таблиц условий:

- поперечное сечение отличается от круглого;
- эквивалентная шероховатость отличается от 0,1 мм, а температура перемещаемого воздуха равна или незначительно отличается от 20 °С;
- температура воздуха существенно отличается от стандартного значения, но эквивалентная шероховатость равна или близка 0,1 мм;

- температура воздуха и эквивалентная шероховатость значительно отличаются от стандартных;
- нормативное значение барометрического давления отличается от стандартного.

Удельная потеря давления на трение для квадратных, стальных воздухопроводов определяется с помощью диаметра по скорости  $d_v$ .

**Правило:** чтобы найти значения удельной потери на трение прямоугольного или квадратного стального воздуховода по таблице или номограмме, составленной для круглых стальных воздухопроводов, необходимо определить  $R$  по эквивалентному диаметру  $d_v$  и фактической скорости в прямоугольном или квадратном воздуховоде, не принимая во внимание фактический расход воздуха.

Эквивалентные диаметры обычно имеют нестандартные размеры, что принуждает прибегать к интерполяции, увеличивая тем самым трудоёмкость работы.

В табл. 10 представлены значения эквивалентной шероховатости материалов, из которых изготавливаются воздухопроводы и вентиляционные каналы.

Таблица 10

**Эквивалентная шероховатость  $k_s$  стенок воздухопроводов из различных материалов**

<b>Материал стенки воздуховода или канала</b>	<b><math>k_s</math>, мм</b>
Листовая сталь	0,1
Винипласт	0,1
Асбестоцементные плиты и трубы	0,11
Фанера	0,12
Шлакоалебастровые плиты	1,0
Шлакобетонные плиты	1,5
Кирпичная кладка	4,0
Штукатурка по металлической сетке (сетка Рабитца)	10,0

В случае расчёта вытяжных гравитационных систем, по которым перемещается воздух с температурой, близкой к 20 °С, на табличное значение  $R$  вводится поправка на шероховатость стенок вентиляционных каналов согласно данных табл. 11.

Температурная поправка на табличное значение  $R$  при эквивалентной шероховатости, близкой к 0,1 мм, вводится согласно графику на рис. 17.

**Поправочные коэффициенты на шероховатость для различных материалов при перемещении по воздуховодам и каналам воздуха с температурой, близкой 20 °С**

v, м/с	β <sub>ш</sub> при k <sub>з</sub> , мм				v, м/с	β <sub>ш</sub> при k <sub>з</sub> , мм			
	1,0	1,5	4,0	10,0		1,0	1,5	4,0	10,0
0,2	1,005	1,007	1,019	1,047	6,5	1,118	1,171	1,362	1,639
0,4	1,009	1,014	1,038	1,089	7	1,126	1,180	1,379	1,663
0,6	1,014	1,021	1,055	1,126	7,5	1,133	1,19	1,396	1,687
0,8	1,018	1,027	1,072	1,16	8	1,139	1,199	1,411	1,709
1	1,022	1,034	1,087	1,191	8,5	1,146	1,208	1,426	1,730
1,2	1,026	1,04	1,102	1,219	9	1,152	1,216	1,441	1,751
1,4	1,031	1,046	1,117	1,246	9,5	1,159	1,224	1,454	1,770
1,6	1,035	1,052	1,130	1,27	10	1,165	1,232	1,468	1,789
2	1,043	1,064	1,156	1,316	10,5	1,171	1,240	1,480	1,807
2,5	1,052	1,072	1,186	1,366	11	1,176	1,248	1,493	1,824
3	1,061	1,092	1,213	1,411	11,5	1,182	1,255	1,505	1,841
3,5	1,070	1,104	1,239	1,452	12	1,188	1,262	1,516	1,857
4	1,079	1,116	1,263	1,489	12,5	1,193	1,269	1,528	1,872
4,5	1,087	1,128	1,285	1,523	13	1,198	1,276	1,539	1,887
5	1,096	1,139	1,306	1,555	13,5	1,204	1,283	1,549	1,902
5,5	1,103	1,15	1,326	1,585	14	1,209	1,289	1,559	1,916
6	1,111	1,161	1,345	1,612	14,5	1,214	1,296	1,569	1,929

Наружный воздух с низкими температурами обычно подаётся в приточные камеры по каналам, выполненным из неметаллических строительных материалов. Диапазон скоростей перемещаемого воздуха невелик: 2,5...3,5 м/с. Выбор столь невысоких скоростей определяется требованием обеспечения малого аэродинамического сопротивления воздушного тракта от решёток приточной шахты до утеплённых клапанов приточных камер, чтобы исключить взаимное влияние параллельно подключённых к общему коридору наружного воздуха нескольких приточных камер и кондиционеров. Если сопротивление каналов, перемещающих наружный воздух к приточным камерам, составляет заметную часть от напора приточных вентиляторов, то включение-выключение какой-либо из приточных камер может заметно влиять на производительность прочих продолжающих работать камер.

Если приточная камера имеет индивидуальную приточную шахту, скорость в приточном тракте может выбираться произвольно и ограничивается только технико-экономическими соображениями.

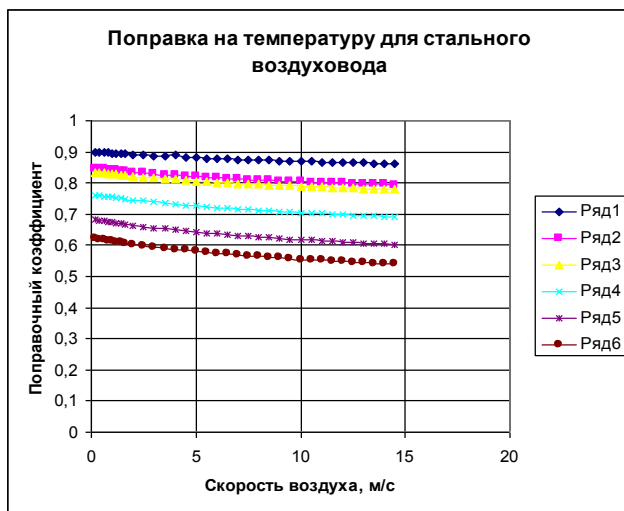


Рис. 17. Температурная ( $\beta_t$ ) поправка для удельной потери давления при движении по стальным воздуховодам газо-воздушной смеси от зонтов-козырьков промышленных печей:

ряд 1 — 50 °C; ряд 2 — 80 °C; ряд 3 — 100 °C; ряд 4 — 130 °C; ряд 5 — 200 °C;  
ряд 6 — 300 °C; ряд 7 — 400 °C

В табл. 12 представлены осреднённые значения общих поправочных коэффициентов для диапазона скоростей 2,5...3,5 м/с при различных температурах перемещаемого воздуха и эквивалентной шероховатости материалов стенок воздухопроводов и каналов.

Таблица 12

**Поправки  $\beta_{\text{общ}}$  для расчёта части вентиляционной сети приточной системы, подающей наружный воздух к приточным камерам для диапазона скоростей 2,5...3,5 м/с, и температур воздуха менее 20 °C**

Температура воздуха, °C	$\beta_{\text{общ}}$ при эквивалентной шероховатости, мм и скорости воздуха 2,5...3,5 м/с			
	1,0	1,5	4,0	10,0
+5	1,04...1,06	1,067...1,094	1,178...1,232	1,361...1,447
0	1,036...1,036	1,064...1,091	1,175...1,123	1,359...1,446
-5	1,032...1,052	1,06...1,086	1,172...1,227	1,357...1,445
-10	1,028...1,048	1,056...1,084	1,17...1,225	1,356...1,443
-15	1,024...1,044	1,052...1,081	1,167...1,222	1,354...1,442
-20	1,02...1,04	1,048...1,077	1,164...1,22	1,352...1,44



Температура воздуха, °С	$\beta_{\text{общ}}$ при эквивалентной шероховатости, мм и скорости воздуха 2,5...3,5 м/с			
	1,0	1,5	4,0	10,0
-25	1,016...1,037	1,045...1,074	1,161...1,218	1,35...1,439
-30	1,012...1,033	1,041...1,07	1,158...1,215	1,348...1,437
-35	1,007...1,029	1,037...1,066	1,156...1,213	1,347...1,436
-40	1,003...1,025	1,033...1,063	1,153...1,21	1,345...1,434
-45	0,999...1,01	1,029...1,059	1,15...1,208	1,343...1,433

Примечание: значение поправки, расположенное в левой части ячейки таблицы относится к скорости 2,5 м/с, в правой — 3,5 м/с

Наружный воздух к приточным камерам может подаваться через бетонную или кирпичную приточную шахту, далее по горизонтальному подземному каналу в здание. Этот канал может быть выполнен полностью из бетонных плит, а может иметь пол и перекрытие из бетонных плит, а стены кирпичные. В последнем случае следует применить средневзвешенное значение поправки, учитывающей наличие в канала поверхностей с различной шероховатостью:

$$\beta_{\text{общ}}^{\text{средн}} = \frac{\sum \beta_{\text{общ},i} l_i}{\Pi}, \quad (11)$$

где  $\beta_{\text{общ},i}$  — поправка для материала  $i$ -ой стенки;  $l_i$  — размер, м, этой стенки в поперечном сечении канала;  $\Pi$  — периметр поперечного сечения канала, м.

Изложенный выше материал показывает, сколь сложно определять удельную потерю на трение, пользуясь только стандартными расчётными таблицами.

Поскольку персональный компьютер получил массовое распространение, гораздо проще вычислять удельную потерю на трение с помощью несложной программы, составленной в вычислительной системе MathCAD. Любознательные студенты могут воспользоваться ею при выполнении курсового проекта для вычисления удельной потери на трение  $R$  и потери давления на трение в участке. Алгоритм успешно может быть реализован и с помощью табличного процессора (например, Excel).

*Пояснения к применению программы.* Программа составлена в версии MathCAD 2001, поэтому работает под всеми более поздними версиями. В раздел «Исходные данные» необходимо ввести данные: бараметрическое

давление, температуру, расход воздуха, а также диаметр или размеры поперечного сечения воздуховода.

Если воздуховод прямоугольный или квадратный, значение диаметра обязательно должно быть приравнено нулю, в противном случае произойдёт сбой в расчёте. Следует установить на свой компьютер любую версию MathCAD и ввести программу.

### Программа № 1. Определение удельной потери давления на трение в воздуховоде, Па/м, круглого или прямоугольного (квадратного сечения)

#### Исходные данные.

Расчётное барометрическое давление, гПа  $P_{\text{гПа}} := 950$   
 Температура перемещаемого воздуха, град.С  $t := 20$   
 Эквивалентная шероховатость стенки воздуховода, мм  $EkvSh := 0.1$   
 Расход воздуха, (куб. м)/ч  $L := 500$   
 Диаметр или поперечное сечение воздуховода, мм  $d := 0$   $A := 300$   $B := 350$

#### Результаты расчёта

Плотность воздуха, кг/куб.м  $\rho := \frac{0.3488 \cdot P_{\text{гПа}}}{273 + t}$

$v := \begin{cases} v \leftarrow \frac{L}{900 \cdot \pi \cdot (d \cdot 10^{-3})^2} & \text{if } d = 0 \\ \frac{L}{3600 \cdot (A \cdot B \cdot 10^{-6})} & \text{otherwise} \end{cases}$  Расчёт скорости, м/с, в воздуховоде или канале с целью определения приемлемости её величины.  
 $v = 1.323$

$R := \begin{cases} \mu \leftarrow \frac{395}{273} \cdot \frac{273 + t}{395 + t} \cdot \sqrt{\frac{273 + t}{273}} \cdot 1.753 \cdot 10^{-5} & \text{Динамическая вязкость, Па*с} \\ dv \leftarrow \begin{cases} d \cdot 10^{-3} & \text{if } d = 0 \\ \frac{2 \cdot A \cdot B}{A + B} \cdot 10^{-3} & \text{otherwise} \end{cases} & \text{Определение эквивалентного диаметра по скорости для вариантов круглого и прямоугольного сечений.} \\ Re \leftarrow \frac{v \cdot dv \cdot \rho}{\mu} & \text{Число Рейнольдса} \\ \lambda \leftarrow 0.11 \cdot \left( \frac{EkvSh \cdot 10^{-3}}{dv} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} & \text{Коэффициент трения по А. Д. Альтшулю} \\ R \leftarrow \frac{\lambda}{dv} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho & \text{Удельная потеря на трение, Па/м.} \end{cases}$   
 $R = 0.078$

Код программы не защищён, поэтому следует быть аккуратным при вводе исходных данных, чтобы не «стереть» переменную, в которую вводится численное значение. Если это произошло, можно вновь ввести переменную с прежним буквенным обозначением, и программа заработает.

Программа вычисляет два результата: скорость, по величине которой можно судить о приемлемости выбранных размеров поперечного сечения воздуховода, и удельную потерю на трение, которая непосредственно применяется в расчётах. Вычислительная система MathCAD многим студентам незнакома. Знания по этому вопросу можно приобрести или восполнить с помощью пособий, представленных в списке литературы. В то же время, она может быть реализована табличным процессором, например, Excel.

## 6.2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СПОСОБЕ РАСЧЁТА ВОЗДУХОВОДОВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЙ

Данный способ применяется преимущественно для аэродинамического расчёта систем пневмотранспорта, так как в процессе расчёта приходится решать как прямую, так и обратную задачи: сначала по заданной скорости и расходу определяется диаметр воздуховода, а затем на определённую величину давления подбирается вновь диаметр воздуховода. Наиболее рассматриваемый метод эффективен для расчёта систем с центральным сборником отходов, так в сети воздуховодов этих систем практически отсутствуют тройники и крестовины.

Основная расчётная формула получена преобразованием уравнения (10):

$$\Delta p = Rl + Z = \left( \frac{\lambda}{d} \frac{v^2}{2} \rho \right) l + \sum \zeta \frac{v^2}{2} \rho.$$

Выведа за пределы скобок динамическое давление, и, проведя преобразование, получим:

$$\Delta p = \left( \frac{\lambda}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2} \rho. \quad (12)$$

На рис. 18 представлена зависимость  $\frac{\lambda}{d}$  от скорости для стандартных воздуховодов диаметром от 100 до 224 мм.

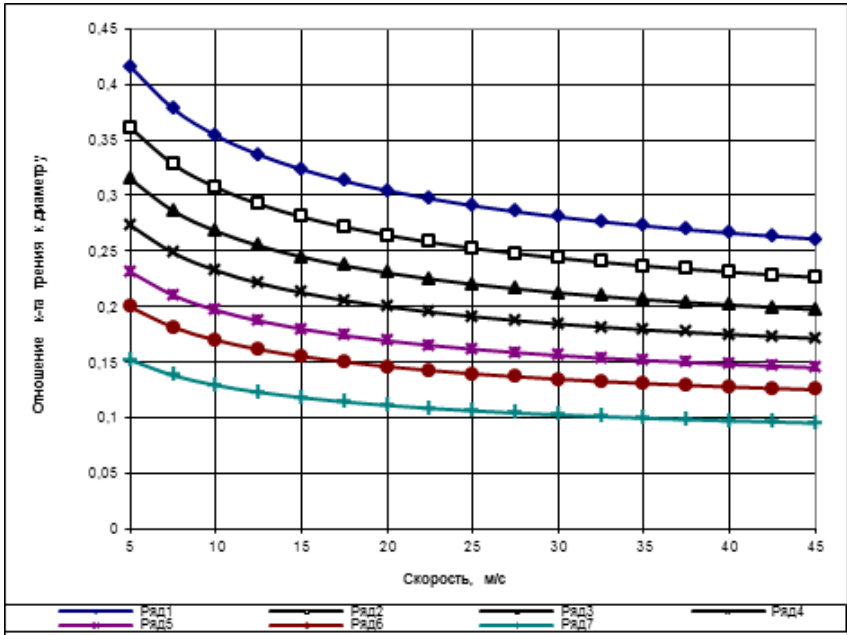


Рис. 18. Зависимость  $\frac{\lambda}{d}$  от скорости для воздуховодов диаметров

от 100 до 224 мм включительно:

ряд 1 — 100 мм; ряд 2 — 112 мм; ряд 3 — 125 мм; ряд 4 — 140 мм; ряд 5 — 160 мм;  
ряд 6 — 180 мм; ряд 7 — 224 мм

На рис. 19 представлена та же зависимость для стандартных диаметров воздуховодов 250...560 мм.

Коэффициенты местного сопротивления определяются по справочным данным.

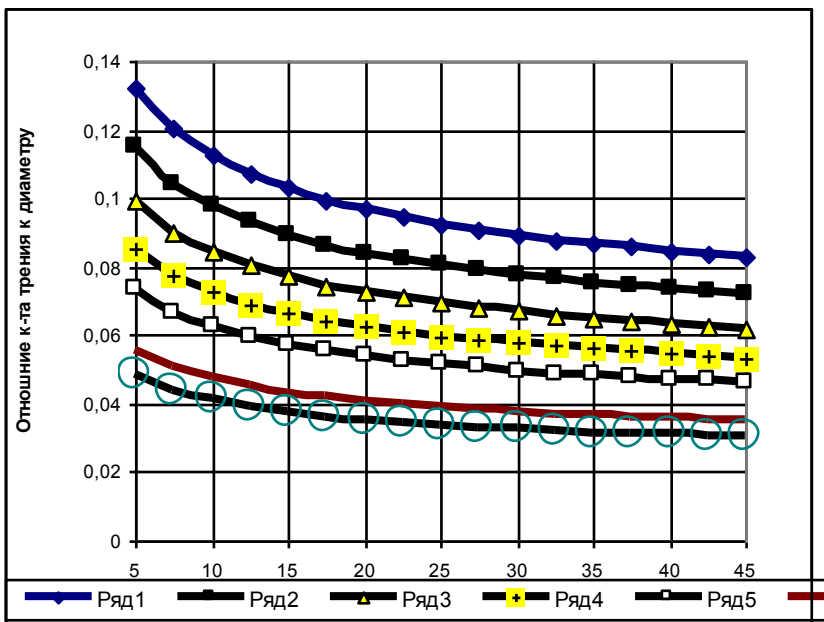


Рис. 19. Зависимость  $\frac{\lambda}{d}$  от скорости для воздуховодов диаметров от 250 до 560 мм включительно:  
 ряд 1 — 250 мм; ряд 2 — 280 мм; ряд 3 — 315 мм; ряд 4 — 355 мм;  
 ряд 5 — 400 мм; ряд 6 — 500 мм; ряд 7 — 560 мм

## 7. ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЁТА ГРАВИТАЦИОННЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Гравитационные системы принято рассчитывать на гравитационное давление, определяемое по формуле:

$$\Delta p_{\text{расч}} = gH(\rho_n - \rho_v), \quad (12)$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ ;  $H$  — разность отметок устья вытяжной шахты и центра вытяжной решётки,  $\text{м}$ ;  $\rho_n$  и  $\rho_v$  — плотность воздуха, соответственно, при наружной температуре и температуре воздуха помещения.

Из формулы (12) следует:

1. В многоэтажном здании гравитационное давление минимально для помещений последнего этажа и максимально для первого этажа здания.

2. Главное расчётное направление проходит через наиболее удалённую от вытяжной шахты вытяжную решётку последнего этажа здания.

Ветер оказывает воздействие на здание и работу гравитационных систем, но его действие в инженерном аэродинамическом расчёте не принято учитывать.

Расчётные температуры для расчёта гравитационного давления принимаются равными:

1) для жилых, общественных и административно-бытовых зданий: температура наружного воздуха  $+5$  °С, температура внутреннего воздуха для холодного периода года;

2) для отапливаемых производственных помещений: температура наружного воздуха переходного периода  $+10$  °С; температура внутреннего воздуха, расчётная для переходного периода.

3) для производственных помещений с теплоизбытками: температура наружного воздуха по параметрам А для тёплого периода года; температура внутреннего воздуха для тёплого периода года.

Производственные помещения без значительных теплоизбытков в тёплый период года оборудуются вытяжными системами вентиляции с дефлекторами, обеспечивающими расчётный воздухообмен при расчётной скорости ветра в тёплый период года  $1$   $\text{м/с}$ .

Задача аэродинамического расчёта состоит в подборе сечений каналов и диаметров каналов в вентиляционных панелях таким образом,

чтобы было израсходовано не менее 90 % расчётного давления, гравитационного или ветрового. Чтобы облегчить задачу подбора размеров поперечного сечения каналов, рекомендуются следующие скорости в вентиляционных каналах и вытяжных решётках:

- воздухоприёмные решётки 0,5...0,8 м/с;
- вертикальные каналы 0,5...1,0 м/с;
- горизонтальные сборные короба 0,7...0,9 м/с;
- вытяжные шахты 1,0...1,5 м/с.

Рекомендуемые скорости достаточно условны, они указывают примерные границы величин скоростей, которые позволяют уложиться в расчётное гравитационное давление, действительны для зданий, высота которых не превышает 10...12 этажей. В зданиях более высоких они могут быть существенно выше.

Ниже (табл. 13), для применения в расчётах курсового проекта, приводятся данные о решётках фирмы ПГС.

Таблица 13

**Живые сечения, м<sup>2</sup>, вытяжных жалюзийных решеток РС-Г фирмы «ПГС»**

Длина, мм	Высота, мм				
	75	125	225	325	425
РС-Г					
225	0,0075	0,016	0,0328	0,0496	0,0665
325	0,0109	0,0231	0,0474	0,0717	0,0961
425	0,0145	0,0307	0,0630	0,0953	0,1277
525	0,0181	0,0383	0,0786	0,1189	0,1593
625	0,0217	0,0459	0,0942	0,1245	0,1909
825	0,0289	0,0611	0,1254	0,1897	0,2541

Примечание: коэффициент местного сопротивления вытяжной жалюзийной решётки РС-Г — 2,3

**7.1. ВЫТЯЖНЫЕ КАНАЛЫ С ИНДИВИДУАЛЬНЫМ  
ВЫПУСКОМ ВОЗДУХА ПОД ЗОНТ**

Местные сопротивления в таком канале следующие:

1) сопротивление вытяжной решётки; часто коэффициент местного сопротивления жалюзийной решётки (в дальнейшем КМС) относится к скорости в живом сечении, поэтому потери в ней приходится вычислять отдельно;

2) поступивший в канал поток поворачивает на  $90^\circ$  с горизонтального направления на вертикальное, это местное сопротивление можно оценивать двояко, как:

- «вход в первое одностороннее боковое отверстие»;
- «колено  $90^\circ$ ».

Данные КМС «Первое одностороннее боковое отверстие» имеет ограничение по соотношению площади собственно отверстия и поперечного сечения канала, поэтому здесь и указаны возможные варианты выбора КМС;

3) «зонт».

Зная сумму КМС канала, методом попыток подбирается сечение канала. Вариантов выбора сечений канала немного, поэтому окончательная увязка достигается правильным подбором жалюзийной решётки. При пользовании расчётными таблицами на табличное значение удельной потери на трение вводится поправка на шероховатость.

## **7.2. ВЫТЯЖНАЯ СИСТЕМА С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ (В ТОЛЩЕ СТЕН ИЛИ ПРИСТАВНЫМИ) И ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СБОРНЫМ КОРОБОМ**

Вентиляционные системы с гравитационным побуждением, в отличие от систем с вентиляторами, после монтажа не налаживаются. Причина тому, расчётные параметры наружного воздуха и воздуха помещения наблюдаются в течение года незначительное количество часов и в разное время суток, включая и ночное время. Поэтому расчёт этих систем с аэродинамической увязкой ответвлений должен выполняться особенно тщательно. Большое значение для выполнения этого требования имеет правильная трассировка каналов. В технической литературе обычно указывается радиус действия этих систем по горизонтали 6 м. Это условие можно выполнить, если все каналы последнего этажа находятся в непосредственной близости от вытяжной шахты. Следует избегать изменений поперечного сечения в горизонтальном сборном коробе, так это резко увеличивает трудоёмкость монтажа. В системах небольшой горизонтальной протяжённости следует сборный короб выполнять одного сечения.

Расчёт следует начинать с главного расчётного направления. Главным расчётным направлением в гравитационных системах является кратчайшее направление движения воздуха от вытяжной решётки по-



следнего этажа, наиболее удалённой от вытяжной шахты, до устья вытяжной шахты. Запас давления на неучтённые аэродинамические сопротивления должен не превышать 10 %.

После расчёта главного расчётного направления производится расчёт прочих ответвлений. Расчётная потеря на каждом ответвлении должно быть равно сумме потерь давления на участке магистрали, параллельной рассчитываемому ответвлению плюс разница в гравитационных давлениях главного расчётного направления и рассчитываемого участка.

Аэродинамическая увязка достигается не только подбором сечения канала, но и выбором решётки с должным КМС.

Каналы во внутренних кирпичных стенах не являются плотными, хотя по техническим условиям при возведении здания внутренняя поверхность вентиляционных каналов, с целью повышения плотности, должна затираться строительным раствором. Несмотря на это, вследствие малой величины аэродинамических потерь, никаких надбавок на присосы или утечки воздуха, в случае использования этих каналов для подачи притока, делать не принято. При пользовании расчётными таблицами на табличное значение удельной потери на трение вводится поправка на шероховатость. Пример расчёта подобной системы содержится в [1].

### **7.3. ВЫТЯЖНАЯ СИСТЕМА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ СБОРНЫМ КАНАЛОМ И ОТВЕТВЛЕНИЯМИ, ОТФОРМОВАННЫМИ В ТОЛЩЕ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ ПАНЕЛИ**

Подобные системы применяются в многоэтажных зданиях массовой застройки с регулярной планировкой этажей: жилых зданиях, гостиницах и некоторых видах общественных и административных зданий. Они удобны в монтаже, но весьма неудобны для аэродинамического расчёта. Причина в том, что на протяжении многих этажей сечения вертикального сборного короба и ответвлений не изменяются, поэтому аэродинамическая увязка осуществляется соответствующим подбором вытяжных решёток, что удаётся делать на протяжении ограниченного количества этажей.

Начинать расчёт следует с индивидуального вентиляционного канала последнего этажа, так как именно он определит требуемую минимальную высоту вытяжной шахты, отметка устья которой принимается общей для всех прочих каналов.

Возможности расчёта этих систем ограничены недостаточным диапазоном значений КМС тройников, для которых отношение  $\frac{L_{\text{отв}}}{L_{\text{ствол}}}$  ограничены диапазоном от 0,1...1, что позволяет рассчитывать вентиляцию зданий не более 13 этажей, при этом последние три этажа должны вентилироваться самостоятельными каналами с индивидуальным выпуском воздуха в атмосферу. Как показывают расчёты, даже в зданиях 13-ти этажных обойтись вентиляционной панелью одного типоразмера не удаётся для обеспечения аэродинамической увязки ответвлений всех этажей. В одном здании приходится применять вентиляционные панели различных типоразмеров. Подробный пример расчёта такой системы приведен в [1]. Надбавок на присосы в процессе аэродинамического расчёта каналов не принято делать. Однако в технической литературе их наличие признаётся. В частности, при расчёте гравитационных вытяжных систем с «тёплым» чердаком вытяжная шахта подбирается на расчётный расход.

При пользовании расчётными таблицами на табличное значение удельной потери на трение вводится поправка на шероховатость.

#### 7.4. ВЫТЯЖНАЯ СИСТЕМА С ДЕФЛЕКТОРОМ

В курсовом проекте подобные системы не встречаются, но могут иметь место при дипломном проектировании. Дефлекторы [2] применяются для вентиляции помещений без теплоизбытков в тёплый период года. Это могут быть складские помещения для хранения химикатов различного назначения, средств бытовой химии и т.д. Нормами определяется воздухообмен в подобных помещениях. При расчётной скорости ветра 1 м/с, скорость воздуха в патрубке дефлектора принимается равной 0,2...0,4 м/с. Динамическое давление ветра  $v$  при скорости 1 м/с численно равно  $0,5v^2\rho$  Па. По графику рис. 20 для выбранной скорости в патрубке определяется отношение разрежения в дефлекторе  $R_{\text{дефл}}$  к динамическому давлению ветра  $R_{\text{ветра}}$  и разрежение, создаваемое дефлектором, которое расходуется на преодоление аэродинамического сопротивления воздуховода, присоединённого к дефлектору. Общая площадь поперечных сечений патрубка, необходимых для обеспечения требуемого воздухообмена, определяется как:

$$\sum F_{\text{дефл}} = \frac{L}{3600v_{\text{дефл}}} . \quad (13)$$

Количество дефлекторов определяется как частное от деления общей потребной площади дефлекторов для данного помещения на площадь поперечного сечения патрубка дефлектора определённого типоразмера.

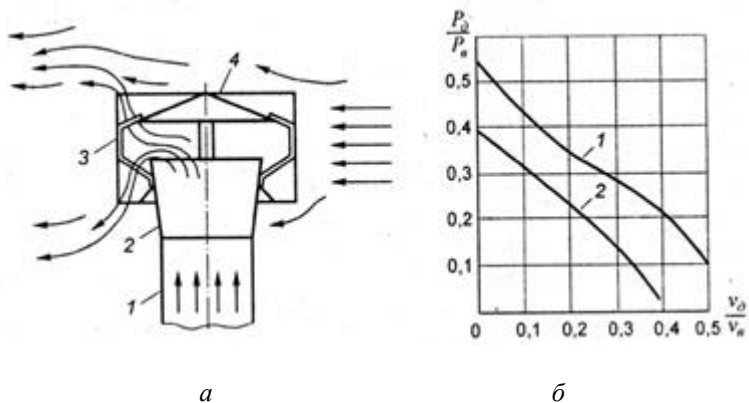


Рис. 20. Дефлектор ЦАГИ и график для его подбора:  
*a* — схема дефлектора ЦАГИ: 1 — вытяжная шахта; 2 — корпус дефлектора (диффузор); 3 — ветроотбойное кольцо; 4 — зонт;  
*б* — график для определения разрежения, создаваемого дефлектором:  
 1 — для дефлектора круглого сечения; 2 — для дефлектора квадратного сечения

## **8. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПОБУЖДЕНИЕМ**

### **8.1. ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА С МЕХАНИЧЕСКИМ ПОБУЖДЕНИЕМ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРИСТАВНЫМИ ИЛИ КАНАЛАМИ В ТОЛЩЕ СТЕН И ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СБОРНЫМ КОРОБОМ**

Такие системы характерны для общественных зданий. Неметаллические каналы, особенно каналы, проложенные в толще стен, обладают, как правило, меньшей плотностью по сравнению со стальными воздуховодами. С целью уменьшения присосов потери давления в них не должны быть большими и должны быть сопоставимы с гравитационным давлением. Часто они располагаются рядом, поэтому расстояния между осями двух рядом расположенных каналов незначительно:

1) у расположенных рядом каналов 140x140 мм составляет  $70 + 125 + 70 = 265$  мм;

2) расположенных рядом каналов 140x140 мм и 140x270 мм равно  $70 + 125 + 135 = 330$  мм;

3) расположенных рядом каналов 270x270 мм составляет  $135 + 125 + 135 = 395$  мм.

Подобным же образом, с учётом толщины плит, вычисляются расстояния между осями рядом расположенных приставных каналов.

При столь незначительных расстояниях между осями вертикальных каналов аэродинамическая увязка ответвлений обеспечивается в значительной степени правильной трассировкой каналов. В рассматриваемых системах каналы, обслуживающие помещения последних этажей здания, должны быть самыми удалёнными от вентилятора. В этом случае даже при столь незначительных расстояниях между соседними каналами местные сопротивления тройников могут обеспечить приемлемую степень аэродинамической увязки каналов. Системе свойственно неприятное свойство перетекания загрязнённого воздуха из помещений нижележащих этажей в помещения верхних этажей. Этот недостаток можно ослабить выбором определённых соотношений между сечениями сборного горизонтального короба и присоединённых к нему вертикальных каналов. Подробнее по этому вопросу см. [1].

Температура удаляемого воздуха в этих системах близка к 20 °С, поэтому при пользовании расчётными таблицами в удельную потерю на трение вводится поправка на шероховатость.

## **8.2. ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА С МЕХАНИЧЕСКИМ ПОБУЖДЕНИЕМ И МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВОЗДУХОВОДАМИ КРУТЛОГО ИЛИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ**

Принципиальное отличие расчёта подобных систем от расчёта гравитационных состоит в том, что эксгаустер (вентилятор) можно подобрать на «любую» потерю давления в сети. Существуют рекомендуемые скорости, которых следует придерживаться: воздуховоды гражданских зданий — 4...12 м/с, воздуховоды производственных помещений — 6...14 м/с.

Эти диапазоны скоростей применяются без изменения более полувека. Столь длительная их живучесть свидетельствует о следующем:

1. Скорости обеспечивают приемлемые для России размеры диаметров и поперечных сечений воздуховодов, а также приемлемую степень заполнения объёма здания воздуховодами.

2. Для подавляющего большинства вентиляционных систем они обеспечивают потери давления в сетях, которые могут компенсировать выпускаемые серийно в больших количествах относительно дешёвые вентиляторы низкого и среднего давления.

На Западе, где стоимость 1 м<sup>3</sup> объёма помещения высока, применяют так называемые высоконапорные вентиляционные системы со скоростями воздуха порядка 20...25 м/с.

Как и в предыдущих случаях, правильная трассировка значительно облегчает аэродинамическую увязку ответвлений. Следует соединять участки друг с другом таким образом, чтобы отдельные ветви вентиляционной сети имели примерно одинаковую длину, сеть воздуховодов должна быть разветвлённой. Представленная на рис. 15 аксонометрическая схема воздуховодов относится к так называемым линейным схемам, где приточные или вытяжные стояки соединяются друг с другом последовательно. На ближайшем к вентилятору стояке следует израсходовать аэродинамические потери самого удалённого от вентилятора стояка плюс сумму потерь всех горизонтальных участков, расположенных до последнего стояка. Разветвлённую сеть можно получить, присоединив

транзитный, направляющий в вентилятор воздух воздуховод к точке «Крепление 1». Но создать разветвлённую сеть не всегда удаётся по конструктивным соображениям.

Расчёты аэродинамических сопротивлений предваряет выбор главного расчётного направления. *Главным расчётным направлением называется кратчайшее по сети воздуховодов направление движения воздуха от наиболее удалённой от вентилятора вытяжной решётки или местного отсоса до вентилятора.* Потеря давления по главному расчётному направлению плюс потери давления в выхлопном воздуховоде после вентилятора с 10 % добавкой на неучтённые аэродинамические потери являются расчётными потерями давления, на которые подбирается вентилятор. В случае применения воздуховодов прямоугольного сечения при пользовании расчётными таблицами удельную потерю давления получают с помощью эквивалентного диаметра по скорости.

Аэродинамическая увязка ответвлений с магистралью главного расчётного направления производится обычным порядком. Если главное расчётное направление выбрано верно, то по мере приближения к вентилятору скорости в ответвлениях должны возрастать. Если главное расчётное направление выбрано неверно, диаметры или сечения воздуховодов с целью аэродинамической увязки придётся принимать несколько завышенными, что признаётся допустимым.

На расчётный расход при подборе вентилятора тоже принято делать надбавку в 10 %. В [11] даны нормы для определения присосов или утечек для стальных воздуховодов, с помощью которых объём присосов или утечек может быть вычислен более точно.

Как правило, увязать аэродинамически все ответвления путём правильного подбора диаметров с должной степенью увязки не удаётся. Это достигается установкой на ответвлениях диафрагм.

### **8.3. ПРИТОЧНАЯ СИСТЕМА С МЕХАНИЧЕСКИМ ПОБУЖДЕНИЕМ**

Как правило, приточные системы устраивают с механическим побуждением, хотя существуют приточные системы и с естественным побуждением, например в храмах.

Приточная система состоит из двух частей: тракта приточного наружного воздуха, температура которого в холодный период года значительно отличается от стандартной температуры в 20 °С и сети воздуховодов с приточным воздухом, температура которого от стандартной

температуры в 20 °С отличается незначительно. Поэтому и аэродинамический расчёт потерь в этих частях системы выполняется по-разному. На удельную потерю на трение приточного тракта вводится общая поправка, учитывающая шероховатость и температуру. При расчёте тракта наружного воздуха в удельную потерю на трение вводится поправка на шероховатость и температуру приточного воздуха (табл. 12). Аэродинамический расчёт сети приточных воздуховодов производится в той же последовательности, что расчёт воздуховодов вытяжной системы. Дополнительные потери имеют место в самой приточной камере: в утеплённом клапане, в фильтре, в калорифере. Эти виды потерь давления суммируются с аэродинамическими потерями в сети воздуховодов, на сумму вводится запас в размере 10 %. Полученная величина аэродинамических потерь должна быть преодолена вентилятором. Расчётный расход для подбора вентилятора равен сумме расчётных расходов системы плюс утечки вследствие недостаточной плотности воздуховодов.

#### **8.4. СИСТЕМА ПНЕВМОТРАНСПОРТА И АСПИРАЦИИ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ СБОРНИКОМ ОТХОДОВ**

Особенность транспортирования древесных отходов состоит в том, что каждый деревообрабатывающий станок производит отходы различной степени дисперсности, поэтому для каждого станка существует минимальная скорость транспортирования, обеспечивающая транспортирование отходов без их выпадения из воздушного потока. Транспортировать отходы с меньшей скоростью нельзя. На расчёт влияет способ присоединения вентилятора к сети и циклону.

Вариант 1. Транзитный воздуховод присоединяется к всасывающему отверстию вентилятора, а напорный воздуховод от выхлопного отверстия вентилятора к входному патрубку циклона (рис. 21). В этом случае древесные отходы проходят через вентилятор, и он должен быть пылевым.

Вариант 2. Транзитный воздуховод присоединяется к входному патрубку циклона. Выхлопная труба циклона, из которой в воздуховод поступает уже очищенный воздух, присоединяется к всасывающему отверстию вентилятора и далее, пройдя через вентилятор, очищенный воздух подаётся в напорную выхлопную трубу. Вентилятор, работающий на очищенном воздухе, может быть в обычном исполнении.

Первым этапом расчёта является определение расчётной потери давления для всех ответвлений к станкам, присоединённых к центральному сборнику отходов.

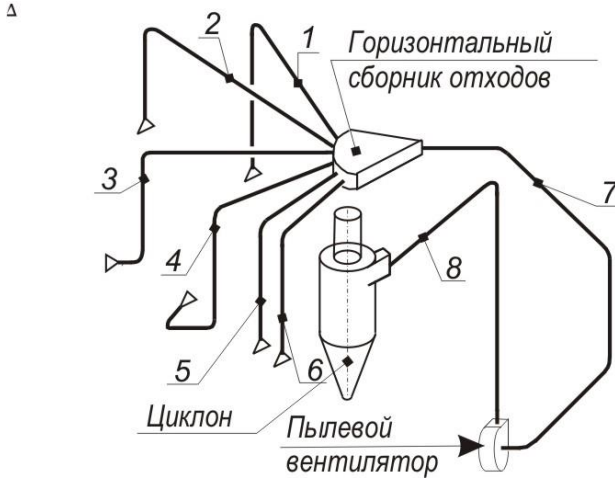


Рис. 21. Принципиальная схема системы пневмотранспорта с центральным сборником отходов:

- станки: 1 — круглопильный; 2 — фуговальный; 3 — шлифовальный;  
 4 — шипорезный; 5 — полировальный; 6 — напольный отсос;  
 воздуховоды: 7 — воздуховод от сборника отходов до вентилятора;  
 8 — воздуховод от вентилятора до циклона

Определяется требуемый диаметр воздуховода из условия обеспечения минимально-допустимой скорости:

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{L}{900\pi v_{\text{доп}}^{\text{мин}}}}, \quad (14)$$

где  $L$  — расход воздуха в воздуховоде ответвления к станку,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $v_{\text{доп}}^{\text{мин}}$  — минимально-допустимая скорость в ответвлении,  $\text{м}/\text{с}$ .

Как правило, этот диаметр не является стандартным, поэтому принимается ближайший меньший стандартный диаметр  $d_{\text{ст}}$ , чтобы обеспечить фактическую скорость в ответвлении несколько большую минимально-допустимой, и вычисляется фактическая скорость в воздуховоде как:

$$v_{\text{факт}} = \frac{L}{900\pi d_{\text{ст}}^2}. \quad (15)$$



Зная диаметр и фактическую скорость по графикам рис. 18 или 19 определяем значение  $\frac{\lambda}{d}$  и вычисляем потери давления на ответвлении как:

$$\Delta p = \left( \frac{\lambda}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v_{\text{фак}}^2}{2} \rho. \quad (16)$$

Рассчитав потери давления во всех ответвлениях, присоединённых к сборнику отходов, в качестве расчётного принимаем максимальное значение, после чего пересчитываем диаметры всех ответвлений кроме одного, с максимальными потерями, на новое значение потерь давления.

Сначала следует вычислить скорость, обеспечивающую расчётные потери давления. Сумма КМС ответвления не изменяется, так как тройников в подобных системах практически не бывает. Однако величина  $\frac{\lambda}{d}$  изменится, и величина её заведомо не известна. Поэтому расчёт приходится проводить методом попыток. В качестве первоначального приближения можно принять величину  $\frac{\lambda}{d}$  той же, что и при определении фактических потерь давления. Тогда предварительное значение скорости в воздуховоде определится как:

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p_{\text{расч}}}{\left( \frac{\lambda}{d} + \sum \zeta \right) \rho}}, \quad (17)$$

а диаметр можно вычислить по формуле (14).

Приняв стандартную величину диаметра, несколько меньшую полученного значения, определяем фактическую скорость в принятом воздуховоде стандартного диаметра по формуле (15). Теперь уточняется величина  $\frac{\lambda}{d}$  по принятому диаметру воздуховода ответвления и фактической скорости в нём. Расчёт приходится повторить несколько раз до достижения совпадения диаметров ответвления, полученного в предыдущем расчёте и после очередного уточнения величины  $\frac{\lambda}{d}$ .

Трудоёмкость аэродинамического расчёта систем пневмотранспорта с центральным сборником отходов может быть существенно уменьшена, если воспользоваться двумя несложными программами, приведенными ниже.

**Программа № 2. Подбор стандартного диаметра круглого воздуховода и определение потерь давления в нём при требуемых величинах расхода и минимально-допустимой скорости, протяженности и сумме коэффициентов местных сопротивлений**

Исходные данные.

Расчётное барометрическое давление, гПа  $B_{gPa} := 950$

Температура перемещаемого воздуха  $t := 20$

Абсолютная шероховатость, мм  $AbsSch := 0.1$

Расчётный расход воздуха, куб. м/час  $L := 5087$

Величина минимально-допустимой скорости, м/с:  $v := 19$

Длина участка, м  $Dl := 17.3$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений участка.  $\Sigma \zeta := 2.25$

Расчёт

Плотность воздуха, кг/куб.м  $\rho := \frac{0.348 \cdot B_{gPa}}{273 + t}$

Коэффициент кинематической вязкости, м кв. /с

$$KtKinWяз := \frac{395}{273} \cdot \frac{273 + t}{395 + t} \cdot \sqrt{\frac{273 + t}{273}} \cdot 1.753 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{\rho}$$

Примечание. Величина диаметра воздуховода выводится в мм.

$$d1 := \sqrt{\frac{L}{900 \cdot v \cdot \left( \frac{354.9999}{112.9999} \right)}}$$

$$d := 1000 \cdot d1$$

$$d = 307.721$$

$$Rlz := \left| \begin{array}{l} Re \leftarrow \frac{v \cdot d1}{KtKinWяз} \\ \lambda \leftarrow 0.11 \cdot \left( \frac{AbsSch}{d1 \cdot 1000} + \frac{68}{Re} \right)^{\frac{1}{4}} \\ Rlz \leftarrow \left( \frac{\lambda}{d1} \cdot Dl + \Sigma \zeta \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \end{array} \right. \quad Rlz = 649.536$$

ГОСТ 24751-91 устанавливает следующие величины стандартных диаметров воздуховодов круглого сечения: 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500.

Принимаем ближайший меньший стандартный диаметр 280 мм<sub>ст</sub> := 0.28

Фактические потери давления в ответвлении, Па

$$\begin{aligned}
 \text{RizSt} & \left\{ \begin{aligned}
 \text{vst} & \leftarrow \frac{L}{900 \cdot \pi \cdot \text{dst}^2} \\
 \text{Ra} & \leftarrow \frac{\text{vst} \cdot \text{dst}}{\text{KtKinWyaz}} \\
 \lambda & \leftarrow 0.11 \cdot \left( \frac{\text{AbsSch}}{\text{dst} \cdot 1000} + \frac{68}{\text{Ra}} \right)^{\frac{1}{4}} \\
 \text{RizSt} & \leftarrow \left( \frac{\lambda}{\text{dst}} \cdot \text{Dl} + \Sigma \zeta \right) \cdot \frac{\text{vst}^2}{2} \cdot \rho
 \end{aligned} \right. \quad \text{RizSt} = 977.219
 \end{aligned}$$

Программа № 3 позволяет подобрать диаметры воздуховодов, обеспечивающих требуемую потерю давления. Определяет потери давления для принятого стандартного диаметра воздуховода ответвления. Может применяться для расчёта транзитного воздуховода системы.

### Программа № 3. Подбор стандартного диаметра круглого воздуховода на требуемые величины расхода и потерь давления при известных протяжённости и сумме коэффициентов местных сопротивлений

Исходные данные.

Расчётное барометрическое давление, гПа  $\text{B}_{\text{гПа}} := 950$

Температура перемещаемого воздуха  $t := 20$

Абсолютная шероховатость, мм  $\text{AbsSch} := 0.1$

Расчётный расход воздуха, куб. м/час  $L := 5087$

Величина давления, на которое подбирается диаметр воздуховода, Па<sub>Дат1</sub> := 1110

Длина участка, м  $\text{Dl} := 17.3$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений участка.  $\Sigma \zeta := 2.25$

Расчёт

Плотность воздуха, кг/куб.м  $\rho := \frac{0.3488 \text{ B}_{\text{гПа}}}{273 + t}$

Коэффициент кинематической вязкости, м кв. /с

$\text{KtKinWyaz} := \frac{395}{273} \cdot \frac{273 + t}{395 + t} \cdot \sqrt{\frac{273 + t}{273}} \cdot 1.753 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{\rho}$

Примечание. Величина диаметра воздуховода выводится в мм.

```

d := d ← 1
while d > 0.5
  v ←  $\frac{L}{900 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{1000}\right)^2}$ 
  Re ←  $\frac{v \cdot \left(\frac{d}{1000}\right)}{KtKinWyaz}$ 
  λ ←  $0.11 \cdot \left(\frac{AbsSch}{d} + \frac{68}{Re}\right)^{\frac{1}{4}}$ 
  Rlz ←  $\left(\frac{\lambda \cdot 1000}{d} \cdot Dl + \Sigma \zeta\right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho$ 
  return d if  $\frac{(Rlz - Dawl) \cdot 100}{Dawl} < 0.1$ 
  d ← d + 0.1

```

ГОСТ 24751-91 устанавливает следующие величины стандартных диаметров воздуховодов круглого сечения: 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2240, 2500

Принимаем ближайший меньший стандартный диаметр 250 мм. dst := 250

Вычисляем фактические потери давления в ответвлении, Pa

```

RlzSt := vst ←  $\frac{L}{900 \cdot \pi \cdot \left(\frac{dst}{1000}\right)^2}$ 
  Re ←  $\frac{vst \cdot \left(\frac{dst}{1000}\right)}{KtKinWyaz}$ 
  λ ←  $0.11 \cdot \left(\frac{AbsSch}{dst} + \frac{68}{Re}\right)^{\frac{1}{4}}$ 
  RlzSt ←  $\left(\frac{\lambda \cdot 1000}{dst} \cdot Dl + \Sigma \zeta\right) \cdot \frac{vst^2}{2} \cdot \rho$ 

```

Программа № 3 состоит из двух блоков:

1. Блок, методом последовательного приближения определяющий необходимый нестандартный диаметр воздуховода, который обеспечит расчётные потери давления в ответвлении.

Применение нестандартных диаметров в вентиляции и пневмотранспорте запрещено, поэтому нестандартный диаметр заменяется на

ближайший стандартный диаметр, для которого определяются потери давления в ответвлении.

2. Блок, вычисляющий фактические потери давления в этом же ответвлении для принятого стандартного диаметра воздуховода.

Транспортировка примеси приводит к дополнительному увеличению потерь давления. Расчёт потерь давления при транспортировке древесных отходов рассчитывается по формуле И. Гастерштадта:

$$\Delta p_{\text{смеси}} = \Delta p(1 + K\mu), \quad (18)$$

где  $\Delta p_{\text{смеси}}$  и  $\Delta p$  — соответственно, потери давления на участке при транспортировании воздушным потоком древесных отходов и потери давления на том же участке чистого воздуха с той же скоростью;  $\mu$  — расчётная массовая концентрация древесных отходов воздушном потоке, кг/кг;  $K$  — опытный коэффициент сопротивления аэросмеси, или «коэффициент Гастерштадта», который вычисляется по формуле (19) [1, формула 23.13]:

$$K = K_m \sqrt{\frac{d}{0,3}}, \quad (19)$$

где  $d$  — диаметр воздуховода, м.

Значения коэффициента  $K_m$ : опилки — 0,82, стружка — 0,78, технологическая щепка — 0,7, измельчённая кора — 0,8.

Общая потеря давления системе пневмотранспорта древесных отходов с центральным сборником отходов рассчитывается по-разному, в зависимости от схемы присоединения вентилятора к сети воздухопроводов и циклону.

Возможны два варианта компоновки сети воздухопроводов, вентилятора и циклона.

Определение расчётной потери давления в случае присоединения вентилятора к сети воздухопроводов и циклону по варианту 1.

Расчётная потеря давления в сети равна сумме потерь:

- 1) в ответвлении с максимальными потерями;
- 2) в транзитном воздуховоде до вентилятора;
- 3) потеря давления в воздуховоде от вентилятора до приточного патрубка циклона.

В случае 1-го варианта по всем перечисленным участкам сети воздухопроводов перемещается воздух с примесями в виде древесных отходов.

$$\Delta p_{\text{сест}} = 1,1[\Delta p_{\text{отв}}(1 + K_{\text{отв}}\mu) + \Delta p_{\text{транзит}}(1 + K_{\text{транзит}}\mu) + \Delta p_{\text{вент-циклон}}(1 + K_{\text{вент-циклон}}\mu)], \quad (20)$$

где  $\Delta p_{\text{отв}}$  — расчётное значение потерь давления в ответвлениях, присоединённых к центральному сборнику отходов;  $\Delta p_{\text{транзит}}$  — потери давления в транзитном воздуховоде;  $\Delta p_{\text{вент-циклон}}$  — потери давления в воздуховоде, соединяющем вентилятор и циклон;  $\mu$  — расчётная осреднённая массовая концентрация дисперсного материала в воздуховодах системы пневмотранспорта;  $K_{\text{отв}}$ ;  $K_{\text{транзит}}$ ;  $K_{\text{вент-циклон}}$  — экспериментальные коэффициенты для ответвлений, транзитного и воздуховода между вентилятором и циклоном.

В системах пневмотранспорта с местными отсосами деревообрабатывающих станков массовая концентрация находится в пределах 0,1...0,2 кг/кг.

Определение потери давления в случае присоединения вентилятора к сети воздухопроводов и циклону по варианту 2.

Расчётная потеря давления по варианту 2 равна сумме потерь:

- в ответвлении к местному отсосу с максимальной потерей давления;
- в транзитном воздуховоде до циклона;
- в воздуховоде от выхлопной трубы циклона к всасывающему отверстию вентилятора;
- в напорном воздуховоде от выхлопного отверстия вентилятора до зонта.

Воздуховоды от циклона к вентилятору и выхлопной перемещают очищенный воздух.

$$\Delta p_{\text{сети}} = 1,1[\Delta p_{\text{отв}}(1 + K_{\text{отв}}\mu) + \Delta p_{\text{транзит}}(1 + K_{\text{транзит}}\mu) + \Delta p_{\text{циклон-вент}} + \Delta p_{\text{выхлоп}}]. \quad (21)$$

Дополнительный расход вследствие присосов оценивается часто в 15 %, но может быть вычислен более точно по методике, изложенной в [10, 11].

## **8.5. СИСТЕМА ПНЕВМОТРАНСПОРТА С РАЗВЕТВЛЁННОЙ СЕТЬЮ ВОЗДУХОВОДОВ**

Последовательность расчёта систем пневмотранспорта с разветвлённой сетью воздухопроводов (рис. 22) отличается от расчёта подобных систем, перемещающих чистый воздух. Причина тому — требование поддержания в воздуховоде скорости равной или большей минимально допустимой.

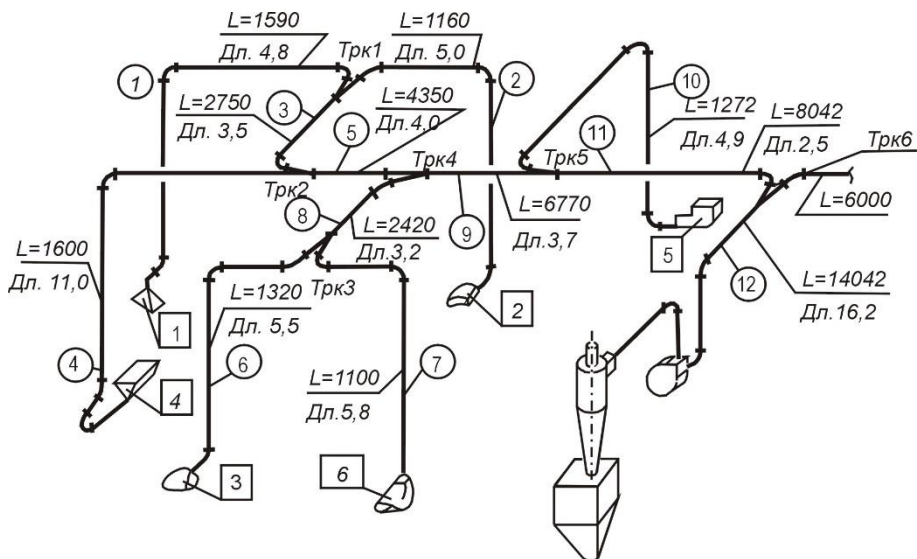


Рис. 22. Принципиальная схема разветвлённой системы пневмотранспорта:

- 1 — станок круглопильный ЦА-2А; 2 — станок фуговальный СФ6;  
 3 — станок шлифовальный ШЛК-6; 4 — станок шипорезный ШПК-40;  
 5 — станок полировальный ПИБ; 6 — напольный отсос

Поддерживать с целью аэродинамической увязки меньшую скорость в ответвлении или на участке нельзя. Уменьшение скорости воздушного потока против требуемой приведёт к выпадению отходов на дно воздуховода. Поэтому аэродинамический расчёт аспирационных и систем пневмотранспорта ведётся в несколько иной последовательности.

Последовательность проведения расчёта проиллюстрируем на примере разветвлённой системы воздухопроводов (рис. 22).

Начинать расчёт следует наиболее удалённого от вентилятора по сети воздухопроводов местного отсоса. Но это не гарантирует, что выбранное направление в процессе расчёта останется главным.

Согласно схеме (рис. 22) таким наиболее протяжённым направлением является направление, состоящее из участков 1, 3, 5, 9, 11, 12, 13. Сначала подбирается соответствующий стандартный диаметр ответвления к местному отсосу 1, на эти потери следует подобрать воздухопровод к местному сопротивлению 2. Если при минимально-допустимой скорости на участке 2 потери давления превысят потери давления на участке 1, то главным расчётным направлением становятся участки 2, 3, 5, 9, 11,

12, 13. Если разница в потерях давления на участках 2 и 1 превышает 10 %, следует произвести дополнительную увязку потерь на участке 1 уменьшением диаметра или установкой диафрагмы.

Далее вычисляются потери на участке 3. Минимально-допустимые скорости на участках 1 и 2 могут быть не одинаковы. Если минимально-допустимая скорость на участке 2 больше минимально-допустимой скорости на участке 1, то расчётной минимально-допустимой скоростью для участка 3 является минимально-допустимая скорость участка 2. Вычисленные потери давления на участке 3 суммируются с потерями участка 2, а сумма становится расчётной потерей давления для участка 4.

Если расчётные потери участков 2 + 3 недостаточны для поддержания минимально допустимой скорости на участке 4, диаметр воздуховода участка 4 подбирается на минимально-допустимую скорость, а главное расчётное направление проходит уже через ответвление 4. а при необходимости, для аэродинамической увязки устанавливается конусная диафрагма на участке 3. Если невязка потерь давления на участке 4 и участков 2 + 3 при подобранном стандартном диаметре воздуховода участка 4 превышает 10 %, то на участке 3 изменяется диаметр или устанавливается конусная диафрагма.

Далее вычисляются потери давления на участке 5. Расчётная скорость на нём принимается равной максимальной из минимально-допустимых скоростей участков 1, 2, 4.

Поскольку главное расчётное направление стало проходить через участок 4, то суммируются потери давления участков 4 и 5. Эта сумма является расчётной для направлений, состоящих из участков 6 и 8, и 7 и 8.

Далее расчёт продолжается аналогичным образом. Вычисляются потери на участке 6, с ним аэродинамически увязывается участок 7. Большая из этих потерь вычитается из суммы потерь участков 4 + 5. Эта разность должна быть израсходована на участке 8. Её должно быть достаточно для поддержания минимально-допустимой скорости на участке 8, в качестве которой принимается большая из минимально-допустимых скоростей участков 6 и 7. Если потери давления участков 4 + 5 недостаточно, главное расчётное направление станет проходить через ответвление 6, 7, 8 и т.д.

Расчёт потерь давления в системе пневмотранспорта с разветвлённой сетью воздухопроводов рекомендуется выполнять методом динамических давлений. Расчётная потеря давления в сети равна сумме потерь давления на участках главного расчётного направления. Дополни-



ная потеря давления вследствие переноса древесных отходов учитывается пересчётом потерь давления, рассчитанных для чистого воздуха, по формуле И. Гастерштадта.

## **8.6. АСПИРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ**

Предназначены для удаления запылённого воздуха от местных отсосов или непосредственно от источника, выделяющего пыль. Трассировка воздуховодов может выполняться по схемам: с центральным сборником отходов или разветвлённой. Отличаются от систем пневмотранспорта лишь величиной массовой концентрации пыли в воздушном потоке. Она не должна превышать  $50 \text{ г/м}^3$ . Столь низкая концентрация приводит к незначительному повышению потерь давления по сравнению с системами пневмотранспорта, поэтому уточнение потерь давления по формуле И. Гастерштадта не производится, потери давления рассчитываются по чистому воздуху.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тертичник, Е.И.* Вентиляция. М. : Изд-во АСВ, 2015. 607 с.
2. *Каменев, П.Н.* Вентиляция / П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник М. : Изд-во АСВ, 2006. 614 с.
3. *Константинова, В.Е.* Воздушно-тепловой режим в жилых зданиях повышенной этажности. М. : Стройиздат, 1969. 136 с.
4. *Макаров, Е.Г.* Инженерные расчёты в Mathcad 15. Москва – Санкт – Петербург – Нижний Новгород – Воронеж – Ростов на Дону – Екатеринбург – Самара – Новосибирск – Киев – Харьков – Минск. СПб : Изд-во «Питер», 2011. 399 с.
5. *Кирьянов, Д.В.* Самоучитель Mathcad 11. СПб : Изд-во «БХВ – Петербург», 2004. 540 с.
6. Справочник проектировщика. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1. М. : Стройиздат, 1992. 319 с.
7. Справочник проектировщика. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 2. М. : Стройиздат, 1992. 245 с.
8. ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные.
9. ГОСТ 21.602-2003 Правила выполнения рабочей документации отопления, вентиляции, кондиционирования.
10. СНиП 2.04.05 – 91\* Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой России. М. : ГУП ЦПП, 1994.
11. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой России. М. : ГУП ЦПП, 1994.